



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# CYMIC-KATTILAN TULIPESÄN CAD- SUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN

Esko Kulju

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2017  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Tuotekehitys

KULJU ESKO:

CYMIC-kattilan tulipesän CAD-suunnittelun kehittäminen

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 0 sivua  
Huhtikuu 2017

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eri menetelmiä CYMIC-voimakattilan tulipesän CAD-suunnittelussa. Työn tilaajana toimi Valmet Technologies. Tavoitteena oli luoda tulipesästä kirjastomalli tai parametrinen konfiguraattori SolidWorks-ohjelmalla. Työssä piti lisäksi selvittää tehokkaimmat 3D-mallinnustavat ja luoda yhteinen mallinnusperiaate tulipesän CAD-suunnitteluun.

Teoriaosuudessa käydään läpi Valmetilla valmistettavien voimakattiloiden toimintaperiaatteet ja tärkeimmät komponentit. Lisäksi työssä käsitellään painerunkoon liittyvien moduulijärjestelmien vaikutusta tulipesään ja eri 3D-mallinnustekniikoiden soveltamista kirjastomalliin sekä parametriseen konfiguraattoriin.

Opinnäytetyössä päädyttiin parametriseen konfiguraattoriin eli suunnitteluautomaatin tekemiseen. Suunnitteluautomaatti osoittautui tehokkaaksi menetelmäksi tulipesän 3D-mallinnuksessa painerungon vakiointien ja moduulijärjestelmien perusteella. Suunnitteluautomaatti toteutettiin AutomateWorks-lisäosalla, joka on Excel-pohjainen lisäosa SolidWorksiin. Suunnitteluautomaatilla saadaan jatkossa 3D-mallinnettua tulipesän äärimitat, putkimäärät, hiekan paluukanava, syklonin yhdyskappale sekä tulipesän materiaalit ja seinämäpaksuudet kaikkiin eri CYMIC-kattilan tulipesävaihtoehtoihin. Opinnäytetyöstä on poistettu luottamuksellinen aineisto.

## **ABSTRACT**

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

**KULJU, ESKO:**  
Development of the CYMIC Boiler Furnace CAD Design

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 0 pages  
April 2017

---

The purpose of this thesis was to study different techniques for furnace CAD design. The customer for the thesis was Valmet Technologies. The goal was to create a furnace library model or configurator by using the SolidWorks program. In addition, the goal was to find the most productive ways for performing the 3D modelling and to create a common way for 3D designing.

The theoretical part presents the working principles and main components of Valmet boilers. In addition, the theory part goes through the function of the modular systems in the pressure parts area and different 3D modelling techniques for a furnace.

As a result of the thesis, the SolidWorks configurator for the furnace was chosen. The configurator was proven very effective for 3D modelling due to its modularity in the pressure parts area and standardized of furnace dimensions. The configurator was made by using AutomateWorks, which utilizes Excel as a basis. In this configurator, it is possible to model a furnace's main dimensions, quantity of wall tubes, the position of sand return, cyclone connection piece, furnace materials and wall thicknesses. The confidential material has been removed from the report.

---

Key words: boiler, furnace, configurator

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYS.....	8
	2.1 Valmet Technologies .....	8
	2.2 Kestävä kehitys .....	9
	2.3 Valmet Technologies Sellu ja energia .....	9
3	VOIMAKATTILAT.....	11
	3.1 Höyrykattilatekniikka .....	11
	3.2 Kattilatyypit .....	13
	3.2.1 HYBEX.....	13
	3.2.2 CYMIC.....	14
	3.2.3 RECOX.....	16
4	TEORIA .....	18
	4.1 Suunnittelun kehittämisen tarve.....	18
	4.2 Layout-periaate 3D-mallintamisessa .....	19
	4.3 Moduulijärjestelmät .....	20
	4.3.1 Moduulijärjestelmän systematiikka .....	21
	4.4 Eri vaihtoehtojen pohtiminen.....	22
	4.4.1 Kirjastomalli.....	23
	4.4.2 Parametrinen konfiguraattori .....	25
	4.5 Lähtötiedot konfiguraattoriin .....	26
5	TYÖN SUORITUS .....	28
	5.1 Layoutin tekeminen .....	28
	5.1.1 Pääsketsit ja relaatiot.....	28
	5.1.2 Layout-osan rakennepuu .....	29
	5.1.3 1- ja 2-syklonisen tulipesän eri sketsit .....	31
	5.2 Kokoonpanojen luonti.....	33
	5.2.1 Osien luonti .....	34
	5.2.2 Kammioiden tekeminen .....	35
	5.2.3 Putkiaukkokokoonpanojen tekeminen .....	36
	5.3 Konfiguraattori.....	37
	5.4 Tulipesän kopioiminen projektille .....	40
	5.5 Siirto PDMS- ja PDM-järjestelmään .....	41
	5.5.1 PDMS-siirto .....	41
	5.5.2 PDM-siirto .....	42
	5.6 Käyttöohjeet.....	42
	5.7 Työn tulokset .....	43

6 YHTEENVETO .....	44
LÄHTEET .....	46

**ERITYISSANASTO**

Coincident	Yhdenmukaisuus
Equal	Yhtä suuri
Mate	Kokoonpanojen tai osien liittäminen yhteen
Plane	Taso
Sketsi	Luonnos
Suppress	Kokoonpanon tai osan peittäminen

## 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on tehdä Valmet Technologies Oy:n Sellu ja Energian paine-runko-osastolle CYMIC-voimakattilan tulipesän mallinnuksen kehitystyö. Työn tavoitteena on luoda SolidWorks-ohjelmalla kirjastomalli tai parametrinen konfiguraattori tulipesän 3D-mallinnuksen nopeuttamiseksi. Suunnittelussa ollaan siirtymässä PDMS-ohjelmistosta SolidWorks-suunnitteluun, joka vaatii suunnittelusääntöjen tekemistä ja noudattamista. Opinnäytetyössä pyritään selvittämään toimivimmat mallinnustekniset ratkaisut eri käyttäjien kesken ja näiden avulla luomaan periaate yhteisestä mallinnustavasta.

CYMIC-voimakattila on tekniikaltaan kiertoleijukattila, jolla tuotetaan lämpö- tai sähköenergiaa. Kiertoleijutekniikalla leijutetaan tulipesässä hiekkaa, joka kiertää syklonin ja hiekkalukon kautta takaisin tulipesään. Tulipesässä tapahtuu polttoaineen palaminen, jonka jälkeen savukaasut ja hiekka kulkeutuvat syklonille. Sykloni erottaa savukaasut takavetoon ja hiekka palaa hiekkalukon kautta takaisin tulipesään. Syklonin alueelle on tehty vakiointeja sekä suunnitteluautomaatteja, joka luo tarpeen tulipesän 3D-suunnittelun kehittämiseksi.

Suunnittelussa pitää pyrkiä koko ajan nopeampaan ja kustannustehokkaampaan toimintaan suunnitteluympäristön kehittyttyä. Turhan työn välttämiseksi suunnittelusääntöjä ja tuotteiden vakiointeja on vietävä jatkuvasti eteenpäin. Parametrisen suunnittelumallin avulla pystytään ohittamaan suunnittelun alkuvaiheen yksinkertaiset, mutta huomattavasti aikaa vievät työvaiheet. Olennaisena osana on 3D-mallin layout-osan yksinkertaisuus sekä tuotteiden modulaarisuus.

## 2 YRITYS

### 2.1 Valmet Technologies

Valmet Technologies on maailman johtava teknologian, automaation ja palveluiden toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Valmet on suomalainen yritys, jolla on 12000 työntekijää ympäri maailman. Valmet syntyi uudelleen vuonna 2013 Metson jakautuessa Valmetiksi ja Metsoksi. Heidän tarjoamansa palvelut kattavat laajasti tehtaiden ja voimalaitosten suunnittelun (kuva 1), kunnossapidon sekä varaosat. (Valmet Technologies 2017)



KUVA 1. Valmetin toimittama CYMIC-voimakattila Belgiaan (Valmet Technologies 2017)

Valmetin liiketoiminta on jaettu neljään eri liiketoimintalinjaan ja viiteen maantieteelliseen alueeseen. Liiketoimintalinjat ovat Palvelut, Sellu ja Energia, Paperit ja Automaatio. Näillä liiketoimintalinjoilla Valmet tarjoaa kestävän kehityksen ratkaisuja ympäri maailman. Maantieteelliset alueet, joilla Valmet toimii, ovat Pohjois-Amerikka, Etelä-Amerikka, EMEA (Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka), Kiina ja Aasiaa sekä Tyynenmeren alue. Valmet on vakiinnuttanut asemansa markkinajohtajana, ja sillä on vankka markkina-asema kaikissa liiketoiminnoissaan. (Valmet Technologies 2017)

## 2.2 Kestävä kehitys

Kestävä kehitys on keskiössä kaikissa Valmetin toiminnoissa. Arvot, toimintaohje, ja siihen liittyvät politiikat sekä valikoidut globaalisti hyväksytyt tavoitteet ovat pohjana Valmetin kestävän kehityksen toiminnassa. Valmetin missiona on muuntaa uusiutuvista raaka-aineista asiakkaidensa kanssa kestäviä tuotteita, sekä vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen ja sopeuttamiseen teknologiansa avulla. Valmetilla on vahva osaaminen ratkaisujen toimittamisessa, joilla biomassa voidaan muuttaa uusiutuvaksi energiaksi ja kierrätettäviksi tuotteiksi kuten selluksi, paperiksi, kartongiksi ja pehmopaperiksi. (Valmet Technologies 2017)

## 2.3 Valmet Technologies Sellu ja energia

Sellu ja energia -liiketoimintalinjan tuotteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään, jotka ovat sellun tuotanto, energiatuotanto ja biomassan muunnosteknologiat. Valmet toimittaa kemiallisen ja mekaanisen massan tuotantoa varten joko kokonaisia sellulinjoja tai yksittäisiä koneita ja laitteita. Viime vuosina suurin osa selluliiketoiminnan projekteista on viety Etelä-Amerikkaan tai Aasiaan. Sellua käytetään pääasiassa raaka-aineena erilaisten paperilajien, kuten kartongin, pehmopaperin ja painopaperin valmistuksessa. Massanvalmistusprosesseihin Valmet tarjoaa teknologioita kaikkiin prosessivaiheisiin yksittäisten laitteiden tai prosessiyksiköiden toimituksesta kokonaiseen laitostoimitukseen. (Valmet Technologies 2017)

Energiantuotannossa Valmet on johtava toimittaja ja edelläkävijä biomassaan perustuvien lämmön- ja sähköntuotantoratkaisujen osalta voimalaitosten leijukerroskattiloissa, jossa poltetaan biomassaa ja valikoivasti hiiltä ja muita polttoaineita. Heidän asiakkaitaan ovat kunnat, julkiset laitokset sekä energia-, prosessi-, sellu- ja paperiteollisuudessa toimivat yhtiöt. Sellu ja Energia -liiketoiminnan tuotteisiin kuuluvat voimakattiloiden lisäksi myös ympäristönsuojelujärjestelmät, jotka koskevat sellu- paperi- ja energiantuotantoaloilla käytettäviä savukaasun puhdistusjärjestelmiä. (Valmet Technologies 2017)

Biomassan muutosteknologian odotetaan kasvavan monilla teollisuusaloilla. Valmetilla on pitkä kokemus biomassan muuntamisesta uusiutuvaksi energiaksi ja kierrätyskelpoiksi tuotteiksi. Uusien teknologioiden kehittämisen ja kaupallistamisen odotetaan tar-

joavan Valmetille uusia kasvumahdollisuuksia. Tällaisia ratkaisuja Valmet on ottanut esimerkiksi ligniinin talteenottoon kehitetyllä LignoBoost-tekniikalla, jossa biomassaa muunnetaan biometaaniksi, jolla voidaan korvata maakaasun käyttöä. (Valmet Technologies 2017)

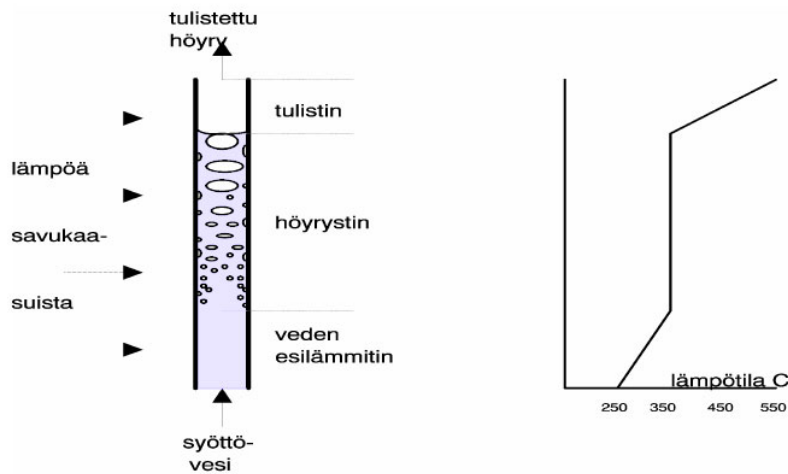
### 3 VOIMAKATTILAT

#### 3.1 Höyrykattilatekniikka

Voimakattiloilla tuotetaan lämpö- ja sähköenergiaa. Tekniikka perustuu höyryteknoologiaan, jossa kattilaan syötetystä vedestä tuotetaan höyryä. Voimakattilassa voidaan polttaa useita eri polttoaineita, niin fossiilisia, kuin uusiutuviakin. Höyrykattilat voidaan jakaa kattilan vesihöyrypiirin perusteella kahteen eri ratkaisuun, eli suurvesitilakattiloihin ja vesiputkikattiloihin. Vesiputkikattiloissa vesi höyrystyy putkissa, kun taas suurvesitilakattiloissa savukaasut kulkevat tulitorvessa ja tuliputkissa, mutta vesi höyrystyy näiden ulkopuolella. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 111.)

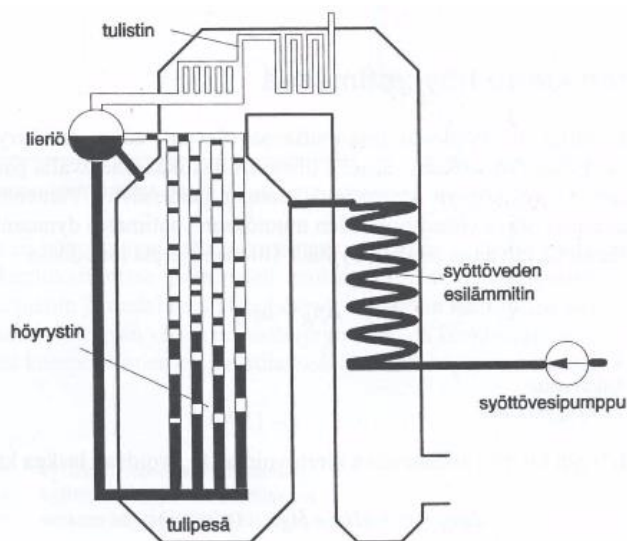
Vesiputkikattilat sopivat paremmin korkeammille paineille, ja niillä pystytään tuottamaan sähköenergiaa turbiinin avulla. Voimalaitosten vesiputkikattilat voidaan jakaa vedenkierron mukaan luonnonkiertokattiloihin, pakkokiertokattiloihin ja läpivirtauskattiloihin. Luonnonkiertokattilassa vesi ja höyry liikkuvat tulipesää ympäröivissä putkissa veden ja höyryn tiheyseron vaikutuksesta. Pakko- ja läpivirtauskattiloissa vesi ja höyry kiertävät pumpun muodostaman paineen vaikutuksesta. (Huhtinen ym. 2000, 111.) Tässä raportissa keskitytään vesiputkikattiloihin, ja sen alaratkaisuista luonnonkiertokattiloihin.

Höyrykattilassa höyryä tuotetaan monessa eri vaiheessa. Ensin vesi lämmitetään höyrystymislämpötilaan, jonka jälkeen vesi höyrystyy painetta vastaavassa höyrystymislämpötilassa. Lopuksi höyry tulistetaan, eli se lämmitetään korkeimpaan lämpötilaan. Veden lämmittämiseen käytettävä energia tuotetaan polttamalla polttoainetta voimakattilan tulipesässä. Kattilassa palavan polttoaineen energia otetaan talteen savukaasuihin sitoutuneena lämpöenergiana. Lämpö pyritään hyödyntämään mahdollisimman tarkkaan jäädyttämällä savukaasuja eri lämmönvaihtimissa, ennen kuin savukaasut johdetaan savukaasujen puhdistukseen ja ympäristöön. (Huhtinen ym. 2000, 7.) Höyrykattilan toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.



KUVA 2. Höyrykattilan toimintaperiaate (Huhtinen ym. 2000, 7)

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi kiertää putkissa. Sen vesi-höyrypiirin keskeiset komponentit ovat vedenesilämmitin, lieriö, höyrystin ja tulistin. Vesi kulkee luonnonkiertokattilassa syöttövesipumpun kautta vedenesilämmittimelle, jossa vesi lämmitetään lähelle kylläistä lämpötilaa. Esilämmittämisen avulla pystytään myös kontrolloimaan tulipesän lämpötilaa, sekä parantamaan kattilan hyötysuhdetta. Esilämmitetty syöttövesi johdetaan lieriöön ja siitä laskuputkia pitkin tulipesää ympäröivien höyrystinputkien alapäähän. Höyrystinputkissa osa kylläisen veden ja vesihöyryn seoksesta palaa takaisin lieriöön, jossa muodostunut höyry ja vesi erotetaan toisistaan. Höyry nousee lieriön yläosaan ja virtaa sieltä tulistimeen. Höyrystymätön vesi sekoittuu lieriöön syötettävään uuteen syöttöveeseen ja virtaa laskuputkia pitkin höyrystinputkiin. (Huhtinen ym. 2000, 7.) Kuvassa 3 on esitetty luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri.



KUVA 3. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri (Huhtinen ym. 2000, 7)

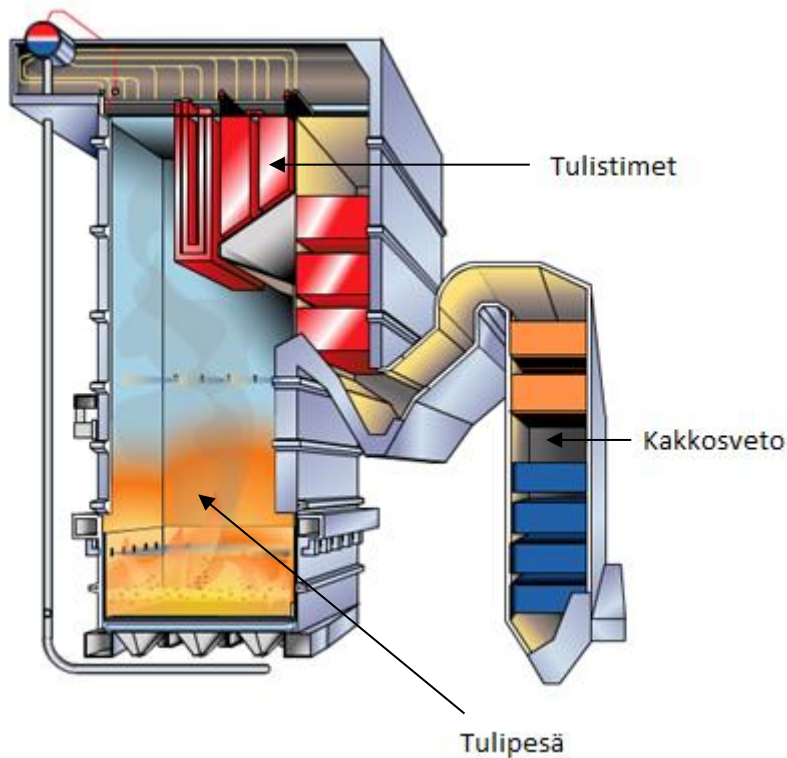
## 3.2 Kattilatyytit

Valmet valmistaa kolmea erilaista höyrykattilaa, joiden tuotenimet ovat HYBEX (BFB), CYMIC (CFB) ja RECOX. HYBEX- ja CYMIC-kattila ovat tekniikaltaan leijukerroskattiloita, joskin hyvin erilaisia. Leijukerroskattiloissa leijutetaan hiekkaa tulipesän pohjalla. Tekniikka mahdollistaa eri polttoaineiden polton samassa kattilassa hyvällä hyötysuhteella. Lisäksi siinä pystytään käyttämään alhaisempaa palamislämpötilaa, jolloin typenoksidit jäävät pieniksi. (Huhtinen ym. 2000, 153.) Leijukerroskattilat voidaan jakaa leijupetikattiloihin ja kiertopetikattiloihin leijukerroksen käyttäytymisen mukaan. Leijupetikattilassa hiekkaa leijutetaan tulipesän pohjan yläpuolella tietyllä ilman virtausnopeudella. Virtausnopeus riippuu hiekan hiukkaskoosta. Mitä pienempi hiukkaskoko on, sitä hitaammassa nopeudessa peti saadaan leijumaan. Nopeutta, jolla peti saadaan leijumaan, kutsutaan minimileijutusnopeudeksi. (Huhtinen ym. 2000, 155.)

Kun nopeus on minimileijutusnopeutta suurempi, leijukerros alkaa kuplia. Kuplinnan mukaan leijupetikattilaa kutsutaan BFB-kattilaksi (Bubblizing fluidized bed). Siinä leijupetillä on selkeä raja (petin pinta), jossa se loppuu ja sen yläpuolinen kaasutila alkaa. Jos ilman leijutusnopeus on suurempi kuin hiekan lentoonlähtönopeus, lähtevät hiukkaset kulkemaan leijutusväliaineen mukaan. Kattilatyyppiä, jossa hiekka lähtee kiertämään, kutsutaan kiertopetikattilaksi eli CFB-kattilaksi (Circulating fluidized bed). Siinä savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset ja mahdollinen polttoaine erotetaan syklonissa savukaasuista ja palautetaan takaisin tulipesään. (Huhtinen ym. 2000, 155.)

### 3.2.1 HYBEX

HYBEX-voimakattila on Valmetin tuottama leijukattila (kuva 4). Sillä voi polttaa laajasti eri polttoaineita hyvällä hyötysuhteella tarkoittaen myös korkean kosteusprosentin polttoaineita, ja se onkin HYBEX-kattilan parhain ominaisuus. Isona etuna voidaan pitää myös korkeaa luotettavuutta ja alhaisia päästöjä. HYBEX-kattilalla pystyy tuottamaan 10 – 400 MWh lämpötehoa. Leijupetitekniikan avulla palamisen hyötysuhde on yli 99 %, ja kosteillakin polttoaineilla laitoksen hyötysuhde on noin 90 %. Päästöt ovat leijupetitekniikan hyvän palamisreaktion sekä muiden päästösuodattimien vuoksi todella alhaiset. Valmet on valmistanut HYBEX-kattiloita yli 200 kappaletta ympäri maailman. (Valmet Technologies 2017)



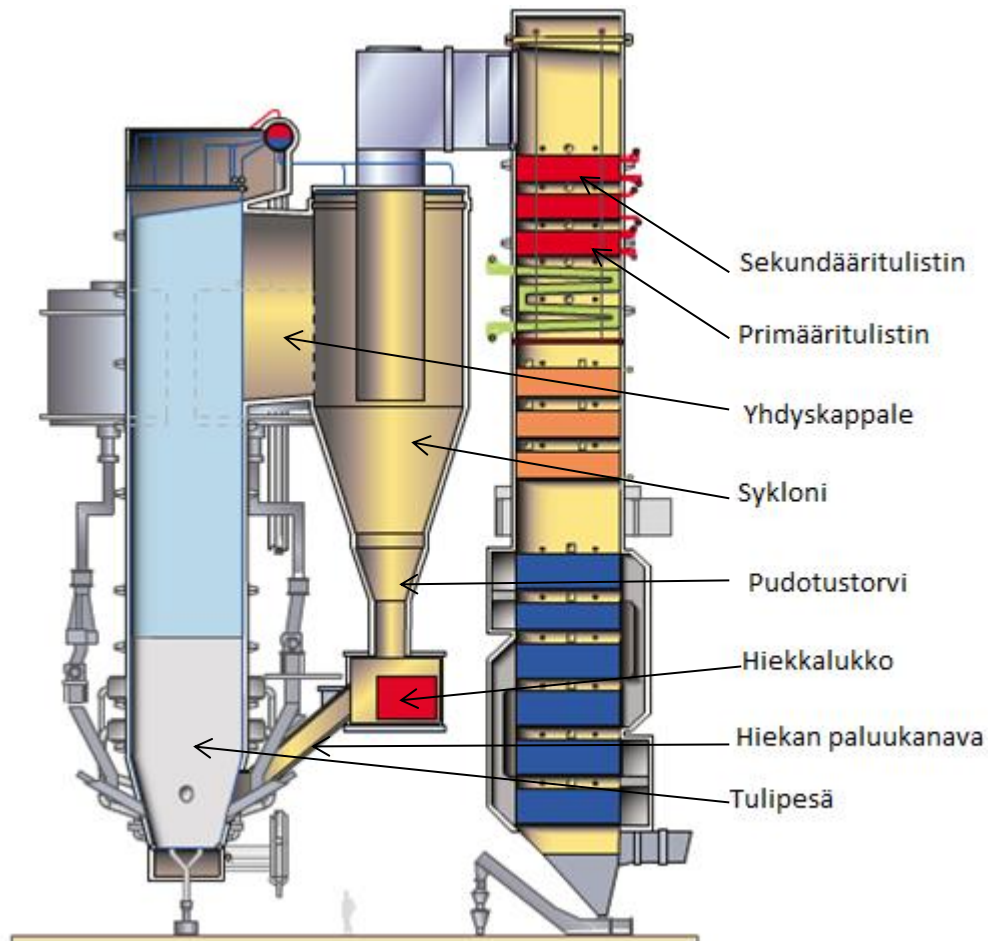
KUVA 4. HYBEX-voimakattila (Valmet Technologies Oy 2017, muokattu)

HYBEX-kattilassa voidaan polttaa biopolttoaineita kuten haketta ja turvetta, mutta myös fossiilisia polttoaineita. Valmet on kehittänyt palamattoman materiaalin poistoon tulipesän pohjaan ”hydro beam floor” -ratkaisun, jolla tuhka ja muut palamattomat materiaalit saadaan tehokkaasti poistettua. Kyseisestä innovaatiosta tulee myös HYBEX-tuotenimi. Lämmön talteenotto savukaasuista tapahtuu monessa eri vaiheessa kattilan kuumakierron yhteydessä. Tulipesässä on ensimmäinen tulistin, jonka jälkeen höyryä tulistetaan vielä kakkosvedossa. Loput lämpöenergiasta käytetään tulipesän lämmön säätelyyn palamisilman ja syöttöveden lämmittämisen avulla. (Valmet Technologies Oy 2017)

### 3.2.2 CYMIC

Valmetin tuotemalli CFB-kattilalle on nimeltään CYMIC. Sen lämmöntuotto on 50-1200 MWh ja kiertoileijukattilalle tyypillisesti sen vahvuus on laaja polttoainevalikoima. CYMIC-kattilalla voidaan polttaa 100 % hiiltä, 100 % biomassaa tai mitä tahansa yhdistelmää näiden väliltä. Suurin osa Valmetin valmistamista CFB-kattiloista on nimenomaan tehty useille polttoaineille käytettäväksi. Hiilen ja biomassan sekapoltosta suurimmat hyödyt ovat pienemmät hiilidioksidipäästöt ja kalkkikiven muodostumat. Jos

sekapolttoa vertaa pelkän biomassan polttoon, niin sekapoltolla pystytään vähentämään korkean lämpötilan aiheuttamaa korroosiota, sekä parantamaan palamisreaktion olosuhteita. (Valmet Technologies Oy 2017). Kuvassa 5 on esitetty CYMIC-kattilan pääkomponentit.



KUVA 5. CYMIC-kattilan tulipesä, syklonin alue ja takaveto (Valmet MyAcademy 2017, muokattu)

CFB-kattilan pääkomponentit ovat tulipesä, sykloni ja hiekkalukko. Leijukiertokattilassa leijutettava hiekka kiertää tulipesästä syklonin kautta hiekkalukkoon. Syklonin tehtävänä on erottaa savukaasut ja palamattomat hiukkaset toisistaan syklonissa kehittyvän pyörteen avulla. Syklonin jälkeen kiinteät aineet, eli kivet ja palamattomat materiaalit menevät hiekkalukkoon, josta ne edelleen palaavat takaisin tulipesän pohjalle. Hiekkalukon tehtävänä on myös estää palamisilman kulku väärään suuntaan, eli tulipesän pohjalta hiekkalukon kautta syklonille. (Valmet Technologies 2017)

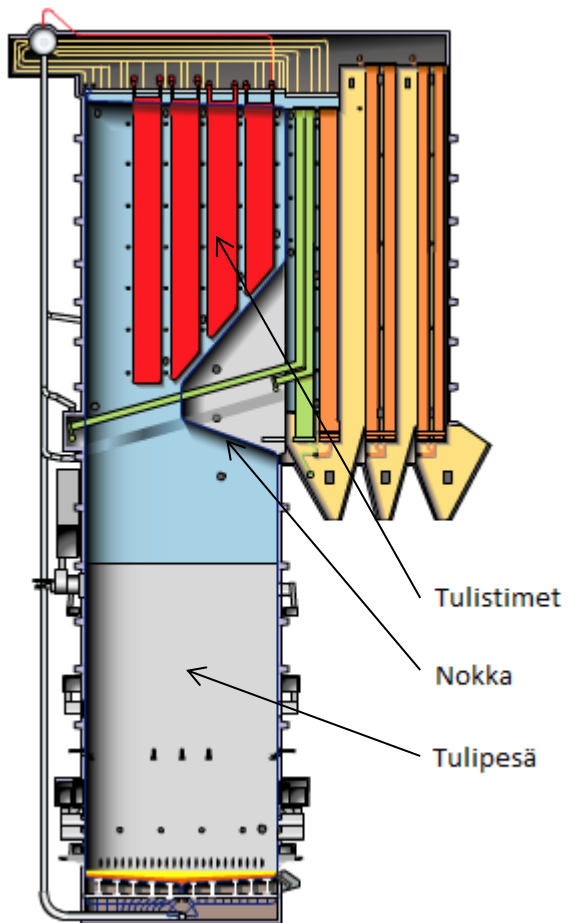
Lämmön talteenotto tapahtuu CYMIC-kattilassa useassa eri paikassa. Tulistimia voi olla tulipesän yläosassa, hiekkalukossa tai takavedossa. Hiekkalukon hiekkapeti mahdollistaa hyvän lämmön talteenoton hiekkatulistimelle tai ilman esilämmittämiseksi. Takavedossa voi tulistimia olla useita peräkkäin. Tulistimet ottavat lämmön talteen savukaasuista, jotka sykloni on erotellut. Savukaasut kulkevat syklonista takavetoon kulmakanan (manifold duct) kautta. Takavedossa voi tulistimien lisäksi olla syöttöveden sekä ilman esilämmitin. (Valmet MyAcademy 2017)

CYMIC-kattilassa on suojattu eniten kulumiselle alttiina olevia paikkoja muurauksella, kuten tulipesän alaosa, sykloni ja hiekkalukko. Myös jossain tapauksissa tulipesän yläosassa oleva tulistin, sekä muita paikkoja on muurattu hiekan aiheuttamalta kulumiselta ja korroosiolta. (Valmet MyAcademy 2017)

### **3.2.3 RECOX**

Valmetin valmistama prosessikattila selluteollisuuteen on nimeltään RECOX. Prosessikattilalla tarkoitetaan selluteollisuudesta tulevien kemikaalien polttoon tarkoitettua voimakattilaa, josta käytetään myös nimeä soodakattila. Soodakattilan tärkeimmät tehtävät ovat mustalipeän sisältämän energian talteenotto, sekä keittokemikaalien talteenotto. Sellua valmistettaessa syntyy mustalipeää, jota syötetään soodakattilaan. Mustalipeä, joka on toiselta nimeltään vahvalipeä, sisältää keiton aikana puusta liunneen orgaanisen aineksen, joka vastaa noin puolta tehtaalle viedystä puumäärästä. Tämän palavan aineen lisäksi mustalipeässä ovat käytetyt kemikaalit, jotka otetaan talteen, ja tuotetaan aktiiviseen muotoon uutta keittoa varten. (Huhtinen ym. 2000, 155.)

Valmet on valmistanut RECOX-soodakattiloita yli 300 kappaletta. Suuri osa viimeisimmistä soodakattiloista ovat liittyneet laitoksiin, jotka ovat olleet todella suurien tuotteen yli miljoona tonnia sellua joka vuosi. RECOX-kattilan parhaimmat puolet ovat luotettava prosessi, tehokkuus, korkea energiantuotanto, ympäristörajoitteet täyttävät ehdot, pieni likaantuminen ja hyvä korroosiokestävyys, sekä turvallinen työskentelyympäristö. RECOX-kattilassa on useita sen luotettavuutta ja huoltovapautta lisääviä tekijöitä, jotka mahdollistavat jopa 18 kuukautta huoltokatkojen välille. (Valmet Technologies 2017). RECOX-kattilan pääkomponentit on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. RECOX-prosessikattilan pääkomponentit (Valmet MyAcademy 2017, muokattu)

## 4 TEORIA

### 4.1 Suunnittelun kehittämisen tarve

Tämän hetkinen suunnittelutilanne Valmetin painerunko-osastolla on kiireinen. Suuri työkuorma luo isoimman paineen suunnittelun kehittämislle ja yhtenäistämislle. Tuotteiden 3D-mallinnus vie paljon aikaa, ja se on muuttunut paljon viimeisten vuosien aikana. Uudet suunnitteluohjelmistot ovat syrjäyttämässä vanhat, joka luo etäisyyttä myös suunnittelijoiden välille. 3D-mallinnus on tapahtunut ennen eniten PDMS-ohjelmistolla, joka on tarkoitettu laitossuunnitteluun. Tämän rinnalla on toiminut AutoCAD 2D-ohjelma, jolla on tehty 3D-malleista piirustukset. Nyt SolidWorks on syrjäyttämässä nämä suunnitteluohjelmistot kokonaan, ainakin tietyllä osa-alueella kattilan painerungon suunnittelussa.

SolidWorksiin siirtyminen on tuonut omat haasteensa, mutta myös antanut uusia mahdollisuuksia suunnittelun kehittämislle. Mallinnus SolidWorksilla on lähtökohtaisesti hitaampaa mallin tarkkuudesta johtuen. Tiedostot ja ohjelmistot ovat raskaampia, joten vaaditaan oikeita suunnitteluperiaatteita, joilla saadaan aikaan isoja säästöjä tuotteen suunnittelu-aikaan, ja sitä kautta kustannuksiin. Parhaimpien toimintatapojen löytäminen ottaa oman aikansa. Monet suunnittelijat ovat löytäneet mallinnustapansa opettelemalla sen kantapään kautta. Joku toinen voi painia saman ongelman kanssa esimerkiksi mallin hitauteen liittyen, johon toinen on keksinyt hyvän ratkaisun. Mallinnuksessa ei ole yhtä oikeaa tapaa tehdä asioita. Joskus mallintajien tavat tehdä työ ovat täysin erilaisia, mutta yhtä hyviä 3D-mallin toiminnan ja käyttötarkoituksen perusteella. Yksi toimintatapa ei toimi silti jokaisessa käyttökohteessa, jolloin kohteeseen on kehitettävä jokin tehokkaampi ratkaisu.

Suunnittelussa on saatu aikaan isoja säästöjä suunnitteluautomaattien avulla. CYMIC-kattilaan on tehty suunnitteluautomaatteja syklonin ja hiekkalukon alueelle, jotka tekevät täydellisen 3D-mallin muutamien lähtöarvojen avulla. Tällaiset automaatiit vaativat paljon tuotteiden vakiointia. Vakioinnilla on saatu jaettua kaikki mahdolliset vaihtoehdot muutamaa täysin määriteltyyn tuotteeseen. Suunnitteluautomaatteja on tehty tuotteisiin, jotka ovat rakenteeltaan erityisen haastavia ja aikaa vieviä. Syklonin ja hiekka-

lukon alueelle tehdyt suunnitteluautomaatit tekevät selvän tarpeen toteuttaa myös tulipesäautomaatti.

Nykyinen tapa tulipesän mallinnuksessa on kopioida vanhasta projektista tulipesä ja muokata se uuteen projektiin sopivaksi, tai käyttää jotakin vanhaa kirjastomallia uuden pohjana. Muokkaaminen voi viedä todella paljon aikaa, jos mallia ei ole alun perin mietitty kopioitavaksi. Valmiista projektista voi huomata, että se on tehty kiireellä ilman ajatusta sen jatkokäyttämiseksi. Kirjastomallin tai puoliautomaatin rakenteelle on annettava enemmän aikaa, ja sen muokkaamisen on tapahduttava yksinkertaisilla komennoilla ainoastaan layoutia muuttamalla.

## **4.2 Layout-periaate 3D-mallintamisessa**

Layout-periaatteisessa 3D-mallintamisessa on kyse isojen kokoonpanojen hallinnasta vähillä komennoilla. Kokoonpanoissa käytetään layout-osaa, joilla ohjataan kokoonpanon alikokoonpanojen sekä osien mittoja ja paikkoja. Kokoonpanoa mallintaessa layoutiin tarvitaan vähintään kolme piirrettä, eli sketsiä – yksi jokaista pääsuuntaa kohti. Sketsiin osoitetaan viivoilla ja pisteillä kokoonpanon päämitat ja halutut kohdat. Jälkeenpäin pisteisiin ja ääriviivoihin on helppo liittää yksittäisiä osia tai komponentteja. Layout-periaatteessa hyvin tärkeässä osassa on tasojen sekä origon systemaattinen käyttö. Jokaisessa toiminnallisuudeltaan samanlaisessa kokoonpanossa tai osassa tasot ovat samansuuntaiset, jolloin niiden toisiinsa liittäminen eli mate-komennon käyttäminen ja korvaaminen vastaavalla osalla on helppoa. Päätasojen nimet ovat Front, Right ja Top. Kappaleen origo on aina kokoonpanossa tai yksittäisessä osassa kappaleen Top-tasolla. Right- ja Front-tasot leikkaavat origon kappaleen pystytasoissa ja ovat kohtisuorassa toisiaan vasten.

Päälayout-osia voi olla isoissa kokoonpanoissa useitakin, jos mallintaja näkee sen tarpeelliseksi. Valmetin painerunko-osastolla tulipesää mallintaessa on usein ollut yksi päälayout-osa ja jokaiselle kammion oma layout-osa, josta on säädetty kammion pituus, yhteiden lukumäärä, porattavien reikien koko ja sijainnit yms. CYMIC-kattilan tulipesässä on vähintään kahdeksan kammiota, jolloin yhdessä tulipesän pääkokoonpanossa on siis yhteensä yhdeksän erillistä layoutia. Toinen painerunko-osastolla käytetty tapa on, että käytetään ainoastaan yhtä layoutia, jossa on myös kammioille omat

sketsinsä. Kyseistä tapaa ei ole käytetty tulipesän mallintamisessa, mutta muita kokoonpanoja tehdessä, erityisesti automaattien kohdalla, tämä on osoittautunut hyväksi menetelmäksi.

Suurin hyöty yhtä layoutia käyttäessä on layout-osan yksinkertaisuus ja selkeys, koska eri layout-osien linkitykset jäävät kokonaan pois. Toinen hyvä puoli on myös kappaleiden hallinta ja liittäminen toisiinsa. Tulipesän kokoonpanossa on yhteensä kymmenen eri seinäkokoonpanoa ja niiden alla vielä kolme isompaa alikokoonpanoa, eli yhteensä 30 kokoonpanoa, jotka on tehty samaan layoutiin. Kun nämä 30 isoa kokoonpanoa on tehty samaan päälayoutiin, niin niiden yhteen liittäminen onnistuu ainoastaan laittamalla kappaleen origot samaan kohtaan.

Yhtä isoa layoutia kannattaa käyttää erityisesti silloin, kun kappale on keskilinjansa suhteen symmetrinen moneen suuntaan. Tulipesässä sivuseinät ja niiden kammiot ovat päämitoiltaan täysin samat. Sama pätee myös etu- ja takaseinän päämitoille. Näin ollen esimerkiksi sivuseinien kammioiden mitat voidaan määrittää molemmille seinille samanaikaisesti, eikä kammioiden mitat pääse vahingossa poikkeamaan toisistaan. Toisaalta jos kammioiden kanssa käyttää omia layouteja, niin niiden kopioiminen toiseen projektiin on helppoa, sekä näitä pystyy hallitsemaan ja päivittämään erillisinä kokoonpanoina.

### **4.3 Moduulijärjestelmät**

Moduulijärjestelmällä ymmärretään koneiden, rakenneryhmien ja yksittäisosien kokonaisuutta, jonka jäsenet (moduulit) toimivat erilaisia ratkaisuja edustavina rakennuspaloina, ja joita yhdistelemällä voidaan toteuttaa erilaisia kokonaistoimintoja. Kun tällaisia koikoja on monia, niin moduulijärjestelmät sisältävät usein tuotesarjoja. Moduulijärjestelmät on alku tuotekehityksen rationalisointiin, jossa pyritään soveltamaan samaa toimintoa ja samaa ratkaisuluonnosta mahdollisimman samanlaisilla ominaisuuksilla laajemmalla kokoalueella. (Pahl & Beitz 1986, 436.)

Tulipesän suunnittelun kehittämisessä ei tarvitse alkaa kehittämään moduulijärjestelmää, vaan sen ympärillä olevat siihen vaikuttavat kokonaisuudet pitää tunnistaa omina moduuleinaan. Tulipesä, sykloni ja hiekkalukko kulkevat aina käsi kädessä ja yhden

näistä muuttuessa tulee muutoksia näihin kaikkiin. Vielä isommassa mittakaavassa koko voimalaitosta voidaan pitää isona moduulijärjestelmänä, jossa edellä mainittu painerunkokokonaisuus on yksi moduulinsa ja sen ympärille tulee polttoaineensyöttö, ilmakanaavat, lieriö, veden esilämmittimet, savukaasunpuhdistus, tukikehikko yms. Näillä kaikilla on vaikutus toisiinsa, ja ne voidaan ajatella omina moduuleina, joita muuttamalla on pieniä tai isoja vaikutuksia koko moduulijärjestelmään.

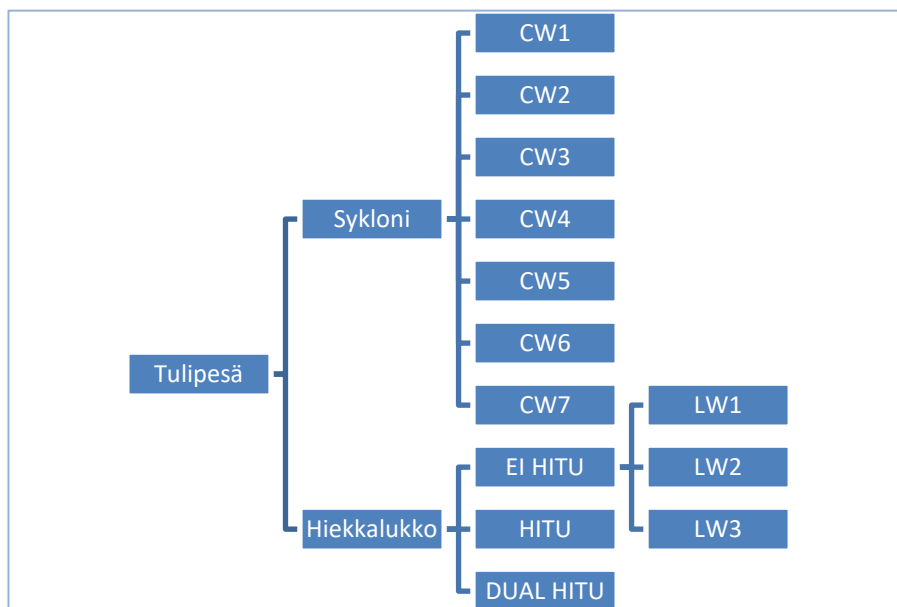
Tuotteen modulointi tarjoaa ratkaisun tilanteita varten, joissa yhden tai useamman kokoportaan tuoteohjelma pitää sisällään erilaisia toimintoja. Moduloinnin avulla valmistustekniset kustannukset saadaan laskettua alas, kun kulloinkin tarvittava toimintomuunnelma pannaan kokoon käyttämällä valmiiksi suunniteltuja yksittäisiä ja/tai rakenneryhmiä, eli toimintamoduuleja. Usein moduulijärjestelmät kehitetään vasta sitten, kun aluksi yhdeltä tai usealta tuotesarjakonstruktioilta vaaditaan ajan kuluessa niin paljon toimintamuunnelmia, että moduulijärjestelmä tulee edulliseksi. (Pahl & Beitz 1986, 436–437.)

Tällaisena moduulijärjestelmän kehittämisenä voidaan pitää syklonin ja hiekkalukon vakiointia. Sykloni on tuoterakenteeltaan haastava ja sen suunnittelu vei ennen paljon työtunteja. Syklonikoot vakioitiin seitsemäksi eri kooksi ja nyt niiden mitat, putkimäärät, yhteiden paikat, palkit, yms. ovat täysin määriteltäviä. Hiekkalukot ovat myös rakenteeltaan erittäin haastavia, niin suunnittelun kuin valmistuksenkin kannalta. Hiekkalukot on vakioitu kolmeen hiekkatulistimettomaan versioon, yhteen hiekkatulistimelliseen sekä yhteen tuplaposkiseen hiekkatulistimeen. Näin ollen syklonialueella voi olla useita eri kombinaatioita näistä vaihtoehdoista.

#### **4.3.1 Moduulijärjestelmän systematiikka**

Moduulijärjestelmässä moduulit on jaettu niiden toiminnan mukaan. Moduulit voivat olla toimintamoduuleja tai valmistusmoduuleja. Toimintamoduulit on määriteltävä teknisten toimintojen mukaan siten, että ne toteuttavat näitä joko yksin tai yhdessä toisten moduulien kanssa. Valmistusmoduulit ovat sellaisia, jotka niiden toiminnosta riippumatta määritellään puhtaasti valmistustekniseltä kannalta. Toimintamoduulit voidaan vielä jakaa perustoimintoihin, aputoimintoihin, erikoistoimintoihin ja sovitustoimintoihin. (Pahl & Beitz 1986, 437.)

Perustoiminnot ovat järjestelmässä aina toistuvia ja välttämättömiä, ja ne voivat olla porrastettuina kokoina. Perustoiminnoista voidaan käyttää myös nimitystä pakkomoduli. (Pahl & Beitz 1986, 437). Syklonia ja hiekkalukkoa voidaan painerungon alueella pitää pakkomoduleina. Ne ovat molemmat porrastettuina kokoina (kaavio 1) ja välttämättömiä kattilan toiminnan kannalta. Hiekkalukon ja tulipesän yhdistää hiekan paluukanava jota voidaan pitää aputoimintona. Apumoduulit ovat yleensä kiinnitys- ja liitoselementtejä, ja ne on kehitettävä perusmoduulien kokoporrastuksia vastaaviksi. Sovitusmoduulina painerungosta löytyy esimerkiksi syklonin ja hiekkalukon välissä oleva pudotustorvi. Sovitustoiminnoilla on tiettyjä rajaehdoja systeemiin sovitettavaksi, mutta muuten mitat voivat olla määrittelemättömiä. (Pahl & Beitz 1986, 437).



KAAVIO 1. Pakkomoduulivaihtoehdot syklonille ja hiekkalukolle 1-syklonisessa kattilassa

#### 4.4 Eri vaihtoehtojen pohtiminen

Opinnäytetyöaiheen mukaisesti tavoitteena oli parantaa CYMIC-kattilan tulipesän CAD-suunnittelua. CYMIC-kattiloita oli mallinnettu opinnäytetyötäni aloittaessa ainoastaan yksi projekti SolidWorksilla, joten referenssiä ei kyseisen tulipesän mallinnustekniikasta paljoa löytynyt. Kovan projektikuorman takia tulipesän mallinnukseen kuluva aikaa pitää minimoida. 3D-mallin pohjana piti olla helposti toimiva layout, jota pystyisi muokkaamaan kaikille mahdollisille tulipesävaihtoehdoille. Painerunko-osastolla

tehtyjen haastatteluiden ja vanhojen projektien tutkimisien perusteella parhaimmaksi vaihtoehdoksi valikoituivat kirjastomallin tai kirjastomallin ja Excelin yhdistelmä, eli parametrinen konfiguraattorin tekeminen tulipesästä (Luumi 2017, Haastattelu; Saarimaa 2017, Haastattelu). Toinen valinta koski SolidWorks-kokoonpanon layout-osaa, jossa vertailtiin yhden ison layoutin tai useamman pienemmän layoutin käyttöä tulipesän mallinnuksessa. Yhtä isoa layoutia on helppo käsitellä isona kokonaisuutena, kun taas useammasta pienemmästä layout-osasta koostuva 3D-malli on hyvin avoin, ja siitä voi helposti kopioida esimerkiksi kammio- tai seinäkokoonpanoja toisiin kokoonpanoihin. (Luumi 2017, Haastattelu; Saarimaa 2017, Haastattelu.)

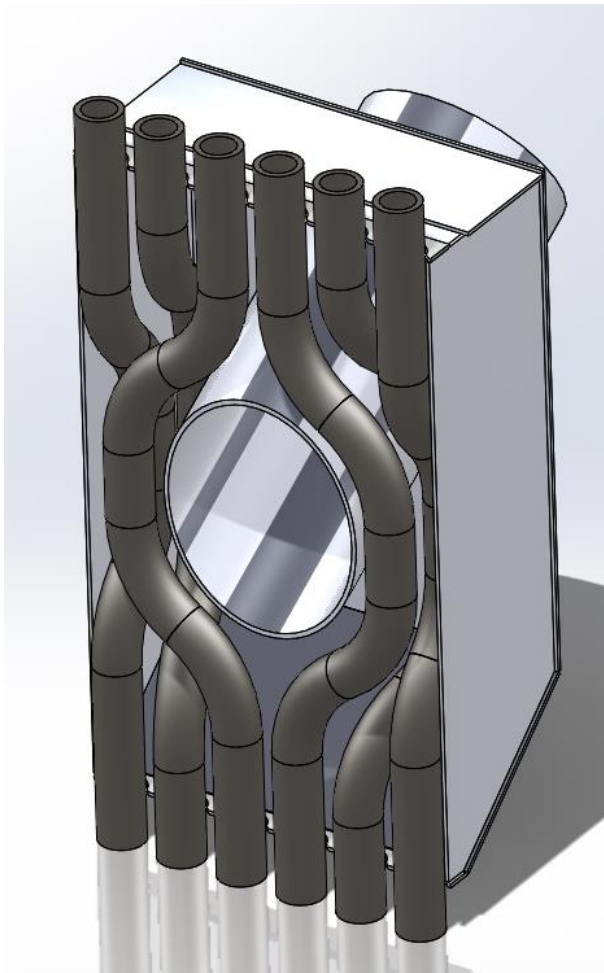
#### **4.4.1 Kirjastomalli**

Valmetin painerunko-osastolla ei ole käytössä paljon isoja kirjastomalleja, joita käytettäisiin pohjana uuden projektin kanssa. Toimintatapana on ollut, että parhaiten soveltuva projekti otetaan pohjaksi uuteen malliin. Projektit eroavat silti niin paljon toisistaan, että muutoksia tulee paljon. Kirjastomallin suurin etu on, että malli on täysin puhdas ja helposti muokattava, jos tarve vaatii. Suurissa kirjastomalleissa haaste on ollut se, että ne ovat olleet hyvin vajavaisia. Pienempiä kokoonpanoja, kuten paneelien aukkoja, on paljon saatavina hyvinä kirjastomalleina, koska niitä käytetään paljon samanlaisina projekteista riippumatta. Tällaisia osia kutsutaan ODI-osiksi (Own Design Item), ja ne on tehty muokattavaksi erikseen, jos tarve niin vaatii. Valmetilla on myös standardisoituja SODI-osia (Standard Own Design Item), jotka ovat eniten projekteissa käytettyjä osia. SODI-osia ei muokata, ja niistä on valmiina standardipiirustukset, joita voidaan käyttää projekteissa.

Ison kirjastomallin tekeminen hyödylliseksi ei ole helppoa, koska raja sen vetämiseen milloin 3D-malli on kirjastomalli, ja milloin se on valmis projekti, on häilyvä. Jos kirjastomallin kopioi uudelle projektille ja sen muokkaa valmiiksi projektiksi, niin usein tämä uudempi malli on kannattavampi kopioida uudelle projektille, koska se on silloin kehittyneempi versio. Kirjastomallia pitäisi aina pystyä päivittämään paremmaksi samalla tavalla, kuin uutta projektia mallintaessa.

Kirjastomallin tekeminen sopii paremmin pienille ODI-kokoonpanoille, kuten esimerkiksi putkiaukkokokoonpanoille. Pienet kirjastokokoonpanot ovat hyödyllisiä, koska

esimerkiksi edellä mainitun putkiaukkokokoonpanon (kuva 7) tekeminen alusta lähtien vie runsaasti aikaa. Tällaista kokoonpanoa ei ole järkevää mallintaa jokaiselle projektille alusta lähtien, mutta näitä ei myös kannata tehdä SODI-osiksi, koska vaihtoehtojen määrä on niin suuri johtuen eri materiaali- ja seinämävaihtoehdoista. Putkiaukkokokoonpano koostuu itse putkiaukosta, kotelosta sekä kamparautoista, joilla kotelot hitsataan tulipesän seinäpaneeliin. Tässä kokoonpanossa muuttuvia osia ovat ainoastaan putken halkaisija ja seinämäpaksuus, joten ODI-kokoonpanon käyttäminen on kannattavaa. CYMIC-kattilan tulipesässä käytetyimpiä putkiaukkokokoonpanoja ovat polttoaineensyöttöaukot sekä sekundääri-ilma-aukot, joista tehdään opinnäytetyön yhteydessä ODI-kirjastokokoonpanot.



KUVA 7. Putkiaukkokokoonpano

#### 4.4.2 Parametrinen konfiguraattori

Parametrinen konfiguraattori tarkoittaa SolidWorks-mallinnuksen automatisointia, jolla muutamalla lähtöarvolla saadaan ohjattua useaa SolidWorks-mallin mittaa. Konfiguraattorin käyttö soveltuu kokoonpanoille, jotka ovat täysin tai osittain vakioitu. Mitä enemmän mitoista on vakioitu, sen parempi hyöty konfiguraattorilla saadaan aikaan. Kun parametrillisella konfiguraattorilla luodaan jokin tuote, sitä voidaan kutsua tuotekonfiguraattoriksi. Näin on tehty esimerkiksi syklonin ja hiekkalukon kanssa. Koska syklonin ja hiekkalukon vakioinneilla on suora vaikutus tulipesän mittoihin, niin myös tulipesää mallintaessa saadaan isoimmat päämitat aikaiseksi ainoastaan muutamalla konfiguraattorin valinnalla.

Tuotekonfiguraattori on Excel, jolla määritetään tuotteen geometria ja materiaalit. Linkkinä SolidWorks-mallille ja Excelille toimii AutomateWorks-lisäosa, jonka komentorivien avulla 3D-mallin mittoja voi muuttaa tuotekonfiguraattorin määrittämien arvojen mukaan (AutomateWorks 4, 2014). Kokoonpanon muuttaminen konfiguraattorilla on todella nopeaa. Eniten aikaa ajon aikana vie mallien avaus, mutta muut muutokset, kuten mittojen asettaminen, tai kokoonpanon peittäminen, käyvät erittäin nopeasti. Konfiguraattorilla kannattaa ohjata ns. helppoja mittoja, joiden muutokset vievät manuaalisesti paljon aikaa. Tällaisia ovat mm. putkien ja evien lukumäärät sekä vakioitujen aukkojen paikat. Konfiguraattorilla pystytään määrittämään jokaiselle seinäkokoospanolle oikeat putkimäärät, jotka automaatti ajaa hyvin nopeasti. Tämänkaltaiset helpot, mutta toistonsa takia aikaa vievät ja virheelliset työt tekevät parametrisen konfiguraattorin parhaaksi vaihtoehdoksi tulipesän mallille. Automaatin sekä Excelin avulla pystyy myös määrittämään sekä laskemaan kappaleiden materiaalit sekä putkien seinämäpaksuudet.

Parametrisen mallin konfiguraattori vaatii taakseen hyvän layoutin, joka on tehty helposti muokattavaksi. 3D-mallin osien ja komponenttien relaatioiden täytyy pysyä kaikissa tilanteissa layout-osan mittoja muuttaessa. Layout-periaatteen avulla konfiguraattorin toiminnasta saadaan myös paljon nopeampaa, joka vaikuttaa varsinkin konfiguraattoria tehtäessä, jolloin automaatin ajoa testataan paljon. Kun mitat pystytään ajamaan Excelistä ainoastaan päälayoutin sketsiin, niin automaatin ei tarvitse avata muita kokoonpanoja välttämättä ollenkaan muutosten aikaansaamiseksi. Konfiguraattorin hyvään toimintaan vaikuttaa myös kappaleiden liittäminen toisiinsa. Kappaleet pitää liittää aina päälayoutin tason tai pisteiden kanssa yhteen, jolloin automaatilla ajaessa kokoonpanon

osat seuraavat layoutia. Jos osaa ei liitä päälayoutiin, vaan esimerkiksi toiseen osakokoonpanoon, niin liitettävä osa voi kadottaa linkkinsä. Tämä tapahtuu silloin, jos esimerkiksi toinen osakokoonpano peitetään, tai sen paikka vaihtuu.

Parametrisella konfiguraattorilla saadaan ajettua tulipesän malli oikeisiin mittoihin oikeilla putkimäärillä noin viidessä minuutissa. Jäljelle jääviä muutoksia ovat projekti-kohtaiset asiat, kuten aukkojen sijainnit ja lukumäärät, sekä hienosäätö yhteiden, tarkastusputkien yms. detaljien paikoitus. Konfiguraattorin käyttö on paras siinä tilanteessa, jolloin mallinnettava tuote on täysin vakioitu. Tulipesän tapauksessa, jossa ainoastaan sen päämitat on vakioitu, voidaan konfiguraattoria kutsua puoliautomaattiseksi. Siinä tärkeää on, että mallin muokattavuus säilyy myös automaatin ajon jälkeen.

#### **4.5 Lähtötiedot konfiguraattoriin**

Konfiguraattorilla pitää pystyä tekemään kaikki mahdolliset tulipesän mallit. Lähtötiedoista kaikista eniten vaikuttaa syklonikoko, koska tämän perusteella tulevat tulipesälle leveyden, syvyyden ja korkeuden minimi- sekä maksimimitat. Syklonikoko vaikuttaa myös hiekkalukon valintaan, josta riippuu tulipesään tulevan hiekan paluukanavan koko. Syklonikokoja on seitsemän erilaista ja niitä voi tyypillisesti tulla yhteen kattilaan yksi tai kaksi kappaletta.

Lähtötietojen valinnoilla on isoin vaikutus tulipesän takaseinään, johon liittyvät syklonin yhdyskappale (connection piece) sekä hiekan paluukanava. Näiden sijanteihin sekä kokoon vaikuttavat syklonikoko ja hiekkalukon tyyppi. Hiekkalukkoja on kolme erilaista, eli hiekkatulistimellista, hiekkatulistimetonta ja tuplatulistimellista. HITUllinen (hiekkatulistimellinen) hiekkalukko on samanlainen jokaiselle eri syklonikoolle. HITU-tonta (hiekkatulistimeton) hiekkalukkoa on kolme erilaista, ja nämä on määritelty syklonikokojen mukaan. Tuplatulistimellista hiekkalukkoa on vain yksi malli, mutta se so-  
pii ainoastaan kolmeen eri 1-sykloniseen syklonikokoon. Hiekkalukkovaihtoehdot on esitetty erikseen taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Hiekkalukkovaihtoehdot syklonin kokojen mukaan

Syklonikoot	CW1	CW2	CW3	CW4	CW5	CW6	CW7
EI HITU	LW1			LW2		LW3	
HITU	LW 10						
DUAL HITU Ainoastaan 1-sykloninen				LW20			

Tulipesävaihtoehtoja on olemassa monia. Tämä johtuu siitä, että syklonikokoja sekä hiekkalukkovaihtoehtoja on useita, mutta myös useampi tulipesäleveys voi olla sekä 1- että 2-syklonisessa kattilassa, että useammassa eri syklonikoossa. Lisäksi 1-syklonisessa kattilassa voi sykloni olla erikätisesti, jolloin se siis vaihtaa puolta tulipesän takaseinän keskilinjan suhteen. Jokaiselle eri syklonikoon ja hiekkatulustimen vaihtoehdolle määritetään putkimäärät erikseen, jolloin tuotekonfiguraattorilla saadaan valittua oikeat putkimäärät jokaiseen tilanteeseen.

Lisäksi tulipesän putket, putkiyhteet ja kammiot täytyy määrittellä paine- ja lämpötilariippuvaisesti sekä EN- että ASME-standardilla. Näiden lähtötietojen perusteella saadaan laskettua vaadittava seinämäpaksuus ja materiaali tulipesän kammioille, yhteille sekä putkille. Viimeisenä vaihtoehtona konfiguraattoriin tulee tulipesän pohjan tyyppi. Tulipesän pohjia tehdään aluksi kaksi erilaista, jossa toisessa pohjan putkille on oma kammionsa. Konfiguraattoriin tarvittavat alkuarvot ovat:

- Käytettävä standardi
- Laskentapaine
- Tulipesän putkien korroosiovara
- Syklonin koko ja määrä
- Syklonin kätisyys
- Tulipesän leveys
- Tulipesän syvyys
- Tulipesän korkeus
- Hiekkalukon tyyppi
- Pohjan tyyppi

## 5 TYÖN SUORITUS

Työn suoritus voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri osa-alueeseen, eli layoutin, kokoonpanojen ja konfiguraattorin tekemiseen. Näitä kolmea asiaa muokataan ja tehdään jatkuvasti ristiin, mutta silti ne ovat kaikki erillisiä toimenpiteitä. Työtä tehdessä oivaltaa ja oppii jatkuvasti uusia asioita, jolloin vanha idea täytyy päivittää parempaan tai käytökelpoisempaan.

### 5.1 Layoutin tekeminen

#### 5.1.1 Pääsketsit ja relaatiot

Tulipesän mallin tekeminen aloitettiin täysin tyhjästä ottamalla satunnainen tehty projekti, ja mitoittamalla layout sen mukaan. Tulipesässä on vakioituina osa mitoista, ja nämä on hyvä määrittää ensimmäisinä. Layout-osassa on kolme päätasoa eli Right, Front, ja Top. Ensimmäisenä luodaan Top-sketsi, koska siinä on määritettynä tulipesän leveys ja syvyys, joiden eri vaihtoehdot ovat vakioitu. Top-sketsin mittoihin linkitetään kaikista eniten tulipesän mallin tasoja sekä eri sketsejä. Toisena tehdään Right-sketsi, joka on kattila sivultapäin kuvattuna. Right-sketsiä kutsutaan myös sivusketsiksi, ja siihen määritetään kattilan muoto sivusta päin, sekä kaikki korkeudesta riippuvat mitat. Viimeinen pääsketsi on Front-sketsi, joka on hyvä olla apuna sivuseiniä tehdessä.

Layout-osan origo on top-sketsin keskellä. Origon ympärille tehdään seinien ääriviivat ja origo kohdistetaan oikealle paikalle keskipiste-relaatiota (SolidWorkissa ”Midpoint”) käyttäen. Layouteja tehdessä viivat tehdään ns. rakenneviivoina (SolidWorksissa ”Construction line”), jolloin ne näkyvät haaleampina katkoviivoina, eivätkä ne häiritse niin paljon mallin takana. Rakenneviivoista ei pysty sellaisenaan ottamaan mitään muotoa, mutta siihen pystyy kiinnittämään eri relaatioita. Tärkeimmät relaatiot mallia tehdessä ovat vaaka- ja pystysuora relaatio, joiden avulla pisteet saadaan samaan linjaan toistensa kanssa. Relaatiot toimivat hyvin, jos ne ovat linkitetty samaan osaan, mutta jos linkitys tapahtuu monen kokoonpanon yli, se saattaa joskus katketa. Muita käytetyimpiä relaatioita sketsejä tehdessä ovat ”yhtä suuri”, jolla saadaan viiva tai ympyrä samanko-

koiseksi toisen kanssa, sekä ”yhdenmukaisuus”, jolla saadaan esimerkiksi piste osu-  
maan viivaan.

”Yhtä suuri” -relaatiota käytetään kaikista eniten putkien ja kammioiden sketsejä teh-  
dessä. Relatiota käyttäessä esimerkiksi seinäputken koko tarvitsee määrittää ainoastaan  
yhteen kohtaan päälayout-osassa, jonka jälkeen kaikki putkikoot saadaan samankokoi-  
siksi tämän avulla. Ainoa ehto ”yhtä suuri” -relaatiolle on se, että tasot, joille relaatiot  
määritetään, täytyy olla samassa kulmassa. CYMIC-kattilassa etu- ja takaseinän alaosat  
ovat viistosti, joten näihin mitat täytyy määrittää erikseen. Toisaalta tällä ei ole konfigu-  
raattoria käyttäessä suurtakaan väliä, koska sen avulla putkikokojen mitat saadaan muu-  
tettua nopeasti.

### **5.1.2 Layout-osan rakennepuu**

Layout-osaan tulee paljon eri sketsejä ja tasoja, jolloin rakennepuun täytyy olla selkeä ja  
tarkkaan mietitty. SolidWorksissa rakennepuussa ylimmäisenä täytyy olla aina tär-  
keimmät sketsit, koska muuten niihin ei pysty linkittämään mitään. Jos puussa alempana  
olevasta sketsistä haluaa luoda jonkun relaation ylempään sketsiin, niin tämä ei onnistu,  
vaan alemman sketsin joutuu raahaamaan puussa tämän toisen sketsin yläpuolelle. Tä-  
män takia layoutin suunnittelun täytyy olla järjestelmällistä ja huolellista.

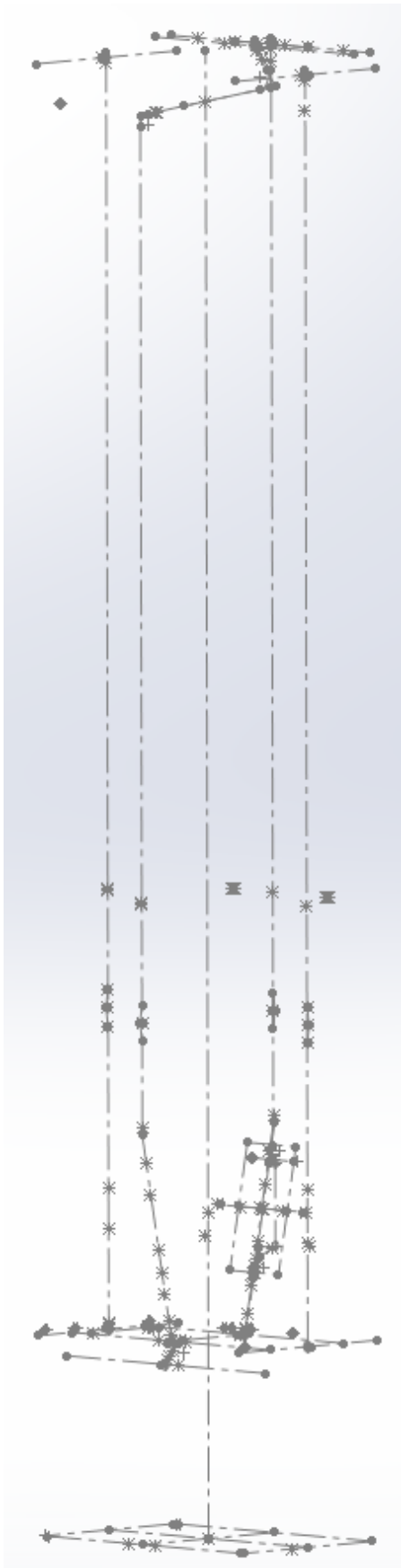
Ylimpänä Layout-osassa ovat aiemmin mainitut päätasot ja niille määritellyt pääsketsit,  
joihin on määritetty äärimitat, tärkeimmät korkeudet, nurkkapisteet yms. Pääsketsien  
jälkeen pystyy tekemään tärkeimmät tasot, joihin tulee eniten liitettyjä osia. Tasoja on  
kuusi kappaletta, eli kaikki seinien tasot sekä tulipesän pohjan ja katon tasot. Pääsketsit  
ja -tasot ovat aina näkyvissä rakennepuussa, mutta kaikki muut tämän jälkeen olevat  
sketsit ja tasot järjestellään omiin kansioihinsa rakenteen selventämiseksi. Kansioraken-  
teet tehdään niin, että tarvittavat kokoonpanon apuosat löydetään nopeasti. Rakennepuu  
on jaettu seuraavasti:

- Pääsketsit ja -tasot
- Inlet kammiot
  - Etu- ja takaseinä
  - Sivuseinät
- Outlet kammiot
  - Etu- ja takaseinä
  - Sivuseinät
- Tulipesän putket ja evät
- Hiekan paluukanava
  - 1-sykloninen
  - 2-sykloninen
- Syklonin yhdyskappale
  - 1-sykloninen
  - 2-sykloninen
- Polttoaineensyöttö
- Alemmat sekundääri-ilmat
- Ylemmät sekundääri-ilmat
- Starttipolttimet
- Kulkuaukot
- Kiertokaasusuuaukot

Esimerkiksi ”Alemmat sekundääri-ilmat” -kansioista löytyy kaksi sketsiä, jossa toisessa on paikat etuseinän ja toisessa takaseinän alemmille sekundääri-ilm-aukoille. Lisäksi kansioista löytyvät tasot, joihin ilma-aukkoputkikokoonpanot liitetään. Jokainen kansiorakenne on tehty samalla tavalla, eli kun jotain halutaan layoutissa tai seinäkoko- koonpanossa muuttaa, niin kaikki siihen liittyvät sketsit ja tasot löytyvät samasta kansio- osta. Inlet- ja outlet-kansiot ovat jaettu lisäksi etu- ja takaseinän sekä sivuseinien ala- kansioihin. Sivuseinien kammiot ovat keskenään hyvin samanlaiset pituudeltaan ja hal- kaisijaltaan, joten näiden mittoja pystytään määrittämään samaan sketsiin, ja kammiot pystytään liittämään samoihin tasoihin. CYMIC-kattilan tulipesän layout-osa on esitetty kuvassa 8.

### 5.1.3 1- ja 2-syklonisen tulipesän eri sketsit

Sykloninen määrän muuttaminen aiheuttaa tulipesän takaseinälle paljon eri vaihtoehtoja. Tämän takia hiekan palautukselle sekä syklonin yhdyskappaleelle pitää tehdä omat sketsit ja tasot, joiden avulla näiden paikat hallitaan. Layout-osassa tulee olemaan aina aluksi myös turhia sketsejä, jotka käyttäjä voi halutessaan myöhemmin poistaa. Sketseistä ei silti ole taustalla mitään haittaa, koska ne eivät tee mallia käytännössä yhtään raskaammaksi.



KUVA 8. Tulipesän layout-osa

## 5.2 Kokoonpanojen luonti

Tulipesän mallissa kokoonpanot tehdään kaikki samalla tavalla. Tulipesän mallin rakenne selviää, kun lähtee isoimmasta kokoonpanosta alaspäin. Jokaisessa kokoonpanossa ylimpänä osana rakennepuussa on layout-osa. Kun sama layout on jokaisessa kokoonpanossa, niin niiden liittäminen toisiinsa tapahtuu ainoastaan laittamalla origot yhteen. Kokoonpanoissa ylempi ja alempi tulipesän kokoonpano ovat erillään, jolloin mallin muokkausta saadaan paljon kevyemmäksi ja liikuttelua näytöllä helpommaksi. Tulipesän mallin rakennepuu on seuraavanlainen:

- Tulipesä-malli
  - Layout-osa
  - Alempi tulipesä
    - Layout-osa
    - Etuseinä alempi -kokoonpano
    - Takaseinä alempi -kokoonpano
    - Vasen alempi sivuseinä -kokoonpano
    - Oikea alempi sivuseinä -kokoonpano
    - Tulipesän pohja -kokoonpano
  - Ylempi tulipesä
    - Layout-osa
    - Etuseinä ylempi -kokoonpano
    - Takaseinä ylempi -kokoonpano
    - Vasen ylempi sivuseinä -kokoonpano
    - Oikea ylempi sivuseinä -kokoonpano
    - Tulipesän katto -kokoonpano

Myös seinäkokoontavat on tehty täysin samalla tavalla. Seinäkokoontavo koostuu kammiosta ja paneelista sekä osista, jotka tulevat kyseiseen seinäkokoontavoon, kuten heittoputket ja putkiaukot. 3D-mallin kokoonpanorakenteen on tärkeä mukaila valmistus- ja asennuskokoontavon järjestystä, koska siitä tehdään valmistus- ja asennuspiirustukset, joissa osien numerointi menee kokoonpanorakenteen mukaisesti. Myös tuotteen Item-rakenne saadaan automaattisesti oikein PDM-järjestelmään. Toinen syy on myös mallin muokattavuus. Esimerkiksi paneelia muokattaessa on huomattavasti kevyempi tehdä putkiaukkojen leikkaukset ainoastaan puhtaaseen paneelikokoontavoonsa, kuin

että kokoonpanossa olisi jo jotakin muita osia raskauttamassa mallia. Etuseinän alemman kokoonpanon yksinkertaistettu puurakenne on seuraava:

- Etuseinä alempi -kokoonpano
  - Layout-osa
  - Etuseinä Inlet kammio -kokoonpano
    - Layout-osa
    - Putki 1
    - Yhde 1
  - Etuseinä paneeli -kokoonpano
    - Layout-osa
    - Putki 2
    - Evä 2
  - Aukko 1
  - Heittoputki 1

### 5.2.1 Osien luonti

Melkein kaikki tulipesän osat ovat rakenteeltaan putkia tai levyjä. Putkien tekemisessä täytyy ottaa huomioon tulipesän mallin siirtäminen SolidWorksistä PDMS-ohjelmaan. PDMS vaatii, että putket on tehty SolidWorksissa ”Sweep”-komennolla, jolloin putkesta pystytään siirron yhteydessä ottamaan tarvittava data. ”Sweep”-komentoa käytettäessä tarvitaan kaksi eri sketsiä, joista toisessa on kappaleen poikkileikkaus, ja toisessa kappaleen reitti, jota pitkin poikkileikkaus kulkee. Molempiin näihin sketseihin pyritään ottamaan relaatiot layout-osasta, jolloin layoutin muuttuessa myös osa muuttuu oikeanlaiseksi. Esimerkiksi etuseinän paneelin putkea tehdessä putken reitti otetaan Right-sketsistä piirtämällä viivat suoraan sketsin päälle, jolloin SolidWorks muodostaa automaattisesti relaatiot näiden kahden sketsin välille. Näin yksittäiseen osaan ei välttämättä tarvitse laittaa yhtäkään omaa mittaansa, koska poikkileikkaus, muoto ja pituus tulevat suoraan layout-osasta.

Paneelissa käytettävät evät voidaan tehdä samalla tavalla. Tällä kertaa evän poikkileikkauksessa täytyy määrittää ainoastaan sen paksuus, koska muut mitat määritellään evän reunoilla olevien putkien poikkileikkauksien mukaan. Näin ollen, jos putkijako tai put-

kikoko jostain syystä muuttuisi, niin evästä tulisi automaattisesti oikean levyinen. Kun seinän ensimmäinen putki ja evä on määritelty, saadaan paneeliin haluttu määrä putkia ja eviä ”pattern”-komennolla. ”Pattern”-komento on työkaluna paneelin tekemiseen tehokas tapa ja sen mittoja pystytään ajamaan helposti myös konfiguraattorilla.

Tulipesän osat, joiden variaatioiden määrä on riittävän pieni, kannattaa vakioida, eli tehdä SODI-osiksi. Silloin niitä ei tarvitse kopioida projektille tai tarkistaa. Putkiyhteistä on SODI-osina yleisimmät koot ja materiaalit, jolloin niiden käyttö ja korvaaminen myös konfiguraattorin avulla on helppoa.

### **5.2.2 Kammioiden tekeminen**

Tulipesän useiden kokovaihtoehtojen takia kammioiden sketseihin täytyy tehdä paikat kaikille yhteille ja lohkosaumoille, sekä kammiokokoonpanoissa täytyy olla yhde- ja putkiosat varattuna isoimmalle mahdolliselle tulipesäkoolle. Yhteiden lukumäärä pienimmässä tulipesässä on etuseinällä kolme ja suurimmassa 20, joten pientä tulipesää muokatessa mallissa on paljon ylimääräisiä osia. Ylimääräiset yhteet ja kammioiden lohkojen putket on nopea peittää mallista konfiguraattorilla. Sketsien kanssa ylimääräisiä viivoja ja mittoja ei voi piilottaa, vaan ne ovat aina näkyvissä.

Yhteiden lukumäärään vaikuttaa tulipesän koko, laskentapaine sekä yhteiden koko. Sen takia samankokoisessa seinässä voi olla useita eri määriä yhteitä eri projekteissa. Tulipesän konfiguraattorissa päädyttiin yhteiden paikoituksessa tärkeimmän asian olevan yhteiden oikea määrä mallissa. Jako lasketaan jokaiselle konfiguraattorin ajolle erikseen tulipesän mittojen ja yhteiden lukumäärien suhteesta. Sketseissä yhteiden paikat ovat mitoitettu ketjuina, jolloin niiden sijainnit saadaan projektissa nopeasti säädettyä oikeiksi. Myös seinien lohkojen kanssa päädyttiin samaan ratkaisuun, että niiden määrät täytyy olla oikeat. Lohkosaumojen sijaintiin ja lukumäärään vaikuttavat monet projekti-kohtaiset asiat, joita ei voi etukäteen tietää. Sketseissä lohkojen leveydet on mitoitettu ketjuina. Lohkot jotka eivät ole käytössä, ovat jossain kohtaa tulipesän seinää, ja saavat arvon 0,01 mm. Näin ylimääräiset lohkosauamat eivät haittaa sketsissä mitoitusta, vaikka ne ovatkin kahden käytössä olevan lohkosauaman mitan välissä. Kokoonpanoissa ylimääräiset kammioiden putket on peitetty.

Projektia tehdessä lohkosaumojen sijainnit ja lukumäärät tarvitsevat varmasti korjausta. Mallin muokkauksen ohjeistus täytyy olla niin selkeää, että käyttäjä ei vahingossa tee layoutin sketsissä tai kokoonpanossa turhaa työtä. Yhden tai useamman lohkosauoman lisääminen tai vähentäminen malliin ei vie kauaa aikaa, jos toimenpiteet ovat oikeat.

### 5.2.3 Putkiaukkokokoonpanojen tekeminen

Painerunko-osastolla on tehty huomattavasti enemmän kirjastokomponentteja HYBEX- ja RECOX-kattiloihin, kuin CYMIC-kattilaan. Opinnäytetyön yhteydessä tehdään käytetyimmistä putkiaukoista kirjastomalleja myös CYMIC-kattilaan. Putkiaukkokokoonpanot tehdään alkuun sekundääri-ilma- ja polttoaineensyöttöaukoille. Kokoonpanoon kuuluvat aukkoputket, kotelot, kamparaudat, leikkaussketsit paneeliin tehtävää aukkoa varten sekä muurausmassa.

Putkiaukkokokoonpanon käyttäminen mallinnuksessa on myös mallin keveyden kannalta järkevää. Jos jokaisen kokoonpanon osan liittäisi erikseen tulipesän seinään, niin SolidWorks-liitoksia tulisi aina yhtä putkiaukkokokoonpanoa tehtäessä 12 kappaletta, eli kolme liitosta aina yhtä osaa tai kokoonpanoa kohden. Jos esimerkiksi sekundääri-ilmaaukkoja on tulipesässä 24 kappaletta, niin liitoksia tulee silloin 288 kappaletta. Putkiaukkokokoonpanoa käyttämällä liitosten määrä saadaan neljäsosaan, jolloin myös SolidWorks-malli on nopeampi ja mallinnustyössä käytetty aika pienenee.

Putkiaukkokokoonpanossa kamparaudat ovat SODI-osia, mutta kotelot ja aukkoputket ODI-osia. Koteloiden ulkomitat ovat projektista riippuen käytännössä samanlaisia, mutta ilma-aukon halkaisija, sekä aukon putkien seinämäpaksuus muuttuvat säännöllisesti. Mittojen muuttaminen pienelle kokoonpanolle onnistuu parhaiten tekemällä kokoonpanoon erillisiä konfiguraatioita, joita pystyy käsin tai automaattilla vaihtamaan. Ilma-aukon halkaisijasta tehdään kolme erikokoista vaihtoehtoa ja aukkoputkille tehdään neljä eri seinämäpaksuutta. Putkiaukkokokoonpanon taustalle on silti hyvä tehdä pienempi layout, josta pystytään tarpeen vaatiessa korjaamaan putkien halkaisija, seinämäpaksuus, sekä putkien pituus. Samaan layoutiin kiinnitetään myös paneelin aukkojen leikkausketsi, jotta se on aina oikean kokoinen.

### 5.3 Konfiguraattori

Konfiguraattori on Excel-tiedosto, johon on AutomateWorks-ohjelmalla luotu komennot SolidWorks-mallin ohjausta varten. Konfiguraattorin alkuarvot pitää olla sellaiset, jotka tiedetään heti projektin alkuvaiheessa. AutomateWorks-työkalulla ajetaan ainoastaan mitat malliin, mutta suurin työ tehdään Excelillä. Excelin rakenteesta tehdään samanlainen mitä on käytetty muissakin automaateissa, jolloin sen toiminnasta saa nopeasti käsityksen. Kuvassa 9 näkyy ensimmäisellä sivulla olevat valinnat, jonka mukaan automaatti ajaa SolidWorks-mallin. Toisella välilehdellä on kaikki tulipesän päämitat. Siellä tehdään laskenta kolmatta välilehteä varten, mikä on AutomateWorksin komentorivi SolidWorks-mallin ajoa varten (kuva 10). Neljännellä eli viimeisellä välilehdellä määritetään materiaalit sekä lujuudet seinäputkille, kammioille ja yhteille.

**CYMIC furnace configurator**

Project filename prefix

Furnace model path

Main assembly file

Design code

Design pressure (pd)  bar

Corrosion allowance (Furnace tubes)  mm

Static head (pst)  bar

Calculation pressure (pc=pd+pst)  bar

Operation pressure of drum  bar

**Cyclone (s)**

Cyclone concept

Cyclone handedness (only for 1-cyclone)

**Furnace**

Furnace width

Furnace depth

Furnace height

Furnace cross section area  m<sup>2</sup>

**Loopseal**

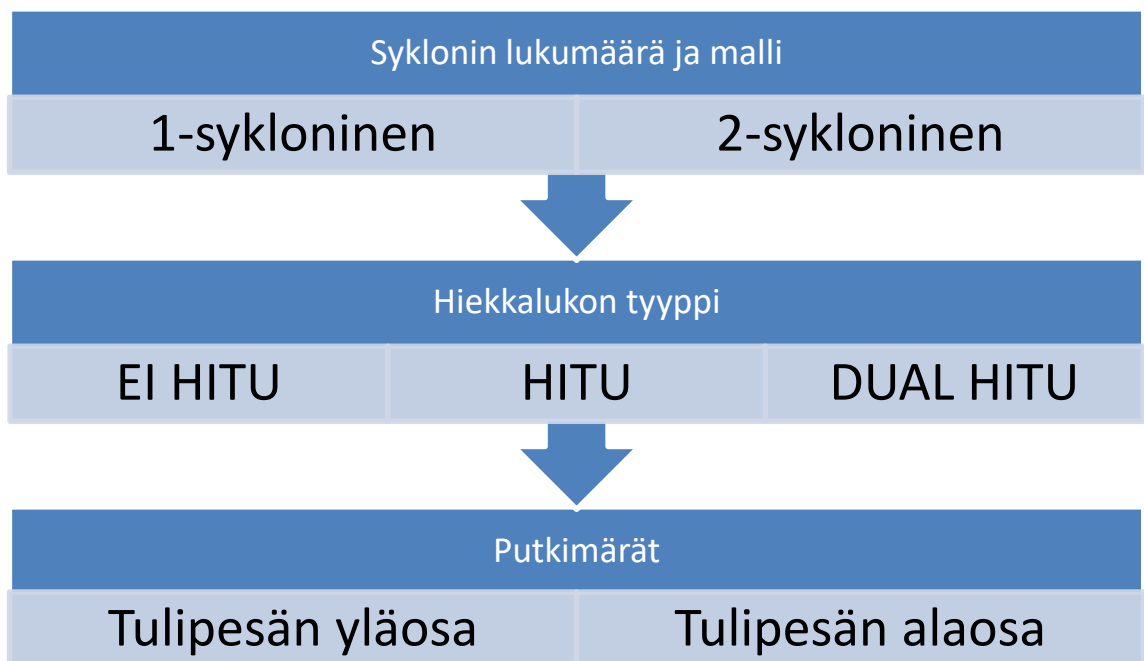
Loopseal type

Floor model

KUVA 9. Konfiguraattorin valintaikkuna

Toisen Excel-välilehden nimi on ”main dimensions”, missä määritellään tulipesän geometriaan vaikuttavat mitat. Välilehden rakenteessa on kolme eri valintariviä, joista ensimmäisessä on tulipesän syvyydestä riippuvat arvot, toisessa on leveydestä riippuvat arvot ja kolmanteen valintariviin on koottu näiden molempien mittojen muuttujien valitut arvot. Leveyssuuntaisia muuttujia on eniten, koska eri moduulivaihtoehdot koskevat näitä mittoja, ja erityisesti tulipesän takaseinää. Takaseinään pitää saada kohdistettua hiekan palautuskanavan paikat sekä yläosaan syklonin yhdyskappaleet.

Sykloniin ja hiekkalukkoon tehtyjen vakiointien avulla layout-osan muutokset saadaan konfiguraattoriin helposti. Jokaiselle syklonikoolle on esimerkiksi tiedossa syklonin keskilinjan etäisyys tulipesän keskilinjasta sekä yhdyskappaleen leveys, joiden perusteella tiedot saadaan syötettyä konfiguraattoriin, ja moduulit paikalleen. Konfiguraattoriin syötetään kaikki malliin tarvittu tieto syklonikoottain, jolloin etusivulla valituilla tiedoilla saadaan oikeat mitat ajettua layout-osaan. Suurin työ konfiguraattoria tehdessä tulee putkimäärien laskemisesta. Näiden määrät pitää jokaiselle vaihtoehdolle kokeilla erikseen, koska kaavat, joita laskemisessa käytetään, eivät mene eri syklonikoilla täysin yksi yhteen. Lisäksi tulipesän alaosalla vaikuttavat hiekan palautuskanavien paikat, sekä niiden leveyden muuttuminen, jolloin muuttujien määrä kasvaa. Tästä syystä jokaiselle kolmelle eri hiekkalukkomallille lasketaan putkimäärät erikseen sekä 1- että 2-sykloniselle kattilalle.



KAAVIO 2. Takaseinän putkimäärien valinnat

Esimerkkikohteena otetaan takaseinien putkimäärien laskeminen, johon yllä oleva kaavio 2 viittaa. Konfiguraattorilla valitaan ensin syklonin koko ja määrä, sekä hiekkalukotyypit, joiden kautta Excel-laskenta valitsee oikeat putkimäärät tulipesän ylä- ja alasalle. Kaikille vaihtoehdolle on laskettu putkimäärät, jolloin oikean leveyden mukaan Excel hakee IF- sekä INDEX-kaavojen avulla kyseiseen malliin oikeat määrät.

Tulipesän mittoja ajetaan ainoastaan layout-osaan, joten jäljelle jäävät muutokset koskevat kappaleiden lukumäärien ja materiaalien vaihtoja. Nämä tehdään aina kokoonpanoihin, joissa konfiguraattorilla ajetaan putkimäärät pattern-komentoa muuttamalla oikeiksi, peitetään ylimääräiset yhteydet ja kammioiden putket, sekä vaihdetaan kaikkien osien materiaalit oikeiksi.

dimension	Inlet width at furnace side2 (W) 2-cyclone@Position of connection pi	3485	Ok
dimension	Return duct width/2@EDIT Sand return tube diameter	808	Ok
dimension	Sand return position. Cyclone R/L@Sand return position for 1-cyclone	42,5	
open	Lower_furnace\FUR_Lower_furnace_assembly.SLDASM		Ok
suppress	FUR_WFL_assembly_	FALSE	Ok
suppress	FUR_WFL2_assembly_	TRUE	Ok
suppress	FUR_WRE_2-cyclone_wall_assembly_	TRUE	Ok
suppress	FUR_WRE_wall_assembly_	FALSE	Ok
open	Lower_furnace\Front wall\FUR_WFR_wall_panel_assembly.SLDASM		Ok
dimension	Quantity of front wall tubes@LocalPattern1	97	Ok
dimension	Quantity of front wall fins@LocalPattern2	96	Ok
rebuild			Ok
close	Lower_furnace\Front wall\FUR_WFR_wall_panel_assembly.SLDASM		Ok
open	Lower_furnace\Front wall\Inlet header\FUR_WFR_Inlet_header_assembly.SLDASM		Ok
dimension	Quantity of front inlet header fins@LocalPattern2	22	Ok
dimension	Quantity of floor tube nozzles (header)@LocalPattern1	22	Ok
suppressfeature	LocalPattern1	FALSE	Ok
suppressfeature	LocalPattern2	FALSE	Ok
suppress	FUR_WRE_Inlet_header_fin_plate2_	FALSE	Ok
suppress	FUR_WRE_Inlet_header_nozzle1_	FALSE	Ok
suppress	FUR_WRE_Inlet_header_fin1_	FALSE	Ok
suppress	FUR_WRE_Inlet_header_nozzle1_	FALSE	Ok
suppress	FUR_WRE_Inlet_header_fin_plate2_	FALSE	Ok
rebuild			Ok
close	Lower_furnace\Front wall\Inlet header\FUR_WFR_Inlet_header_assembly_Oppari2017.sldasm		Ok
open	Lower_furnace\Rear wall\FUR_WRE_wall_panel_Oppari2017.sldasm		Ok
dimension	Quantity of rear wall tubes@LocalPattern1	38	Ok
dimension	Quantity of rear wall fins@LocalPattern2	38	Ok

KUVA 10. Esimerkki konfiguraattorin komentorivistä

Konfiguraattori tekee ajon Excelin komentorivin järjestyksen mukaan. Ensimmäisenä on layout-osan mittojen muuttaminen ja tämän jälkeen muutokset tehdään jokaiselle eri seinä- ja kammiokokoonpanolle. Järjestys on sama, kuin tulipesän kokoonpanon kokoonpanopuussa, jolloin Excelin komentoriviä on helpoin muokata. Tulipesän mallissa on aina kokoonpanot 1- ja 2-syklonisille takaseinille, jolloin konfiguraattorilla täytyy peittää tarpeeton kokoonpano. Seinien peittäminen tapahtuu ensimmäisenä toimenpitee-

nä, jolloin mallin muuttaminen on kevyempää, eivätkä osat pääse olemaan päällekkäin 3D-mallissa.

#### 5.4 Tulipesän kopioiminen projektille

Valmetilla on käytössä EPDM Vault -järjestelmä, joka on SolidWorksin oma tuotetiedonhallintaohjelma. Kaikki SolidWorksin osat ja kokoonpanot on tallennettu sinne yhteiseen tiedostokantaan, jolloin kokoonpanoja pystyy muokkaamaan monta työntekijää samaan aikaan. EPDM-järjestelmässä kopioimisessa pitää ottaa muutama asia huomioon, jotta kopiointisuoritus on mahdollisimman tehokas. Isojen 3D-mallien kopioimisessa käytetään ”copy tree” -komentoa, joka kopioi kokonaan valitun kokoonpanon, sekä kaikki sen alla olevat kokoonpanot lukuun ottamatta SODI-osia. ”Copy tree” -komennossa voi valita tuleeko kopioitu kokoonpano samanlaisessa kansiorakenteessa, kuin kopioitu tuote, vai tulevatko kopioidut osat ja kokoonpanot ainoastaan yhteen kansioon. Jälkimmäinen tapa eli kopioiminen yhteen kansioon on toiminnaltaan varmempi, joten tulipesäautomaatin kopiointi suoritetaan tällä tavalla.

Yhteen kansioon kopioimisella pitää ottaa huomioon kokoonpanojen sekä osien informatiivinen nimeäminen, koska usein osat halutaan järjestellä jälkeinpäin oikeisiin kansioihin. Nimestä pitää selvittää mihin projektiin kokoonpano tai osa liittyy, kuuluuko se tulipesän ala- vai yläosaan, onko se paneeli- vai kammiokokoonpano, sekä se, että osa tai kokoonpano kuuluu CYMIC-kattilan tulipesään. Nimi ei myös saa olla liian pitkä, koska siitä pitää heti saada tietää mihin se liittyy, mutta myös ohjelmien välisessä siirrossa tiedostopolun merkkimäärä on rajattu, jonka ylittyessä siirto ei onnistu. Tulipesän kokoonpanojen nimeämisessä käytetään määrättyjä kirjainyhdistelmiä, jotka ovat mahdollisimman lyhyitä ja kuvaavia. Nimi on jaettu viiteen osaan, jossa ensimmäisessä on projektin tunnus. Toinen osa nimessä kertoo kuuluuko se tulipesän ala- vai yläosaan, vai onko se yleinen kokoonpano tai osa, joka voi esiintyä eri puolilla tulipesää. Kolmantena nimestä selviää mihin seinäkokoonpanoon kokoonpano tai osa kuuluu. Neljäntenä on itse kokoonpanon tai osan nimi ja tämän perässä on kirjainyhdistelmä josta selviää, että kokoonpano tai osa liittyy tulipesään. Tiedostonimet eivät voi olla Vaultissa samanlaisia, ja tämä varmistetaan käyttämällä projektin tunnusta tiedostonimien edessä. Alla on esitetty kokoonpanojen nimeämisperiaate.

- ProjectID\_LOW\_WRE\_panel-C-FUR.sldasm
  - Tulipesän alaosan takaseinän paneelikokoonpano
- ProjectID\_UPP\_WLE\_outlet\_header-C-FUR.sldasm
  - Tulipesän yläosan vasemman seinän kammiokokoonpano
- ProjectID\_COM\_inspection\_tube-C-FUR.sldasm
  - Tulipesän yleinen osa (Common part), tarkastusputkikokoonpano

”Copy tree” -kopiointilla saadaan lisättyä projektin tunnus osien ja kokoonpanojen eteen ”prefix”-komennolla. ”Copy tree” -komento otetaan aina isoimmasta kokoonpanosta. Tulipesän kopiointi kestää noin 1,5 tuntia.

## 5.5 Siirto PDMS- ja PDM-järjestelmään

### 5.5.1 PDMS-siirto

Tulipesän siirtäminen SolidWorkistä PDMS-järjestelmään vaaditaan laitoksen kokonaisuuden suunnittelun takia. PDMS-järjestelmään siirretään SolidWorks-mallista kaikki olennainen tieto mahdollisimman kevyellä rakenteella. PDMS-mallissa ei saa näkyä eviä, putkien koneistuksia tai muita tarkkoja yksityiskohtia, koska muuten malli tulee liian raskaaksi. Siirtotiedostot tehdään AutomateWorks- ja CustomWorks-lisäosilla. Putkiosista tehdään pcf-tiedostot ja muista osista step-tiedostot. Tiedostot koostuvat yksittäisistä osista, joista kuvataan geometrian paikka ja suunta. Alla on listattuna asiat, jotka täytyy huomioida SolidWorks-mallissa siirtoa varten.

- Kaikki putkiosat eli seinäputket, kammiot ja yhteet pitää mallintaa Sweep-komennolla.
- Putkiosista ja kammiopäädyistä, jotka siirretään PDMS-malliin, pitää tehdä konfiguraatiot, joissa ei ole koneistuksia.
- Putkiosille annetaan CustomWorks-lisäosan avulla tieto, että kappale on putki, sekä rasti kohtaan ”export tube – yes”.
- Siirrettäville muille kuin putkiosille annetaan CustomWorks-lisäosan avulla tieto ”pcf-export - yes”.

### 5.5.2 PDM-siirto

PDM-siirto tarvitaan Valmetilla tapauksissa, joissa tuote menee omaan valmistukseen. Tällöin kokoonpanoille ja osille täytyy laittaa erilliset nimiketunnukset eli POW- tai VAL-koodit. ODI- ja SODI-osilla täytyy olla POW-koodi ja kaupallisilla komponenteilla VAL-koodi. PDM-ohjelmassa osat ja kokoonpanot ovat listattuna valmistuspiirustusten mukaisessa järjestyksessä. Siirto PDM-järjestelmään tapahtuu Vault-järjestelmästä ”Export to PDM” -työkalun avulla. Työkalu siirtää osien ja kokoonpanojen tiedot, jotka kappaleiden valmistuksessa tarvitaan. PDM-siirto toimii ainoastaan silloin, kun osille ja kokoonpanoille on syötetty kaikki tarvittava tieto, eli POW- tai VAL-koodi, materiaali, kappaleen mitat, piirustusnumerot, kappaleen nimet yms.

### 5.6 Käyttöohjeet

Tulipesän 3D-mallin muokkaamisen on tapahduttava oikeassa järjestyksessä turhan työn välttämiseksi. Ensimmäisinä vaiheina ovat tulipesän kopioiminen projektille sekä konfiguraattorin ajo. Nämä ovat tärkeimmät vaiheet projektin alkaessa, eikä niissä kannata tehdä virheitä. Mallin kopioiminen ”Copy tree” -komennolla on tapahduttava oikeasta tiedostosta ja ProjectID-etuliite pitää muistaa laittaa tiedostonimien eroavaisuuden sekä konfiguraattorin toimimisen kannalta. Konfiguraattorin ajon jälkeen on hyvä varmistaa Excelistä, että jokaisen komentorivin perässä on ”OK”-merkki, jolloin rivi on ajettu onnistuneesti 3D-malliin.

Jos projektin tulipesä on vakiointien mukainen, niin tulipesän pitäisi olla geometrialtaan oikean kokoinen, ja muutoksille ei siltä osin ole tarvetta. Monessa tapauksessa korjauksia pitää kuitenkin tehdä, ja nämä olisi hyvä tapahtua oikeassa järjestyksessä. Käyttäjän on hyvä muistaa, että kaikki mitat muuttuvat layout-osasta, jolloin osien mittojen muuttamista ei kannata tehdä osien sketseistä. Jos käyttäjä haluaa poistaa turhat kokoonpanot ja osat mallista 3D-mallin keventämiseksi, niin osat kannattaa poistaa ensimmäisenä. Myös turhat sketsit voi poistaa, mutta tässä pitää olla tarkkana, ettei tärkeitä relaatioita katoa. Tulipesän käyttöohjeita ei julkaista raportissa.

## 5.7 Työn tulokset

Työn tuloksena oli suunnitteluautomaatti, jolla pystytään 3D-mallintamaan CYMIC-kattilan tulipesä oikean kokoiseksi. 3D-mallinnus tehtiin SolidWorks-ohjelmalla ja tuotekonfiguraattori, eli Excel-tiedosto yhdistettiin 3D-malliin AutomateWorks-lisäosalla. Tulipesän suunnitteluautomaatti vaatii kymmenen lähtöarvoa, joiden avulla se luo 3D-mallin tulipesästä. Lisäksi opinnäytetyössä tutkittiin eri 3D-mallinnustekniikoita tulipesän CAD-suunnittelussa. Yhden ison layout-osan käyttäminen tulipesän 3D-mallintamisessa osoittautui parhaimmaksi menetelmäksi sen keveyden ja hallittavuuden perusteella. Yksi layout-osa toimi myös erittäin hyvin suunnitteluautomaatin kanssa.

Tulipesän ajaminen suunnitteluautomaatilla kestää noin viisi minuuttia, jonka jälkeen siinä on tulipesän ääriimitat, putkimäärät, hiekan paluukanava sekä syklonin yhdysputket oikealla paikallaan. Tämän lisäksi mallissa on valmiina tiivistelevyt ja oikea määrä kammioiden yhteitä, sekä suuntaa-antava määrä lohkosauomoista. Tulipesän yhteensopi- vuus PDM- ja PDMS-järjestelmän kanssa testattiin onnistuneesti. Tulipesän alaosaan tehtiin kirjastokokoonpanoja kahdesta eri polttoaineensyöttöaukosta sekä sekundääri-ilma-aukoista, joiden lisääminen oikealle paikalleen on jatkossa nopeaa. Konfiguraattorilla pystytään myös ajamaan kaikkiin tulipesän osiin oikeat materiaalit ja seinämäpak- suudet, sekä kammioihin oikean kokoiset yhteet. 3D-mallin muokkaus onnistuu jatkossa silti täysin samalla tavalla kuin ennen, vaikka se on suunnitteluautomaatilla tehty.

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli CYMIC-kattilan tulipesän CAD-suunnittelun kehittäminen. Tavoitteena oli tutkia eri menetelmiä toteuttaa tulipesän 3D-malli SolidWorks-ohjelmalla. Opinnäytetyössä vertailtiin kirjastomallia sekä parametrista konfiguraattoria, eli tulipesän suunnitteluautomaattia. Suunnitteluautomaatin tekemiseen päädyttiin eri tulipesävaihtoehtojen suuren määrän takia, jotka konfiguraattorin ja syklonin alueen vakiointien avulla pystyttiin hallitsemaan.

Projektin laajuus ei ollut täysin tiedossa sitä aloittaessa, koska työn tekijällä ei ollut kokemusta tulipesän mallinnuksesta eikä konfiguraattorin tekemisestä, jolloin aikataulua oli vaikea ennakoida. Alussa ei siis osattu arvioida kuinka kauan mallin tekemisessä kestää ja kuinka pitkälle tulipesän mallinnusta pystytään tai kuinka kannattavaa sitä on viedä 3D-mallin tarkkuuden osalta. Vakiointeja oli moduulien muodossa hyvin tulipesän päämittojen aikaansaamiseksi, mutta projektin aikana keskusteltiin myös lisävakiointeista tulipesän alaosan aukkojen, yhteiden ja lohkosaumojen osalta. Näillä vakioinneilla saataisiin aikaan paljon hyötyä itse mallinnusprosessiin, mutta myös koko painurungon alueelle.

Työn jakaminen layout-osan, kokoonpanojen ja konfiguraattorin tekemiseen onnistui hyvin. Etenkin layout-osa ja konfiguraattori toimivat todella hyvin keskenään, jolloin tulipesän mallista tuli hyvin joustava ja muokattava. Layout-osan tekeminen ainoastaan yhtenä isona osana osoittautui hyväksi vaihtoehtona konfiguraattorin käytössä, koska relaatiot näiden välillä pysyivät kasassa koko työn suorituksen ajan. Kokoonpanojen tekemisessä nähtiin työn aikana montaa eri vaihtoehtoa esimerkiksi aukkojen liittämässä seinäkokoonpanoihin sekä yhteiden liittämässä kammioihin. Edellä mainituissa tapauksissa, joissa samanlaista kappaletta kopioidaan useaan paikkaan samaan sketsiin pisteisiin, voidaan käyttää apuna työkaluja, jotka nopeuttavat mallin tekemistä, mutta nämä työkalut eivät välttämättä toimi konfiguraattorin kanssa hyvin yhteen. Tämä tuli todettua kantapään kautta muutamaankin kertaan projektin eri vaiheissa. Työkalun käyttö on silti mahdollista konfiguraattorin ajon jälkeen.

Opinnäytetyössä muutamiin asioihin olisi pitänyt kiinnittää enemmän huomiota. Tiedosten nimeämisiä olisi ollut hyvä miettiä jo aikaisemmassa vaiheessa projektia. Nimien

pitäen kaavaa muutettiin vasta aivan projektin loppupuolella, jolloin kaikki tiedostonimet oli luotu, ja muuttamisessa oli iso työ myös konfiguraattorin komentorivien kanssa. Nimistä tuli tulipesän kannalta toimivia, jolloin tapaa voisi käyttää myös muissa kokoonpanoissa. Projektin loppuvaiheessa aikataulu oli rajoittavin tekijä, joka rajasi asioita pois konfiguraattorista. Viimeistely konfiguraattorin kanssa, sekä testaus jäi hyvin vähälle projektin loppupuolella. Paras testaus tulipesän suunnitteluautomaatin kanssa tulee olemaan ensimmäinen projekti, jossa nähdään puutteelliset sekä mahdolliset virheelliset asiat. Ensimmäistä projektia tehdessä muutokset tullaan tekemään suunnitteluautomaatin 3D-malliin, koska esimerkiksi tiivistely on hyvä olla mallissa jo valmiina, sillä ne ovat hyvin samankaltaiset jokaisessa projektissa.

Suunnitteluautomaattia täytyy varmasti päivittää tulevaisuudessa. 3D-mallista jätettiin tarkoituksella pois heti projektin alkuvaiheessa kaksi tulipesän pohjan eri vaihtoehtoa, jotka olisi tärkeä mallintaa tulevaisuuden projekteja ajatellen. Myös eri vakioinnit painerungon alueella saattavat tuoda lisäominaisuuksia suunnitteluautomaattiin. Uuden SolidWorks-ohjelman päivityksen kanssa odotetaan myös muutamaa uutta komentoa, jolla saataisiin apua 3D-mallin muokkaukseen sekä AutomateWorks-lisäosaan. Yksi toivottu uudistus olisi ”insert”-komento, jolla pystyttäisiin lisäämään tai poistamaan sketsiin pisteitä sekä 3D-malliin komponentteja. Tällä saataisiin myös pois kaikki ylimääräiset osat ja kokoonpanot 3D-mallista, jotka ovat siellä isompien tulipesävaihtoehtojen varalta.

## LÄHTEET

AutomateWorks 4 Help. Käyttöohje. 2014. CadWorks Software Oy Ltd.

Huhtinen, E. Kettunen, A. Nurminen, P. Pakkanen. H. Höyrykattilatekniikka. 2000. 5. Helsinki: Edita

Luumi, J. Project Engineer. 2017. Haastattelu. 10.1.2017. Haastattelija Kulju, E. Valmet Technologies Oy. Tampere

Pahl, G. Beitz. W. Koneensuunnitteluoppi. 1986. 2. Porvoo: WSOY

Saarimaa, J. Project Engineer. 2017. Haastattelu. 10.1.2017. Haastattelija Kulju, E. Valmet Technologies Oy. Tampere

Valmet Flow. MyAcademy. Luettu. 4.2.2017. Valmet intranet

Valmet Technologies. Valmet lyhyesti. Luettu 28.1.2017.  
<http://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/liiketoiminnat/sellu-ja-energia/>

Valmet Technologies. Kestävä kehitys Valmetissa. Luettu 28.1.2017.  
<http://www.valmet.com/fi/kestava-kehitys/kestava-kehitys-valmetissa/>

Valmet Technologies. CYMIC boilers. Luettu 30.1.2017  
[http://www.valmet.com/Valmet/products/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-130603-2256E-4D698/\\$File/HPGB\\_B\\_2300\\_027-02.pdf?OpenElement](http://www.valmet.com/Valmet/products/Vault2MP.nsf/BYWID/WID-130603-2256E-4D698/$File/HPGB_B_2300_027-02.pdf?OpenElement)

Valmet Technologies. HYBEX boilers. Luettu 30.1.2017.  
<http://www.valmet.com/products/energy-production/bfb-boilers/>

Valmet Technologies. RECOX recovery boilers. Luettu 30.1.2017  
<https://valmet.my.salesforce.com/sfc/p/#58000000Hp8I/a/580000006CMf/EreRAthfIA dk4BDDiDvUk7LSpOIKj4wyFFqngjz4zE>

Valmet Technologies. Valmet energy images. Luettu 5.4.2017.  
<http://www.valmet.com/media/image-gallery/businesses/energy/>