

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Pekka Salo

Opinnäytetyö

HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelun ja 3D- mallintamisen kehittäminen

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 5/2009

DI Tero Markkanen
Metso Power Oy, valvojana suunnittelija Jari Vuorio

Tekijä	Salo, Pekka
Työn nimi	HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelun ja 3D-mallintamisen kehittäminen
Sivumäärä	86
Valmistumisaika	Toukokuu 2009
Työn ohjaaja	DI Tero Markkanen
Työn teettäjä	Metso Power Oy, valvojana suunnittelija Jari Vuorio

Tiivistelmä

Toimitusaikojen lyhentäminen ja kustannustehokkuuden nosto ovat keinoja, joilla Metso Power Oy pyrkii saamaan etua kattilalaitosliiketoiminnan alati kiristyvässä kilpailussa. Tavoitteisiin pääsemiseksi yrityksen toimintamalleja vakioidaan ja suunnittelua automatisoidaan. Uusia työkaluja kehittämällä on tarkoitus nopeuttaa suunnittelua, säilyttäen kuitenkin sen tarkkuus ja korkea laatu.

Työn tavoitteena on kehittää HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelua ja 3D-mallintamista. Tuotetiedon tehokkaan hyödyntämisen ja ohjelmien välisen yhteistyön avulla pyritään hallinnoimaan paremmin muutoksia ja vähentämään manuaalista tiedonsiirtoa. Työn perussuunnittelun kehityksessä otetaan huomioon rakenteiden tehokkuudet, asennus, valmistus, aikaisemmat kokemukset ja vertailukohteet pyrittäessä kohti vakioituja rakenneratkaisuja. Rungon tarkan perussuunnittelun avulla luodaan pohja 3D-mallintamiselle, jonka tekemiseen työn tuloksena syntyi sitä nopeuttava työkalu.

Työn tuloksena tuotetun 3D-mallintamistyökalun avulla tuotetaan 3D-malliin tarkempaa perussuunniteltua tietoa rakennuksesta. Tiedon avulla ohjataan alihankittua rakennussuunnittelua yrityksen haluamaan suuntaan ja luodaan tilanvarauksia muille suunnitteluosa-alueille, jolloin törmäykset suunnitelmien välillä vähenevät. Työn avulla nykyinen tarjousvaiheen kaksiuulotteinen suunnittelu on rakennuksen osalta askeleen lähempänä sen toteuttamista kolmiulotteisena.

Opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tietoa.

Writer	Salo, Pekka
Thesis	HYBEX boiler plant: development of basic engineering and 3D-modelling of the frame
Pages	86
Graduation time	May 2009
Thesis Supervisor	Tero Markkanen M.Sc.
Co-operating Company	Metso Power Inc, supervisor designer Jari Vuorio

Abstract

By cutting delivery time and improving cost efficiency Metso Power pursues to gain stronger foothold in competitive boiler plant business. To achieve results operation models are standardized and engineering is automated. With new developed tools engineering will be more efficient without influencing on its high quality and accuracy.

The objective of this thesis is to develop basic engineering and 3D-modelling concerning the building frame of the HYBEX-boiler plant. Efficient use and management of product data will decrease the amount of manual data transfers and therefore means easier revision control. In order to manage product data systematically, connections and cooperation features between different engineering software applications have to be improved. When developing basic engineering of the building frame, structural efficiency, installation, manufacturing, company's knowhow and comparison between the delivered projects are taken into consideration on the way towards standardized structural solutions. Accurate basic engineering creates foundation for 3D-modelling of the building, which can be done faster and easier with the tool produced in this thesis.

With this particular 3D-modelling tool, more accurate basic engineering of the building can be transferred to the 3D-model. Information of the building in the 3D-model guides subcontracted structural engineers and shows space reservations to other designers. Due to more accurate information clashes decrease between the plans of different engineering disciplines. This thesis and its results enable the sales phase layout design, which is nowadays mainly done in 2D, one step closer to be carried out in 3D.

Thesis contains confidential information.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on tehty kevään 2009 aikana Metso Power Oy:n rakennusosastolle osana tuotemalliprojektia. Aihe työhön kehittyi harjoittelun aikana kesällä 2008. Kattilalaitoksien rakennuksien 3D-mallintamisen ja perussuunnittelun kehitystyön tarve oli jo yrityksellä tiedossa, mutta konkreettisia tutkimuksia ja niihin liittyviä työkaluja tarvittiin lisää.

Työn aikana olen saanut tutustua yhteen alansa suurimmista kattilalaitostoimittajista ja sen projektivetoiseen toimintamalliin maailmanlaajuisella markkina-alueella. Rakennustekniikan opiskelijana ilman aiempaa kokemusta kattilalaitoksista alkumetreit yrityksessä olivatkin pääosin kattilalaitostekniikan opiskelua. Opinnäytetyön tekemistä auttoi kesällä 2008 Metso Power Oy:llä suorittamani harjoittelu, jonka aikana opin paljon kattilalaitoksista ja niiden rakennuksiin vaikuttavista tekijöistä.

Kiitän toimeksiannosta Metso Power Oy:n rakennusosastoa ja kaikkia sen työntekijöitä ohjauksesta ja neuvoista työn aikana sekä Tero Markkasta työn ohjaamisesta TAMK:n puolelta. Erityiskiitokset osoitan työni valvojalle Jari Vuoriolle sekä tuotemalliprojektin Sasu Mäkiselle ja Timo Honkolalle arvokkaista neuvoista ja vastauksista lukuisiin kysymyksiini.

Lopuksi kiitän vanhempiani koko opiskelujeni aikaisesta tuesta ja kannustuksesta sekä osoitan erityiskiitoksen avovaimolleni Emilille korvaamattomasta henkisestä tuesta.

Tampereella 1.5.2009

Pekka Salo

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	7
2	Toimintaympäristö	9
2.1	Metso Power Oy	10
2.2	MW-Power Oy	11
2.3	Tuotteet.....	12
2.3.1	HYBEX-kerrosleijukattila	12
2.3.2	CYMIC-kiertoleijukattila	17
2.3.3	RECOX-soodakattila	18
2.4	Tuotemalliprojekti	20
2.4.1	Painerunkosimulaattori	22
2.4.2	Laitossuunnittelun kehitys	22
3	Tuotetieto.....	24
3.1	Tuotemalli.....	25
3.2	Tuotemallintaminen.....	27
3.3	Tuotetiedonhallinta.....	28
4	Projektin eteneminen kohdeyrityksessä	31
4.1	Projekti rakennusosastolla	31
4.2	Tarjousvaihe	34
4.3	Toteutusprojekti.....	34
5	Rungon perussuunnittelu	36
5.1	Periaatteet	36
5.2	Teräsrakennesuunnittelu.....	38
5.3	Perussuunnittelun nykytila	41
5.4	Kattilapukin perussuunnittelu.....	42
5.4.1	Sijainti.....	43
5.4.2	Profiilit ja liitokset	46
6	Rungon 3D-mallintaminen	50
6.1	PDMS	50
6.2	Parametrinen suunnittelu	53
6.3	Parametrinen rakennus	54
6.3.1	Yleiset periaatteet	55
6.3.2	Ohjelmistotekninen toteutus	57
6.4	Kattilapukin 3D-mallinnus	61
7	Tulosten tarkastelu.....	73
8	Johtopäätökset	74
	Lähteet.....	75
	Liitteet	77
	Liite 1: Aksonometriakuvia 3D-mallista parametrisen rakennuksen tyypeistä	77
	Liite 2: Taulukko kattilapukin vertailukohteiden arvoista.....	84
	Liite 3: Parametrisen rakennuksen sisältävä makro (CD).....	85
	Liite 4: Parametrien käyttöohjeet ja sanalliset selitykset	86

Termit ja niiden määritelmät

2D	Kaksiulotteinen esitystapa (2-Dimensional)
3D	Kolmiulotteinen esitystapa (3-Dimensional)
Aksonometriakuva	Perspektiivikuva
AutoCad	Autodesk'in yleiskäyttöinen CAD-ohjelmisto
BFB	Kerrosleijukattila (Bubbling Fluidized Bed)
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (Computer Aided Design)
CFB	Kiertoleijukattila (Circulating Fluidized Bed)
CYMIC	Metso Power Oy:n tuotenimi kiertoleijukattilalle
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (Enterprise Resource Planning)
HYBEX	Metso Power Oy:n tuotenimi kerrosleijukattilalle
Layout	Pohjapiirustus
LVIS	Lämpö, Vesi, Ilmanvaihto, Sähkö
Makro	Käskyjono jolla ohjataan sovellusohjelman toimintaa
PDM	Tuotetiedon hallinta (Product Data Management)
PDMS	AVEVA:n prosessi- ja laitossuunnitteluohjelmisto (Plant Design Management System)
RECOX	Metso Power Oy:n tuotenimi soodakattilalle

1 Johdanto

Toimittaessa maailmanlaajuisella markkina-alueella kova kilpailu on yksi suurimmista haasteista kattilalaitostoimittajille. Kovan kilpailun edesauttamana tarjousvaiheen hallinta ja siinä menestyminen ovatkin elinehtoja alalla toimiville yrityksille.

Kilpailu ajaa yritykset kehittämään toimintamallejaan sekä pyrkimään kohti uusia innovaatioita. Yleisinä päätavoitteina ovatkin toimitusajan lyhentäminen sekä kustannustehokkuuden nostaminen, jotka parantavat mahdollisuuksia tarjousprosessissa alasta riippumatta. Tavoitteisiin pääsemiseksi tehostetaan ja automatisoidaan suunnittelua sekä kehitetään tuotetiedonhallintaa ja vakioidaan yrityksen tuoterakennetta.

Toisin kuin tavanomaisessa rakennussuunnittelussa, joitain poikkeuksia lukuun ottamatta, arkkitehdin osuus kattilalaitosprojekteissa on varsin vähäinen. Rakennuksen suunnitteluun vaikuttavat tekijät muodostuvat pääasiassa laitoksen prosessien vaatimien laitteiden ja rakenteiden tarpeen mukaan. Projektinjohtourakoinnissa korostuu perussuunnittelun tärkeys rakennesuunnittelijan ohjauksena sekä vuorovaikutus eri alojen suunnittelijoiden kesken. Valtavan laite-, putkisto- ja kanavamäärän takia tietokoneavusteinen suunnittelu toteutetaan 3D-ohjelmistoilla.

Työssä tutkitaan HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ja toteutustapoja osana Metso Power Oy:n tuotemalliprojektia. Saatujen tulosten avulla tuotetaan PDMS-ohjelmaan työkalu, joka mahdollistaa tarjousvaiheessa rakennuksen pääosien 3D-mallintamisen automatisoidusti parametreja käyttäen. Rakennuksen vaatiman tilantarpeen tuottaminen 3D-malliin jo tarjousvaiheessa vähentää törmäyksiä laitos-, painerunko-, automaatio- ja LVIS-suunnittelun kanssa, joiden suunnittelutyö on jo pitkällä, ennen kuin ensimmäiset suunnitelmat rungosta tulevat alihankitulta rakennesuunnittelijalta.

Tutkimuksen perusteella vakioitujen rakenteiden ja runkotyyppien avulla ohjataan rakennesuunnittelijoita yrityksen haluamaan suuntaan sekä saadaan tarkempaa 3D-materiaalia tarjouskäyttöön.

Työn rakenne

Johdannon jälkeisessä luvussa käsitellään työn toimintaympäristöä. Siinä esitellään työn toimeksiantajayritys ja sen työn kannalta tärkeimmät tuotteet. Tuotteiden toimintaperiaatteisiin luodaan myös periaatteellinen katsaus, niiden vaikuttaessa eniten työssä käsitelyihin rungon perussuunnitteluun ja 3D-mallinnukseen. Toisen luvun lopuksi esitellään tuotemalliprojekti työn kannalta tärkeimpine aliprojekteineen. Tuotemalliprojekti on yksi yrityksen uusimmista kehityshankkeista, ja tämä työ on tehty osana sitä. Tuotemalliprojektin esittely luo tavoitteidensa kautta viitekehyksen luvussa kolme käytävään tuotetietoon.

Tuotetiedon yhteydessä esitellään tavoitteita tuotetiedon järjestelemisestä ja hyödyntämisestä. Tuotetiedon hallinnan kehittäminen ja sen tehokas hyödyntäminen tulee ymmärtää, jotta voidaan paremmin kehittää tämän työn kaltaisia työkaluja tiellä kohti automatisoitua suunnittelua.

Luvussa neljä esitellään projektin eteneminen kohdeyrityksessä painottuen rakennusosastoon sekä työn vaikutusalueisiin. Työn kannalta projektin etenemisen tunteminen antaa kuvan siitä, mihin työllä on tarkoitus vaikuttaa ja mitä hyötyjä siitä voidaan saada.

Rungon perussuunnittelua käsitellään luvussa viisi. Aluksi käydään läpi sen periaatteita, joiden jälkeen esitellään käytettävien rakenteiden ja materiaalien ominaisuuksia. Luvun lopuksi esitellään perussuunnittelun nykytila ja esimerkin muodossa kattilapukin perussuunnittelu. Rungon perussuunnittelun yhteydessä käytyt asiat luovat pohjan luvussa kuusi esiteltävälle rungon 3D-mallintamiselle.

Rungon 3D-mallintamisen sisältävä luku kuusi esittelee ensimmäiseksi työssä 3D-mallintamiseen käytetyn ohjelman ja periaatteet siihen sisältyvästä parametrisesta suunnittelusta. Näiden jälkeen luvussa käsitellään työn tuloksena tuotettua työkalua kokonaisuudessaan. Luvun kuusi lopuksi esitellään luvussa viisi perussuunnittelun kattilapukin 3D-mallintaminen. Työn lopuksi luvussa seitsemän tarkastellaan työn tuloksia ja luvussa kahdeksan tehdään johtopäätöksiä tehdyn tutkimuksen perusteella.

2 Toimintaympäristö

Lukuisten yritysfuusioiden jälkeen kattilalaitoksien maailmanlaajuisella markkina-alueella toimii ainoastaan muutamia suuria kattilalaitostoimittajia. Suurimpia Metso Powerin kilpailijoita ovat yhdysvaltalainen Foster Wheeler, japanilainen Mitsubishi sekä itävaltalaiset Andritz ja Austrian Energy & Environment. Toimiminen suhdanneherkässä energiateollisuudessa on ajanut suuret toimittajat panostamaan elinkaariajattuun, mikä ilmenee investoinneista huolto- ja varaosapalveluiden tarjonnan kehitykseen.

Kattiloiden pääperiaatteet ovat pysyneet jokseenkin samoina, joten kilpailuetua haetaan esimerkiksi lyhyemmästä toimitusajasta ja helpommasta huollettavuudesta. Kustannustehokkuuden keinona on myös selvästi havaittavissa siirtyminen edullisen työvoiman maihin, niin suunnittelun, tuotannon kuin materiaalinkin hankinnan osalta.

Kattilalaitoksien monimutkaisuuden takia laitoksista tulee hyvin räätälöityjä asiakkaan toiveiden ja vaatimusten mukaisesti. Tällöin ei tavoitetta toimitusajan lyhentämisessä ja kustannusten pienentämisessä ole mahdollista täyttää. Yleisenä kehityssuuntana onkin siirtää kattilalaitoksia tuotemalleiksi, joissa räätälöintiä on osaksi rajoitettu. Täyden päätösvallan sijaan asiakkaalle tarjotaan yrityksen moduloidusta tuoterakenteesta valittavia vaihtoehtoja. Moduulit tuoterakenteeseen valitaan muun muassa niiden toimivuuden, huollettavuuden, toimitusajan ja asennuksen perusteella, jolloin toimitusajan lyheneminen saadaan yhdistettyä korkeaan laatuun.

Siirtyminen 3D-suunnitteluun sen tarjoamien etujen ansiosta alkoi jo vuosia sitten, joten lienee tarpeetonta puhua tarkemmin piirtopöytien häviämisestä ja tietokoneavusteisen 2D-suunnittelun siirtymisestä 3D-suunnitteluun. 3D-CAD-suunnittelu itsessään kehittyy kovaa vauhtia, ja sen tarjoamien uusien työkalujen hyödyntäminen tehokkaasti on askel kohti suunnittelun automatisointia.

Tämän opinnäytetyön tavoite on kehittää HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelua ja 3D-mallinnusta. Työssä tarkastellaan kattilalaitosta rakennustekniseltä kannalta ja käsitellään muiden suunnittelualojen kokonaisuuksia vain rakennukseen vaikuttavilta osilta. Rakennushankkeissa tavanomaisen arkkitehtisuunnittelun sijaan kattilalaitosprojekteissa arkkitehti toimii lähinnä kuorisuunnittelijana. Kattilalaitoksen rungon päämitat ja

rakenteet määräytyvät täysin kattilalaitoksen prosessien vaatimien laitteiden ja järjestelmien mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että ennen kuin voidaan kehittää koko kattilalaitosrakennuksen vakiointia kattilatyyppeihin mukaan, täytyy layout-, laitos- ja painerunkosuunnittelun olla hyvin pitkälle vakioitua.

Rakennuksen osuus kattilalaitoksen kustannuksista on noin X - XX %. Onkin siis ehdottoman tärkeää kehittää rakennuksen tarjousvaiheen perussuunnittelua, joka asettaa pohjan rakennustehtäväpiirustuksille, joiden perusteella teräsrakennesuunnittelija rungon suunnittelee. Alustavan perussuunnittelun rungon saaminen 3D-malliin jo tarjousvaiheessa antaa suunnitteluaan paljon 3D-mallissa tekeville laitos-, painerunko- ja LVIS-suunnittelijoille selkeän tilanvarauksen rakennuksesta. Näin saadaan vähennettyä suunnitelmien törmäyksiä ja rakennettua pohjaa myös layout-suunnittelun vakioinnille.

Tuotemallipohjainen 3D-suunnittelu parantaa oleellisesti suunnitelmien havainnollisuutta sekä ymmärrettävyyttä, ja sen sisältämästä tiedosta hyötyvät projektin kaikki osapuolet. Tarjousvaiheen hinnoittelun helpottamiseksi tuotemallista saadaan myös mitta- ja määrätiedoista johdettuja kustannusarvioita. (Penttilä ym. 2006, 13.)

2.1 Metso Power Oy

Metso Power Oy kuuluu kansainväliseen Metso-konserniin, joka työllistää noin 29 000 työntekijää yli 50 maassa. Metson liikevaihto vuonna 2008 oli 6,4 miljardia euroa. Metso toimii maanrakennus-, kaivos-, voimantuotanto-, öljy- & kaasu-, kierrätys- sekä massa- ja paperiteollisuuden aloilla. Konserni on jaettu kolmeen liiketoiminta-alueeseen, jotka sisältävät edellä mainitut teollisuudenalat. Liiketoiminta-alueisiin kuuluu Kaivos- ja maanrakennusteknologia, Energia- ja ympäristöteknologia ja Paperi- ja kuituteknologia. (Metso 2009a.)

Power vastasi aiemmin Aker-konsernin kattilalaitosliiketoiminnasta, kunnes vuoden 2007 alussa voimaan tulleen yritysoston kautta Powerista tuli osa Metsoa. Oston ajankohtana Metson liiketoiminta-alueet olivat Metso Automation, Metso Minerals ja Metso Paper, jonka yhdeksi liiketoimintalinjaksi Metso Power integroitiin. Kaupan taustalla oli Metson tavoite pystyä kokonaisvaltaisiin toimituksiin sellu- ja paperiteollisuudessa toi-

miville asiakkailleen sekä pystyä tarjoamaan tuotteita energiantuotannossa toimiville asiakkailleen. (Metso 2009a.)

Nykyisessä organisaatorakenteessa Metso Power kuuluu Energia- ja ympäristöteknologia liiketoiminta-alueeseen, johon kuuluvat myös Recycling- ja Automation-liiketoimintalinjat. Yhdessä nämä kolme liiketoimintalinjaa vastaavat Metson voimantuotannon, automaation, metallien kierrätysratkaisujen sekä elinkaaren kattavien palveluiden tuottamisesta. (Metso 2009a.)

Metso Power Oy vastaa Metso-konsernin kattilaliiketoiminnasta toimittaen kattilalaitoksia sellu- ja paperiteollisuudelle sekä voimantuottajille. Se on yksi maailman johtavista ympäristöystävällisten poltto- ja talteenottoratkaisujen toimittajista, jonka tuotteita ovat sooda- ja voimakattilat, haihduttimet, ympäristöjärjestelmät sekä Service-palvelut. Metso Power työllistää noin 1800 henkeä, joista puolet työskentelee Suomessa. Yrityksen muut päätoimipaikat sijaitsevat Ruotsissa, Yhdysvalloissa ja Brasiliassa. Metso Powerin päämarkkina-alueet ovat Eurooppa, Skandinavia, Etelä- ja Pohjois-Amerikka sekä Kaakkois-Aasia. (Metso 2009a.)

2.2 MW-Power Oy

MW Power Oy on Metson ja Wärtsilän vuoden 2009 alussa perustama yhteisyritys, josta Metso omistaa 60 % ja Wärtsilä 40 %. Yhdistymisen suurimmat yritykset ovat MW Power Oy (entinen Noviter Oy) ja MW Biopower Oy (entinen Wärtsilä Biopower Oy). MW Power Oy työllistää noin 200 henkeä ja sen päätoimialueet ovat Suomessa, Ruotsissa, Venäjällä sekä Baltian maissa. Suurien omistajayhtiöidensä ansiosta MW Powerin myynti- ja huoltoverkosto kattaa koko Euroopan. Yhteisyritys on erikoistunut pieniin ja keskisuuriin voimakattiloihin, ja sen tärkeimpinä asiakkaina ovat kunnat, laitokset, yksityiset voimantuottajat ja prosessiteollisuus. Uusiutuvia energianlähteitä polttoaineina käyttävien kattiloiden ansiosta MW Powerin tuotteet sopivat hyvin markkina-alueen kiristyviin päästörajoitusten. (MW Power Oy)

MW Power ei kilpaile samoilla markkinoilla Metso Powerin kanssa, sillä Metso Powerin toimittamat voimakattilat ovat suurempaa kokoluokkaa. Toisaalta päästörajoitusten

ja suurten investointikustannuksen ajamana, voimakattiloiden koot ovat asiakkaiden toiveissa pienentymässä. Yhteisyrityksen tarkoituksena onkin vahvistaa yhtiön osaamista sekä asemaa pienten ja keskisuurten voimakattiloiden markkinoilla.

2.3 Tuotteet

Metso Powerin tuotteita ovat sooda- ja voimakattilat, haihduttimet, ympäristöjärjestelmät sekä Service-palvelut. Pääkattilatyyppejä on kolme: soodakattila (RECOX) ja kaksi voimakattilaa (HYBEX ja CYMIC). Tässä työssä käsitellään uuskattiloita, joista erityisesti kerrosleijuteknologiaan perustuvaa HYBEX-kattilalaitosta, joka on toinen Metso Powerin voimakattilatyypeistä. Muut yrityksen tuotevalikoimaan kuuluvat kattilatyypit esitellään myös lyhyesti niiden liittyessä työhön jatkotutkimuksien yhteydessä.

Kattilalaitoksien prosesseja ei tarkemmin tuotteista esitellä, vaan keskitytään laitoksien rungon mitoitukseen vaikuttaviin toiminnallisiin osiin. Haihduttimet, ympäristöjärjestelmät ja Service-palvelut jätetään työssä esittelemättä, niiden työhön liittyvän vähäisen vaikutuksen takia. Tosin rakennuksen perussuunnittelussa Service-palvelut huomioidaan pyrittäessä helppoon huollettavuuteen.

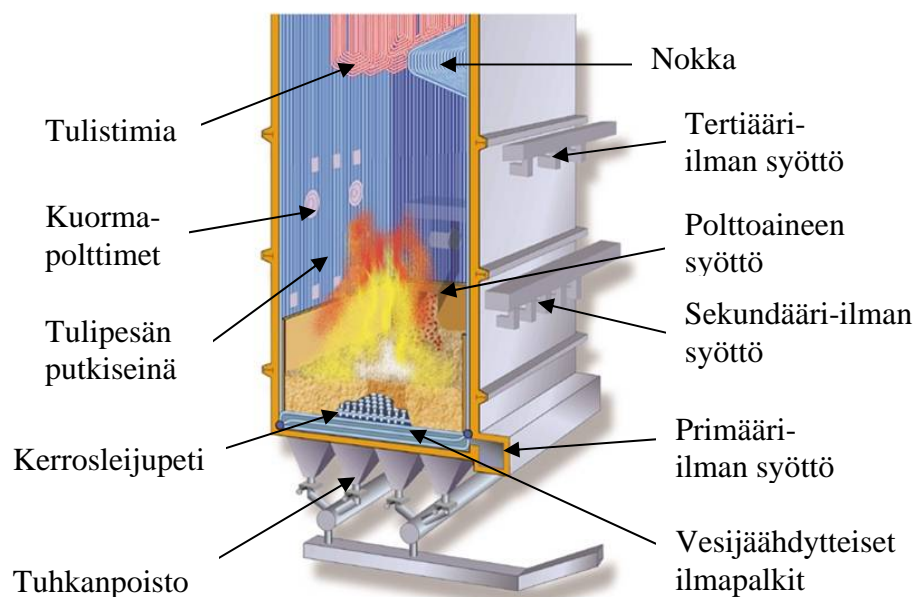
2.3.1 HYBEX-kerrosleijukattila

HYBEX on tuotenimi Metso Power Oy:n kerrosleijuteknologiaan perustuvalla voimakattilalle, eli BFB-kattilalle (Bubbling Fluidized Bed). Kerrosleijukattilaa käytetään voimantuotannossa ja se on suunniteltu polttoaineille, joilla on korkea tuhkapitoisuus, vaihtelevat palamisarvot ja kosteus. Polttoaineina voidaan käyttää erilaisia biopolttoaineita kuten sahanpurua, hakkuujätettä, kuorta, turvetta ja lietettä. Kerrosleijuteknologia mahdollistaa myös eri polttoaineiden rinnakkaispolton. (Metso 2009b, 2-3.)

HYBEX-kattiloissa voidaan polttaa myös lämpöarvoltaan korkeaa hiiltä, kuitenkin enintään 30 % polttoaineen määrästä, sillä ne eivät kestä korkeita lämpötiloja. Muihin erityispiirteisiin kuuluu, se että HYBEX-kattiloissa voidaan polttaa myös maakaasua ja öljyä kuormapolttimien avulla. (Alander 2008, 5.)

Juurikin joustavuus polttoaineiden suhteen on tehnyt HYBEX-kattilasta toimivan tuotteen nykyisille markkinoille, joilla polttoaineen hinnan ja saatavuuden takia muutokkyisyys voi olla ainoa tae jatkuvan tuotannon ylläpitämiseksi. Kattilan hyötysuhde riippuu poltettavasta polttoaineesta, mutta on tyypillisesti 90 % luokkaa. Polttoaineen palaminen saavutetaan kerrosleijukattiloissa yli 99 % tehokkuudella ja siinä syntyvän kuivan savukaasun happipitoisuus on alle 4 %. Lämpötehoita ne ovat 10 - 300 MW_{th} ja Metso Power on muutokattilakohteet mukaan lukien toimittanut niitä yli 160 maailmalaajuisesti. (Metso 2009b, 2 – 3.)

Kerrosleijuteknologia perustuu Metson kehittämään vesipalkkiarinaan, jossa tulipesään puhalletaan ilmaa vesijähdytteisissä ilmapalkeissa olevien primääri-ilmasuuttimien kautta. Ilma saa tulipesän pohjalla olevan hiekkapediksi kutsutun vajaan metrin hiekkakerroksen leijumaan. Kattilan käynnistyksen yhteydessä hiekkakerros kuumennetaan starttipolttimien avulla, sillä sen tehtävä on mahdollistaa polttoaineen tehokas kuivuminen ja syttyminen. Pienimmät polttoainepartikkelit palavat jo hiekkapedin yläpuolella, kun taas jäännöshiili ja suuremmat polttoainepartikkelit sen sisällä. Tuhka ja palamaton aines putoavat tulipesän alapuolisiin tuhkasuppiloihin ilmapalkkien välisistä arinaaukoista, joiden pinta-ala tulipesän lattiasta on noin 30 %. Tuhkasuppiloista tuhka ja palamaton aines siirretään kokoojakuljettimilla tuhkasäiliöihin odottamaan kuljetusta pois laitokselta. Edellä mainitut toiminnalliset osat esitetty kuviossa 1. (Metso 2009b, 2 - 3.)



Kuvio 1. HYBEX-kattilan tulipesä (muokattu lähteestä Metso 2009e, 4.)

HYBEX-kattilalaitos on kokoluokasta riippuen tyypillisesti 20 - 60 metriä korkea. Pie-nimmissä kerrosleijukattiloissa kattilan painerunko on altatuettu, jolloin sen kuormat kantaa kattilapukki. Näin ollen myös runko lämpölaajenee ylöspäin. Keskikokoiset ja suuret kerrosleijukattilat ovat riiputettuja kattilapalkistosta, jolloin niiden painerunгон lämpöliike tapahtuu alaspäin.

Toimintaperiaate

Tarkemmin eri HYBEX-kattilatyyppejä käsitellään kohdassa rungon perussuunnittelu, mutta kattilan toimintaperiaate ja rakennuksen kannalta tärkeimmät osat esitetään tässä yleisellä tasolla, sillä niillä on suuri vaikutus laitoksen rungon suunnitteluun. Onkin siis tärkeää tietää HYBEX-kattilalaitoksen peruseriaatteet ja välttämättömät toiminnalliset osat, sillä rungon suunnittelussa ne asettavat suurimmat vaatimukset kannatuksille ja tilantarpeelle.

Periaatteellisella tasolla kaikki yrityksen kattilalaitokset sisältävät samoja toiminnan kannalta tärkeitä kokonaisuuksia, ja niiden peruseriaate energian hyödyntämisessä on jotakuinkin sama. Toimintaperiaate esitelläänkin vain työtä koskevan HYBEX-kerrosleijukattilan osalta. Tärkeimmät toiminnalliset osat esitellään kuitenkin kuvien avulla kaikissa kattilatyypeissä.

HYBEX-kerrosleijukattila on höyrykattila, ja sen energiantuotto perustuu palamisesta höyryyn sidotun energian hyödyntämiseen. Kattilaan syötetään polttoainetta ja tarvittava määrä esilämmitettyä palamisilmaa, jolla säädellään palamisreaktio ja virtaukset optimaaliseksi prosessin kannalta. Kattilaan syötetystä vedestä tuotetaan höyryä, joka tulistetetaan, eli lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan.

Tulistettuun höyryyn sitoutunut lämpöenergia hyödynnetään syöttämällä se turbiiniin, jossa se paine- ja lämpötilaeron vaikutuksesta paisuu. Näin lämpöenergia muuttuu turbiinia pyörittäväksi liike-energiaksi, joka taas generaattorin avulla muutetaan sähkö-energiaksi. Turbiinin läpivirrannutta höyryä voidaan käyttää kaukolämmönvaihtimilla tuottamaan kaukolämpöä, tai sitä voidaan hyödyntää suoraan lämmitykseen ja muihin tarpeisiin. Asiakkaan tarpeiden mukaisesti energian hyödyntäminen vaihtelee ja esimerkiksi teollisuuden voimalaitokset mitoitetaan prosessin höyryntarpeen mukaan, jolloin sähkö on sivutuote. (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 7 - 15.)

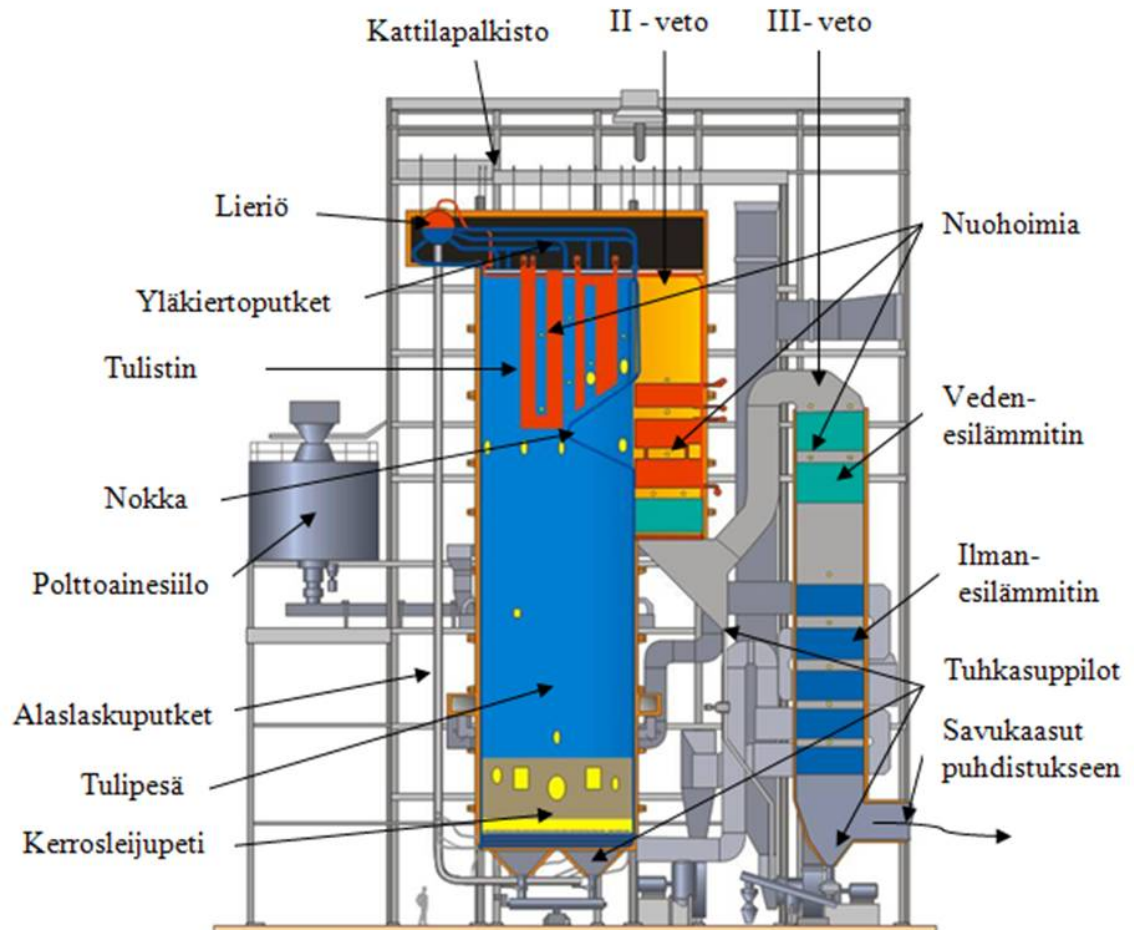
Palamisprosessissa polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia saadaan muutetuksi savukaasujen lämpöenergiaksi. Veden höyrystämiseen ja tulistamiseen sekä ilman esilämmitykseen tarvittava energia saadaan siis savukaasuista. Savukaasuihin sitoutunut energia pyritään hyödyntämään mahdollisimman tarkasti ja sitä hyödynnetäänkin useilla eri lämmönvaihtimilla. Toimintaperiaatteen kannalta tärkeitä lämmönvaihtimia ovat tulistimet, höyrystimet, vedenesilämmittimet sekä ilmanesilämmittimet. (Huhtinen ym. 2000, 7 - 15.) Lämmönvaihtimien sijoittelua on esitetty sivulla 16 kuviossa 2.

Höyryä hyödynnetään myös kattilan ylläpidollisiin tarpeisiin, mistä esimerkkinä ovat myös rakennuksen päämittoihin vaikuttavat nuohoimet. Nuohoimia tarvitaan kattilalaitoksessa, jotta lämmönsiirtimet pysyvät puhtaina savukaasujen tuhkasta ja palamattomasta aineksesta, jotka putkiin tarttuessaan toimivat eristeenä ja näin ollen huonontavat hyötysuhdetta energian talteenotossa. Nuohoimet ovat yksinkertaistettuna suuttimista höyryä puhaltavia putkia, jotka liikkuessaan edestakaisin lämmönsiirtimien välissä puhdistavat kattilalaitoksen tärkeitä lämmönsiirtopintoja. Nuohoimien sijoittelu ei näy selvästi sivun 16 kuviossa 2, sillä ne sijaitsevat kohtisuoraan leikkausta vastaan. Kuviossa 2 nuohoimet esitetään palloina lämmönvaihtimien väleissä.

Metso Power Oy:n HYBEX-kattilalaitokset ovat rakenteeltaan luonnonkiertoisia lieeriökattiloita. Tämä tarkoittaa sitä, että veden höyrystyminen tapahtuu kattilan tulipesän seinillä, jotka ovat rakenteeltaan ilmatiiviitä putkiseiniä. Ollessaan nestettä kevyempää höyry nousee tulipesän seinän putkia tulipesän katolla sijaitsevien yläkiertoputkien kautta lieriöön. Lieriössä höyry nousee ylöspäin, josta se johdetaan tulistimien kautta turbiinille. Vesi vastaavasti painuu lieriön pohjalle ja sieltä painovoimaisesti alaslaskuputkia pitkin tulipesän pohjalle, jossa se jaetaan seinille höyrystymään. Tapauskohtaisen höyryntarpeen mukaan voidaan kattilalaitokseen sijoittaa tulipesän seinien höyrystimien lisäksi myös erillinen lisäkeittoputkisto.

Tapauskohtaiset arvot ja asiakkaan tarpeet vaikuttavat myös tulistimien, veden- sekä ilmanesilämmittimien määrään ja sijoitteluun. Kuten kuvioista 2 nähdään, savukaasujen kulkua tulipesän yläosassa ohjataan nokan avulla, joka suojaa sen takana olevia tulistimia kuumimmalta säteilylämmöltä. Tulipesän katon kautta savukaasut kulkevat II-vedossa tapauskohtaisesti sijaitsevien lisäkeittoputkien, tulistimien ja vedenesilämmittimien läpi. Tämän jälkeen savukaasut kulkevat III-vedossa sijaitsevien veden- ja il-

manesilämmittimien läpi, jonka jälkeen savukaasu puhdistetaan kohdekohtaisesti erilaisilla suotimilla ja pesureilla ennen sen päätymistä savupiippuun.

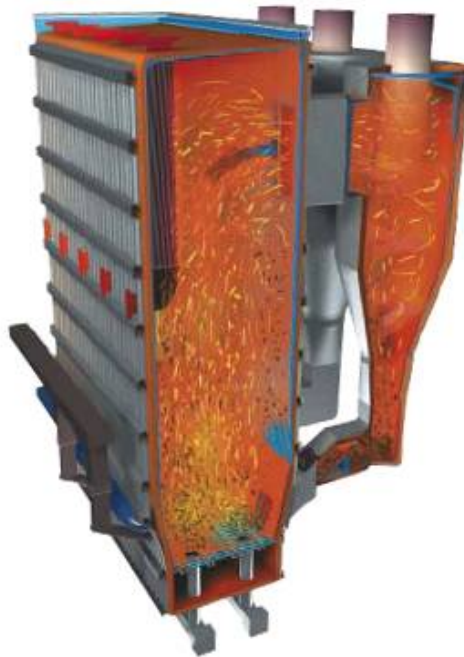


Kuvio 2. Riiputetun HYBEX-kattilan sivuleikkaus selityksineen (muokattu lähteestä Metso 2009e, 3.)

Kuviossa 2 tulistimet on esitetty punaisella, vedenesilämmittimet vihreällä ja ilmanesilämmittimet sinisellä värillä. Kuviossa II-veto on keltaisella pohjalla ja III-veto harmaalla pohjalla. Sininen väri esittää putkistossa kiertävää keitettävää vettä ja punainen väri putkistossa kiertävää tulistettavaa höyryä. Samat värien selitykset pätevät myös muiden kattilatyypin kuvioissa 4 ja 5 (sivut 18 ja 19).

2.3.2 CYMIC-kiertoleijukattila

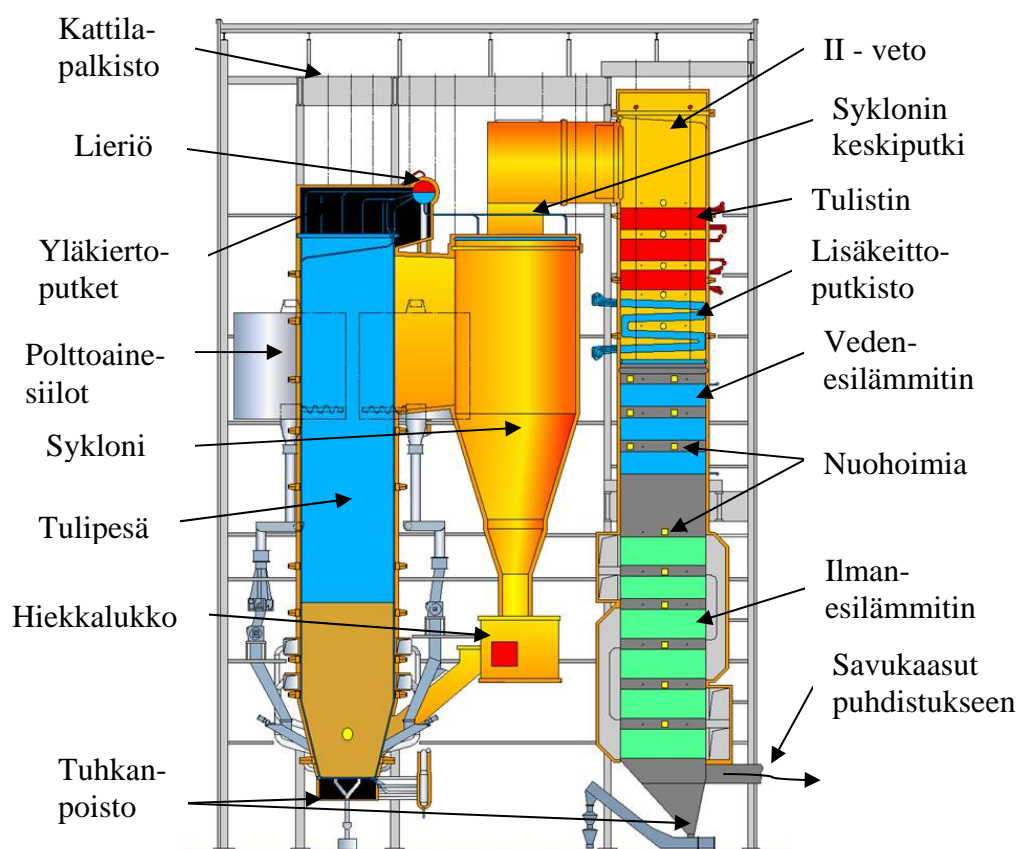
CYMIC on tuotenimi Metso Power Oy:n kiertoleijuteknologiaan perustuvalla voimakattilalle, eli CFB-kattilalle (Circulating Fluidized Bed). Polttoaineena voidaan biomassan kanssa käyttää fossiilisia polttoaineita, kuten hiiltä sekä ruskohiiltä, koska CFB-kattilalaitos kestää suurempia lämpötiloja kuin BFB-kattilalaitos. Vaihtoehtona kiertoleijukattilassa on myös pelkän hiilen polttaminen. Hankinta- ja huoltokustannukset ovat kuitenkin CYMIC-kattilalaitoksilla korkeammat, eikä niillä voi polttaa korkean kosteuspitoisuuden omaavia polttoaineita. Korkeiden lämpötilojen vuoksi kiertoleijukattilalla saavutetaan kuitenkin laajempi tehoalue, ja lämpöteho onkin yleisesti 50 - 600 MW_{th}. Metso Power on toimittanut CYMIC-kattilalaitoksia maailmanlaajuisesti noin 60 kappaletta. (Metso 2009c, 2 – 3.)



Kuvio 3. CYMIC-kattilan kiertoleijutekniikan periaate (Metso 2009f, 4.)

CYMIC-kattilassa hiekka ja sen mukana polttoaine kiertävät kuvion 3 mukaisesti tulipesän pohjalta syklonin pohjalle ja hiekkalukkoon, josta ne palautetaan takaisin kierto. Hiekan kierto tehostaa polttoaineen palamista ja tasaa kattilan lämpötilaeroja, jolloin myös palamishyötysuhde kasvaa. (Metso 2009c, 2 – 3.)

Suurin ero kerrosleijukattilaan on kuvioissa 3 ja 4 esitetystä hiekan käytöstä ja sen perusteella tarvittavista sykloneista, jotka erottavat savukaasut hiekasta ja palamattomista polttoainepartikkeleista. Hiekka ja palamattomat polttoainepartikkelit erottuvat savukaasuista painonsa perusteella, virratessaan alaspäin sykklonia ympäri. Savukaasut nousevat syklonin keskiputkea pitkin ylös matkallaan II-vetoon. Sykloneita on suurissa kattiloissa useita, joten tulipesän leveyskin kasvaa suureksi. Savukaasut kulkeutuvat syklonin keskiputken kautta II-vetoon, jossa niiden sisältämää lämpöenergiaa hyödynnetään tulistimilla sekä veden- ja ilmanesilämmittimillä.

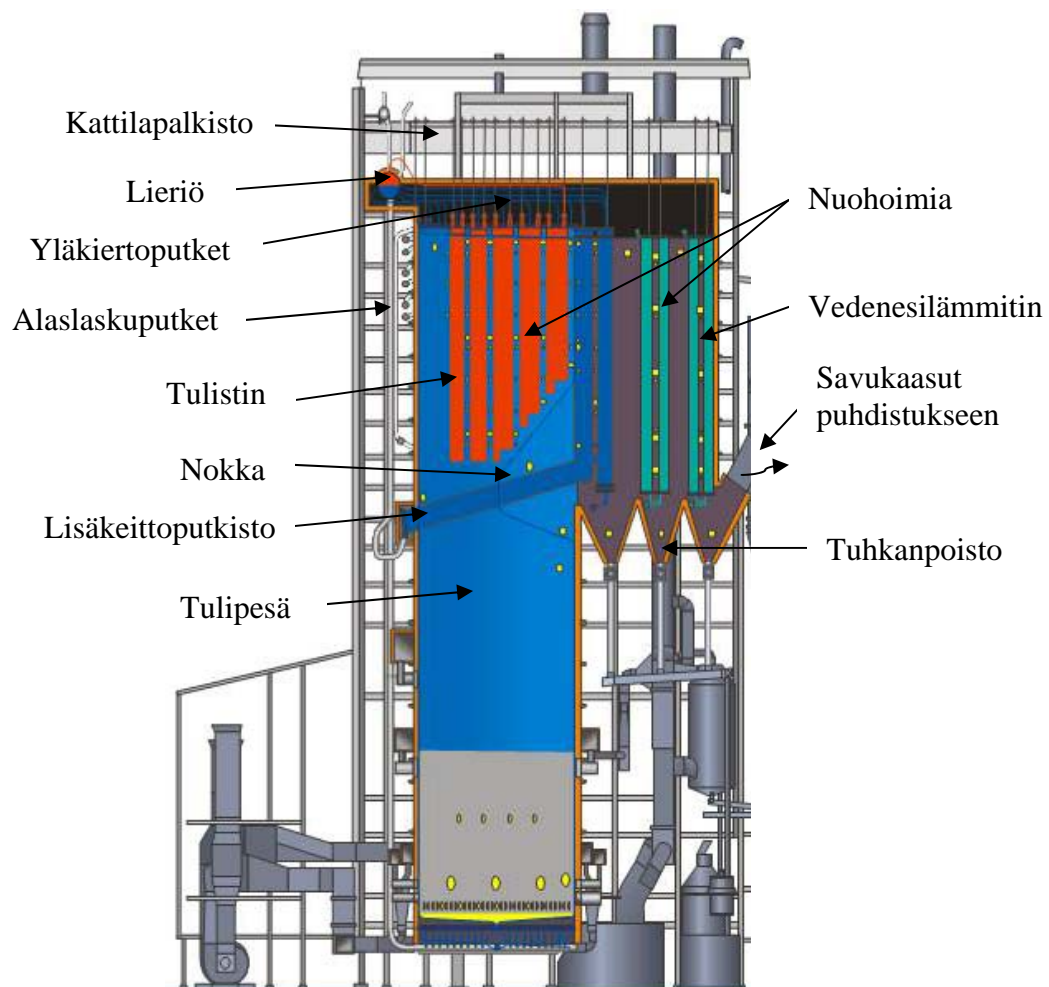


Kuvio 4. CYMIC-kattilan sivuleikkaus selityksineen (muokattu lähteestä Metso 2009f, 6.)

2.3.3 RECOX-soodakattila

RECOX on tuotenimi Metso Powerin soodakattilalle, jota toimitetaan asiakkaille paperi- ja selluteollisuudessa. Kuviossa 5 esitetty soodakattila, eli talteenottokattila, on oleellinen osa kemikaalikiertoa sellun valmistuksessa. Polttoaineena soodakattilassa käytetään sellun keiton yhteydessä syntyvää mustalipeää, joka on merkittävin biopolttoaine

Suomessa. Soodakattilan tärkein tehtävä on sellun keittokemikaalien kierrätys ja mustalipeän poltosta saadun energian talteenotto. Poltossa vapautuva lämpöenergia käytetään höyryn tuottamiseen. Höyry voidaan käyttää sellutehtaan prosessihöyrynä lämmittämiseen, ja lisäksi höyrystä saadaan turbiinien avulla sähköä. Kemikaalien ja lämmön talteenotto ovat periaatteessa toisistaan riippumattomia prosesseja, mutta ovat sellutehtaiden suuren energiankulutuksen ja keittokemikaalien korkean hinnan takia yhdistettyinä. (KnowPulp 2008)



Kuvio 5. RECOX-kattilan sivuleikkaus selityksineen (muokattu lähteestä Kumpulainen 2008, 36.)

Sellutehtaiden tuotantokapasiteetit ovat olleet jatkuvassa kasvussa, mikä on johtanut myös suurempiin soodakattiloihin. Suurimmat Metson toimittamat soodakattilat on toimitettu noin miljoona tonnia sellua vuodessa tuottaviin tehtaisiin. Tällöin soodakattilalaitoksen korkeus on jo noin 80 metriä, ja se on suunniteltu polttamaan kuiva-ainetta yli 6 500 tonnia vuorokaudessa. Laitosten koot ovat kasvaneet merkittävästi, sillä vuonna

1933 isoimmat soodakattilat suunniteltiin polttamaan 120 tonnia kuiva-ainetta vuorokaudessa. (Metso 2009d, 2 - 3.)

Soodakattila on Metso Powerin toimittamista kattilalaitoksista suurin, ja sen kattila on aina riiputettu kattilapalkistosta, joten sen painerunko lämpölaajenee alaspäin. Metso Power tarjoaa asiakkailleen myös yhdistettyä soodakattilaa, voimakattilaa (HYBEX), hajun- ja savukaasunkäsittelyä ja haihuttamoa nimikkeellä ”energy island”. Tämä ratkaisu ei kuitenkaan kuulu HYBEXin osalta tämän työn sisältöön, vaan vaatii erillisen jatkotutkimuksen.

2.4 Tuotemalliprojekti

Tuotemalliprojekti on yksi Metso Power Oy:n kehitysprojekteista. Tämä opinnäytetyö on tehty Metso Power Oy:n rakennusosastolle osana tuotemalliprojektia. Seuraavaksi kerrotaan yleisesti tuotemalliprojektin tavoitteista. Tuotemalliprojektiin kuuluu suunnittelijoita yrityksen jokaiselta suunnittelualueelta, mukaan lukien rakennusosasto tämän opinnäytetyön muodossa. Suunnittelun eri osa-alueiden vuorovaikutuksen ja yhteistoiminnan kehittäminen onkin tärkeää kehitysprojektin tavoitteiden kannalta.

Tuotemalliprojektin tavoitteena on siirtää suunnittelun painopistettä projektikohtaisesta suunnittelusta ennen myyntiä tapahtuvaan tuotesuunnitteluun. Projektikohtaisessa suunnittelussa ongelmat käsitellään jokaisessa kohteessa erikseen. Näin ollen projektin osallisten vaihtuessa saattaa seuraavassa projektissa olla eri suunnittelijat ”keksimässä pyörää uudestaan”. Projektikohtaisen suunnittelun ongelmien ratkaisu onkin vain oireiden hoitamista, kun pitäisi pystyä korjaamaan ongelmia aiheuttava perimmäinen syy. Tavoitteisiin pääsemiseksi projektin tarkoitus on kehittää ja ohjata tuotemallin käyttöönottoa yrityksessä. (Sainio 2009, 2 - 6.)

Suunnittelutiedon löytämisen, ylläpidon ja tiedon eheyden säilyttämisen sisältävät ongelmat ajavat yrityksiä kohti parempaa tuotetiedonhallintaa. Alati koveneva kilpailu, toimitusaikojen lyhentäminen ja kasvava tuotevalikoima luovat myös selkeitä muutospaineita samaan suuntaan. Tuotetiedon hakemisen ollessa hidasta suunnittelijat etsivät oikoteitä ja alkavat kehittämään omia järjestelmiä ja arkistoja. Tällä tavoin tuotetiedon

laatu rapistuu ja toteutuksissa ilmenee entistä enemmän variaatioita. (Sääksvuori & Immonen 2002, 97 - 101.)

Tuotemallin käyttöönotto asettaa vaatimuksia siihen liittyvien ohjelmien välisen tiedonsiirron kehittämisessä. Huomioitavaa on, että tuotemallin käyttö koskee kaikkia yrityksen suunnittelijoita ja osa-alueita, sillä muuten tuoterakenteiden vakiointi ja suunnittelun automatisointi ei onnistu. Tuotemallin avulla on tarkoitus saada myös lisättyä kirjoittamattoman tietotaidon jakamista kaikkien käyttöön.

Tuotetiedon tehokkaan päivityksen ja ylläpidon kannalta, tulee kaikkien olla tietoisia tuotemallin käytöstä ja rakenteesta, jottei ”sivupolkuja” suunnitteluratkaisuissa syntyisi. Tuotemallin on myös kehityttävä jatkuvasti uusien innovaatioiden ja toteutuksista saadun palautteen mukana. Tuotemallin ylläpidon on oltava tehokasta ja nopeaa, joten se tarvitsee riittävästi resursseja. Sääksvuoren ja Immosen (2002) mukaan insinöörit käyttävät ajastaan 21 % työhön, joka on jo tehty aiemmin, ja 24 % tiedon hakemiseen ja jakeluun. Tähän verrattuna resurssien panostaminen tuotemallin ylläpidolle olisi minimalistinen, ottaen vielä huomioon sen, että edellisen lainauksen ongelmat poistuisivat tai ainakin vähenisivät tuotemallin tehokkaan käytön myötä.

Tuleekin tarkkaan miettiä miten muutoksia tullaan hallinnoimaan tässä uudessa järjestelmässä. Asiaa ei ainakaan helpota 3D-mallissa tapahtuva rinnakkaissuunnittelu, alihankitun suunnittelun suuri määrä sekä järjestelmään liittyvät useat eri ohjelmat. Järjestelmän päivittyminen muutoksien osalta kaikkien ohjelmien välillä onkin perusedellytys sen toiminnalle. Jokaisen suunnittelijan tulee olla tietoinen tapahtuneista muutoksista, jotka vaikuttavat heidän tulevaan tai jo tehtyyn suunnitteluun.

Tuoterakenteessa keskitetyksi säilytettävä tuotetieto palvelee yritystä kaikissa projektin vaiheissa ja mahdollistaa nopean dokumenttien tuottamisen tuoterakenteessa käytetyistä komponenteista. Myös eri projektien tuoterakenteiden vertailu ja tiedonsiirto muihin ohjelmiin paranee. (Armstrong 2005, 182 - 185.)

Tuotemalliprojektin osaprojekteista esitellään tarkemmin eniten työhön liittyvät paine-runkosimulaattori ja laitossuunnittelun kehitys.

2.4.1 Painerunkosimulaattori

Painerunkosimulaattorilla luodaan PDMS:ään mahdollisimman aikaisessa projektin vaiheessa 3D-malli kattilan painerungosta ja siihen liittyvistä oman suunnittelun laitteista. Luotua mallia käytetään tarjousmateriaalin teossa ja toimitusprojektin suunnittelun tehostamisessa. Aliprojektiin kuuluu valmiiden simulaattoreiden kehittäminen ja laajentaminen. (Mäkinen 2009, 1 - 2.)

Painerunkosimulaattorin periaate on miltei sama kuin työssä myöhemmin käsiteltävällä rungon 3D-mallintamiseen kehitetyllä työkalulla. Kummallakin työkalulla pyritään tuotamaan 3D-malli mahdollisimman aikaisessa vaiheessa automatisoidusti parametreja käyttäen. Onkin jo selvää, että kehityshankkeen edetessä tullaan tutkimaan työssä myöhemmin esiteltävän parametrisen rakennuksen liittämisen yhteen painerunkosimulaattorin kanssa. Yhtenä tärkeimpänä kriteerinä tälle on jo se, että kumpikin osakokonaisuus käyttää monia samoja muuttujia mitoituksessaan. Liittymäpintoja osakokonaisuuksien välillä varmasti riittää, sillä painerunko osakokonaisuuksineen vaikuttaa eniten rakennuksen mittoihin ja rakenteisiin.

2.4.2 Laitossuunnittelun kehitys

Laitossuunnittelun kehityksen päämääränä on lisätä tuotetiedon määrää ja laatua. Taavoitteena on myös parantaa suunnittelutiedon käytettävyyttä suunnittelun eri osa-alueilla sekä nostaa suunnittelun automaatioastetta kustannustehokkaissa tapauksissa. Työssä tutkittava teräsrakenteen kehitystyö kuuluu tämän aliprojektin alle. Aliprojekti jakautuikin useisiin osa-alueisiin, jotka ovat teräsrakenteet, layout-suunnittelu, laitesuunnittelu, tuotemääritys, prosessi- ja laitosuunnitelmien yhtenäisyys sekä putkisto- ja kanava-suunnittelu. (Alander 2009, 1 - 3.)

Aliprojektin jokaisella osa-alueella pyritään kohti vakioituja tuoterakenteita. Tuotetiedon määrän lisääminen aloitetaan vanhoista projekteista, joista tuotemalliin kootaan hyviä ratkaisuja pohjaksi tulevalle tuoterakenteelle. Laitossuunnittelun määrittäminen sisältää useita osakokonaisuuksia, joista esimerkiksi putkiston ja kanavien reititystä on mahdoton vakioida. Reititys tosin helpottuu, mitä enemmän muita tarvittavia laitteita on

määritetty ja näin ollen nopeammin tuotettu 3D-mallissa tapahtuvan reitityksen pohjaksi. Aliprojektilla kokonaisuudessaan on useita yhtymäkohtia painerunkosimulaattorin kanssa.

3 Tuotetieto

Tässä luvussa esitetään periaatteita Metso Powerin tuotetiedonhallinnasta ja sen kehittämisestä. Noudatettavien määräysten lisäksi rakennusteknisiä ohjeita ja määrittämiä ei juuri yrityksen tuotetietoon kuulu, sillä rakennesuunnittelu toteutetaan alihankittuna. Myöskään yrityksessä tehtävään rakennuksen perussuunnitteluun ei sisäisiä ohjeita ole, vaan se toteutetaan tarjousvaiheessa layout-suunnittelun toimesta kattilan prosessien vaatimien laitteiden tilantarpeen mukaan. Rakennuksen rakenteet määräytyvät kattilalaitoksen toiminnallisten osien mukaan, joten niiden suunnittelusäännöt vaikuttavat suoraan myös rakennukseen. Rakennuksen perussuunnittelun kehittämiseen palataan luvussa 5.

Työn tulevien lukujen kannalta tuleekin ymmärtää yrityksen tuotetiedonhallinnan periaatteet. On tiedettävä mistä rakennusta koskeva määrittäminen ja suunnittelutieto tulevat sekä missä perussuunnittelun rakennuksen 3D-mallin mita- ja määrätietoja voidaan hyödyntää.

Yrityksen vanhaa tiedonhallintajärjestelmää tai paremminkin sen puuttumista, ei tässä tarkemmin käsitellä. Voidaan kuitenkin mainita, että yrityksen aikaisempien tiedonhallintajärjestelmien vaihtuvuus ja kansiorakenteiden käyttö, aiheuttivat sekaisuudellaan valtavasti työtä tutkimukseen tarvittavien dokumenttien hakemisessa. Luvussa ei myöskään käsitellä projektien aikaisia tiedonhallintaympäristöjä, joihin lukeutuvat erilaiset web-pohjaiset tietokannat ja projektipankit.

Väärinkäsitysten välttämiseksi tuotemalli ja tuotemallintaminen ovat erotettuna toisistaan. Tässä työssä tuotemallilla tarkoitetaan tuotteen tuoterakennetta, jonka runko muodostetaan projektin alussa tehtävillä valinnoilla. Tuotemallintamisella tarkoitetaan kattilalaitoksen 3D-mallintamista ja suunnittelua PDMS:ssä tuoterakenteen mukaiseen hierarkiaan.

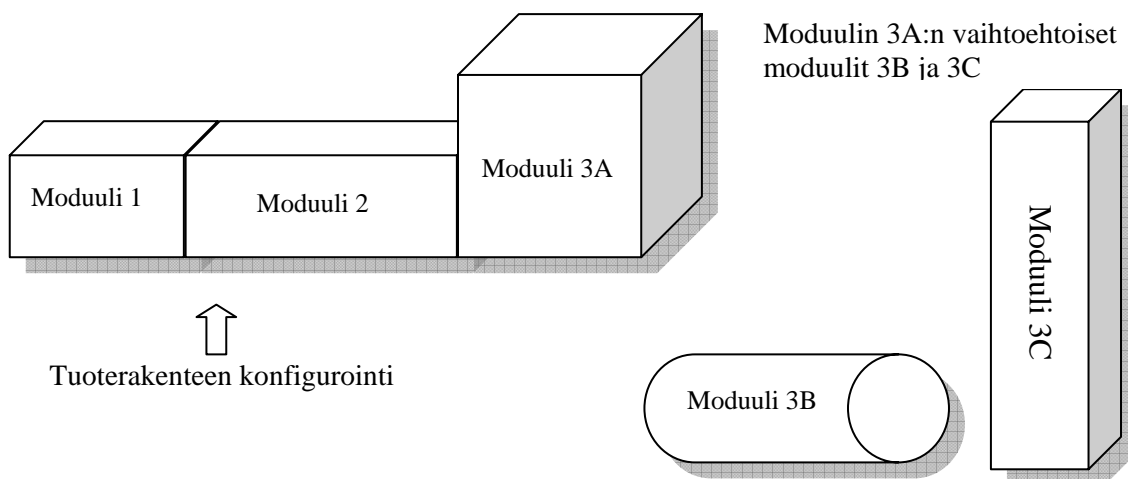
3.1 Tuotemalli

Tuotemalli, eli tuotetietomalli (product model, product data model) kuvaa tuotteen rakenteen ja sen tuottamiseen ja käyttämiseen liittyvän tiedon. Tuotemallin määrittäminen käsitteenä on ongelmallinen ja siitä onkin kirjallisuudessa useita eri tulkintoja. Tässä tuotemallia käsitellään hierarkkisena tuoterakenteena, joka luo pohjan tuotteen kokoonpanolle ja nimikkeille koko järjestelmään. Jo projektin tarjousvaiheessa aletaan luoda tuoterakennetta tulevalle kohteelle asiakaskohtaisten tarpeiden mukaan, jolloin tuoterakenteen hierarkiaan luodaan päätasot. Suunnittelun edetessä tuoterakenne tarkentuu ja hierarkkisesti päätasojen alle jakautuvien alaluokkien rakenne täydentyy.

Tuotemäärittäystä tehtäessä eli tuoterakenteen osia suunniteltaessa tulee muistaa, että juuri projektikohtaiset ratkaisut ja suuri kohdekohtaisen räätälöinnin määrä olivat syitä, joiden takia muutosta tarvittiin. Konfiguroinnilla ymmärretään tuoterakenteen vakioimista sitä moduloimalla. Konfiguroinnin avulla kohdekohtaiset muutokset pysyvät hyväksyttävissä rajoissa. Asiakkaalla säilyy vaikutusmahdollisuus tuotteen kokonaisuuteen, kuitenkin valittuna tuoterakenteessa tarjolla olevista vaihtoehdoista

Myös tuotemallin ylläpidon kannalta ei ole järkevää kuvata kaikkia tuotteen eri variaatioita tuoterakenteessa, sillä tällaisten rakenteiden ylläpito olisi mahdotonta. Varsinainen tuote muodostuu vasta asiakasprosessin aikana tehdyistä valinnoista, konfiguraatioista. (Sääksvuori & Immonen 2002, 27.)

Konfiguroimisen perustana oleva modulointi on tuotteen rakenteen vakioimista helpommin hallittavaksi kokonaisuudeksi. Vaikka yrityksen toimitukset ovatkin keskenään hyvin erilaisia, niissä käytettyjen moduulien toistuvuus voi olla kuitenkin merkittävä. Moduloinnilla saadaan kohteisiin tehtyä asiakkaan haluamat muutokset hallitusti vähemmällä eri osien määrällä ja samalla kasvatetaan moduuleissa olevien yksittäisten nimikkeiden kiertoa, mikä pienentää sitoutuneen pääoman ja suunnittelutyön määrää. (Laakko ym. 1998, 16.). Kuviossa 6 esitetään moduulien käytön periaate.



Kuvio 6. Moduulien käytön periaate

Tuotemallin periaatteiden mukaisesti tuotteisiin liittyvä suunnittelutieto tulee säilyttää yhdessä suunnittelutietokannassa, mikä toimii tietovarastona suunnittelutiedon hallinnassa. Suunnittelutietoon kuuluvien määrityksien, standardien ja yrityksen ohjeiden tulee olla tietokannassa yhtenäiset, helposti saatavilla sekä päivitetty kehityksen, uusien innovaatioiden ja standardien muuttumisen osalta.

Suunnittelua pyritään nopeuttamaan hyödyntämällä suunnittelutietokannassa sijaitsevaa määritystietoa sekä esisuunniteltuja komponentteja. Ohjelmien välisen yhteyden on toimittava myös suunnitteluohjelmista suunnittelutietokantaan, jolloin päivitykset voidaan tehdä kummassa ympäristössä tahansa. Tämä mahdollistaa myös mitta- ja määrätiedon siirtämisen 3D-mallista suunnittelutietokantaan.

CAD-pohjaisten ohjelmien lisäksi tietoa siirretään esimerkiksi yrityksessä keväällä 2009 käyttöön otettavaan toiminnanohjausjärjestelmään (ERP) ja PDM-järjestelmään, joissa sitä hyödynnetään muun muassa hankinnoissa, aikataulutamisessa ja kulujen seurannassa.

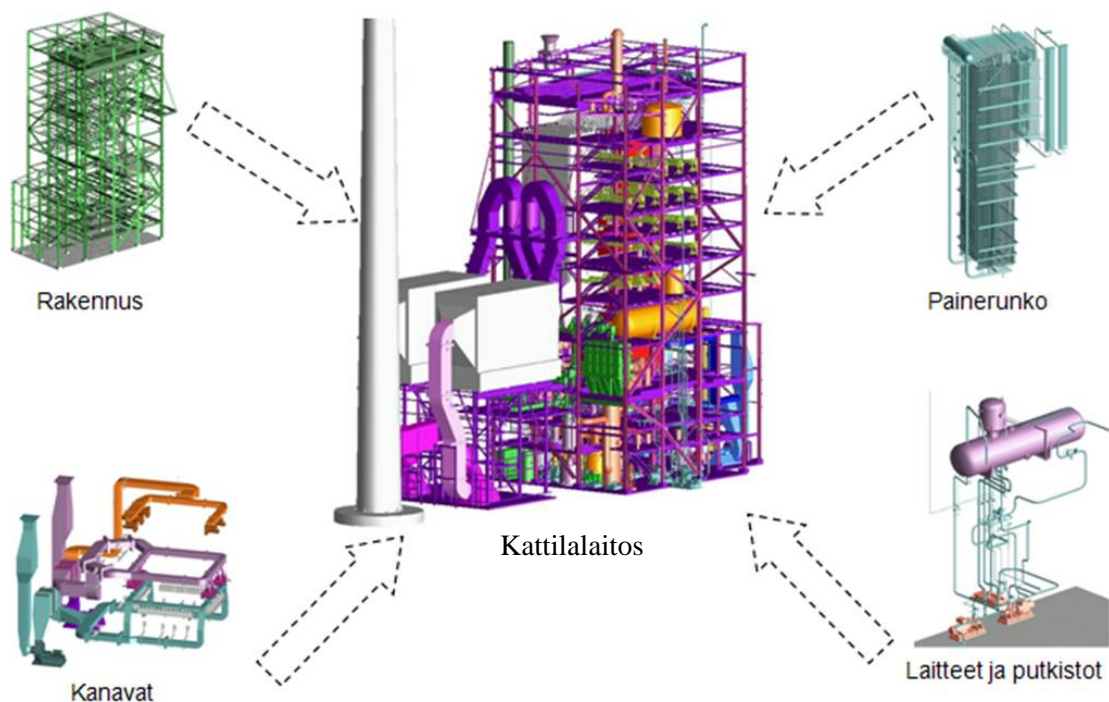
3.2 Tuotemallintaminen

Kattilalaitoksien kohdalla 3D-mallin tärkeys suunnittelussa on huomattava. Monien osaluokkien suunnittelu on alihankittua, joten laitoksen 3D-mallin käyttö ja päivittäminen vaikuttavat useiden eri alojen ja suunnittelutoimistojen suunnitelmiin.

Muutosten hallinnan helpottuminen ja suunnittelun nopeutuminen ovatkin tuotemallinnuksen mahdollisuuksia. Virheiden määrä muutossuunnittelussa pienenee, kun muutokset tehdään samaan 3D-malliin. Tuotemallinnus tarjoaa myös 2D-piirustuksia havainnollisempia kuvantoja erityistä tarkastelua vaativista kohdista. (Penttilä ym. 2006, 25 - 27.)

Metso Powerin toimittaessa kattilalaitoksia projektinjohtourakointina 3D-tuotemallin käyttämisestä haetaan erityisesti sen etuja suunnittelijoiden yhteistyön ja suunnitelmien yhteensopivuuden takaamiseksi. Yrityksessä kattilalaitoksen 3D-malli suunnitellaan käyttäen PDMS-ohjelmistoa, johon luotua mallia suunnittelijat käyttävät pohjatietonaan ja johon muita 3D-ohjelmistoja käyttävien suunnitteluosa-alueiden suunnitelmat siirretään siirtotiedostoina.

Laitoksien monimutkaisuudesta ja suuren suunnittelijamäärän takia, kaikkien osaluokkien suunnitteludokumentteja ei pystytä PDMS-ohjelmasta tuottamaan. PDMS-malli toimiikin kattilalaitoksen visuaalisena mallina ja osaltaan suunnittelun alustana, esittäen suunnittelijoille tilavaraukset kattilalaitoksessa. Rinnalla käytetään muitakin suunnitteluohjelmistoja, joilla esimerkiksi tuotetaan tarkemmat osaluettelot ja työ kuvat. Siirtotiedostojen avulla eri suunnitteluohjelmissa tehdyt mallit siirretään PDMS:ssä olevaan kattilalaitoksen malliin. Esimerkkeinä rinnakkaisista suunnitteluohjelmistoista voidaan mainita teräsrakennesuunnittelijoitten käyttämä Tekla Structures. Kuvio 7 kuvaa eri suunnitteluosa-alueiden liittymistä samaan 3D-malliin.



Kuvio 7. Suunnittelunosa-alueiden yhdistyminen 3D-mallissa (muokattu lähteestä Kumppulainen 2008, 40.)

Käytettävyyden kannalta tulee myös mallissa esitettävää tarkkuutta rajata. Mallia käytävien suunnittelijoitten tekemät muutokset tulisi päivittyä nopeasti malliin, ja käytön pitäisi olla muutenkin joustavaa. Tärkeimpänä tietona muille suunnittelijoille riittää yksinkertaistetun tilanvarauksen esittäminen. (Laakko ym. 1998, 222 - 225.) Esimerkiksi teräsrakennesuunnittelijalta siirtotiedostona tulevista rungon rakennesuunnitelmista jätetään PDMS-mallissa yksityiskohdat liitoksista esittämättä, jotta mallin käyttö ei tulisi liian raskaaksi.

3.3 Tuotetiedonhallinta

Puhuttaessa tuotetiedonhallinnasta ei tarkoiteta mitään yksittäistä tietokoneohjelmistoa tai menetelmää. Tuotetiedonhallinta on laaja toiminnallinen kokonaisuus, jolla pyritään hallitsemaan tiedon luomista, käsittelyä, jakamista ja tallentamista. Perimmäisinä tarkoituksina tuotetiedonhallinnalla on käyttötarkoituksesta riippumattoman ja ajan tasalla olevan tuotetiedon hallinnointi. Tämä mahdollistaa nopeamman tiedonhaun sekä varmistaa tuotetun tiedon eheyden ja ristiriidattomuuden. (Sääksvuori & Immonen 2002, 17 - 19.)

Tuotetieto on siis laajempi käsite kuin tuotemalli. Tuotemalli muodostaa kuitenkin pohjan osalle tuotetiedonhallinnan perustoiminnoista. Tuotemallissa konfiguroitava tuoterakenne asettaa nimikkeistön sekä riippuvuuksia tuotteen osille, jolloin tiedonhallintaa varten muodostuu jo selkeitä rakenteita. (Sääksvuori & Immonen 2002, 17 - 19.)

Tuotetietoon suunnittelutiedon lisäksi kuuluu tuotteen koko elinkaaren aikainen tieto. Tällöin voidaan puhuakin jo tuotteen elinkaaren hallinnasta PLM (Product Lifecycle Management). Tällaisesta tiedosta mainittakoon esimerkkeinä kehityksen sekä huolto- ja varaosatoiminnan tuottama tieto, jota tulee myös keskitetysti hallita tuote- ja projekti-kohtaisesti sen käytettävyyden edistämiseksi. Järjestelmien yhteistoiminnan ja tuoterakenteiden määrittämisen ohella yksi tärkeimmistä asioista tuotetiedonhallintaa kehitettäessä onkin pelisääntöjen sopiminen ja tiedonhallinnan kouluttaminen yrityksessä, jotta tuotetiedonhallintajärjestelmän periaate olisi kaikille käyttäjille selvä.

Metso Power Oy:ssä tuotetiedonhallinnan kehitys perustuu ohjelmien välisen tiedonsiirron kehittämiseen ja tiedonhallintaan sopivien uusien ohjelmien käyttöönottoon. Toiminnanohjaus (ERP)-, Tuotetiedonhallinta (PDM)- ja CAD-järjestelmien integroiminen yhteen tarjoaa mahdollisuuksia käyttää kaikkien ohjelmistojen toimintoja, manuaalisen tiedonsiirron kuitenkin vähentyessä ohjelmien välillä.

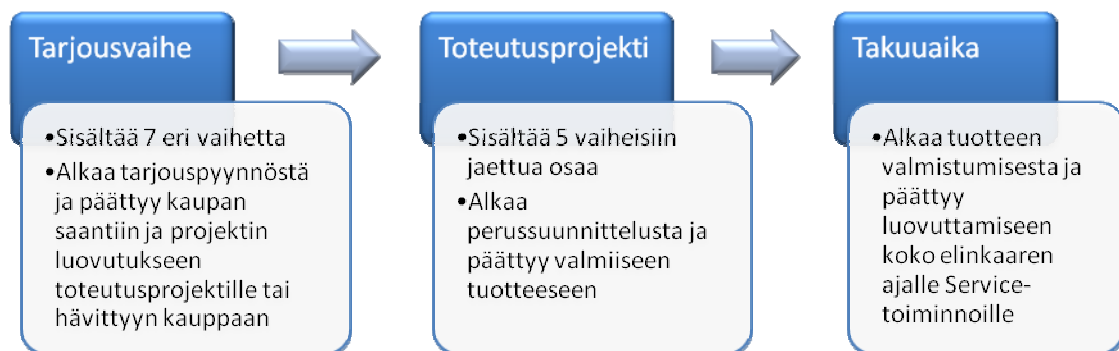
Metso Powerissa projektin suunnittelun yhteydessä valmistuneet kattilalaitoksen piirustukset ja dokumentit arkistoidaan yhteen arkistointiohjelmaan projektikohtaisesti, joten kaikki projektiin liittyvät dokumentit löytyvät samasta paikasta. Tämä helpottaa tiedonhakua ja vertailua vastaaviin projekteihin nähden sekä palvelee erityisesti huolto- ja varaosatoimintaa. Samalla se asettaa kuitenkin vaatimuksia tiedonhallintajärjestelmän tuoterakenteen siirtymiselle arkistoinnin pohjaksi sekä tiedostojen väliselle riippuvuudelle, jotta tiedonhallinta olisi mahdollista yhdestä ohjelmasta käsin.

Kokonaisuuden kannalta tärkeintä on, että tieto on helposti käyttäjien saatavilla myös muutoshistorian ja päivityksiä tehneiden käyttäjien tietojen osalta. Tiedon on päivityksien kautta oltava samaa kaikissa järjestelmään kuuluvissa ohjelmistoissa, jolloin sen hallintaan riittää yhden ohjelmiston käyttö.

Edellä mainitut ERP- ja PDM-järjestelmät otettiin käyttöön Metso Powerissa 1.4.2009. Ohjelmien avulla pyritään hallitsemaan paremmin muun muassa projektinaikaista tuotetietoa ja hankintoja. Kyseisten järjestelmien käyttö sijoittuu projekteissa kuitenkin myöhempään vaiheeseen, joten niitä ei työssä tarkemmin käsitellä. Järjestelmät painottuvat toteutusprojektien palvelemiseen, jolloin edellä käsitelty tuotemalli tuottaa tietoa niille. Tuotemalliprojektin edetessä on tähän liittyen huomioitava uusien järjestelmien vaatimukset tiedonsiirrossa.

4 Projektin eteneminen kohdeyrityksessä

Projektit jaetaan Metso Powerissa tarjousvaiheeseen, toimitusprojektiin ja takuuajkaan. Luvussa käsitellään tarkimmin tarjousvaihe ja toimitusprojektin alku, jolloin työn sisältämät kattilalaitoksen rungon perussuunnittelu ja 3D-mallinnus tapahtuvat. Projektin eteneminen on esitetty kuviossa 8. Ensimmäiseksi käsitellään projektin etenemistä rakennusosaston kannalta sen työhön liittyviltä osilta, minkä jälkeen lyhyesti koko yrityksen osalta painottuen edellä mainittuihin rakennukseen, tarjousvaiheeseen ja toimitusprojektin alkuun.



Kuviossa 8. Projektin eteneminen

4.1 Projekti rakennusosastolla

Rakennusosaston vastaamista projektin vaiheista suuri osa on niin sanotulla ”kriittisellä polulla”, joten niissä aikataulusta jääminen pidentää koko kattilalaitoksen toimitusaikaa. Tällaisia välitavoitteita projekteissa ovat esimerkiksi kattilalaitoksen runko valmiina painerungon asennusta varten sekä seinät ja katto asennettuina hitsaustöiden aloittamista varten.

Huomioitavaa on myös rakennusosaston yhteistoiminta työmaatoiminnot (C&C, construction & completion) -osaston kanssa, joka vastaa koko kattilalaitoksen työmaan yleistoiminnoista. Osastojen välillä onkin menossa toimintarajojen kartoitus, sillä monet niiden osa-alueista ovat projekteissa osittain päällekkäin.

Rakennusosaston projekti-insinöörit vastaavat projekteissa rakennuksen osuudesta tarjousvaiheesta lähtien, jolloin heidän tehtävänä, on teknisten määrittelyiden ja hinta-arvioiden antaminen rakennuksesta. Metso Powerilla ei ole enää omaa rakennesuunnittelua, joten rakennusosaston projekti-insinöörien tehtävänä on kilpailuttaa rakennesuunnittelijat rakennuksen osuuteen, valvoa suunnittelua sekä varmistaa, että suunnittelijat saavat tarvittavat lähtötiedot ajallaan. Projekti-insinöörit vastaavat rakennuksen osuudesta projektikohtaisten sopimusehtojen mukaisesti. Yleisesti vastuualueeseen kuuluvat muun muassa teräsrunko, kuoret, kattorakenteet, perustukset, kattilalaitoksen piippu, tasorität, hissit, nostimet sekä talotekniset järjestelmät kuten ilmanvaihto ja sprinkleri-järjestelmä. (Kumpulainen 2008, 17 - 20.)

Ajallisesti rakennesuunnittelutoimistot kilpailutetaan kaupan syntyessä eli projektin siirtyessä tarjousvaiheesta toimitusprojektiksi. Projekteissa on kuitenkin tapauskohtaisesti paljon eroja, jotka vaikuttavat esimerkiksi layout-suunnittelun alkamiseen 3D-mallissa ja mahdollisten esisuunnittelusopimusten solmimiseen. Suunnittelutoimiston valinnan jälkeen tärkeimpänä tehtävänä on saada alustavat perustuskuormat toimitettua asiakkaalle, jonka vastuualueeseen maanrakennus- ja perustustyöt yleisesti kuuluvat. Lisäksi projekti-insinöörit toimittavat rakennesuunnittelijalle tietoa rungon päämitoista ja laitteiden alustavista sijoituksista.

Annettavat perustuskuormat perustuvat tarjoussuunnittelussa sijoitettuihin päälaitteisiin ja painerunkoon, joita on tarkennettu 3D-mallissa alkaneen layout-suunnittelun toimesta. Tässä vaiheessa tietoa on niukasti käytettävissä niin kattilalaitoksen laitteiden tyyppiin ja sijoituksen kuin teräsrungonkin osalta. Perustuskuormien laskeminen tässä vaiheessa perustuu kokemukseen ja rakennesuunnittelijan tekemiin laskelmiin, joiden pohjana ovat painerungon kuormituspiirustukset, maakohtaiset tuuli- ja maanjäristyskuormat, tasokuormat sekä laitteiden kuormatiedot. Perustuskuormien toimittaminen asiakkaalle ajallaan on kuitenkin toimitusajassa pysymisen ehto, sillä teräsrungon asentaminen jää aikataulusta, jos perustukset eivät ole valmiita. Tällöin koko kattilalaitoksen toimitus on vaarassa viivästyä. Projektikohtaisista toimitusmalleista riippuen perustuksien suunnittelu ja valmistus voivat kuulua myös Metso Powerin vastuualueeseen.

Kattilalaitoksen teräsrungon kannalta rakennustehtäväkuvien toimittamisen ajankohta määrittelee teräsrakennesuunnittelun aikajänteen. Teräsrunko on kattilalaitoksissa ta-

vanomaisesti jaettuna korkeuden mukaan 2 - 5 lohkoon, jotka ovat pituudeltaan noin 12 metriä. Suunnittelun, valmistuksen ja asennuksen kannalta tärkeintä on saada tarkat tiedot ensimmäiseksi 1. lohkokosta rakennesuunnittelijalle. Tämä kuitenkin vaatii, että rakennustehtäväkuvissa on tällöin oltava laitteet määriteltynä ja sijoitettuna koko kattilalaitoksen osalta. Ongelmia muodostuu siinä, että rakennustehtäväkuvissa esitettyjä kuormia varten tulee laitteiden sijoitus ja tyyppi olla määriteltynä.

Kuten seuraavaksi tarjousvaiheen yhteydessä esitetään, resursseja on käytettävissä tarjousvaiheen aikana vähän, jolloin suunnittelu 3D-mallissa saattaa alkaa vasta toimitusprojektin alussa. Myös prosessin vaatimien laitteiden määrittely ja hankinta ovat yleisesti alkutekijöissään hankkeen siirtyessä toimitusprojektiksi. 3D-mallissa tehtävä layout-suunnittelu joutuu odottamaan laitteiden tarkempia määrittelyjä, joita se tarvitsee rakennustehtäväkuvien tuottamiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että rakennustehtäväkuvat viivästyvät aiheuttaen näin ollen myös rungon teräsrakennesuunnittelussa viivettä.

Projektikohtaisesti rakennustehtäväkuvien tuottaminen teräsrakennesuunnittelijalle kestää noin X - X kuukautta, jonka jälkeen rungon suunnittelu lohkoittain vie suunnittelu-toimistosta riippuen noin X kuukautta. Myös muutosalttius layout-suunnittelussa toteutusprojektin alussa lisää suunnitteluun käytettävää aikaa. Layout-suunnitteluun projektin alussa käytetyn ajan lyhentämiseen keinoina ovatkin jo tuotemalliprojektin yhteydessä esitetty vakiointi sekä 3D-mallintamisen kehittäminen.

Vakioinnin yhteydessä tulisi käyttää enemmän vakioitoimittajia, joita voitaisiin kilpailuttaa esisopimuksista jo tarjousvaiheessa. Tällöin layout-suunnittelun tarvitsemaa tietoa olisi saatavilla nopeasti toteutusprojektin alkaessa. Ajan säästön vaikutuksena tuotteiden toimitusaika lyhenee, jolloin mahdollisuudet tarjouskilpailuissa paranevat. Parantuneet mahdollisuudet tarjouskilpailuissa taas vähentävät hävittyihin tarjouksiin hukattuja resursseja.

Myös muut rakennusosaston vastuualueista tarvitsevat lähtötietoja layout-suunnittelulta ja sen perusteella suunniteltavalta teräsrakennesuunnittelulta. Muita lähtötietoja tarvitsevia osa-alueita ovat esimerkiksi kattilalaitoksen kuoret, tasoritulat sekä hissit ja nostimet. Rakennuksen perussuunnitteluun ja 3D-mallintamiseen palataan tarkemmin seuraavissa luvuissa, niiden liittyessä myös edellä mainittuihin rakennustehtäväkuviin.

4.2 Tarjousvaihe

Tarjousvaihe on jaettu osiin, tarkoituksena saada rajattua prosessiin käytettävien resurssien määrää. Tarjousvaihe sitoo niin paljon resursseja jo myyntivaiheessa, ettei jokaisen asiakkaan kanssa kannata käydä kallista prosessia kokonaan läpi. Tarkoituksena onkin löytää yrityksen tuotevalikoimaan parhaiten sopivat toimitukset. Tarjousvaiheen jaon mukaisesti tarjouksien siirtyessä seuraaviin vaiheisiin panostetaan niihin myös enemmän resursseja kaupan tullessa varmemmaksi. (Alander 2008, 26.)

Tarjousvaihe alkaa yleensä asiakkaan ottaessa yhteyttä tarjouspyynnön merkeissä. Tarjousprosessiin panostetaan enemmän resursseja sen edetessä ositetussa toteutusmallissa eteenpäin. Myös tarjousvaiheen aikana tehdyt dokumentit ja hinta-arviot tarkentuvat jatkuvasti vaiheiden mukana. Tarjouksen tarkentuessa päätetään kyseisen kohteen sopivuudesta yrityksen tuotevalikoimaan ja arvioidaan sen taloudellista kannattavuutta yrityksen kannalta. Vaiheen viimeisissä osissa projektit vaativat organisaatiolta jo niin suuren panostuksen, ettei niitä resurssien puolesta pystytä viemään eteenpäin kuin muutamia samanaikaisesti. (Alander 2008, 26 - 31.)

Tarjousvaiheen osiin käytetty aika pitenee ja niissä työskentelevien henkilöiden määrä kasvaa kohti toteutusprojektin aloittamista. Kaupan toteutuessa tarjousvaihe päättyykin toteutusprojektin aloittamiseen. Tarjousvaiheessa tehty työ toimii täten pohjana toteutusprojektin aloittamiselle.

4.3 Toteutusprojekti

Toteutusprojekti alkaa tarjousvaiheen lopussa ja se päättyy valmiiseen kattilalaitokseen. Toteutusprojektin jälkeistä takuuaikaa ei tässä työssä tarkemmin käsitellä. Projektikohtaisista eroista johtuen esimerkiksi 3D-mallin taso vaihtelee toteutusprojektiin siirryttäessä. Periaatteena toteutusprojektissa on jatkaa tarjousvaiheessa määritettyjen lähtötietojen perusteella kattilalaitoksen suunnittelua. Toteutusprojektit on jaettu kuvion 9 mukaisesti 5 osaan. Toimitusprojektin vaiheet käydään lyhyesti läpi työhön ja rakennusosastoon liittyviltä osiltaan.



Kuvio 9. Toteutusprojektin eteneminen

Toteutusprojektin aikana projekti-insinöörit työllistyvät erityisesti projektinjohtourakoinnissa merkittäviin alihankkijoiden valvontaan ja tiedon jakeluun. Jokaisella osaluodeella tapahtuu jatkuvasti muutoksia, joista myös alihankkijoiden tulee olla tietoisia. Toimitusprojektin alussa korostuvatkin suunnittelijoiden yhteistyön ja vuorovaikutuksen tärkeys sekä tuotemallintamisesta saatavat hyödyt.

Perussuunnittelussa ja määrityksissä sijoitetaan päälaitteistoja 3D-malliin ja määritetään perustuksille tulevia kuormia. Vaiheen aikana tapahtuu myös lohkoittain teräsrakennesuunnittelijan toimesta rakennuksen teräsrungon perussuunnittelu. Vaiheen lopussa kaikki laitokseen liittyvä perussuunnittelu on tehty ja perustukset suunniteltu. (Metso 2009g.)

Detaljisuunnittelu ja valmistus -vaiheen aikana suoritetaan teräsrakenteiden detaljisuunnittelu, teräksen hankinta runkoa varten, teräsrakenteiden kuljetus työmaalle sekä aloitetaan teräsrungon asentaminen. Tämän lisäksi vaiheen loppuun mennessä tulee toimittaa asennuspiirustukset työmaalle sekä asentaa asennusnostimet. (Metso 2009g.)

Kokoonpano ja asennus -vaiheessa teräsrunko asennetaan, ja vaiheen aikana sen tuleekin olla valmis painerungon asennusta varten. Lopullisia asennustöitä silmällä pitäen kuorien ja vesikatteen pitää olla asennettuina, jotta kattilalaitos voidaan lämmittää + 5 asteeseen. Viimeisessä toteutusprojektin vaiheessa kattilalaitos koekäytetään ja sen laitteet säädetään. Tällöin suoritetaan myös maakohtaiset viranomaistarkastukset. Toimitusprojektin päätyttyä alkaa takuu-aika, jonka jälkeen laitos luovutetaan asiakkaalle. Asiakas hyväksyy laitoksen vastaanotetuksi tai korjauttaa huomaamansa puutteet. (Metso 2009g.)

5 Rungon perussuunnittelu

Tässä luvussa tarkastellaan HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ja pohditaan käytettyjä rakennetyyppejä. Työn rajaukseen HYBEXin rakennuksesta sisältyvät pilarit, painerungon kannatusrakenteet, katon primääri rakenne sekä seinien ja katon kuorirakenteet. Lisäksi perustuksia käsitellään työssä periaatteellisella tasolla, niiden yleensä kuuluessa asiakkaan vastuualueeseen.

Suuresta muuttujien ja osakokonaisuuksien määrästä johtuen tässä raportissa käsitellään ainoastaan altatuetun HYBEX-kattilalaitoksen kattilapukin perussuunnittelu. Kattilapukin perussuunnittelun esittely antaa tarkoituksenmukaisuuden kannalta riittävän esimerkin työssä rungon kaikille osille tehdystä perussuunnittelusta. Raportoinnin rajaamista tukee myös se, että suuri osa perussuunnitteluun käytetystä tiedosta on salassapitosopimuksen alaista.

Työssä tutkittavan kattilarakennuksen lisäksi kattilalaitokseen liittyy muun muassa porastorneja, hissikuilu, polttoainesilojen kannatusrakenteet, asiakkaan rakennuksia ja erinäisiä aputiloja kattilalaitoksen prosessien vaatimille laitteille. Liittyvien rakenteiden ja seinälinjojen vinosidejäykistykseen sijoittumiseen vaikuttavat kattilalaitoksen toiminnallisten vaatimusten lisäksi tonttikohtaiset muuttujat. Työn rajauksen ulkopuolelle jääneitä kokonaisuuksia käsitellään luvussa 8 jatkotutkimussuunnitelmien yhteydessä. Kattilarakennuksesta rajauksen ulkopuolelle jäivät esimerkiksi rakennuksen tasot ja jäykisteet.

5.1 Periaatteet

Kuten jo työssä aiemmin todettiin, kattilalaitoshanke ei etene tavanomaisen rakennussuunnittelun tapaan. Arkkitehdin osuus kattilalaitosprojekteissa on hyvin vähäinen, eivätkä projektit aina edes sisällä arkkitehtisuunnittelua. Rungon vaatimukset määräytyvät laitoksen prosesseista, niihin kuuluvien toiminnallisten osakokonaisuuksien muodossa.

Rakennushankkeen ja rakennuksen elinkaaren kustannukset määräytyvät pääosin hankkeen alussa tehdystä rakennussuunnittelusta. Luvussa 3 esitellyn tuotemallipohjaisen

suunnittelun avulla päätöksenteossa voidaan ottaa huomioon niin suunnittelijan, tilaajan, käyttäjän kuin rakentajankin näkökulma koko elinkaarta ajatellen. (Penttilä, Nissinen & Niemioja 2006, 13.)

Kattilarakennuksen kohdalla hankkeen alussa tehtävää rakennussuunnittelua kuvaa parhaiten rakennuksen perussuunnittelu. Kattilarakennuksen rakenteet määräytyvät pääasiassa kattilan painerungon ja prosessin vaatimien laitteiden mukaan. Näiden vaatimusten lisäksi rakennukseen vaikuttavat rakennustekniset vaatimukset. Rakennustekniset vaatimukset vaikuttavat esimerkiksi seinäpilareiden ja katon primääri kannattajien jakoväleihin, joiden mitat pitää olla toteutettavissa myös kuori- ja vesikattorakenteiden kannalta. Myös alueelliset tekijät vaikuttavat rakennuksen suunnitteluun. Alueellisia muuttujia ovat esimerkiksi lämmöneristyksen tarve ja seisminen aktiivisuus.

Kuten kaikessa rakentamisessa, tilat suunnitellaan tiloissa tapahtuvan toiminnan vaatimuksien mukaisesti. HYBEX-kattilaitoksien rakennukset ovat tyypeittäin hyvin samankaltaisia, jolloin rakennuksen päälinjojen, eli moduulilinjojen, perussuunnittelussa ei suuria mahdollisuuksia kehitykseen ole. Rakennuksen moduulilinjoihin, kuten ulkoseinäseinälinjojen ja kattilapilarilinjojen sijaintiin sekä rakennuksen korkeuteen vaikuttavat kattilalaitoksen toiminnalliset osat. Runkoon vaikuttavia muuttujia ovat muun muassa painerunko eri tuentatapoineen, nuohoimet ulosvetopituuksineen, yläkiertoputkien liittyminen lieriöön sekä tulistin järjestelyt.

Perussuunnittelun tarkentaminen rakennesuunnittelijan ohjaamiseksi mahdollistaa suunnittelun kulun yrityksen haluamaan suuntaan ja osaltaan helpottaa projektinsinöörien suunnittelun valvontaa. Seuraavassa luvussa esiteltävässä 3D-mallinnuksen kehittämisessä perussuunnittelun tarkentaminen tulee myös esiin, sen tarjotessa tarkempaa tietoa rakennuksesta 3D-malliin laitos-, painerunko- ja layout-suunnittelun tueksi.

Rakennuksen perussuunnittelua tarkentaessa tuleekin tutkia rakennetyyppejä niiden rakennusteknisen tehokkuuden ja toteutettavuuden, rakennusfysikaalisen toimivuuden, valmistuksen, asennettavuuden sekä kattilalaitoksen prosessien ja huollettavuuden kannalta. Työssä perussuunnittelua tutkittiin edellisiä ominaisuuksia huomioiden ja toteutettujen projektien rakenteita kriittisesti vertaillen.

Metso Power on toiminut alalla hyvin pitkään, joten HYBEX-kattilalaitoskin on kehittynyt huomattavasti ajan saatossa. Tällä perusteella vertailukohteet valittiin 2000-luvulla toteutettujen projektien joukosta. Vertailukohteita oli altatuetuissa tyypeissä 8 ja riiputetuissa tyypeissä 14. Luvuista nähdään myös yrityksen toimittamien HYBEX-kattilalaitoksien painottuminen riiputettuihin, kooltaan suurempiin BFB-tyyppeihin.

Erilaisten rungon rakenteellisten ratkaisujen perusteella HYBEX-kattilalaitos on työssä jaettu viiteen eri tyyppiin. Tyypeistä kattilan tuentatavaltaan kolme ovat riiputettuja ja kaksi altatuettuja. Riiputettuja tyyppejä ovat työssä nimetyt symmetrinen BFB-TOP, toispuoleinen BFB-TOP ja jätti BFB-TOP. Vastaavasti altatuettuja tyyppejä ovat työssä nimetyt normaali BFB-BOTTOM ja mini BFB-BOTTOM. Edellä mainitun tyypityksen lisäksi jaottelua on tehty myös muilla rungon osa-alueilla. Tästä esimerkkinä ovat erilaiset rakenneratkaisut kattorakenteiden voimien siirrossa.

Tyyppeihin jaottelu oli välttämätöntä luvussa 6 esitettävän 3D-mallintamisen kannalta, niiden sisältämien suurten eroavaisuuksien takia. Koska työssä on mahdoton esitellä kaikkien tyyppien tekemistä, niistä esitetään 3D-mallista otetut kuvat työn liitteessä 1. Liitteessä 1 esitetään myös 3D-mallista otettuja detaljikuvia katon vaihtoehtoisista rakenneratkaisuista. Kuvista näkyvät rakenteiden erot, ja niissä on lyhyesti selostettu niiden tyypikohtaiset ominaispiirteet. 3D-mallintamistyökalun kehitykseen palataan luvussa 6.

5.2 Teräsrakennesuunnittelu

Kattilalaitoksien runkotyyppi on diagonaalien ja tasojen avulla jäykistetty teräsrunko. Kyseessä on siis varsin tavallinen runkovaihtoehto teollisuusrakentamiselle. Runkotyypin valintaa edesauttaa myös kattilalaitoksen korkeus, joka kattilatyypeistä riippuen vaihtelee välillä 20 - 80 metriä. Teräksen käyttö perustuu sen materiaalina tarjoamiin etuihin.

Rungon työmaalla tehtävät liitokset ovat pääosin ruuviliitoksia, jotka mahdollistavat nopean asentamisen, kun kyseessä on konepajalla esivalmistettuja kokoonpanoja. Tällöin konepajalla tehtävä valmistelutyö aiheuttaa kustannuksia. Suurempi hyöty saadaan

kuitenkin säästämällä työmaalla aikaa, jolloin muiden vaiheiden aloittaminen aikaistuu ja nostokaluston kustannukset pienenevät. (Teräsrakentaminen 2008, 42 - 43.)

Ruuviliitoksien etuihin luetaan myös se, että sääolosuhteet eivät vaikuta asennukseen ja asentajilta ei vaadita erityisosaamista. Ruuviliitoksien käytössä on kuitenkin otettava huomioon, että osien mittatarkkuus esivalmistuksessa on oltava hyvin korkea ja liitoksissa ei ole säätövaraa asennusvaiheessa. (Piiroinen & Saarni 1998, 46 - 47.)

Materiaalivalintana teräksen kilpailuetuja ovat muun muassa:

- erittäin korkea esivalmistusaste
- rakenteiden keveys
- helppo muunneltavuus myöhäisessäkin asennusvaiheessa
- kantavan materiaalin pieni tilantarve
- nopea rungon asennus
- pienet vaatimukset asennusnosturille
- pienet aputilarpeet työmaalla asennusaikana. (Saarni 1996, 76.)

Mietittäessä vastuualueiden jakoa projektinjohtourakoinnissa, tulisi kustannustehokkuus ja toteutettavuus olla huomioituna rakennesuunnittelijan suunnitelmissa. Tutkimuksen yhteydessä vertailukohteiden rakennuksista oli selvästi nähtävissä esimerkiksi suunnittelutoimiston vaikutus. Vertailukohteiden perusteella voidaan silti todeta, että toteutuksista löytyy paljon eroja, vaikka rungon moduulilinjat ovat miltei samoja.

Hyvänä esimerkkinä toimikoot HYBEX-kattilalaitoksen kattorakenteet, niiden tuenta ja liittyminen seinäpilareihin. Kärjistetysti voidaan sanoa eri suunnittelutoimistojen suunnitelmien olevan katon osalta uniikkeja. Vastaavasti saman suunnittelutoimiston suunnitelmat eri kohteisiin toistavat itseään, niin hyvässä kuin pahassakin. Tavoitteen ollessa suunnittelun automatisoiminen ja vakioiminen, tulisi myös edellä mainitut kattorakenteet ohjata yrityksen haluamaan suuntaan, johon vaikuttaa esimerkiksi kattilalaitoksen ilmanvaihtolaitteiden sijoittelu.

Rakennuksen osuus kattilalaitoksen kustannuksista on noin X - XX %, josta materiaalikustannukset muodostavat huomattavan osan. Pelkkiin teräsrunгон massoihin tuijottaminen ei kuitenkaan välttämättä ole tie kustannustehokkuuteen.

Yleisesti onkin ajateltu, että materiaalikustannus on suoraan verrannollinen käytettyyn materiaalmäärään. Tällöin rungon optimointi on sen massojen minimointia käyttämällä kaikki hyödyt eri lujuusluokista ja profiilityypeistä. Tämä kuitenkin johtaa materiaali-dimensioiden suureen määrään, joka pidentää toimitusaikoja, nostaa materiaalin hintoja ja konepajavalmistuksessa aiheuttaa sarjasuuruuksien pienenemisen, jolloin valmistuskustannukset nousevat. (Saarni 1996, 87.)

Rakennesuunnittelun osuus runkoon liittyvissä kustannuksissa on huomattava. Rakennesuunnittelijan detaljisuunnittelu vaikuttaa merkittävästi rungon asennus- ja valmistuskustannuksiin sekä rungon täydennysosien, palontorjunnan ja johdotusten kustannuksiin. (Teräsrakentaminen 2008, 87.) Metso Powerin kannalta rakennesuunnitteluun voidaan vaikuttaa projekti-insinöörien toteuttaman suunnittelun valvonnan avulla.

Suunnittelun vakiointi kattilalaitossuunnittelussa ja sen komponenttien sijoittelussa tarjoaa mahdollisuuden vakiointiin tai paremminkin vaatii vakiointia myös rakennuksen osalta. Teräsrakennesuunnittelu nopeutuu, kun laitossuunnittelun vakioinnin tuloksena rakennustehtäväkuvat tuotetaan rakennesuunnittelijalle aikaisemmassa projektin vaiheessa.

Rakennus on yksi suurimmista yksittäisistä kattilalaitoksen osa-alueista, jonka optimoinnilla voidaan vaikuttaa merkittävästi toimitushintaan. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että edellä käsiteltyjen rakennusteknisten ratkaisujen vaikutus on vähäinen verrattuna koko rakennuksen päälinjojen optimointiin. Rakennuksen päälinjojen vaatimukset tulevat kattilalaitostekniikasta ja sen sijoittelusta, jolloin rakennuksen kokoon vaikuttavan vakioinnin on tapahduttava näillä osa-alueilla.

5.3 Perussuunnittelun nykytila

Nykyisellään kattilalaitoksen rungon perussuunnittelu toteutetaan tarjousvaiheessa AutoCad:llä 2D-muotoisena. Layout-suunnittelijoiden tuottamissa tarjousvaiheen piirustuksissa kuvataan kattilalaitoksen rungon päälinjat ja tärkeimmät laitteet. Luvussa 4 esitetyn tarjousvaiheen etenemisen mukaisesti, ensimmäisissä vaiheissa useita tarjousprojekteja on käynnissä yhtäaikaisesti ja niihin käytettäviä resursseja rajoitetusti. Tarjousvaiheen aikana tarjouspiirustuksista, joihin kuuluvat kattilalaitoksen pohjapiirustus ja sivuleikkaus, tehdään yleensä 3 - 5 muutospiirustusta. Tämä onkin yksi tärkeimmistä syistä AutoCad:in 2D-suunnittelun käytölle tarjousvaiheessa, jolloin helppo ja nopea muokattavuus ovat etusijalla. AutoCad:llä tarjoussuunnittelun tekemisen taustalla ovat helppo toteutettujen projektien hyödyntäminen sekä piirustusten 2D-venytys (stretching).

Edellä mainittu toimintatapa sisältää kuitenkin riskinä toteutettujen huonojenkin tapojen siirtymisen uusiin projekteihin. Se aiheuttaa myös lisätyötä myöhemmälle layout-suunnittelulle, jonka yhteydessä rakennuksen perussuunniteltu runko ja laitteet joka tapauksessa tuotetaan 3D-malliin. Projektikohtaisesti aloitettava kattilalaitoksen 3D-mallin rakentaminen saattaa alkaa jo tarjousvaiheessa, jolloin nykyisellä toimintatavalla samaa suunnittelua tehdään yhtä aikaa kahdessa eri suunnitteluohjelmassa. Myös myyntimateriaalia varten 3D-malli on informatiivisuudessaan omaa luokkaansa verrattuna 2D-piirustuksiin, joita voidaan 3D-mallista tuottaa käyttäjän tarpeen mukaan vapaavalintaisesti mistä tasosta tai linjasta tahansa.

Tarjoussuunnittelun toteuttaminen 3D-suunnitteluohjelmistolla, tässä tapauksessa PDMS:llä, asettaa siis vaatimuksia sen käytettävyyden tehokkuudelle ja muuntojoustavuudelle. Tarjousvaiheen piirustuksia varten tarvittavat kattilalaitoksen painerunko, laitteet ja rakennuksen perussuunniteltu runko on pystyttävä tuottamaan nopeasti, minkä lisäksi niihin muutoksien tekeminen ei saa muodostua ongelmaksi.

Edellä mainittuihin ehtoihin pääsemiseksi vaatimukset PDMS:n kehityshankkeille ovat kovat, mutta vastaavasti hyödyt 3D-tarjoussuunnittelusta ovat ehdottomasti tavoittelemisen arvoisia. Huomioitava on myös toimintatavan muutos suunnittelijoille, joille kehitettyjen työkalujen käytöstä tulee olla selkeät ohjeet ja koulutukset. Myöskään suun-

nittelijoitten haluttomuus siirtyä käyttämään uutta järjestelmää, oli se miten helppoa tahansa, ei kehitysprojektien aiheuttamien muutosten yhteydessä ole tavatonta.

Kaikki tarjousvaiheen 3D-suunnittelun vaatimuksista koskettavat luvussa 2 esiteltyä tuotemalliprojektia. Siinä esitellyn painerunkosimulaattorin avulla kattilan painerungon tuottaminen 3D-malliin tulee olemaan lähes automatisoitua ja parametrien avulla muu- teltavissa. Painerunkosimulaattoria onkin jo käytetty useasti tarjousprojekteissa ja siitä on hyviä kokemuksia. Tosin tarjousmateriaalissa sen tuottamaa painerunkoa on hyö- dynnetty ainoastaan 2D-piirustuksissa. Vastaavasti laitossuunnittelun kehitys - aliprojektin tavoitteiden toteutuessa, laitteiden ja niihin liittyvien järjestelmien 3D- mallintaminen ja muokkaaminen tulevat tehostumaan.

Tämän työn tarkoituksena on kehittää HYBEX-kattilaitoksen perussuunnittelua ja 3D- mallintamista. Perussuunnittelu luo pohjan 3D-mallin rakentamiselle ja seuraavassa luvussa esitetäänkin 3D-mallintamiseen työn tuloksena tuotettu parametrinen rakennus. Tämän luvun alussa esitettyjen työn rajauksen ulkopuolelle jääneiden osa-alueiden, pi- tää kuitenkin olla sisällytettynä rakennuksen 3D-mallintamistyökaluun tarjousvaiheen käyttöä varten. Tähän palataankin vielä työn johtopäätöksissä luvussa 8.

On myös muistettava, että tämä työ koskee ainoastaan yhtä Metso Power Oy:n kolmesta kattilatyypistä, tosin annettujen tarjouksien määrässä HYBEX-kattilatyypin on yleisin. Tarjouksien määrä onkin perusteena kehitystöiden aloittamiselle HYBEX- kattilaitoksesta niin painerunkosimulaattorin kuin rakennuksen osalta. Määritys- ja kehi- tystyön edetessä kaikilla osa-alueilla, on todennäköistä että lähitulevaisuudessa työkalut tarjoussuunnittelun tekemiselle 3D-malliin HYBEX-kattilalaitoksen osalta ovat valmiita.

5.4 Kattilapukin perussuunnittelu

Kattilapukki on altatuetun HYBEX-kattilan kantava tukirakenne. Sitä kuormittavat kat- tilan painerunko ja siihen liittyvät osat sekä laitteet. Esimerkiksi se sopii hyvin rajatta- van kokonaisuuden ja esitettävyyden ansiosta. Tässä osiossa esitetyn kattilapukin perus- suunnittelu saa jatkoa luvun 6 esimerkissä, kun selvitettyjä tietoja hyödynnetään sen 3D-mallinnuksessa.

Tässä osuudessa esitetään kattilapukin perussuunnittelun kulku ja siinä huomioitavat muuttujat, joista kuitenkin tarkkoja mittoja ei esitetä. Tämä perustuu siihen, että suunnitteluohjeet ja rakennesuunnitelmat toteutuneista projekteista ovat salassapitosopimuksen alaista tietoa.

Kattilapukin perussuunnittelun ensimmäisenä tehtävänä oli valinta sen periaatteellisesta ratkaisusta. Tunnettujen vaihtoehtojen välillä ei ollut suurta kilpailua, sillä vaihtoehto 2 on selvästi rakenteellisesti tehokkaampi ja jättää paljon enemmän tilaa tulipesän pohjan vaatimille tuhkanpoistolaitteille kuin vaihtoehto 1. Kattilapukkivaihtoehdot 1 ja 2 on esitetty kuviossa 10. Vaihtoehdon 2 kohdalla täytyy kuitenkin huomioida, että se aiheuttaa vaakasuuntaisia rasituksia anturanostoille, joten niiden rauditusmäärät kasvavat.



Kuvio 10. Vertailtavat kattilapukkivaihtoehdot 1 ja 2 (Valokuvat: Metso 2009i.)

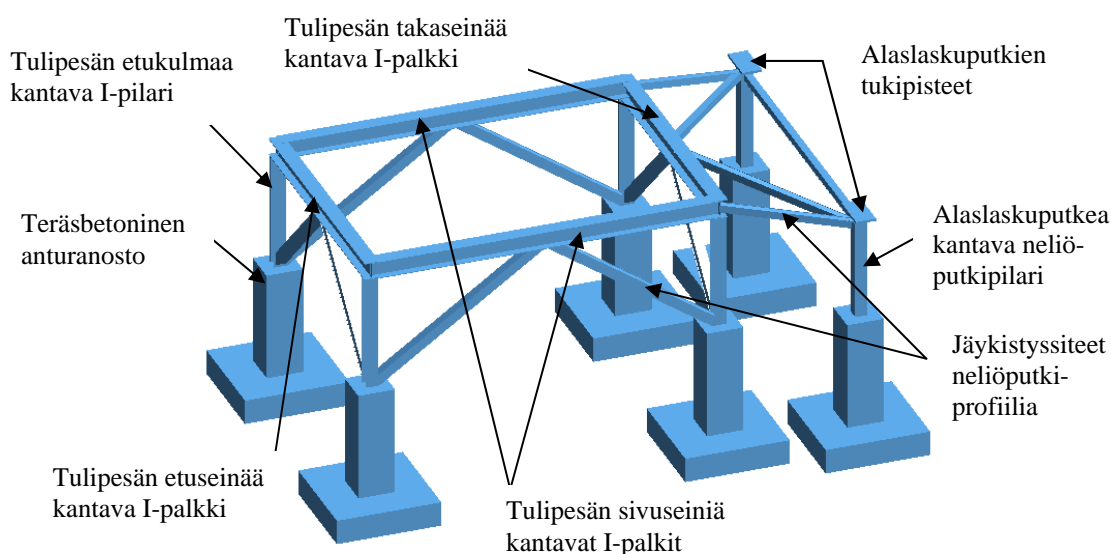
Mainittavaa kattilapukkivaihtoehtoihin liittyen on se, että kaikki vertailukohteina käytetyt kattilalaitokset on toteutettu vaihtoehdon 2 mukaisesti. Vaihtoehto 1 esiteltiin esimerkkinä siitä, että näinkin on kattilan kannatusrakenteita toteutettu. Vertailukohteiden joukossa löytyy myös variaatioita vaihtoehdon 2 sisällä. Nämä erot liittyvät pääasiassa kattilapukin liitoksiin sekä jäykistyksiin. Näihin teemoihin palataan myöhemmin tässä esimerkissä.

5.4.1 Sijainti

Toisin kuin tuotteiden yhteydessä esitetyn riiputetun HYBEX-kattilalaitoksen sivuleikkauksessa, altatuetuissa tyypeissä lieriö sijaitsee tulipesän takaseinän puolella, II-vedon

takaseinän päällä. Tällöin alaslaskuputket laskevat lieriöltä II-vedon sivuseinien ulkopuolella. Kattilapukin pystyrakenteet koostuvat kuudesta pilarista, joiden sijoittumiseen vaikuttavat kattilan tulipesän kulmapisteet sekä alaslaskuputkien sijainti. Neljä pilareista sijaitsee suorakaiteen muotoisen tulipesän kulmissa ja yhdet pilarit kummankin alaslaskuputken alla.

Kattilan painerunko tukeutuu lämpöliikkeen mahdollistavien laakeroitujen ”tassujen” välityksellä kattilapukin pilareihin kannatettuihin palkkeihin, joita on yhteensä neljä kappaletta, yksi jokaisen tulipesän seinän alla. Alaslaskuputkien kohdalla ei käytetä vastaavaa palkkirakennetta, vaan ne tukeutuvat suoraan pilareiden päihin sijoitettuihin päätylevyihin. Kattilapukin perussuunnittelua koskevia osia on esitetty 3D-mallista otetussa kuviossa 11.



Kuvio 11. Kuva kattilapukista selityksineen

Kuviosta 11 näkyvät myös työn perussuunnittelussa käsitellyt kattilapukin perustukset ja jäykistysrakenteet. Perussuunnittelun kannalta kattilapukin rakenteiden sijainti määräytyy siis tulipesän leveydestä ja syvyydestä. Alaslaskuputkien tukirakenteiden sijainti määräytyy taas alaslaskuputkien etäisyydestä tulipesän takaseinästä sekä niiden etäisyydestä tulipesän sivuseinien suuntaisesta keskilinjasta. Alaslaskuputkien tukipilarien välinen etäisyys takaseinän suunnassa on suurempi kuin tulipesän takaseinän kulmissa olevien pilarien väli. Tämä johtuu siitä, että alaslaskuputket laskevat lieriöltä II-vedon sivuseinien ulkopuolella.

Rakenteiden ja niiden erojen perusteella kattilapukki voidaan jakaa kahteen osaan. Tulipesän seiniä mukailevaan pukkirakenteeseen sekä takaosan alaslaskuputkien tukirakenteeseen sen pukkiin liittyvine jäykistyksineen. Jako on hyödyllinen myöhemmin käsiteltävien profiilien kannalta ja seuraavaksi käsiteltävän kattilapukin korkeusaseman kannalta.

Kattilapukin rakenteiden yläpintojen korot määräytyvät projektikohtaisista prosessilaskelmista, joiden perusteella kattila mitoitetaan vastaamaan asiakkaan tarpeita. Näiden laskelmien lisäksi korkoihin vaikuttavat yrityksen suunnitteluohjeet, joissa esitetään kattilan painerungon tukemiseen liittyviä mittoja ja ohjeita. 3D-mallinnusta silmällä pitäen mittojen pitäisi olla mahdollisimman yksiselitteisiä ja mahdollisuuksien mukaan käytettyjä myös muissa mitoituksissa. Tarjousvaiheessa tehtävissä prosessilaskelmissa tuotetaan mitta, jota voidaan hyödyntää kattilapukin suunnittelussa. Muiden ohjelmistojen tuottamien mittojen hyödyntäminen on tärkeää pyrittäessä automatisoimaan suunnittelua, jolloin manuaalinen tiedonsiirto vähenee.

Prosessilaskelmista hyödynnettävä mitta on korkeus pohjatasolta primääri-ilmatasolle. Mitta ilmoittaa korkeuden lattialaatan pinnasta HYBEX-arinan vesijäähdytteisten ilmapalkkien ilmasuuttimien yläpintaan. Eri suunnitteluohjeiden tietoja yhdistelemällä saadaan numeeristen arvojen avulla määritettyä kattilapukin teräsrakenteiden yläpinnoille sääntö prosessilaskelmista saatavan mitan perusteella. Tulipesän seinien tukirakenteiden yläpinnan korko saadaan selville hyödyntäen prosessilaskelmien mittaa ja suunnitteluohjeita.

Korkoon suunnitteluohjeiden perusteella vaikuttaa myös tulipesän syvyys, joten jännävälin kasvaessa riittävästi, prosessiin liittyvien HYBEX-palkkien korkeus kasvaa. Koska kattilapukin teräsrakenteiden korko sidotaan painerungon vaatimien rakenteiden korkeuksiin, tarkoittaa HYBEX-palkkien korotus kattilapukin teräsrakenteiden yläpinnan laskua. Alaslaskuputkien tukirakenteet ovat aina vakiomitan alempana kuin tulipesän seinien tukirakenteet, jotka edellä esitetysti muuttuvat tulipesän syvyyden mukaan.

Kattilapukin teräsrakenteiden liitoskorot anturanostoihin määräytyvät anturanostojen korkeudesta. Anturanostojen korkeuden määräytymiseen vaikuttavat palotekniset asiat sekä tilantarve kattilapukin pilareiden väleissä. Tilantarpeeseen anturanostojen korkeu-

det vaikuttavat kattilapukin pilareiden väleissä olevien diagonaalisiteiden kautta. Mitä korkeammat anturanostot ovat, sitä enemmän jää tilaa kattilapukin pilareiden väliin, diagonaalisiteiden alapäiden liitoskorkojen ollessa korkeammalla. Vastaavasti mitä korkeampi anturanosto on, sitä vaativammaksi muodostuu sen raudoittaminen, diagonaalisiteiden välittämien vaakavoimien kannalta.

Palotekninen mitoitus on kuitenkin pääsyy anturanostojen korkeuteen ja siihen, että nostot tulipesän ympäristössä ovat korkeammat kuin esimerkiksi seinälinjoilla. Tämä perustuu teräksen huonoihin paloteknisiin ominaisuuksiin ja onnettomuustekijöiden huomiointiin mitoituksessa. Onnettomuustilanteen voi aiheuttaa tulipesän pohjan romahtaminen. Näin tapahtuessa, luvun 2 tuotteiden yhteydessä esitetyn BFB-kattilan pohjalla leijutetun tulikuuman hiekkapedin ja palavan polttoaineen lämpövaikutus ei saa aiheuttaa koko kattilan sortumista. Tätä vastaan hyödynnetään teräsbetonisten anturanostojen hyviä paloteknisiä ominaisuuksia sekä niiden korkeuden avulla lisättävää suojaetäisyyttä kattilapukin teräsrakenteisiin. Työssä anturanoston korkeudeksi pohjatasolta määritettiin toteutettujen kohteiden perusteella 1 200 mm.

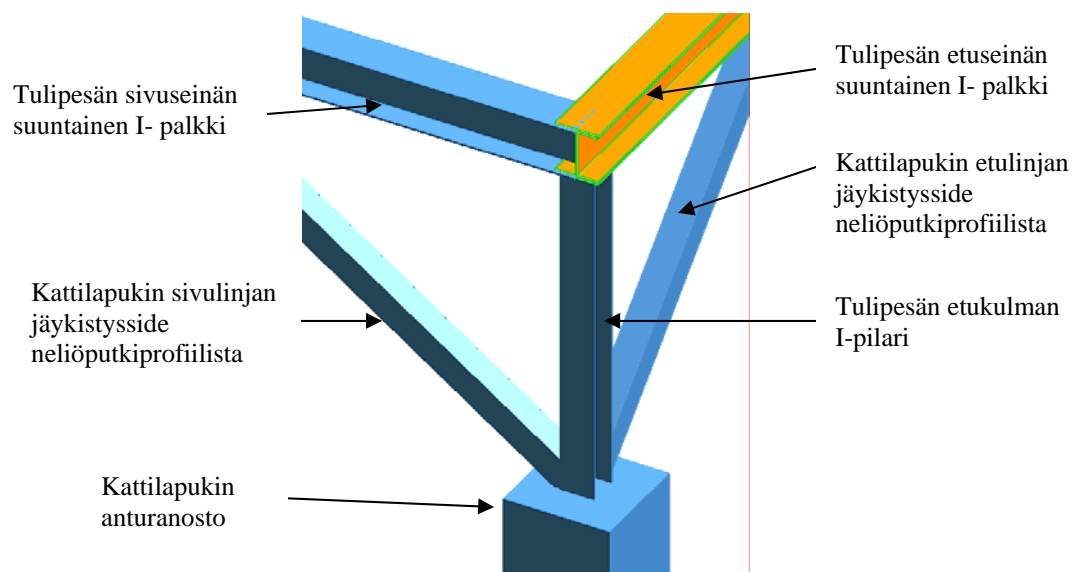
Edellä mainittujen sijaintiin liittyvien tekijöiden perussuunnittelun avulla tiedetään, mitä tietoa tarvitaan kattilapukin sijoittumiseen sekä mitkä suunnittelusäännöt siihen vaikuttavat. Perussuunnittelu sijoituksesta luo pohjan seuraavaksi käsiteltäville profiileille ja liitoksille.

5.4.2 Profiilit ja liitokset

Tässä osuudessa tutkitaan kattilapukin sisältämien osien välisiä liitoksia ja mittasuhteita. Ensimmäiseksi käydään läpi kattilapukin pilareiden ja palkkien perussuunnittelu. Vertailukohteiden perusteella sekä rakennusosaston projekti-insinöörien konsultoinnin avulla, valittiin kattilapukin pilareiksi tulipesän kulmien alle I-profiilit. Myös tulipesän seinälinjojen alla kulkevat palkit valittiin I-profiiliksi. Alaslaskuputkia tukevat pilarit kattilapukin takaosassa ovat neliöputkiprofiilia, kuten kaikki kattilapukissa käytetyt jäykistyssiteet. Profiilit on esitetty edellisen osion yhteydessä sivulla 44 kuviossa 11 sekä osaltaan tässä osiossa kuviossa 12.

Suurimmat kuormitukset kattilapukkiin aiheuttavat tulipesän etu- ja takaseiniltä tulevat kuormat. Tämä aiheuttaa sen, että tulipesää tukevassa palkkirakenteessa etu- ja takaseinän alla olevat I-profiilipalkit saavat suurimmat mittasuhteet. Kuormituksien suhteet sivuseinälinjoihin nähden vaikuttavat myös palkkien ja pilareiden liitoksiin.

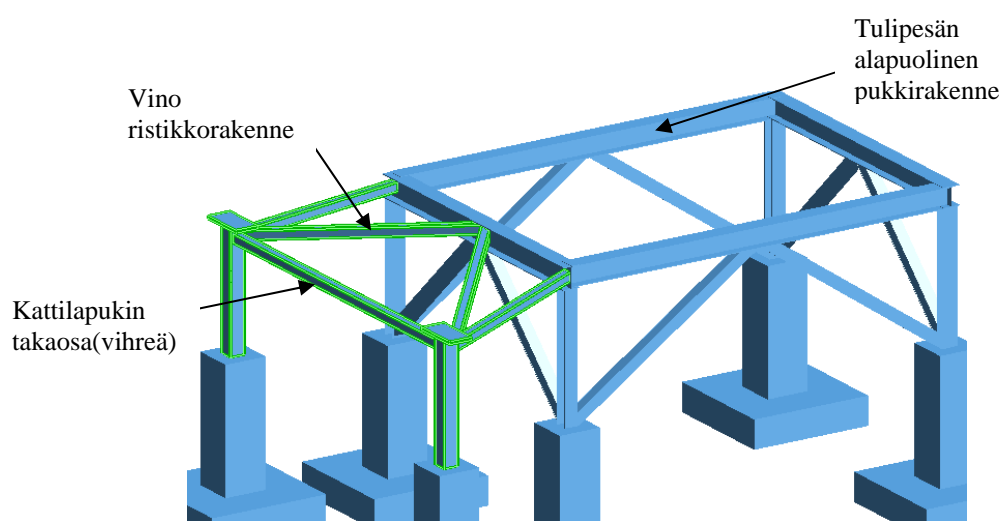
Suurimmat kuormat siirtävät etu- ja takaseinän suuntaiset palkit päätettiin työssä liittää kattilapukin pilareiden päähän. Näin vältetään suurimman leikkausvoiman mitoittaman liitoksen tekemiseltä pilarin laippaan. Kattilapukin palkkien yläpintojen tulee olla samassa tasossa, joten mittasuhteiltaan pienemmät sivuseinien suuntaiset palkit liitetään etu- ja takaseinän suuntaisten palkkien kylkiin (uumiin). Kuviossa 12 on esitetty detalji kyseisestä liitoksesta, jossa etuseinän suuntainen palkki on korostettuna oranssilla värillä.



Kuvio 12. 3D-mallista otettu detalji kattilapukin liitoksista selityksineen

Kuormitusten perusteella suunnataan myös tulipesän alapuolella olevat kattilapukin pilarit. Koska kuormitukset ovat suurempia tulipesän etu- ja takaseinälinjoilla, hyödynnetään myös I-profiilin vahvempaa suuntaa tämän mukaan. Tulipesän kulmien alapuoliset pilarit suunnataankin kuvion 12 osoittamalla tavalla siten, että pilareiden uumat ovat etu- ja takaseinien suuntaisena. Suuntauksella saadaan pilareista parempi taivutuskestävyys suurimmista kuormista muodostuvaa momenttia vastaan.

Vertailukohteissa oli variaatioita niin palkkien liitostapojen kuin pilareiden suuntauksienkin kanssa. Työssä edellä esitetyn perussuunnittelun mukaiset vaihtoehdot valittiin käytettäväksi pohjaksi seuraavassa luvussa esiteltävään 3D-mallinnuksen kehittämiseen. Jäykistyssiteiden osalta kattilapukki jaetaan jo aiemmin mainitulla tavalla kahteen osaan: tulipesän alapuoliseen pukkirakenteeseen ja kattilapukin takaosaan. Kuviossa 13 esitetään kattilapukin takaosa korostettuna vihreällä värillä. Kuormien ollessa pukkirakenteen alueella suuremmat, myös siellä käytetyt jäykistyssiteet ovat mittasuhteiltaan suurempia kuin kattilapukin takaosassa.



Kuvio 13. Kattilapukin takaosa ja vinositeet

Vertailukohteissa oli eroja myös takaosan jäykistyssiteiden määrässä, sillä osassa myös alaslaskuputkien alapuoliset pilarit olivat jäykistetyt niiden välillä pystysuuntaisilla jäykistyssiteillä. Kuten kuvioista 13 huomataan, työssä näitä jäykistyssiteitä ei käytetä, vaan kattilapukin takaosaan kohdistuvat vähäisemmät vaakakuormitukset siirretään kattilapukin osien välisellä vinolla ristikkorakenteella, tulipesän alapuolisen pukkirakenteen kautta perustuksille. Samaa ratkaisua on käytetty myös osassa vertailukohteiden tehokkaasti suunnitelluissa kattilapukeista ja sen selviä etuja on pienempi tilantarve.

Jäykistyssiteiden sauvojen sijoittelussa otetaan huomioon niiden keskilinjojen kohtaaminen yhdessä pisteessä, joten sauvat toimivat tehokkaimmin. Kattilapukin osien profiilikoot määriteltiin työssä vertailukohteiden perusteella. Toisin kuin muissa työn osakokonaisuuksissa, jännevälien muutokset eivät juuri vaikuttaneet profiilikokoihin. Jännevälien pienten muutosten lisäksi kattilapukin kohdalla vaikuttaa myös jäykistyssi-

teiden käyttö, mikä osaltaan pienentää jännevälin vaikutusta. Tällä perusteella kattilapukin osakokonaisuuksittain käytetään perussuunnittelun kannalta aina samaa profiilikokoa. Vertailuprojektien kattilapukkien profiilikoot osakokonaisuuksittain on esitetty liitteessä 2. Liitteessä 2 on esitetty myös työn kattilapukkiin vertailuprojektien perusteella valitut profiilikoot.

Kuten seuraavan luvun yhteydessä esitellään, 3D-malliin tuotettava rakennuksen runko on pääasiassa tilanvarauksen ja periaatteiden esitykseen. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi liitoslevyjä, pultteja ja uuman vahvistuksia on tarpeeton työhön sisällyttää, sillä ne kuuluvat varsinaiseen teräsrakennesuunnitteluun. Myös 3D-mallin käytettävyyden kannalta, liika mallinnustarkkuus on näiltä osin turhaa, sillä ei siirtotiedostoina tulleista virallisista teräsrakennesuunnitelmistakaan esitetä esimerkiksi pulttiliitoksia PDMS:n 3D-mallissa.

6 Rungon 3D-mallintaminen

Tässä luvussa käsitellään HYBEX-kattilalaitoksen rungon 3D-mallintamista ja sen kehittämistä. Edellisissä luvuissa käsitellyt asiat luovat pohjan rungon 3D-mallintamiselle. Yleiskatsauksen jälkeen esitellään mallinnuksessa käytetty PDMS-ohjelma sekä työssä käytetyn parametrisen suunnittelun perusteita. Edellä mainittujen osien jälkeen esitellään parametrisen rakennuksen yhteydessä yleisesti parametrisointia koko työstä ja viimeiseksi käydään läpi edellisessä luvussa perussuunnitellun altatuetun HYBEX-kattilalaitoksen kattilapukin parametriseksi mallintaminen.

Kattilapukin parametrisointi käydään esimerkkinä läpi, jotta periaatteet työn kulusta tulevat esille. Tarkoituksenmukaisuuden ja rajattavuuden kannalta kattilapukki sopii työn osista esimerkiksi parhaiten. Kaikkien työssä parametrisoitujen rungon osien läpikäyminen olisi mahdotonta, sillä osia työssä on noin 330 kappaletta ja ne sisältävät yhteensä noin 2 000 parametreja käyttävää sääntöä. Työn tuloksena valmistuneesta parametrisestä mallista puhutaan jatkossa sen työnaikana saamalla nimellä: parametrinen rakennus.

Viitaten lukuihin 4 projektin eteneminen kohdeyrityksessä ja 5 rungon perussuunnittelu, löytyy paljon syitä tämän kehityshankkeen perustaksi. Kun tavoitteina ovat toimitusajan lyhentäminen, kustannustehokkuuden parantaminen ja tarjousvaiheen materiaalin kehittäminen, 3D-mallintamisen automatisointi on ehdottomasti yksi keinoista tavoitteiden saavuttamiseksi.

6.1 PDMS

PDMS (Plant Design Management System) on Englantilaisen AVEVA-ohjelmistovalmistajan kehittämä 3D-laitossuunnitteluohjelma. Sitä käyttävät suunnittelussaan monet suuret yritykset prosessi- ja voimalaitosteollisuudessa. Tuotemallintamalla PDMS:n avulla koko kattilaitos voidaan rakentaa samaan malliin. Suunnittelijat eri puolilla maailmaa voivat tehdä töitä samassa 3D-mallissa, muutoksien päivittyessä malliin. 3D-mallista saadaan tulostettua muun muassa layout- ja detaljikuvia sekä materiaa-

li- ja venttiililistoja. Metso Power on mukana yhteistyössä kehittämässä PDMS-ohjelmistoa AVEVAn kanssa. (AVEVA 2009.)

Korostamalla väreillä malliin tulleita muutoksia PDMS helpottaa myös muutosten hallintaa 3D-mallissa. PDMS:n käyttäessä vain yhtä tietokantaa varmistuu se, ettei siitä ajettujen piirustusten, raporttien ja materiaalilistojen välillä ole eroja. Suunnitteluvirheitä puolestaan vähentävät PDMS:n sääntöperusteiset toiminnot sekä mahdollisuus törmäystarkastelujen tekemiseen. Suunnittelijalla on valittavanaan käyttääkö MS Office-ohjelman tyyppistä graafista käyttöliittymää vai komentoriviä käskyjen syöttämiseen. (AVEVA 2009.)

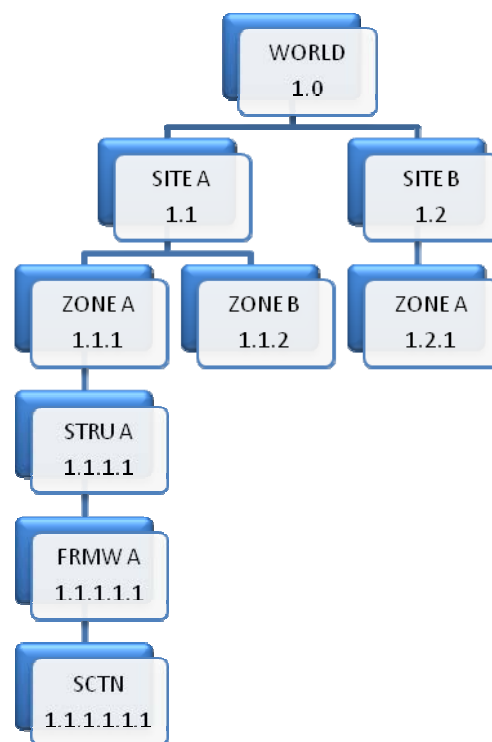
PDMS:n käynnistyksen yhteydessä on valittavana erilaisia ohjelman moduuleita, joista valitaan oikea sen mukaan mitä ollaan tekemässä. Kyseisistä moduuleista esimerkkinä suunnittelu-moduuli (design) ja piirustus-moduuli (draft). Jokainen eri moduuli sisältää omia niissä tarvittavia toimintoja. Tehtäessä 3D-suunnittelua malliin, käynnistyksen yhteydessä valitaan suunnittelu-moduuli ja vastaavasti piirustuksia mallista tuotettaessa valitaan piirustus-moduuli. Valittavissa on myös muita moduuleita, esimerkkinä putkistojen isometripiirustuksissa käytetty isometri-moduuli (isodraft). Ratkaisu on hyödyllinen siinä mielessä, että ei ole pyrittykään ahtaamaan kaikkia toimintoja samaan käyttöliittymään.

Ohjelman käyttö perustuu hierarkiarakenteeseen, joka on jaoteltu toiminnallisten kokonaisuuksien mukaan. Hierarkiarakenne mahdollistaa osien helpon hallinnon 3D-mallissa, kun esimerkiksi työlle tarpeettomien osien poistaminen näkyviltä onnistuu hierarkiarakenteesta. Myös suunnittelu-moduulin sisällä on valittavana vaihtoehtoja, sen mukaan mitä malliin ollaan tekemässä. PDMS-ohjelman suunnittelu-moduulissa tehtävän työn mukaan vaihtoehtoisina osina ovat:

- Equipment – laitteiden mallinnus
- Pipework – putkiston mallinnus
- HVAC – kanavien mallinnus
- Structures – rakenteiden mallinnus
- Hangers and Supports – kannakkeiden mallinnus
- Cable Trays – kaapelihyllyjen mallinnus.

Tehdyn valinnan mukaan myös käytettävä työkaluvalikoima ja valittavana olevat rakenteet muuttuvat, vastaavasti kuin ohjelman moduulien kanssa. Tässä työssä tehty HY-BEX-kattilaitoksen rakennuksen kehitystyö sijoittuu PDMS:n osista rakenteiden mallinnukseen, eli structure-osan alle. PDMS-ohjelman hierarkiarakenteen ylin taso on WORLD, jonka alapuolelle sijoittuvat tasot SITE ja ZONE. Luotaessa ZONE-tason alapuolelle lisää osia, hierarkian rakenteeseen alkaa vaikuttaa se, mitä ollaan tekemässä. Rakenteiden mallinnus osan alle ei voi tehdä putkia ja niin edelleen. Esimerkki rakenteissa käytetystä hierarkiarakenteesta on esitetty kuviossa 14, lähtien ylimmästä WORLD tasosta ja päätyen mallinnettuun pilariin (SECTION).

- Koko hierarkia rakentuu WORLD-tason alle
- SITE-tasot yleensä jakamassa mallia kokonaisuuksien mukaan, esimerkiksi rakennukset / polttoaineen käsittely
- ZONE-tasot määrittelevät jo erillisiä osakokonaisuuksia, esimerkiksi kattilarakennus / huoltorakennus
- STRU (structure)-taso määrittää käytettävät työkalut, tässä tapauksessa rakenteiden mallinnuksen, eri STRU-tasoilla jaetaan rakennusta osiin, esimerkiksi tasoteräkset / pilarit
- FRMW (framework)-tasojen avulla STRU-taso jaetaan paremmin hallittaviin osiin, esimerkiksi 1. lohkon pilarit / 1. lohkon tasoteräkset
- FRMW-tasolla pystyy vasta lisäämään hierarkiaan mallinnettavia rakenteita, tässä tapauksessa SCTN (section)-osan joka voi mallissa olla yksittäinen pilari tai palkki



Kuvio 14. PDMS-hierarkia selityksineen rakenteiden mallinnuksen mukaan

PDMS-ohjelman hierarkian käytön hallinta helpottaa huomattavasti työskentelyä 3D-mallinnusta tehtäessä. Työn tuotemalli kohdassa esitetyn tuoterakenteen kannalta PDMS- hierarkian tulisi olla sitä vastaava, jolloin tiedon hallinnointi ja ohjelmien välinen tiedonsiirto olisi helpommin hallittavissa.

Jakamalla ja hyödyntämällä PDMS-ohjelmalla tehtyjä 3D-komponentteja saadaan mallintamiseen käytettyä aikaa leikattua. PDMS on myös räätälöitävissä ja sen sisältämän

PML-ohjelmointikielen avulla toimintojen muokkaaminen ja automatisointi ovat mahdollisia. (AVEVA 2009.) Juuri näiden ohjelman valmistajan mainitsemien ominaisuuksien hyödyntämiseen perustuu työssä käsiteltävä 3D-mallinnuksen kehittäminen. Tarkempi esimerkki ohjelman käytöstä työssä käydään läpi kohdassa kattilapukin 3D-suunnittelu.

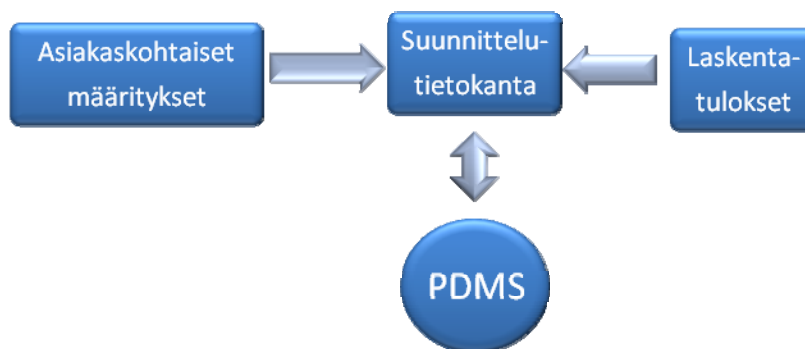
6.2 Parametrinen suunnittelu

Parametrisoinnin tavoitteena on tuotesuunnittelun automatisointi. Se nopeuttaa ja tehostaa suunnittelua ja tarjoaa mahdollisuuden vertailla helposti eri variaatioita mallista. Parametrisointi on askel kohti yrityksen standardoituja toimintatapoja ja sen muunneltavuus käyttäjäpalautteen perusteella helppoa, koska se perustuu ohjelmointiin. Parametriset mallit ovat myös helppokäyttöisiä, sillä suunniteltava malli on yleisesti suunnittelijoille tuttu. (Kaarna 2005, 2 - 5.)

Parametrinen mallintaminen liittyy suunnittelutietämyksen 3D-mallin geometriaan ja topologiaan rajoitusten avulla. Parametrisissa järjestelmissä rajoitukset ratkaistaan muuttujien peräkkäisillä sijoituksilla, jotka lasketaan aikaisemmin sijoitettujen arvojen funktioina. Muuttujien välisten funktioiden avulla saadaan 3D-mallin geometrian välille relaatioita. (Laakko ym. 1998, 56 - 58.)

Kaarnan (2005, 2) mukaan parametrin suunnittelun tuottavuuskerroin sijoittuu välille 3 - 10, kun taas esimerkiksi vanhojen piirustusten muuttaminen välille 2,5 - 3. Tätä voidaan verrata perussuunnittelun yhteydessä esitettyyn tapaan tuottaa tarjouspiirustukset. Huomioitavaa on vielä se, että 2D-piirustuksien kohdalla muutokset on tehtävä kaikkiin piirustuksiin erikseen, kun taas 3D-mallista tuotetut piirustukset ovat kaikki välittömästi päivitetty, kun itse malli on muutettu.

Muuttujien välisten funktioiden ansiosta parametriseen malliin tehty muutos päivittyy myös kaikkiin muuttujiin, jotka ovat yhteydessä muutoksen kohteeseen. Näin mallista tuotetut piirustukset ovat päivitetty, myös muutoksen välillisten vaikutusten osalta. 2D-piirustusten muokkaamiseen sisältyy taas riski, että jotain muutoksen vaikutuksia jää muuttamatta, varsinkin jos piirustuksia on useita.



Kuvio 15. Periaate tietokannan hyödyntämisestä parametrisessa suunnittelussa

Kuvion 15 mukaisesti parametrinen mallin voi liittää myös tietokantoihin, jolloin se ohjelmoinnin tuloksena hakee tarvitsemaansa parametreja automaattisesti, esimerkiksi laskentaohjelmasta tai sisäisestä tietokannasta. Tiedon automaattinen hyödyntäminen työn parametrinen rakennuksen osalta, vähentäisi syötettävien parametrien määrää huomattavasti sekä mahdollistaisi automaattisen suunnittelutiedon päivityksen. Tarkemmin työn jatkokehitykseen palataan työssä myöhemmin.

Tietokannan hyödyntämisessä yhtä tärkeään rooliin nousee myös 3D-mallin sisältämän tiedon hyödyntäminen. Tällöin 3D-mallista tuotetaan tietoa suunnittelutietokantaan, josta sitä hyödynnetään esimerkiksi hinta-arvioihin. Rakennuksen kohdalla tällaista tietoa ovat esimerkiksi kuorirakenteiden, betonielementtien ja vesikattorakenteiden pinta-alat sekä rakennuksen tilavuus. Vastaavia määrä- ja mittatietoja voidaan tuottaa 3D-mallista ajettavien raporttien muodossa. Järjestelmien yhteistoiminnan kannalta, tuotettujen raporttien tulisi sijaita suunnittelutietokannassa tuoterakenteensa mukaisessa paikassa sekä päivittyä automaattisesti, jos 3D-mallissa on tehty niitä koskevia muutoksia.

6.3 Parametrinen rakennus

Parametrinen rakennus on PDMS-ohjelmaan työn tuloksena tuotettu työkalu, jonka avulla 3D-malliin saadaan HYBEX-kattilaitoksen rungon pääosat, perustukset, kuoret sekä kattorakenteet nopeasti käyttäjän valintojen mukaan. Nimensä mukaisesti parametrinen rakennus perustuu edellä esitettyyn parametriseen suunnitteluun ja sen tarkoitus on olla toiminnoiltaan nopea sekä helposti muunneltavissa. Parametrinen rakennus sisältää luvussa 5 esitettyä perussuunnittelua sekä käyttäjälle muokattavaksi jätettyjä vapaita

parametreja. Parametrisen rakennuksen tuottava makro on liitettyä CD:llä työhön liitteessä 3.

6.3.1 Yleiset periaatteet

Koska parametrinen rakennus on osa tuotemalliprojektin yhteydessä esiteltyä automatisoidun suunnittelun kehitystä, otettiin tietojen hyödyntäminen tulevaisuudessa automatisoidusti muista ohjelmistoista huomioon jo sitä suunniteltaessa. Työn 3D-mallintamisen tavoitteena olikin tuottaa mahdollisimman muunneltavissa oleva parametrinen rakennuskokonaisuus. Tämä ei tarkoita kuitenkaan sitä, että käyttäjä joutuu syöttämään kaiken tiedon itse. Muuteltavissa ovatkin kaikki täydellisesti vakioimattomat osiot. Parametrisessa rakennuksessa käyttäjän muokattavissa on 45 parametria, joiden avulla noin 330 osaa sisältävä rakennuksen 3D-malli saa muotonsa.

Perussuunnittelussa tehdyn tutkimuksen yhteydessä nousi esiin monia muuttujia, joiden arvot ovat yleisesti samalla alueella. Tällainen arvo on esimerkkinä tulipesän kattilapilareiden/sisäpilareiden etäisyys tulipesän sivuseinästä. Koska arvo ei kuitenkaan ole aina sama, se jätettiin parametrisessa rakennuksessa käyttäjän muokattavaksi. Parametrisen osakokonaisuuden suunnittelun kannalta onkin järkevämpää jättää arvo muokattavaksi. Mikäli se käyttäjien palautteen perusteella tulevaisuudessa vakioidaankin, voidaan se helposti asettaa oletusarvoksi kyseiselle parametrille.

Työkalua käytettäessä parametrien oletusarvot tulevat valmiiksi parametreille, mutta ovat kuitenkin muokattavissa. Siinä tapauksessa, että vakiointi olisi tehty parametrinen rakennuksen sisäisiin sääntöihin, käyttäjä joutuisi tekemään muutokset manuaalisesti 3D-malliin aina poikkeavissa tilanteissa. Tämä aiheuttaisi myös sen, että muut parametrit 3D-mallissa eivät muuttuisi tehdyn manuaalisen muokkauksen jälkeen, vaan käyttäjä joutuisi muuttamaan myös kaikkia liittyviä osia.

Samaan tapaan parametrien suunnittelussa on otettu huomioon muiden ohjelmien tuottama tieto. Tätä tietoa on tarkoitus siirtää projektikohtaisesti oletusarvoiksi parametrinen rakennuksen parametreille. Siirrettävää tietoa silmällä pitäen, esimerkkinä parametrisesta rakennuksesta ovat sen korkeussuhteisiin vaikuttavat parametrit. Kyseiset parametrit

saadaan suoraan projektikohtaisesti tehtävistä lämpöpintalaskelmista, joiden tuloksia voidaan näin ollen hyödyntää myös parametrisessa rakennuksessa.

Parametrisen rakennuksen suunnittelussa on huomioitu myös mahdollinen yhteistyö painerunkosimulaattorin kanssa. Kummatkin osakokonaisuudet käyttävät paljon samaa tietoa, jonka lisäksi painerunkosimulaattori muodostaa osillaan useita parametrisen rakennuksen parametreista. Esimerkkinä yhteistyön huomioimisesta painerunkosimulaattorin kanssa, parametrisen rakennuksen origo on sijoitettu vastaamaan painerunkosimulaattorin origoa.

Parametreille oletusarvojen tuottamisella parametrisesta rakennuksesta saadaan käyttäjävälisempi, kun käyttäjän syöttämien parametrien määrä vähenee. Parametrisen rakennuksen yhteyteen voidaan lisätä myös valmiita parametrisarjoja, joiden avulla käyttäjä pystyy yhdellä valinnalla tuottamaan esimerkiksi tietyn tyyppisen rakennuksen rungon. Vaikka parametrisarjalla tuotettu runko vaatisikin muutoksia, ne on helpompi kokonaisuuden kannalta tehdä jo periaatteiltaan valmiiseen sarjaan.

Työssä tutkittu HYBEX-kattilalaitos voidaan jakaa karkeasti perussuunnittelun yhteydessä esitettyyn viiteen tyyppiin. Työssä näiden tyyppien mukaiset parametrisarjat koottiin esivalinnoiksi parametrisen rakennuksen määrittämistyökaluun. Tulevaisuudessa kyseeseen voi tulla esimerkiksi parametrisarjojen koostaminen tulipesän mittoihin perustuvien kattilatyyppeiden perusteella.

Työn tuottaman parametrisen rakennuksen tarkoitus on tuottaa nopeasti ja helposti muokattavissa oleva perussuunniteltu rakennuksen 3D-malli. Kuten aiemmissa luvuissa esitettiin, tuotettua 3D-mallia saadaan hyödynnettyä tarjousvaiheessa ja toimitusvaiheen alussa. Sen tavoite on helpottaa layout-suunnittelijoiden työtä ja tuottaa mitta- ja määrätietoa tarjousvaiheen hinta-arvioihin. Automatisoidun suunnittelun kehityksessä, se on askel kohti tarjousvaiheen 3D-suunnittelua ja layoutin vakiointia.

Parametrisen rakennuksen tarkoitus on esittää 3D-mallissa rakennuksen tilanvaraus ja tätä kautta myös laitossuunnittelun käytössä olevat tilat. Perussuunniteltujen rakennustyyppien ja sijoitusten avulla ohjataan lopullisen rakennesuunnittelun tekevää teräsrakennesuunnittelijaa. Periaatteiden ja tilanvarauksen kannalta tärkeimpään rooliin asettu-

vat rakenteiden sijoitukset ja profiilien mittasuhteet. Profiilien mittasuhteilla tässä tarkoitetaan niiden korkeutta ja leveyttä. Profiilien sisältämien osien ainevahvuudet eivät niinkään vaikuta tilanvaraukseen ja ne ovatkin parametrisessa rakennuksessa esivalittuja vertailuprojektien perusteella.

6.3.2 Ohjelmistotekninen toteutus

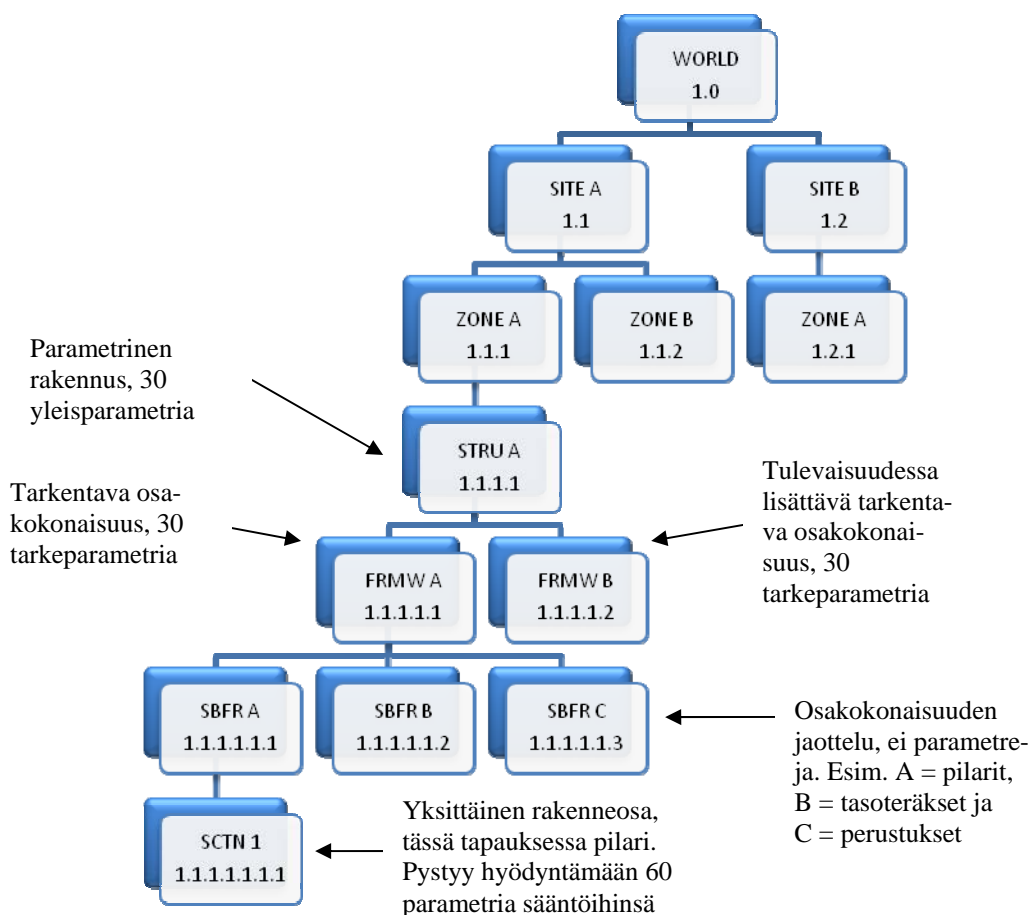
Pohjimmiltaan PDMS on laitossuunnitteluohjelmisto ja sen rakenteiden mallinnus palvelee parhaiten työssä esitetyn kaltaista rakenteiden mallintamista. Verratessa PDMS-ohjelmaa rakenteiden mallinnuksen kannalta esimerkiksi Tekla Structures-suunnitteluohjelmistoon, huomaa välittömästi kenen tarpeiden mukaan ohjelmistoja on kehitetty.

Työn ollessa pioneerihenkinen aikaisempia kokemuksia ei ollut juuri käytössä. Suuresta muuttujien määrästä johtuen, myös PDMS:n ohjelmistotekniset rajat aiheuttivat ratkaistavia ongelmia parametrissa rakennusta tehtäessä. Esimerkkinä toimikoon ohjelmassa oleva parametrinen työkalu, joka on tehty palvelemaan laitteiden parametrissa mallinnusta. Tämä tarkoitti, että työkalusta ei löytynyt rakenteiden mallinnuksen tarvitsemia STRU- ja FRMW-tasoja. Työssä tämän kaltaisten ongelmien ratkaisuun saatiin apua yrityksessä ohjelmistoa hallinnoivilta henkilöiltä.

Kun tarvittu tasot oli saatu ohjelmoitua käytettäväksi, rajoitteena oli se, että yksi PDMS:n hierarkiataso voi sisältää maksimissaan 30 parametria. Rakenteiden mallinnuksen kannalta tämä taso on STRU (structure)-taso. 30 parametria rakennuksen mallintamisessa on kuitenkin liian vähän, varsinkin kun otetaan huomioon siihen tulevaisuudessa tehtävät lisäykset. Ongelma ratkaistiin työssä hyödyntämällä PDMS:n hierarkian mukaista omistajarakennetta.

Kuten PDMS:n osiossa esitettiin, FRMW-taso on alistettu STRU-tasolle, eli STRU-taso on FRMW-tason omistaja. Hierarkian hyödyntäminen parametrien lisäyksen kannalta, onnistuu jaottelemaan parametreja osakokonaisuuksiksi ja sillä, että hierarkiassa FRMW-taso voi käyttää myös omistajalleen (STRU-taso) annettuja parametreja. Tällä perusteella saadaan käyttöön 60 parametria, jotka jakautuvat puoliksi STRU- ja FRMW-

tasoille. Työssä STRU-tasolle syötetyt parametrit jaoteltiin yleisparametreiksi ja FRMW-tasolle syötetyt parametrit tarkeparametreiksi. Yleisparametrien ollessa STRU-tasolla, mahdollistetaan sen alle lisättävien uusien FRMW-tasojen hyötyminen sen parametreista. Tällä tavoin parametrinen rakennuksen laajennusmahdollisuudet ovat avoimet. Parametrinen rakennuksen hierarkiaa ja parametrimääriä esitetään kuviossa 16.



Kuvio 16. Parametrinen rakennuksen PDMS-hierarkiarakenne selityksineen

Hierarkian muodostuminen edellä mainitulla tavalla poikkeaa tavallisesta rakennuksen hierarkiarakenteesta, jossa osakokonaisuudet ovat omilla STRU-tasoillaan. Koska koko työ on STRU-tasolla ja hierarkiarakenteen FRMW-tasot muodostavat sen osakokonaisuuksia, hallittavuuden ja käyttäjäystävällisyyden kannalta FRMW-taso jaettiin rakenteellisiin kokonaisuuksiin, SBFR(subframework)-alitasoilla. Kuvion 16 osoittamalla tavalla, STRU- ja FRMW-tasot eroavat SBFR-tasoista ainoastaan niiden sisältämien parametrien perusteella.

Kaikki parametrinen rakennuksen sisältämä tieto on 3D-mallissa esivalittujen arvojen ja osille syötettyjen sääntöjen summa, joten koko työkalun luomiseen tarvittavan tiedon saa ajamalla STRU-tason sisältämät säännöt makroksi. STRU on parametrinen rakennuksen ylin taso, joten se sisältää myös kaikki säännöt ja määrittelyt, joita on tehty sen omistamille alitasoille. Makron pituutta kuvaa se, että fonttikoolla 12 tekstinkäsittelyohjelmaan tuotuna sen pituus on noin 240 sivua. Sen tuottama parametrinen rakennus sisältää noin 330 osaa, jotka määrittyvät hyödyntäen niiden sisältämiä noin 2 000 sääntöä. Muuttujia näihin sääntöihin sisältyy karkeasti arvioiden noin 30 000 kappaletta.

Yleisesti ottaen parametrinen rakennuksen yksittäinen osa sisältää viidestä kuuteen sääntöä. Sijoittumisesta säännöt määritetään osan lähtö- ja loppupisteelle. Kumpikin piste annetaan 3D-malliin ilman suuntien avulla koordinaatiston origoon nähden. Niissä määritetään siis sijainti itä-länsi- ja pohjois-etelä-suunnassa, minkä lisäksi annetaan korkeusasema. Sijainnit määritetään origoon nähden, joka parametrissa rakennuksessa sijaitsee tulipesän keskipisteessä. Lisäksi profiilien korkeuksia ja leveyksiä määritetään sääntöjen avulla. Esimerkkinä I-profiilin vaatimat säännöt, joihin kuuluvat ylälaipan leveys, alalaipan leveys sekä profiilin korkeus.

Kuten aiemmin työssä esitettiin, profiilien ainevahvuuksia ei säännötetä, vaan ne on esivalittu parametrissa rakennusta tehtäessä. Tähän on kuitenkin poikkeuksena kaikki mallissa olevat vinot rakenteet, joiden materiaalien jokainen mittasuhte pitää säännöittää. Tämä johtuu ongelmista PDMS-ohjelman ominaisuuksissa sen määrittäessä sijainteja vinoille osille. Sama ongelma aiheutti myös parametrinen rakennuksen vesikattorakenteita kuvaavan laatan materiaalin vaihdon.

Parametrille rakennukselle luodaan PDMS-ohjelman suunnittelu-moduulin valikkoon oma nimike, josta sitä voi käyttää sille luodusta graafisesta käyttöliittymästä. Graafiseen käyttöliittymään lisätään linkit parametrinen rakennuksen käyttöohjeisiin, josta löytyvät parametrien sanalliset selitykset sekä tarkentavia kuvia ja ohjeita, graafisessa käyttöliittymässä esitettyjen parametrien selostuspiirustusten lisäksi. Aiemmin mainittuja 45 parametria ei suinkaan tarvitse täyttää jokaiseen kattilatyyppiin, vaan mallinnettavasta tyypistä riippuen, määräytyvät myös 3D-malliin vaikuttavat parametrit. Lopuksi voidaan vielä painottaa, että parametrinen rakennuksen avulla luotua HYBEX-kattilalaitoksen perussuunniteltuja osia voi luonnin jälkeen muokkailla täysin vapaasti.

6.4 Kattilapukin 3D-mallinnus

Tässä osiossa esitellään edellisessä luvussa perussuunnitellun altatuetun HYBEX-kattilalaitoksen kattilapukin 3D-mallintaminen osaksi parametrusta rakennusta. Osiossa ei esitellä jokaisen kattilapukkiin liittyvän osan säännöttämistä, vaan kaikista erityyppisistä päärakenteista näytetään yksi esimerkki. Näin vältetään turhalta toistolta, koska vain sijainniltaan erilaisten osien sääntöjen periaate pysyy kuitenkin samana. Esimerkkinä esitellään, kuviossa 17 rasteroituna esitetyt, tulipesän etuseinän alapuolisen pilarin, tulipesän sivuseinän alapuolisen palkin ja pukkirakenteen sivulinjan suuntaisen jäykistysiteen säännöttäminen. Perustuksia ei tässä tarkemmin tarkastella, niiden sijoituessa säännötettävän pilarin kanssa vastaavalla tavalla.

Koska jatkossa tullaan esittämään osille annettavia sääntöjä, tulee ymmärtää PDMS:n makroissa käytettäviä termejä. Seuraavaksi taulukossa 1 onkin esitetty kattilapukin säännöissä esiintyviä termejä selityksineen.

Taulukko 1: PDMS:n sääntöjen termejä selityksineen

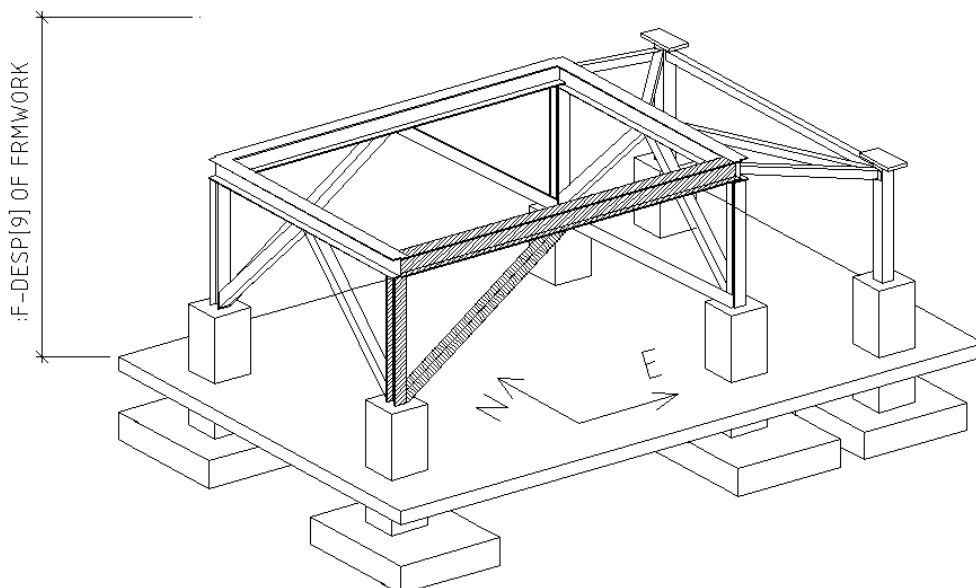
Termi	Selitys
RULE SET	Säännön käskyosa
Dynamic Rule	Automaattisesti päivittyvä sääntö
POSS	Profiilin lähtöpiste(position start)
POSE	Profiilin loppupiste(position end)
E	Sijoittuminen itään origosta(east)
N	Sijoittuminen pohjoiseen origosta(north)
U	Sijoittuminen ylöspäin origosta(up)
DESP NUM 1	Suunnitteluparametri 1 (design parameter number 1) profiilikohtainen arvo
:F-DESP[9] OF FRMWORK	Viittaa FRMW-tason tarkeparametri numero yhdeksään
:S-DESP[2] OF STRUCTURE	Viittaa STRU-tason yleisparametri numero kahteen

Koska profiilien suunnitteluparametrit vaihtuvat profiilikohtaisesti, taulukossa 2 esittää kattilapukissa käytettyjen profiilien suunnitteluparametrit selityksineen.

Taulukko 2: Suunnitteluparametrien selitykset profiileittain

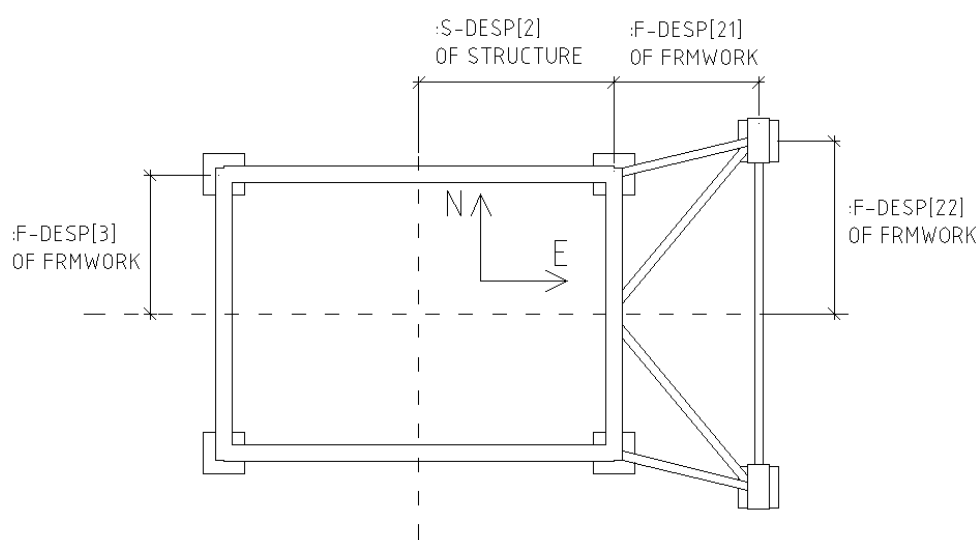
Termi	Selitys I-profiililla	Selitys neliöputkiprofiililla
DESP NUM 1	korkeus	korkeus
DESP NUM 2	uuman ainevahvuus	leveys
DESP NUM 3	ylälaipan leveys	seinämän ainevahvuus
DESP NUM 4	ylälaipan ainevahvuus	
DESP NUM 5	alalaipan leveys	
DESP NUM 6	alalaipan ainevahvuus	

Kuten perussuunnittelussa todettiin ja parametrinen suunnittelu kannalta on tärkeää, käyttää kattilapukkikin parametreinaan myös muihin osakokonaisuuksiin vaikuttavia parametreja. Tässä tapauksessa parametrit, joita vain kattilapukki tarvitsee ovat alaslaskuputkien etäisyys tulipesän takaseinästä (parametri :F-DESP[21] OF FRMWORK), alaslaskuputkien etäisyys tulipesän sivuseinien suuntaisesta keskilinjasta (parametri :F-DESP[22] OF FRMWORK) ja korkeus kattilalaitoksen pohjatasolta primääriilmatasolle (parametri :F-DESP[9] OF FRMWORK). Kattilapukin käyttämät parametrit ja mallissa käytettävät ilmansuunnat esitetään PDMS-ohjelmasta AutoCadiin tuotettujen piirustusten avulla kuvioissa 17 ja 18.



Kuvio 17. Aksonometriakuva kattilapukista

Kattilapukin vaatimien parametrien lisäksi, sen säännöissä hyödynnetään kahta muissakin osakokonaisuuksissa käytettävää parametria. Nämä kuviossa 18 esitetyt parametrit ovat etäisyys tulipesän keskipisteestä sen takaseinälle (parametri :S-DESP[2] OF STRUCTURE) ja tulipesän sivuseinän sijainti tulipesän keskipisteestä (parametri :F-DESP[3] OF FRMWORK). Kuviossa 18 esitetään myös parametrisen rakennuksen käyttämän origon sijainti, tulipesän keskilinjoja kuvaavien katkoviivojen leikkauspisteessä.



Kuvio 18. Tasokuva kattilapukista

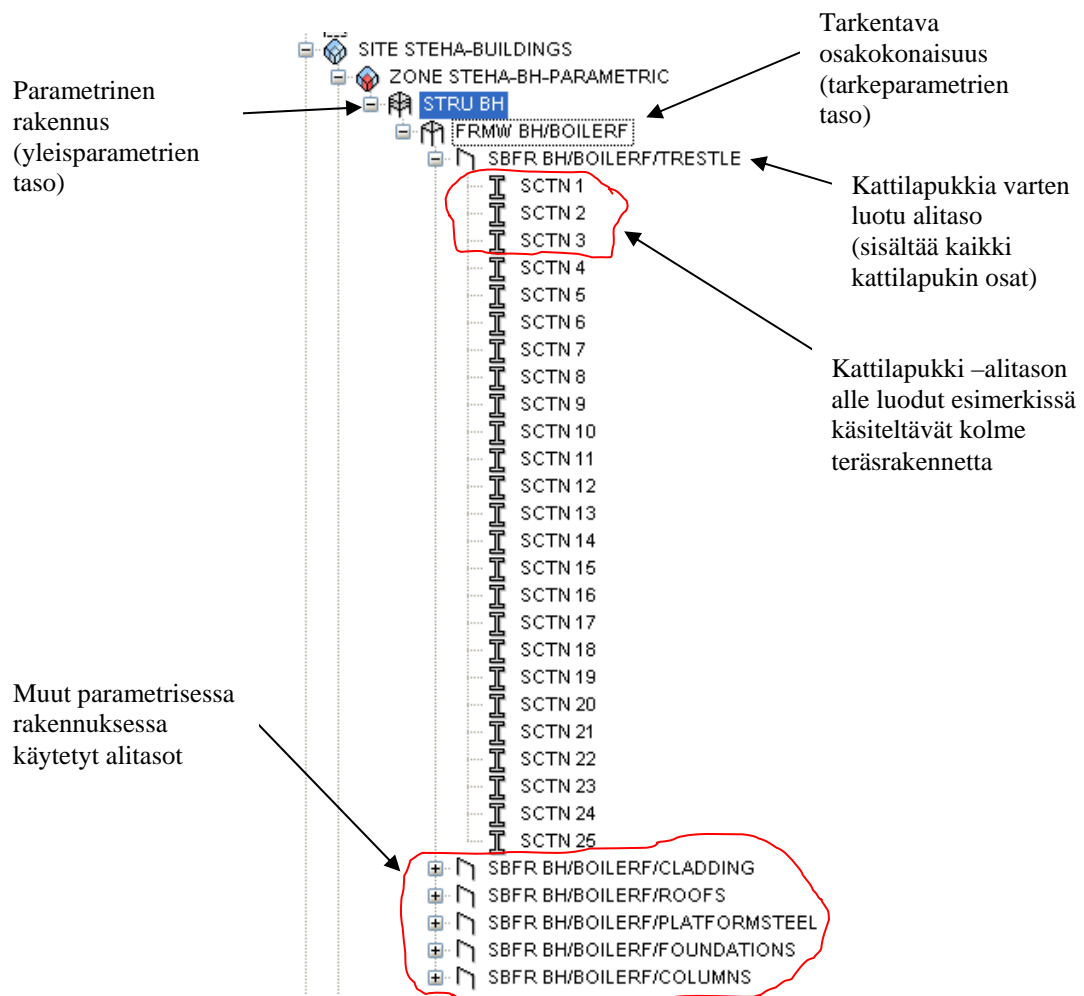
Perussuunnittelun ja vaadittavien parametrien asettamisen jälkeen voidaan aloittaa varsinaisen parametrisen 3D-mallin tekeminen. Esimerkkiosien sisältämät säännöt esitellään ja niiden sisältöä selostetaan. Jokaisen osan tekeminen alkaa luomalla sille malliin uusi rakenne. Parametrisointi tapahtuu vasta tämän uuden osan sääntöjen luomisella. Esiteltävät rakenteet ovat kaikki teräsrakenteita, joten niiden tyyppi on PDMS-ohjelmassa SCTN (section).

Koko parametrisen rakennuksen osalta säännöt vaihtelevat osittain vaadittujen relaatioiden ja niihin vaikuttavien muuttujien suhteen. Esimerkkeinä esitettävien kattilapukin osien säännöt ovat suhteellisen lyhyitä, verrattuna esimerkiksi kattorakenteissa ja niihin liittyvissä osissa käytettyihin sääntöihin, jotka sisältävät kautta linjan 20 - 30 muuttujaa sääntöä kohden. On myös huomioitava, että kaikki parametrisessa rakennuksessa käytetyt rakenteet eivät ole teräsrakenteita (SCTN), vaan työhön sisältyi myös seinärakenteita

ja laattoja. Periaate säännötyksessä pysyy muillakin rakenteilla samana, vain säännöillä vaikuttavat muuttujat vaihtuvat.

Pilarin parametrisointi

Ensimmäiseksi luodaan oikeaan paikkaan uusi rakenne pilaria varten, kuviossa 19 esitettyssä parametrinen rakennuksen hierarkiassa. Pileri on teräsrakenne, jolloin PDMS:n käytettävistä työkalu vaihtoehdoista valitaan rakenteet ja niiden alta pilarit ja palkit. Oikea sijainti hierarkiassa on tässä tapauksessa tarkeparametrien sisältämän FRMW-tason alle kattilapukkia varten tehty SBFR-alitaso. SBFR-alitaso on työssä nimetty pukiksi (TRESTLE) ja se sisältää vain kattilapukin osia, jolloin 3D-mallin hallinta helpottuu. Kuviossa 19 esitetään myös muut työssä tehdyt alitasot ja koska kuva on otettu valmiista työstä, sisältää kattilapukin (TRESTLE) alitasokin jo kaikki sen sisältämät osat.



Kuvio 19. Parametrisen rakennuksen hierarkianäkymä selityksineen PDMS-ohjelmasta

Pilaria varten luodun rakenteen jälkeen rakennetta muokataan valitsemalla sille profiili-tyyppi. Perussuunnittelussa selvitetyn tiedon perusteella pilarin profiiliksi valitaan I-profiili. Samalla määritetään esivalintana pilarin osien ainevahvuudet (DESP NUM 2 = 7,5 mm, DESP NUM 4 = 12 mm ja DESP NUM 6 = 12 mm) perussuunnittelussa valitun profiilin (HEA 240) mukaisiksi. Mitat PDMS:ään syötetään millimetreinä. Profiilin valinnoista määritetään myös osakohtaisesti, minkä mukaan se 3D-mallissa sijoitetaan. Tehtävän pilarin kohdalla valitaan kohdistus profiilin neutraaliakselin mukaan (NA).

Tämän jälkeen pilarin suuntaus asetetaan 3D-mallissa oikeaksi, jolloin perussuunnittelun yhteydessä pohdittu profiilin vahvempi suunta kohdistetaan oikein. Edellä käsiteltyjä ensivaiheita osien tekemisessä, käydään muiden esimerkin osien kohdalla läpi vain niiden muuttuvilta osin. Esimerkkien sääntöihin viitataan niihin yläindekseihin lisättyjen kirjaimien avulla, jotka selitysosassa esitetään suluissa kohtiin liittyvän selostuksen jälkeen.

Seuraavaksi asetetaan säännöt profiilin poikkileikkauksen mittasuhteisiin eniten vaikuttaville korkeudelle sekä laippojen leveyksille. Säännöt näille kolmelle muuttujille ovat:

RULE SET DESP NUM 1 Dynamic Rule ($230^B * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK}^A))$)

RULE SET DESP NUM 3 Dynamic Rule ($240^B * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK}^A))$)

RULE SET DESP NUM 5 Dynamic Rule ($240^B * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK}^A))$)

Säännöt ovat varsin yksinkertaisia, sillä profiilikoko tällä osalla on valittu perussuunnittelussa aina samaksi. Sääntöihin sisältyy aiemmin työssä mainittu tyyppikohtaisesti tarpeettomien osien hävittäminen. Kattilapukin kohdalla parametri :F-DESP[9] OF FRMWORK (A) tarvitaan ainoastaan tehtäessä altatuettua kattilatyyppiä. Tehdessä parametrisella rakennuksella riiputettua kattilatyyppiä, tarkeparametri 9 on arvoltaan 0, jolloin sääntöjen tuloksena pilarin profiilin poikkileikkauksen mittasuhteet ovat kaikki nolliä. Tällöin profiililla ei ole poikkileikkausta ja se häviää 3D-mallista.

Tämä perustuu PDMS:n MIN-funktion käyttöön. Säännöt muodostuvat todellisen profiilin (HEA 240) (B) mittatiedon ja MIN-funktion tulosta. MIN-funktio valitsee muuttujistaan pienemmän, joka säännössä kerrotaan todellisella profiilin mitalla. MIN-funktion muuttujat tässä tapauksessa ovat 1 ja tarkeparametri 9. Altatuettua kattilatyyppejä tehtäessä tarkeparametri 9 arvo on esimerkiksi 5 000 mm, jolloin MIN-funktio valitsee pienimmäksi arvon 1, jolla todelliset profiilin poikkileikkausmitat kerrotaan. Lopputuloksena 3D-malliin syntyy mitoiltaan oikea HEA 240 -profiili, kuitenkin ainoastaan altatuetuissa kattilatyypeissä, joissa kattilapukkia tarvitaan.

Pilarin sijaintiin vaikuttavat säännöt ovat:

RULE SET POSS Dynamic Rule (E (- :S-DESP[2] OF STRUCTURE^C) N (- :F-DESP[3] OF FRMWORK^C) U (1200)^D)

RULE SET POSE Dynamic Rule (E (- :S-DESP[2] OF STRUCTURE^C) N (- :F-DESP[3] OF FRMWORK^C) U (:F-DESP[9] OF FRMWORK - 200^E - 707^E - 80^E - 350^F - (MAX (6500 , :S-DESP[2] OF STRUCTURE * 2) - 6500) / (:S-DESP[2] OF STRUCTURE * 2 - 6500) * 153)^G)

Pilarin alkupisteen(POSS) etäisyydet itä- ja pohjoissuuntaan ovat säännössä negatiivisia (C), sillä aiemmin esitettyjen kuvioden 17 ja 18 perusteella pilari sijaitsee lounaassa origoon nähden. Pilarin neutraaliakseli sijoittuu tulipesän etukulman alle yleisparametrin 2 ja tarkeparametrin 3 avulla. Pilarin loppupisteen (POSE) sijainti itä- ja pohjoissuunnassa on sama kuin sen alkupisteellä, koska pilarin suunta on kohtisuoraan ylöspäin (C). Erot pilarin säännöissä ovatkin korkeussuunnassa (U). Lähtöpiste on anturanoston päällä, joka perussuunnittelussa määriteltiin 1 200 millimetriksi (D). Pilarin loppupisteen korkoihin vaikuttavat suunnitteluohjeet, joiden perusteella tarkeparametri yhdeksästä vähennetään arvot 200, 707 ja 80 (E) (Metso 2009h).

Lisäksi loppukorkoon vaikuttaa arvo 350 (F), joka vähennetään pilarin korkeudesta sen päälle liittyvän palkin (HEA 360) korkeuden perusteella. Tarkeparametrissa 9 vähennettäviä arvoja ei ole summattu yhteen, säännön helpomman ymmärrettävyyden ja ylläpidon kannalta (E & F).

Edellä mainittujen vähennysten lisäksi, kattilapukin pilarin korkeutta tulee pienentää lisää 153 mm (G), jos tulipesän syvyys on enemmän kuin 6 500 mm. Tällöin HYBEX-palkin korkeus kasvaa, jolloin kattilapukin yläpinnan terästen on laskettava. (Metso 2009h.)

PDMS-ohjelman MAX-funktio valitsee sille asetetuista muuttujista arvoltaan suuremman. Muuttujat tässä tauksessa ovat 6 500 ja yhtälö (2 x yleisparametri 2). Yleisparametri 2 kerrotaan kahdella, jolloin saadaan tulipesän syvyys. Vastaavasti säännön olisi voinut tehdä jakamalla arvon 6 500 kahdella ja vertaamalla sitä suoraan yleisparametri kahteen. Tulipesän syvyyden ollessa alle 6 500, MAX-funktio valitsee arvokseen 6 500, josta vähennetään 6 500. Erotuksena on nolla, jolloin säännön lopulla ei ole vaikutusta ja korkeudesta ei vähennetä yhtään enempää (G).

Tulipesän syvyyden ollessa esimerkiksi 7 000 mm, MAX-funktio valitsee muuttujista isompana 7 000. MAX-funktion valitsemasta muuttujasta 7 000, vähennetään säännön mukaisesti 6 500. Erotuksena saatu arvo 500, jaetaan vastaavalla laskutoimituksella jolla se on saatukin. Tulokseksi jakolaskusta saadaan yksi, jolla vähennettävä 153 mm kerrotaan. Näin tulipesän syvyyden ollessa yli 6 500 mm kattilapukin korkeudesta vähennetään 153 mm lisää (G).

Palkin parametrisointi

Palkin luonti ja esivalinnat tehdään vastaavalla tavalla kuin pilarin kanssa, ainoastaan sijoituksen perusteet 3D-mallissa ovat erilaiset. Palkin sijoituspisteeksi valitaan palkin alapinta (BOS(Bottom Of Steel)), jolloin voidaan hyödyntää jo pilareille annettuja korkeuteen vaikuttavia sääntöjä. Rajapinnoissa sääntöjen yhdistelemisellä säästetään aikaa ja helpotetaan niiden hallintaa. Koska palkki on myös perussuunnittelun perusteella I-profiili (HEA 360), se sisältää pilarin kanssa vastaavanlaiset säännöt. Seuraavaksi palkin profiilikohtaiset säännöt esitetään, niitä tarkemmin selittelemättä.

```
RULE SET DESP NUM 1 Dynamic Rule ( 350 * MIN ( 1 , :F-DESP[9 ] OF
FRMWORK ) )
```

```
RULE SET DESP NUM 3 Dynamic Rule ( 300 * MIN ( 1 , :F-DESP[9 ] OF
FRMWORK ) )
```

RULE SET DESP NUM 5 Dynamic Rule ($300 * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK })$)

Seuraavaksi esitetään palkin sijaintiin liittyvät säännöt, joissa aiemmin pilarin loppupisteelle tehtyä sääntöä korkeudesta hyödynnetään.

RULE SET POSS Dynamic Rule ($E (- :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE}^J) N (- :F\text{-DESP}[3] \text{ OF FRMWORK}^I) U (:F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK} - 200 - 707 - 80 - 350 - (\text{MAX} (6500 , :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2) - 6500) / (:S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2 - 6500) * 153)^H$)

RULE SET POSE Dynamic Rule ($E (:S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE}^J) N (- :F\text{-DESP}[3] \text{ OF FRMWORK}^I) U (:F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK} - 200 - 707 - 80 - 350 - (\text{MAX} (6500 , :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2) - 6500) / (:S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2 - 6500) * 153)^H$)

Kuten säännöistä huomataan, pilari sijoittuu malliin vaakasuorasti, sillä sen alku- ja loppupisteen korkeuden säännöt ovat samat (H). Kattilapukin palkkirakenteen yläpinta asettuu suunnitteluohjeiden mukaiselle korkeudelle, koska pilarin korkeudessa oli huomioitu palkin korkeus ja palkki sijoittuu malliin teräsosan alapinnan mukaan, jolloin koko rakenteen korkeus kasvaa tavoitelluksi palkin korkeudella.

Itäsuunnassa palkin päiden pisteet ovat samalla linjalla, joten niiden pohjoissijainnin määrittelevät säännöt ovat samoja. Negatiivisella tarkeparametri kolmen arvolla, palkki saadaan sijoittumaan tulipesän oikean seinän keskilinjan alapuolelle (I). Koska parametrisen rakennuksen origo sijaitsee tulipesän keskipisteessä, on alkupisteen sääntö itäsuunnassa negatiivinen arvo yleisparametrissa 2 ja loppupisteen positiivinen arvo parametrissa 2 (J). Näin palkin alku- ja loppupiste sijoittuvat tulipesän kulmien alla olevien pilareiden keskilinjoille. Keskilinjalle sijoittuminen perustuu siihen, että tulipesän sivuseinänsuuntaiset palkit on määritetty perussuunnittelussa liittyvän etu- ja takaseinälinjoilla pilareiden päällä kulkevien palkkien kylkeen.

Jäykistysiteen parametrisointi

Jäykistysiteen luonti alkaa samaan tapaan kuin edellä palkin ja pilarinkin luonti. Profiiliksi valitaan neliöputkiprofiili (CFRHS) ja sijoittuminen sen neutraaliakselin (NA) mukaan. Jäykistysiteen ollessa mallissa vinossa asennossa, myös sen ainevahvuus täytyy säännöttää, jotta se poistuisi kokonaan 3D-mallista, silloin kun sitä ei tarvita. Jäykistysiteen profiilikohtaiset säännöt ovat:

RULE SET DESP NUM 1 Dynamic Rule ($200 * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK })$)

RULE SET DESP NUM 2 Dynamic Rule ($200 * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK })$)

RULE SET DESP NUM 3 Dynamic Rule ($8 * \text{MIN} (1 , :F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK })$)

Jäykistysiteen sääntöjen periaatteet ovat palkin ja pilarin kanssa samanlaiset. Ainoana erona on, että myös profiilin ainevahvuuskin (DESP NUM 3) on säännötetty. Mitat neliöputkiprofiilille ovat perussuunnittelussa päätetyt. Jäykistysiteen sijaintiin vaikuttavat säännöt on esitetty seuraavaksi.

RULE SET POSS Dynamic Rule ($E (- :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE }) N (- :F\text{-DESP}[3] \text{ OF FRMWORK}^L) U (1200)^K$)

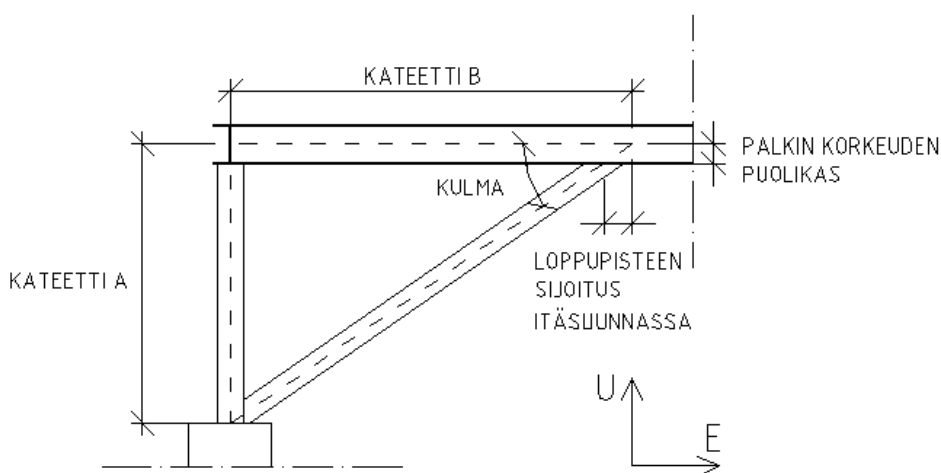
RULE SET POSE Dynamic Rule ($E (- 175 / \text{TAN} (\text{ATAN} ((:F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK} - 200 - 707 - 80 - 175 - (\text{MAX} (6500 , :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2) - 6500) / (:S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2 - 6500) * 153) / :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE})))^M N (- :F\text{-DESP}[3] \text{ OF FRMWORK}^L) U (:F\text{-DESP}[9] \text{ OF FRMWORK} - 200 - 707 - 80 - 350 - (\text{MAX} (6500 , :S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2) - 6500) / (:S\text{-DESP}[2] \text{ OF STRUCTURE} * 2 - 6500) * 153)^G$)

Jäykistysiteen lähtöpiste (POSS) on aiemmin tehdyn pilarin lähtöpisteessä anturanoston yläpinnassa (U = 1200) (K). Jäykistyside liittyy todellisuudessa liitoslevyjen avulla pilarin uumaan anturanoston päällä. Tilanvarauksen kannalta on kuitenkin riittävää esit-

tää jäykistysiteen liittyminen suoraan uumaan ja jättää tarkempi detaljisuunnittelu rakennesuunnittelijalle.

Jäykistysiteen loppupiste (POSE) sijaitsee tulipesän sivuseinää tukevan palkin puolesavälissä. Sen korkeuden määrittävä sääntö on sama kuin pilarin loppupisteellä (G), sillä se liittyy sivuseinää kantavan palkin alalaippaan. Jäykistysiteen loppupisteen sijainti pohjoissuunnassa on sama kuin sen alkupisteellä (L). Pohjoissuunnassa se sijoittuu tulipesän sivuseinän keskilinjalle, samoin kuin aiemmin säännötetyt pilari ja palkki (L). 3D-mallin visuaalisuuden kannalta, saman linjan jäykistysiteitä ei säännötetä samaan loppupisteeseen, jolloin ne törmäisivät mallissa. Loppupisteen sijoittuminen itäsuunnassa säännötetään mallissa jäykistysiteiden ja palkin keskilinjan leikkauspisteen perusteella siten, että jäykistysiteet liittyvät palkkiin samaa linjaa käyttäen (M). Tällöin itäsuunnan sijaintiin vaikuttaa jäykistysiteen kulma, joka määräytyy annetuista parametreista.

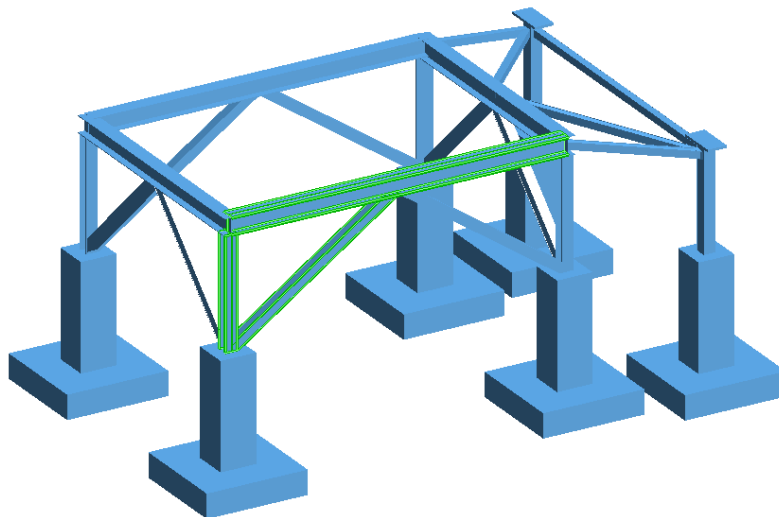
Käänteisfunktiolla ($ATAN = \arctan$) lasketaan säännötetyn palkin ja jäykistysiteen välinen kulma. Tällöin kateetteina ovat pilarin korkeus, johon on lisätty puolet palkin korkeudesta (175 mm) ja palkin pituus jaettuna kahdella, eli tulipesän syvyyden puolikas (:S-DESP[2] OF STRUCTURE). Saatua kulmaa hyödynnetään vastakkaiskulma periaatteella, jolloin puolikas palkin korkeudesta jaetaan saadun kulman tangentilla (TAN). Palkin korkeuden puolikas on negatiivisena, sillä jäykistysiteen loppupiste sijaitsee origon länsipuolella (M). Loppupisteen idänsuuntaisen sijainnin säännössä käytettyjä muuttujia on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20. Jäykistysiteen loppupisteen muuttujia

Yhteenveto

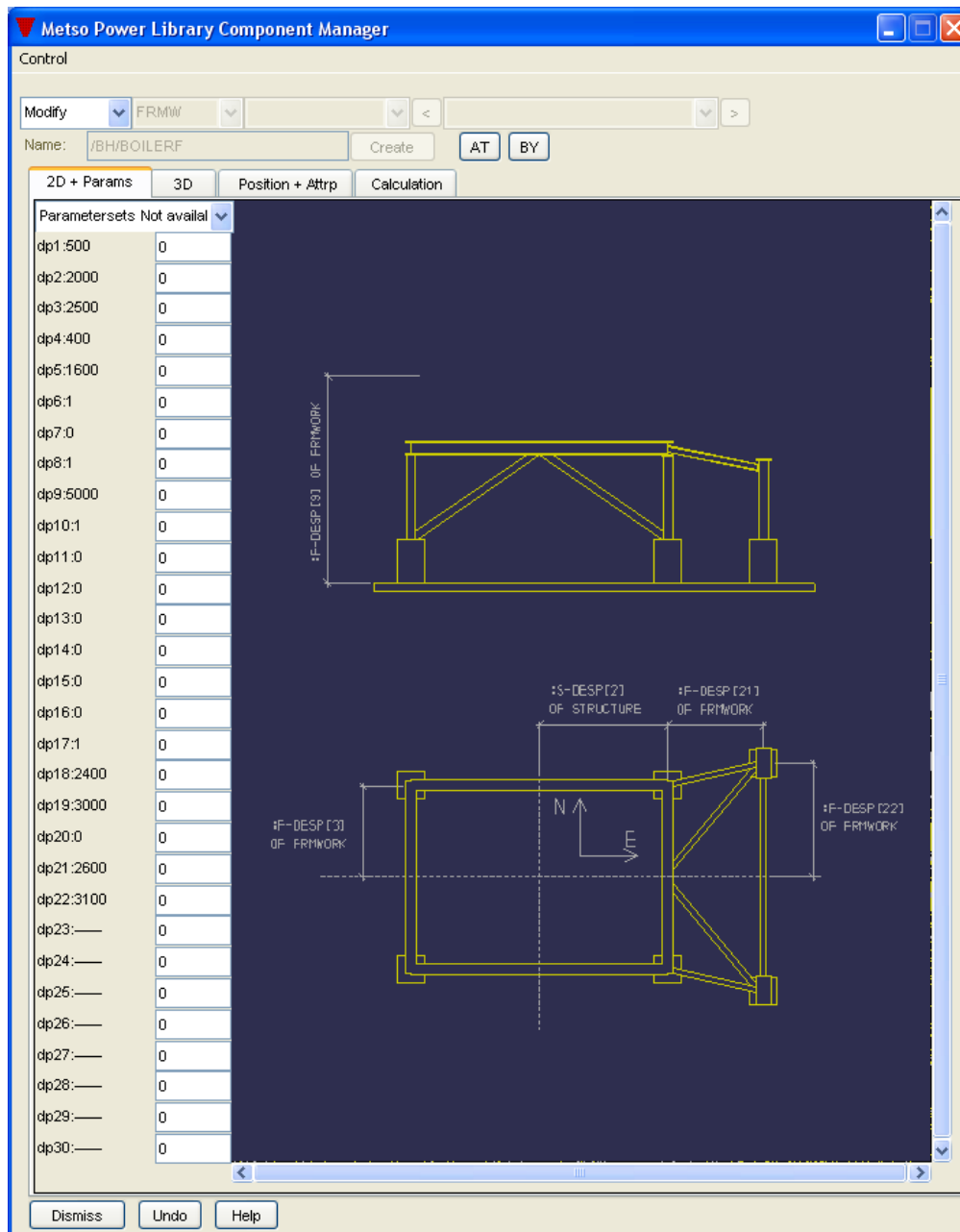
Kattilapukin muiden osien säännöttäminen noudattaa samoja periaatteita esimerkkeinä käytyjen kanssa. Kuviossa 21 esitetään parametrisesti mallinnettu kattilapukki kokonaisuudessaan. Edellä säännötetyt kattilapukin osat ovat vihreällä korostettuna kuviossa 21.



Kuvio 21. Parametriseksi 3D-mallinnettu kattilapukki

Koska parametrinen rakennus ei vielä kokonaisuudessaan ole valmis, ei siitä PDMS-ohjelmaan tehtäviä parametrien esityspiirustuksia ole vielä järkevää tehdä. Parametrinen rakennuksen edetessä, siihen tullaan lisäämään uusia osakokonaisuuksia, joita ovat esimerkiksi polttoainesilojen rakennus ja kattilarakennuksen tasot. Uusien parametrien lisäyksen yhteydessä parametrisarjoja tullaan järjestelemään uudelleen, jolloin myös parametrien tunnukset muuttuvat. Työhön liittyvien parametrien sanalliset selitykset ja parametrinen rakennuksen käyttöohjeet esitetään liitteessä 4.

Koska koko parametrinen rakennuksen sisältämä tieto on yhdessä tekstitiedostossa, parametrien järjestely ja muuttaminen onnistuu helposti tekstinkäsittelyohjelmien korvaa (replace)-toiminnolla. Pohjatyö on kuitenkin PDMS:n graafisen käyttöliittymän käyttöönotolle parametrinen rakennuksen yhteydessä tehty. Seuraavan sivun kuviossa 22 esitetäänkin esimerkkinä kattilapukin parametrien selitykset graafisessa käyttöliittymässä, josta parametrinen rakennus tuotetaan.



Kuvio 22. Parametrisen rakennuksen graafinen käyttöliittymä PDMS-ohjelmassa

7 Tulosten tarkastelu

Työn tavoitteena oli selvittää HYBEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnitteluun vaikuttavia tekijöitä sekä tutkia toteutettuja rakennetyyppejä ja tehdä perusteltuja valintoja hyvistä toteutuksista. Perussuunnittelusta saadun tiedon avulla tavoitteena oli tuottaa PDMS-ohjelmaan työkalu, helpottamaan ja nopeuttamaan perussuunnitellun rakennuksen 3D-mallintamista.

Työn valmistuttua voidaankin todeta, että annetut tavoitteet saavutettiin. Kaikki parametrinen rakennuksen avulla 3D-malliin tuotetut rakenteet ovat perussuunniteltuja. 3D-mallintamistyökalusta tehtiin tavoitteiden mukaan mahdollisimman muokattava, ottaen huomioon kuitenkin käyttäjäystävällisyyden. Käyttäjän tekemien parametrien valintojen ja arvojen perusteella parametrillä rakennuksella pystytään tuottamaan kaikki vertailukohteiden HYBEX-tyypit.

Työn aikana ratkaistiin myös monia ongelmia PDMS-ohjelman kanssa ja otettiin käyttöön uusia tapoja laajoja parametrisia kokonaisuuksia mallinnettaessa. Tästä esimerkkinä on parametrien hyödyntäminen hierarkisesti, jota varmasti tullaan käyttämään tuotemalliprojektin edetessä myös muilla sen osa-alueilla.

Myös tuotetiedon hallinta otettiin työtä tehtäessä huomioon, sen lähitulevaisuudessa tarjoamien mahdollisuuksien takia. Kehitysprojektien edetessä ja ohjelmien välisen tiedonsiirron kehittyessä, automatisoidun suunnittelun työkalut tulevat hakemaan ja tuottamaan suunnittelu-, mitta- ja määrätietoa automaattisesti muista suunnitteluohjelmista.

Työn tuottamat osat parametrisestä rakennuksesta ovat valmiita, mutta tämän raportin laatija pitää vaihetta ainoastaan ensimmäisenä versiona. Sen tekemisessä on kuunneltu käyttäjien mielipiteitä ja sen perussuunnitteluun on saatu tietotaitoa kokeneilta ammattilaisilta. Työkalut tehdään kuitenkin käyttäjiä varten ja käytössä parametrinen rakennus ei ole vielä ollut. Parametrinen rakennuksen tärkein kehitysvaihe on siis vielä edessäpäin, joten on varmaa, että siihen tehdään vielä monia muutoksia käyttäjien toiveiden mukaan.

8 Johtopäätökset

Tullakseen käyttöön parametrisen rakennuksen pitää olla helppokäyttöinen ja sen käytöstä pitää olla selkeät ohjeet. Parametrisen rakennuksen käyttö jo tarjousvaiheen alussa asettaa sen sisällölle vaatimuksia uusista lisättävistä osakokonaisuuksista. Sen perussuunnittelun tarkentaminen ja siihen lisättävät uudet osakokonaisuudet tulevat muokkaamaan työssä tehtyjä käyttöohjeita ja parametrisarjoja. Sen päivittäminen ja ylläpito sekä kehittäminen käyttäjien toiveiden mukaan tulevatkin jatkossa olemaan tärkeässä osassa.

Tärkeinä kehityskohteina työn jatkokehityksessä ovat myös mahdolliset yhdistymiset eri työkalujen kanssa ja tietokantojen suunnittelutiedon hyödyntäminen automaattisesti 3D-mallia rakennettaessa. Parametrisen rakennuksen tuottaman mitta- ja määrätiedon hyödyntämistä tullaan jatkossa kehittämään, jotta kaikki hyödyllinen tieto 3D-mallista saadaan tarjousvaiheessa käyttöön.

Parametrinen rakennus on työkalu PDMS-ohjelmassa, joten sen tulee myös mukautua ohjelman päivitysten mukana. Uusien ohjelmaversioiden kehitystä täytyy hyödyntää myös parametrisen rakennuksen osalta sekä varmistaa sen toiminta niissä. Esimerkkinä seuraavassa PDMS-versiossa ilmestyvä porrastyökalu, jonka avulla on tulevaisuudessa tavoite parametrisoida porrastornit ja hissikuilut mukaan parametriseen rakennukseen.

Työn aikana on noussut esiin monia osakokonaisuuksia, joiden lisääminen työkaluun olisi tavoiteltavaa. Työkalun pääperiaatteiden helppokäyttöisyyden ja nopeuden kannalta, tulee kuitenkin ennen uusia lisäyksiä saada kommentteja käyttäjiltä jo tehdyistä osakokonaisuuksista. Toimivuuden kannalta lisäykset kannattaakin tehdä vasta hyväksi todetun pohjan päälle.

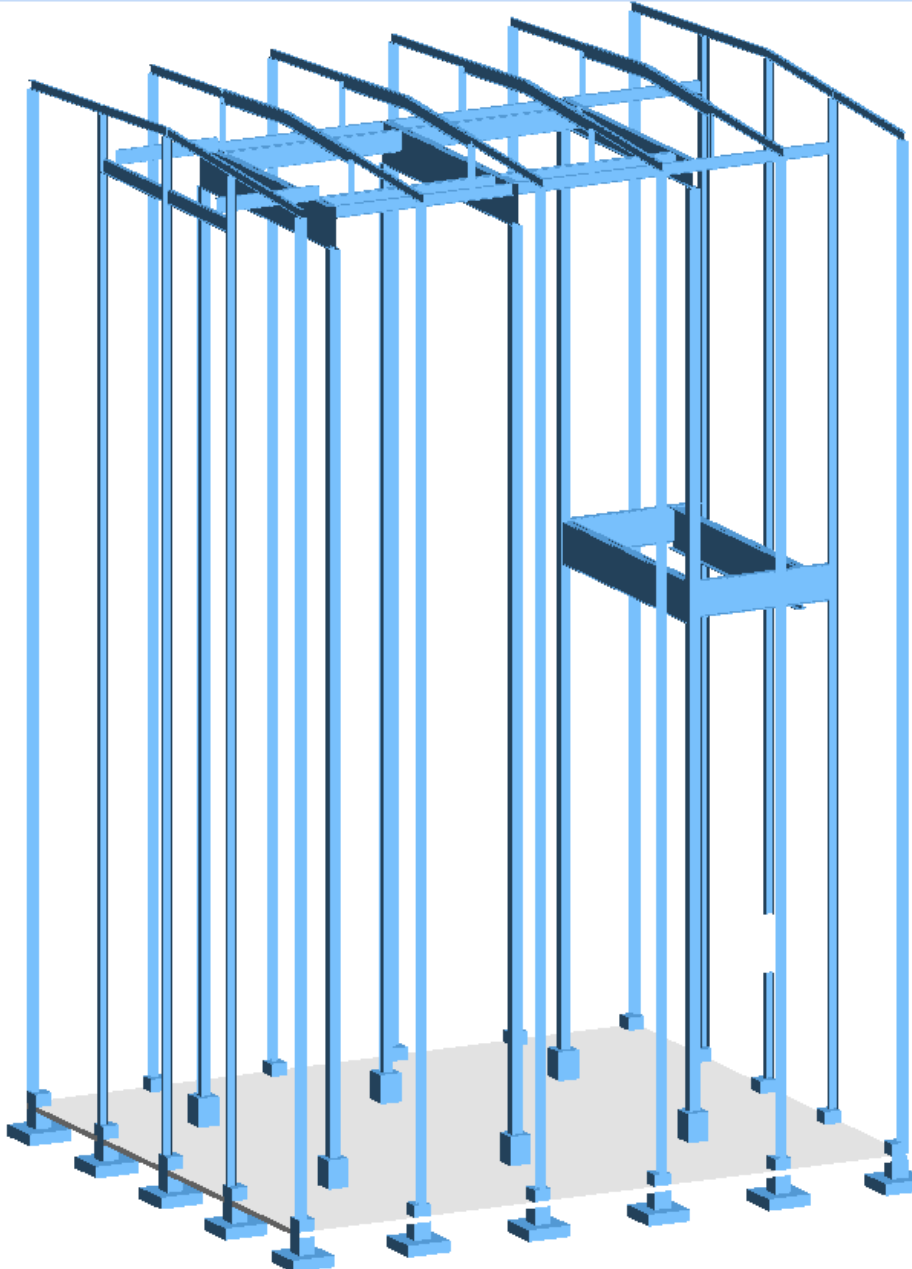
Lähteet

- Alander, Ilkka 2008. Automaattisen laitossuunnittelujärjestelmän kehittäminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Konetekniikka. Tampere.
- Alander, Ilkka 2009. Laitossuunnittelun kehitys: aliprojektin suunnitelma[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 5 s.
- Armstrong, Stephen C. 2005. Engineering and product development management: the holistic approach. New York: Cambridge University Press. s. 325.
- AVEVA. [www-sivu] [viitattu 29.3.2009] Saatavissa: <http://www.aveva.com/>
- AVEVA 2005. PDMS Software Customization Reference Manual Version 11.6SP1. Cambridge UK: AVEVA Solutions Limited. 331 s.
- Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab. 379 s.
- Kaarna, Arto 2005. Parametrinen suunnittelu. [pdf-tiedosto] [viitattu 30.3.2009] Lappeenrannan teknillinen yliopisto, "Tietokoneavusteinen suunnittelu" – kurssin luentokalvot. Saatavissa: www.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5212800/tas-a4-param.suunnittelu.pdf
- KnowPulp. Sellutekniikan, automaation ja prosessinhallinnan oppimisympäristö. Versio 7.0 2008. [viitattu 15.3.2009] Lisenssi saatavissa: <http://www.knowpulp.com/suomi/>
- Kumpulainen, Sanna 2008. (Metso Power Oy:n rakennusosaston perehdytys esitys)[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 50 s.
- Laakko, Timo, Sukuvaara, Antti, Simolin, Teemu, Konkola, Marcus, Kaikonen, Hannu, Borgman, Jukka, Björkstrand, Roy & Tuomi, Jukka. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY. 311 s.
- Metso. 2009a. Metso Corporation. [www-sivu] [viitattu 15.3.2009] Saatavissa: <http://www.metso.com/>
- Metso. 2009b. HYBEX boilers[tuote-esite]. Julkaisematon lähde. 4 s.
- Metso. 2009c. CYMIC boilers[tuote-esite]. Julkaisematon lähde. 4 s.
- Metso. 2009d. RECOX boilers[tuote-esite]. Julkaisematon lähde. 4 s.
- Metso. 2009e. HYBEX boilers[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 6 s.
- Metso. 2009f. CYMIC boilers[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 7 s.

- Metso. 2009g. PEM(Project Execution Model) in Power[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde.
- Metso. 2009h. Design Instructions[sisäiset suunnitteluohjeet] Julkaisematon lähde.
- Metso. 2009i. Valokuvat[yrityksen sisäinen valokuva-arkisto] Julkaisematon lähde.
- MW Power Oy. [www-sivu] [viitattu 23.3.2009] Saatavissa: <http://www.mwpower.fi/>
- Mäkinen, Sasu 2008. Painerunkosimulaattori: aliprojektin suunnitelma[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 4 s.
- Penttilä, Hannu, Nissinen, Sampsa & Niemenoja, Seppo 2006. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa: yleiset periaatteet. Helsinki: Rakennustieto Oy. 64 s.
- Piironen, Esa & Saarni, Risto 1998. Teräs julkisessa rakentamisessa. Helsinki: Rakennustieto Oy. 120 s.
- Saarni, Risto 1996. Teräsrakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy. 208 s.
- Sainio, Heikki 2009. (Metso Power Oy)Tuotemalli projektisuunnitelma[sisäinen esitysmateriaali] Julkaisematon lähde. 10 s.
- Sääksvuori, Antti & Immonen, Anselmi 2002. Tuotetiedon hallinta –PDM. Jyväskylä: Talentum Media Oy. 201 s.
- Teräsrakentaminen 2008. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. 240 s.

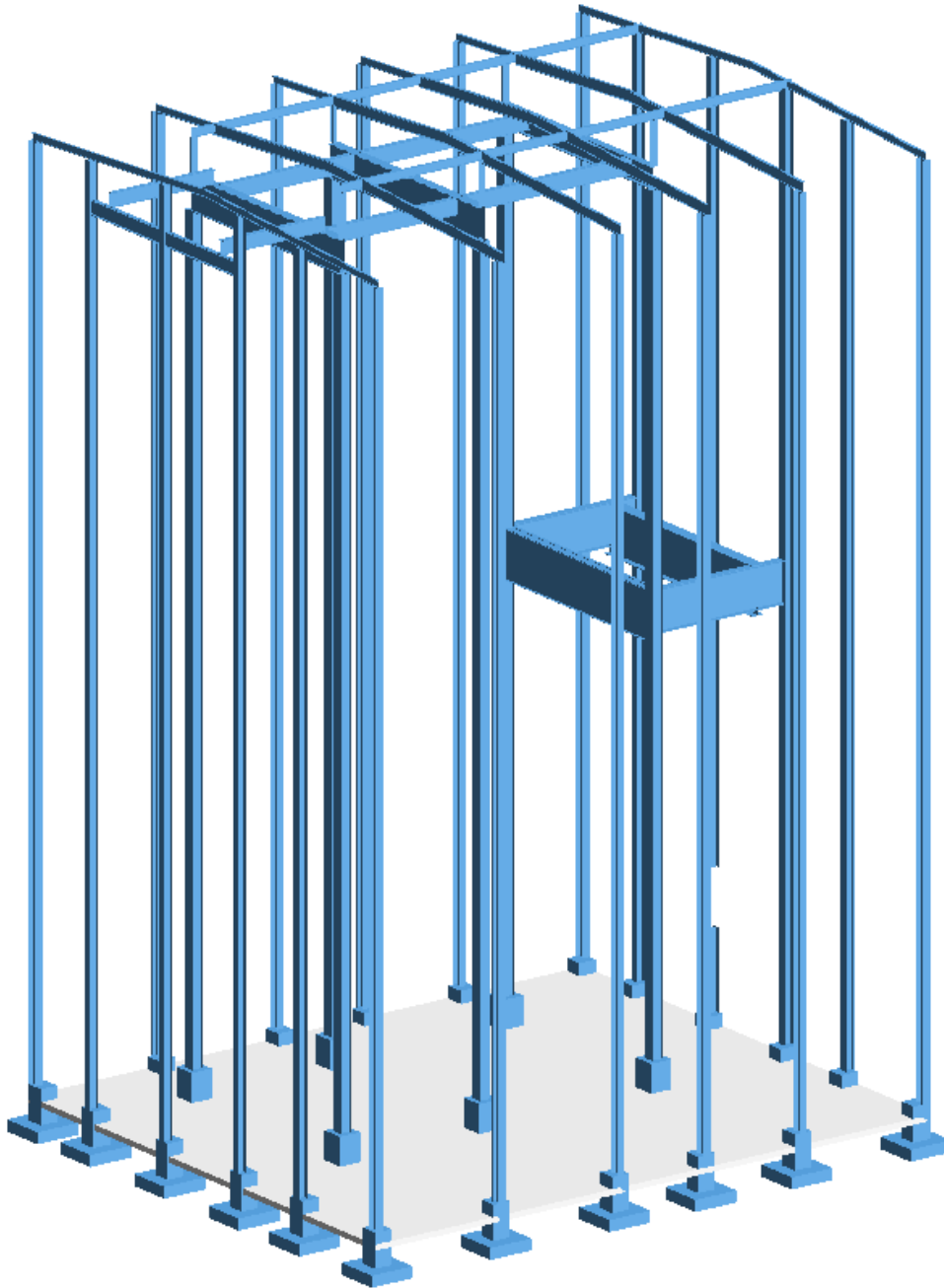
Liitteet

Liite 1: Aksonometriakuvia 3D-mallista parametrisen rakennuksen tyypeistä



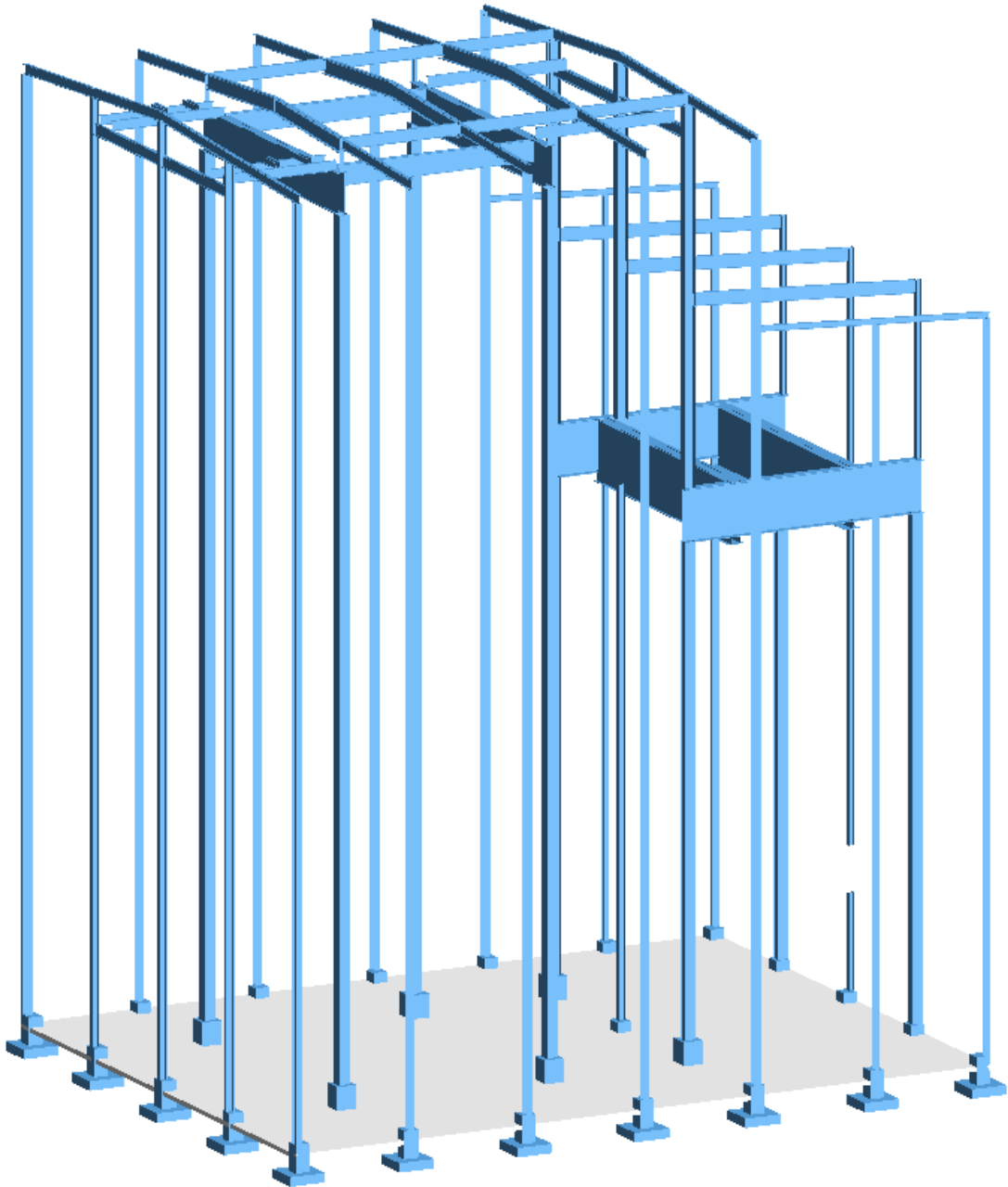
Symmetrinen BFB-TOP – tyyppi

Tässä tyypissä kattila on tuettu riippumalla se kattilapalkistosta. Kattila sijaitsee sivuseinien suhteen keskellä rakennusta, jolloin nuohoimia sijoitetaan kattilan kummallekin sivuseinälle. Kuusi kattilapilaria kantavat kattilapalkistolta tulevat kuormat perustuksille. Katon harja sijaitsee tulipesän sivuseinien suuntaisella keskilinjalla. Osa katon primäärikannattajien kuormista siirretään kattilapalkiston kautta kattilapilareille. Kuormien siirto tapahtuu katon primäärikannattajilta vekselipalkeilla, joko kattilapalkiston tai primäärikannattajien tasossa. Takaseinällä sijaitseva palkkirakenne tukee II/III-vedon lämmönvaihtimia. Takaseinän keskimäinen tuulipilari katkaistaan savukaasukanavan läpivientiä varten.



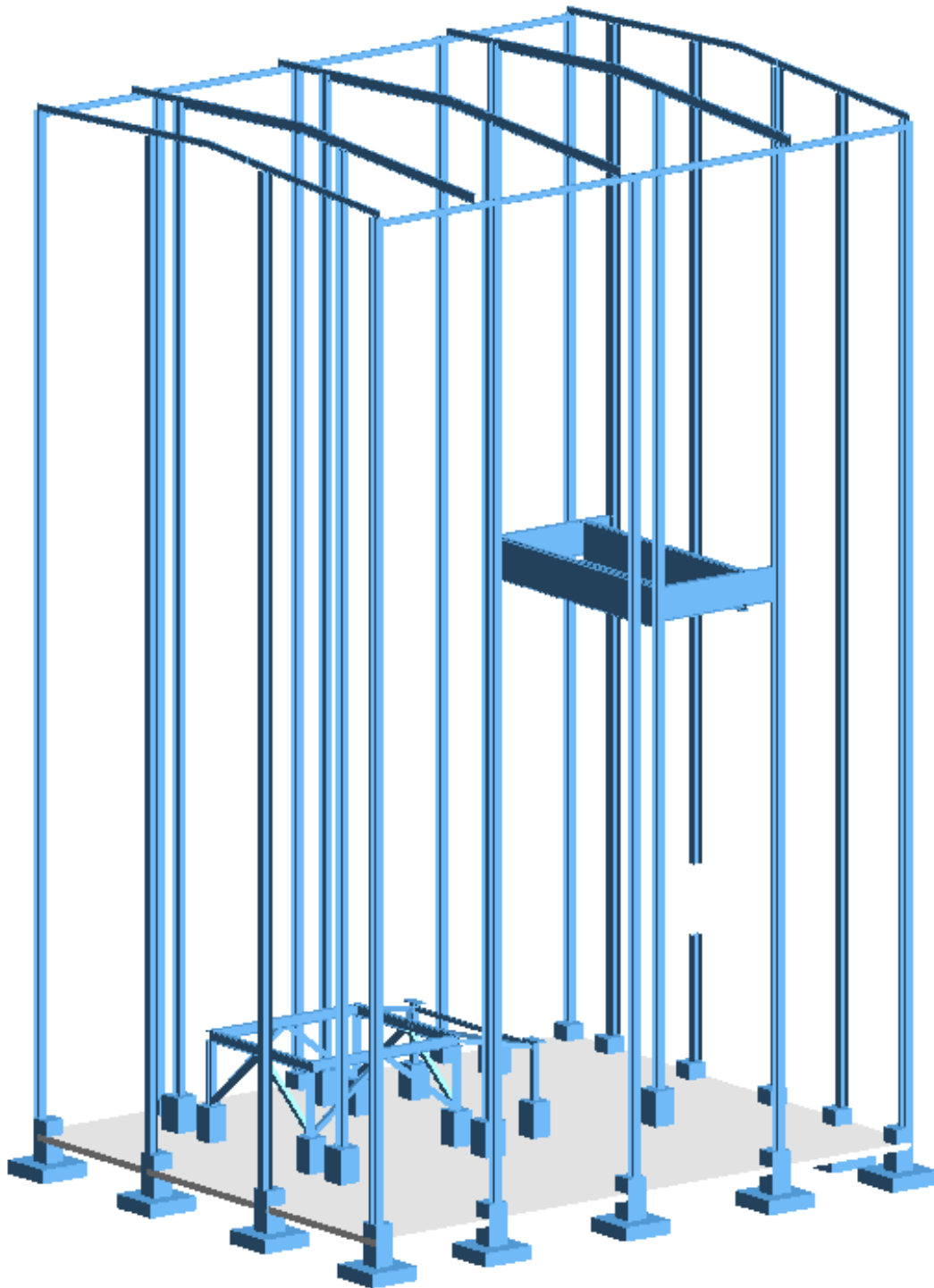
Toispuoleinen BFB-TOP – tyyppi

Tässä tyypissä kattila on tuettu riipputtamalla se kattilapalkistosta. Kattila sijaitsee sivuseinien suhteen toispuoleisesti, jolloin nuohoimia sijoitetaan ainoastaan kattilan toiselle sivuseinälle. Kattilan toispuoleisen sijoituksen takia nuohointien puolelle lisätään pilarit etu- ja takaseinälle. Toispuoleisuus aiheuttaa jännevälän kasvun nuohointien puolella ja näin ollen vaikuttaa myös katon nuohointien puoleisten primäärikannattajien mitasuhteisiin. Kuusi kattilapilaria kantavat kattilapalkistolta tulevat kuormat perustuksille. Katon harja sijaitsee sivuseinien suhteen keskellä rakennusta. Osa katon primäärikannattajien kuormista siirretään kattilapalkiston kautta kattilapilareille. Kuormien siirto tapahtuu katon primäärikannattajilta vekselipalkeilla, joko kattilapalkiston tai primäärikannattajien tasossa. Takaseinällä sijaitseva palkkirakenne tukee II/III-vedon lämmönvaihtimia. Takaseinän keskimäinen tuulipilari katkaistaan savukaasukanavan läpivientiä varten.



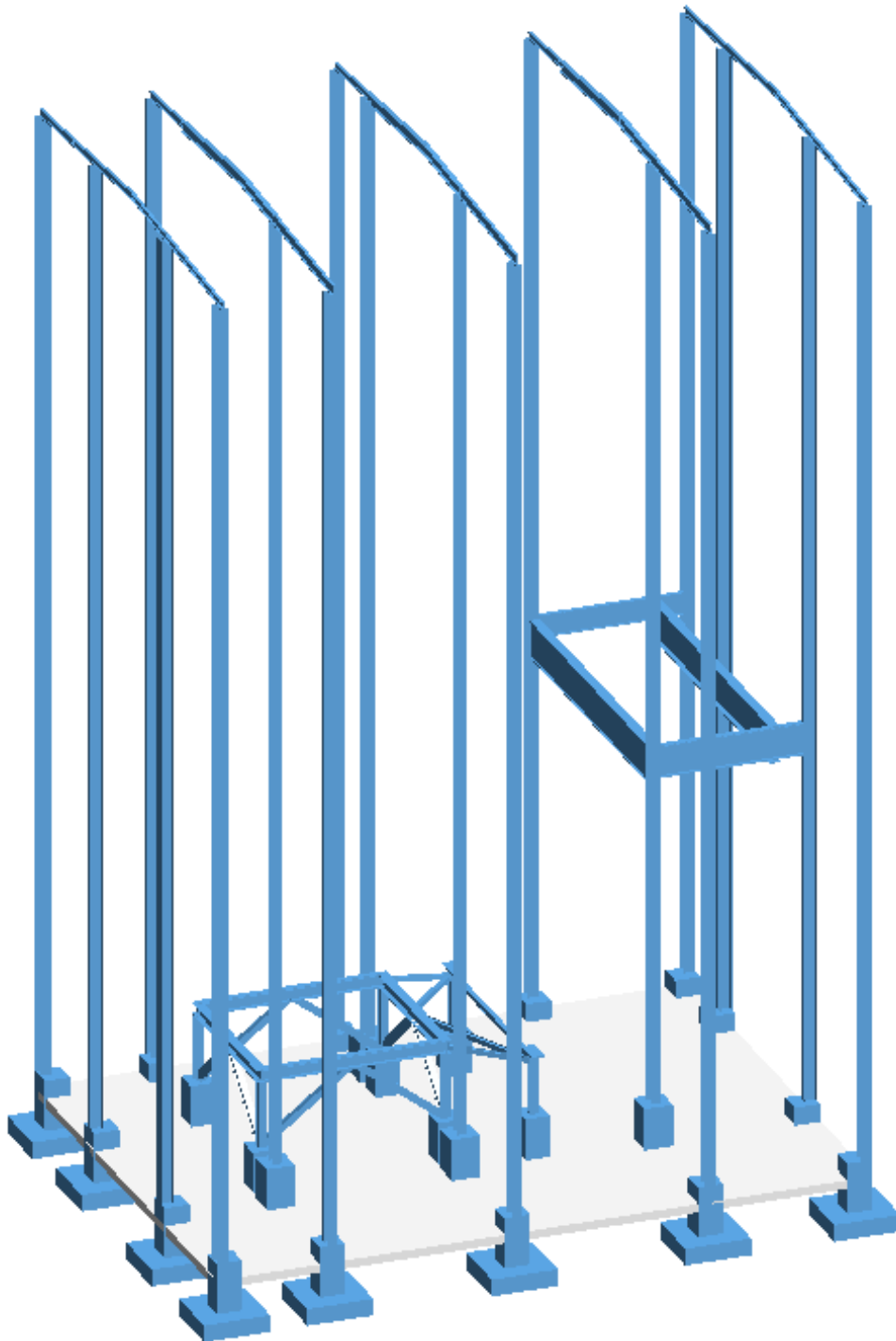
Jätti BFB-TOP – tyyppi

Tässä tyypissä kattila on tuettu riippumalla se kattilapalkistosta. Kattila sijaitsee sivuseinien suhteen keskellä rakennusta, jolloin nuohoimia sijoitetaan kattilan kummallekin sivuseinälle. Kuusi kattilapilaria kantavat kattilapalkistolta tulevat kuormat perustuksille. Koska tyyppi on mittasuhteiltaan jo niin iso, rakennusta madalletaan III-vedon alueella, jotta tilojen tehokkuus säilyy korkeana. II/III-vedon kattilapilareiden linjalle muodostuu korkeamman osan takaseinä. III-vedon kattavan madalletun osan katto tehdään lapekattona. Kattilahuoneen katon harja sijaitsee tulipesän sivuseinien suuntaisella keskilinjalla. Osa katon primäärikannattajien kuormista siirretään kattilapalkiston kautta kattilapilareille. Kuormien siirto tapahtuu katon primäärikannattajilta vekselipalkeilla, joko kattilapalkiston tai primäärikannattajien tasossa.



Normaali BFB-BOTTOM – tyyppi

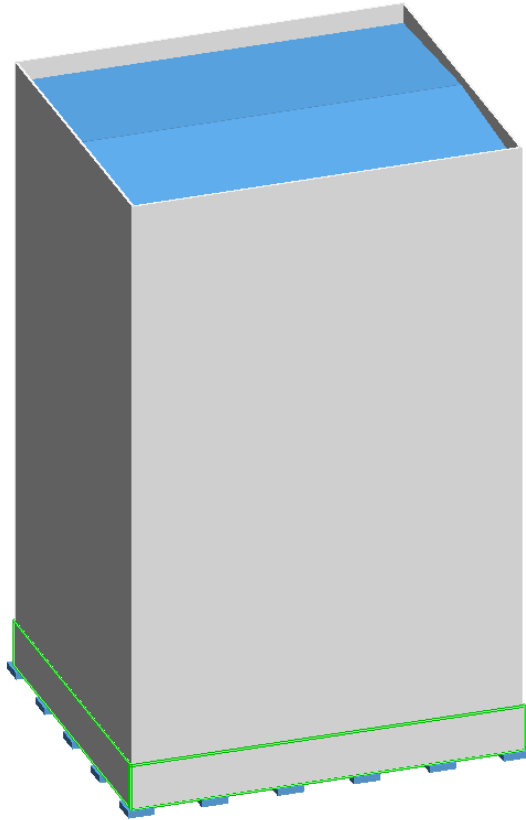
Tässä tyypissä kattila on altatuettu kattilapukin avulla. Kattila sijaitsee sivuseinien suhteen toispuoleisesti, jolloin nuohoimet sijoitetaan kattilan toiselle sivuseinälle. Kattilapukki kantaa kattilan painerungon ja sen laitteiden kuormat. Kuusi sisäpilaria kantaa osan tasojen ja katon kuormista. Katon harja sijaitsee sivuseinien suhteen keskellä rakennusta. Sisäpilarit kantavat osan katon primääräkannattajien kuormista. Kuormien siirto tapahtuu katon primääräkannattajilta vekselipalkeilla, joko seinillä tai sisäpilarilinjalla. Takaseinällä sijaitseva palkkirakenne tukee II/III-vedon lämmönvaihtimia. Takaseinän keskimäinen tuulipilari katkaistaan savukaasukanavan läpivientä varten.



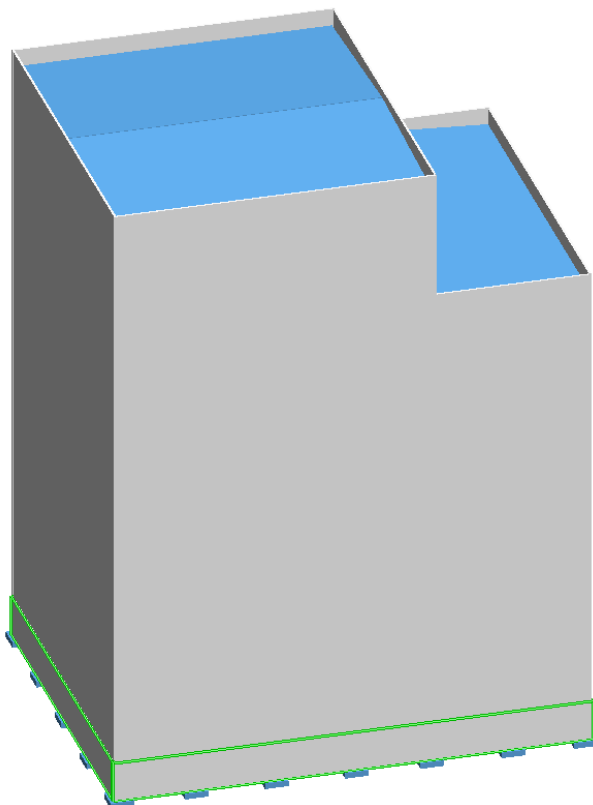
Mini BFB-BOTTOM – tyyppi

Tässä tyypissä kattila on altatuettu kattilapukin avulla. Kattila sijaitsee sivuseinien suhteen toispuoleisesti, jolloin nuohoimet sijoitetaan kattilan toiselle sivuseinälle. Kattilapukki kantaa kattilan painerungon ja sen laitteiden kuormat. Tyypissä on ainoastaan neljä sisäpilaria, joista yksi sijaitsee kattilan nuohoimettomalla puolella. Katon harja sijaitsee sivuseinien suhteen keskellä rakennusta. Sisäpilarit kantavat osan katon primääräkannattajien kuormista. Pienestä koosta johtuen sisäpilarit ja seinäpilarit ovat samoilla linjoilla, jolloin voimia ei tarvitse siirtää vekselipalkeilla. Takaseinällä sijaitseva palkkirakenne tukee II/III-vedon lämmönvaihtimia. Sisäpilareiden määrästä johtuen, lämmönvaihtimien kannatuspalkkien toiset päät tukeutuvat sivuseinäpilareihin.

Kuorirakenteita



Vieressä vasemmalla esitetään parametrin rakennuksen tuottamat kuori- ja kattorakenteet täyskorkeassa HYBEX-kattilarakennuksessa. Sokkelit on kuvassa korostettuna vihreällä värillä.



Vieressä vasemmalla esitetään parametrin rakennuksen tuottamat kuori- ja kattorakenteet HYBEX-kattilarakennuksessa jossa III-veto sijoittuu madallettuun osaan. Sokkelit on kuvassa korostettuna vihreällä värillä.

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Pekka Salo

84(86)
LIITE 2/4
1(1)

Liite 2: Taulukko kattilapukin vertailukohteiden arvoista

Julkaisematon liite.

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka
Pekka Salo

85(86)
LIITE 3/4
1(1)

Liite 3: Parametrisen rakennuksen sisältävä makro (CD)

Julkaisematon liite.

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talorakennustekniikka
Pekka Salo

86(86)
LIITE 4/4
1(1)

Liite 4: Parametrien käyttöohjeet ja sanalliset selitykset

Julkaisematon liite.