



# **MATERIAALIMÄÄRÄLASKENNAN KEHITTÄMINEN JA LAYOUT-SÄÄNTÖJEN KERÄÄMINEN EKONOMAISERILLE**

**Insinöörityö**

**Mari Tuhkanen**

**Tuotantotalouden koulutusohjelma**

Hyväksytty \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ \_\_\_\_\_

# SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU, VARKAUDEN YKSIKKÖ

Koulutusohjelma

Tuotantotalouden koulutusohjelma

Tekijä

Mari Tuhkanen

Työn nimi

Materiaalimäärälaskennan kehittäminen ja layout-sääntöjen kerääminen ekonomaiserialle

Työn laji

Insinöörityö

Päiväys

15.3.2010

Sivumäärä

46+6

Työn valvoja

Jukka Hautamaa

Yrityksen yhdyshenkilö

Veikko Kärkkäinen

Yritys

Foster Wheeler Energia Oy

Tiivistelmä

Tässä insinöörityössä kerättiin layout-sääntöjä ekonomaiserialle 3D-mallinnusohjelmaa varten sekä aloitettiin CFB-kattiloiden tarjousvaiheen materiaalimäärälaskennan kehitystyö.

Kehitystyö on toteutettu perehtymällä CFB-kattiloiden historiatietoihin, suunnittelun DSM-ohjeisiin, haastattelemalla suunnittelijoita ja keräämällä näiden tietojen perusteella säännöstöä. Säännöstön pohjalta kehitettiin laskentasäännöt ja -sovellus, jotka yhdessä 3D-mallinnuksesta sekä lämpöteknisestä laskennasta saatujen arvojen perusteella laskee tarvittavia paineenalaisia ja ei paineenalaisia materiaaleja ekonomaiserialle.

Työn lopputuloksena saatiin aikaan materiaalimäärä laskenta ekonomaiserialle sekä toteutustapa koko painerungon materiaalimäärä laskennalle.

Avainsanat

CFB, kiertopetikattila, ekonomaiseri, materiaalimäärälaskenta

Luottamuksellisuus

**SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, BUSINESS AND ENGINEERING, VARKAUS**

Degree Programme

Industrial Engineering and Management

Author

Mari Tuhkanen

Title of Project

Development of Material Quantity Calculation and Collation of Layout Rules for the Economizer

Type of Project

Final Project

Date

15.3.2010

Pages

46+6

Academic Supervisor

Jukka Hautamaa

Company Supervisor

Veikko Kärkkäinen

Company

Foster Wheeler Energia Oy

Abstract

In this final thesis layout rules for the economizer were collected for a 3-D modeling program and a development program for the estimation of material quantity was initialized for CFB-boiler's quotation purposes.

The development program was carried out by studying historical data from CFB-boilers, design DSM-instructions and by interviewing designers. The obtained information was used as a basis for creating the rules. Based on the created rules, calculation rules and a calculation application were created. These together with values from 3-D modeling and thermal calculations calculate the necessary quantities of both pressure parts and non-pressure parts.

As a result of this final thesis a material quantity calculation application was created for the economizer and correct working methods were found to estimate complete quantities for all pressure parts.

Keywords

CFB, circulating fluidized bed boiler, economizer

Confidentiality

## ALKUSANAT

Tämä insinööriyö on toteutettu Foster Wheeler Energia Oy:n Varkauden toimipisteessä. Haluan osoittaa kiitokseni Veikko Kärkkäiselle (Chief Engineer Boiler Design) ja Kari Asikaiselle (Director Engineering Management) mahdollisuudesta tehdä insinööriyöni Discipline Engineering osastolla. Lisäksi haluan kiittää Timo Toropaista (Principle Engineer) ja Ari Ojalaa (Chief Engineer Information Management) saamastani avusta. Erityiskiitokseni haluan osoittaa Mikko Pakariselle (Area Responsible Designer) ja tietysti muulle osaston henkilökunnalle erittäin hyvästä opastuksesta ja todella pitkästä pinnasta.

Työn valvojana toimivat Energiatekniikan yliopettaja Jukka Hautamaa ja Projektipäällikkö Petteri Heino, joita haluan myös kiittää tuesta ja kannustuksesta.

Kiitos, että jaksoitte olla tukenani ja apunani koko projektin ajan.

Varkaudessa 16.2.2010

Mari Tuhkanen

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>ALKUSANAT</b> .....	<b>1</b>
<b>SISÄLLYSLUETTELO</b> .....	<b>2</b>
<b>KÄSITTEET JA TERMIT</b> .....	<b>4</b>
<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 YRITYSESITTELY</b> .....	<b>7</b>
2.1 Savonia amk.....	7
2.2 Foster Wheeler AG-konserni .....	7
2.2.1 Konsernin päätoimialat .....	8
2.3 Foster Wheeler Energia Oy Group-konserni .....	9
2.4 FWE Oy Group:in tuotteet ja palvelut .....	11
<b>3 FWE NW2012 – UUDEN SUKUPOLVEN DIGITAALINEN TUOTEPROSESSI OSANA VERKOSTOMAISTA PROJEKTITOIMINTAA</b> ....	<b>12</b>
3.1 Tuotteen elinkaari.....	12
3.1.1 PLM, Product Life Management.....	13
3.1.2 PDM, Product Data Management .....	13
3.1.3 EDM, Engineering Data Management.....	14
<b>4 PARAMETRISEN SUUNNITTELUOHJELMISTON KEHITYSTYÖ</b> .....	<b>15</b>
4.1 Comos.....	15
4.2 PDMS .....	15
4.3 Sovelluskehitysprojektin toteutus.....	16
4.3.1 Inktrementaalinen kehitys .....	16
4.3.2 RAD (Rapid Application Development) .....	17

<b>5</b>	<b>LEIJUPOLTTOTEKNOLOGIA .....</b>	<b>18</b>
5.1	CFB, Kiertopetikattila .....	20
5.2	Syöttöveden esilämmitin, ekonomaiseri .....	24
<b>6</b>	<b>KATTILOIDEN TARJOUSSUUNNITTELUPROSESSI .....</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>LAYOUT-SÄÄNTÖJEN KERÄÄMINEN SYÖTTÖVEDEN ESILÄMMITTIMELLE, EKONOMAISEREILLE .....</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>MATERIAALIMÄÄRÄLASKENNAN KEHITTÄMINEN .....</b>	<b>30</b>
8.1	Materiaalilaskennassa käytettävä informaatio .....	31
8.1.1	CI-Sheets .....	32
8.1.2	DSM-ohjeet .....	33
8.1.3	Kokemusperäinen suunnittelu .....	35
8.2	Materiaalilaskentasääntöjen dokumentoiminen .....	35
8.3	Muutosten hallinta .....	38
<b>9</b>	<b>PROJEKTIN JATKUMINEN TULEVAISUUDESSA.....</b>	<b>39</b>
<b>10</b>	<b>KEHITYSTYÖ OPPIMISTAPAHTUMANA.....</b>	<b>40</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>42</b>
	<b>KUVALUETTELO .....</b>	<b>44</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>45</b>
	Single tube pass with hanger straps .....	45
	Single tube pass with hanger straps .....	47
	Multible tube pass .....	48
	Multible tube pass, hanger straps .....	49
	Multible tube pass with hanger tubes .....	50

## KÄSITTEET JA TERMIT

**Attribuutti** = Nimikkeellä on usein attribuutteja, jotka tallentavat nimikkeeseen liittyviä tietoja. Esimerkiksi nimikkeen tunnusteen ja luontiajan

**CEMP** = (Cost Estimate Management Program) on Exceliin rakennettu hinnoittelutyökalu myynti- ja tarjousprojekteihin.

**CFB-Kattila** = Circulating Fluidized Boiler, Kiertopetikattila

**CI-Sheet** = (contract information- sheet) mitoitus- ja suorituskykylaskentaohjelmistosta (Amigo) tulostettu raportti lämpöpinnoista

**Dokumentti** = Dokumentti on nimike, johon liittyy attribuuttien lisäksi dokumentin varsinainen sisältö, joka voi olla esimerkiksi piirustus tai tekstidokumentti

**DSM-ohje** = Design Standard Manual, FWE:n käytössä olevat suunnitteluohjeet

**EDM** = Engineering Data Management, suunnittelutiedon hallinta

**Ekonomaiseri** = Syöttöveden esilämmitin

**Inertti** = Tarkoittaa ainetta, joka ei helposti reagoi kemiallisesti muiden aineiden kanssa

**Inkrementaalinen** = Vaiheistettu ohjelmistokehitysmalli, jossa jokainen vaihe / inkrementti tehdään erikseen suunnittelusta julkaisuun saakka jokaisessa inkrementissä tms.

**Konfigurointi** = Asiakaskohtaisesti muunneltavan tuotteen yksittäisen tuotevariantin muodostaminen asiakkaan toiveen mukaisesti

**KKS** (Kraftwerk-Kennzeichensystem) = Saksalainen voimalaitosten järjestelmien ja osien luokitteluun tarkoitettu standardisoitu systeemi. Palvelee niin suunnittelua, tuoterakennetta kuin huoltoa ja kunnossapitoa laitteiden ja voimalaitoksen osien identifiointilla ja luokittelulla.

**Kylläinen höyry** = tarkoittaa höyryä, joka on paineen mukaisessa tiivistymislämpötilassaan. Mikäli höyry menettää lämpöä se tiivistyy nesteeksi.

**MTO-list** = Material Take Out-list

**Parametri** = Komponenttiin liittyvää tietoa, joka saa eri arvon, kun sama komponentti esiintyy eri tuoteyksilöissä

**PDMS** = Plant Design Management System, Laitossuunnitteluun tarkoitettu 3D-mallinnusjärjestelmä

**P&ID, PI-kaavio** = Process and Instrumentation Drawing, Prosessi- ja instrumentointikaavio

**TEKES** = Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus

**Tulistettu höyry** = on tiivistyslämpötilaa korkeammassa lämpötilassa eli se voi menettää lämpöä ennen kuin alkaa tiivistyä eli nesteytyä. Tulistuksen idea on siinä, että vesi -olomuodosta riippumatta- sitoo runsaasti lämpöenergiaa hyödynnettäväksi myöhemmin.

**3D** = three dimensioning = kolmiulotteinen



# 1 JOHDANTO

Lähtökohtana insinööriyölle on ”FWE NW 2012 –uuden sukupolven digitaalinen tuoteprosessi”, joka on TEKES-rahoitteinen kehitysprojekti. Osaprojektina koko hanketta on Foster Wheelerin tarve kehittää painerungon parametrissa 3D-suunnittelua PDMS:ssä sekä nopeuttaa ja tarkentaa painerungon materiaalmäärälaskentaa tarjousvaiheen hinnoittelua ja projektiostoja varten.

Työn painotus on ollut materiaalmäärälaskennassa sekä layout-säännösten keräämisessä syöttöveden esilämmittimelle, joka painerungosta valittiin prototyypin kohteeksi.

Insinööriyön tekeminen aloitettiin laajan projektisuunnitelman laatimisella, joka kirjoitettiin niin insinööriyölle, kuin koko Savonian osaprojektille. Projektisuunnitelmaan kirjattiin aikatauluineen koko osaprojektin laajuus inkrementteineen. Sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen varsinaisen työn tekeminen alkoi Foster Wheelerillä.

FWE Oy:n tavoite on saada kaikkien materiaalienmäärälaskenta tarkkuus riittävän tarkalle tasolle tarjousvaiheessa. Määrät ohjaavat suurelta osin suunnittelun, valmistuksen, kuljetuksen ja asennuksen hinnoittelua.

Osa tätä määrälaskentaa on kattilan painerunko, jonka määrälaskenta on aikaisemmin tehty mallista arvioimalla paineenalaiset osat ja tämän jälkeen kokemusperäisillä säännöillä lisätty muut ei paineenalaiset osat. Tätä aluetta halutaan nyt tarkentaa ja helpottaa / nopeuttaa mallinnuksen ja määrälaskennan kehittämisellä.

## **2 YRITYSESITTELY**

Insinöörityö toteutetaan Foster Wheeler Energia Oy:n Varkauden toimipisteen Digitaalinen tuoteprosessi-projektin Savonia amk:n Varkauden tekniikan yksikön osaprojektille. Työn varsinainen toimeksiantaja on Savonia ammattikorkeakoulu ja tämän asiakkaana Foster Wheeler Energia Oy. Seuraavissa osiossa esitellään edellä mainitut yhteistyökumppanit sekä näiden liiketoiminta.

### **2.1 Savonia amk**

Savonia ammattikorkeakoulun Varkauden tekniikan yksikkö kuuluu osaksi Savonia ammattikorkeakoulun kuntayhtymää. Kuntayhtymän jäsenkuntina toimivat Iisalmi, Kiuruvesi, Kuopio, Lapinlahti ja Varkaus.

Yhteensä kuntayhtymän sisällä opiskelee n. 6000 opiskelijaa. Kuntayhtymä työllistää 562 henkilöä, joista opetushenkilökuntaan kuuluu 324 ja muuhun henkilökuntaan 238. Varkauden tekniikan yksikössä opiskelee 300 ja työskentelee 38 henkilöä.

Syksyllä 2009 Varkauden tekniikan toimipisteessä käynnistyvät koulutusohjelmat Kone- ja tuotantotekniikka, Automaatiotekniikka ja englanninkielinen Degree Program in Industrial Management. Lisäksi kaksi vuotta toimineet erikoistumisopinnot aloittavat jälleen Kunnossapidon erikoistumisopinnojaksolla. [3, 4, 5]

### **2.2 Foster Wheeler AG-konserni**

Yritys on perustettu vuonna 1884 ja Foster Wheelerinä yritys on tunnettu vuodesta 1927. Foster Wheeler toimittaa teknisesti edistyneitä ja ympäristöä säästäviä voimalaitoksia sekä prosessi- ja öljyteollisuuden laitteita ja laitoksia. Yhtiö työllistää yli 14 000 ammattilaista. Yrityksen osakkeet noteerataan NASDAQ-listalla. [6]

**Avainluvut, 2008**

• Henkilöstö	14.700
• Tilauskanta	5.5 miljardia dollaria
• Myynti	4.1 miljardia dollaria
• Liikevaihto	6.9 miljardia dollaria
• EBITDA	686 miljoonaa dollaria

26.12.2009


**Kuva 1 Avainlukuja, 2008****2.2.1 Konsernin päätoimialat**

Yritys koostuu kahdesta erillisestä business Groupista:

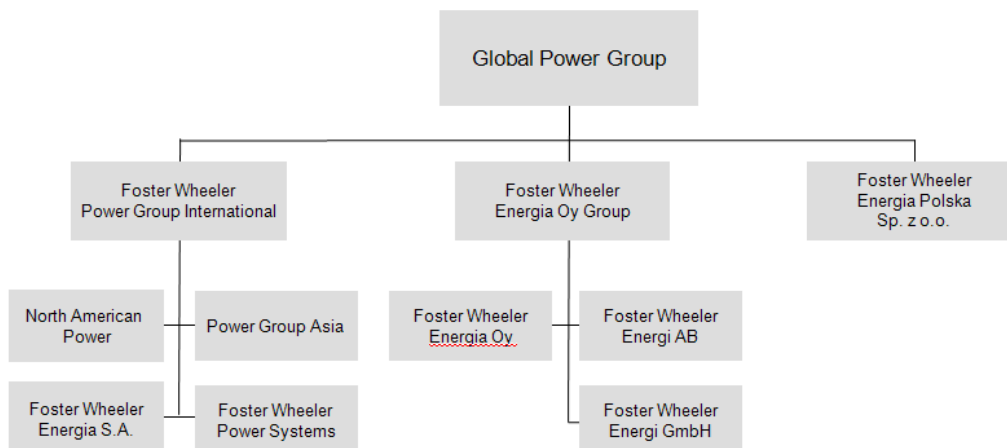
The Global Engineering & Construction (E&C) Group:

- Suunnittelu, urakointi ja projektihallinta prosessiteollisuudelle, esim. Öljy-, kaasu-, kemian-, ja lääketeollisuudelle.

The Global Power Group:

- Voimakattiloiden ja niiden laitteiden suunnittelu, valmistus ja asennus voimantuottajille, teollisuudelle sekä sähkön- ja kaukolämmön tuottajille. Kattiloiden service-palvelujen toimittaja sekä polttoteknologian johtavia asiantuntijoita maailmassa. [6]

## 2.3 Foster Wheeler Energia Oy Group-konserni



**Kuva 2 Foster Wheeler Energia Oy osa Global Power Group:ia**

Varkauden toimipisteessä toimiva Foster Wheeler Energia Oy on yhdessä tytäryhtiöidensä kanssa osa Foster Wheeler Energia Oy Group:ia, joka taas on osa suurempaa kokonaisuutta Foster Wheeler Power Group:ia.

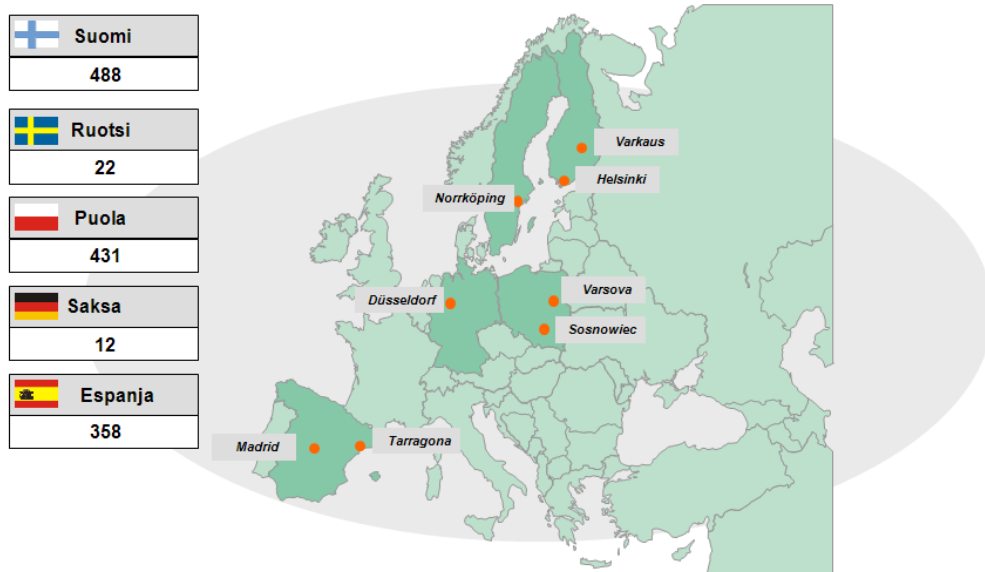
Foster Wheeler Energia Oy Group (FWEYOY Group) kehittää tehokkaita ja ympäristöä säästäviä energiaratkaisuja. Voimalaitos- ja teollisuuskattiloihin sekä niiden kunnossapitoon ja huoltoon erikoistunut yritys on energia-alan teknologian ja tuotekehityksen edelläkävijä koko maailmassa.

Yhtiön ydinosasta on korkean hyötysuhteen matalapäästöinen leijukerros-tekniologia ja erityisesti CFB- eli kiertopetiteknologia. Yhtiö on noin 40 prosentin markkinaosuudellaan maailman johtava CFB-kattiloiden toimittaja.

Yritys työllistää lähes 520 henkilöä, joista noin 500 työskentelee Suomessa. Suomessa FWEYOY Group toimii Espoossa ja Varkaudessa, sekä Ruotsissa ja Saksassa tytäryhtiöissä. Yhtiön projektitoiminnan hoito ja suunnittelu tapahtuvat

pääosin Varkauden toimipisteessä. Johtaminen ja tukitoimintoja hoidetaan Espoossa. Saksan Düsseldorfin konttorilla sekä Ruotsin Norrköpingin konttorilla hoidetaan myyntiä ja markkinointia. [6]

## Foster Wheeler Global Power Group Henkilöstö ja tärkeimmät toimipaikat Euroopassa



02/2009

**FOSTER WHEELER**

**Kuva 3 Henkilöstö ja toimipisteet 2009**

## 2.4 FWE Oy Group:in tuotteet ja palvelut

- CFB- eli kiertopetikattilat
- BFB- eli kuplapetikattilat
- Pölypolttokattilat
- Ilmanpaineiset CFB-kaasuttimet
- WHB- eli jätelämpökattilat
- Pakettikattilat
- Lauhduttimet ja lämmönvaihtimet
- Service
  - o korjaustyöt ja varaosat
  - o kattilan muutostyöt
  - o prosessiparannukset
  - o ympärivuorokautinen päivystys
  - o hiilimyllyt, polttimet
  - o savukaasunpuhdistusjärjestelmät  
(esim. SCR ja SNCR)
  - o sopimuskunnossapito

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan yleisesti leijupoltosta ja yrityksen päätuotteista CFB-kattiloista, jotka perustuvat leijukerrosteknologiaan. Käydään myös läpi kattilalaitosten suunnitteluprosessi tarjousvaiheesta kattilan elinkaaren päähän. [6]

### **3 FWE NW2012 – UUDEN SUKUPOLVEN DIGITAALINEN TUOTEPROSESSI OSANA VERKOSTOMAISTA PROJEKTITOIMINTAA**

Foster Wheeler Energia Oy toteuttaa Tekes-rahoitteisen projektinsa kehittääkseen liiketoimintaprosessejaan ja niitä tukevia työkaluja ja työmenetelmiä. Kehitystoimien tarkoituksena on vahvistaa yrityksen johtavaa markkina-asemaa kiertopetikkatilavalmistajana. Projekti mahdollistaa tuotemallin ulottumisen koko toimitusketjuun ja läpi laitoksen elinkaaren parantaen tuotehallintaprosessia. [1]

Uuden sukupolven toimintatapa luodaan nykyisen toimintamallin korvaajaksi. Nykyinen malli perustuu dokumenttien hallintaan, joka aiheuttaa usein ongelmia revisiohallinnalle ja sitä kautta tiedon oikeellisuuden todentamiselle. Kehitettävä digitaalinen toimintamalli pyrkii eroon dokumenttikeskeisyydestä ja pyrkii pelkän datan hallintaan. Näin tieto olisi helpommin käsiteltävissä ja hyödynnettävissä muodossa. [1]

#### **3.1 Tuotteen elinkaari**

Tuotteen elinkaari käsittää tuotteen elinaikaa tuotteena, joka alkaa jo suunnitteluvaiheessa tuotteelle asetettuja vaatimuksia kartoitettaessa ja ominaisuuksia mietittäessä.

Elinkaariajattelu on alkanut jo 1960-luvulla, jolloin energian ja materiaalien säästämistä alettiin yleisesti ajatella. Tuotteen elinkaaren vaiheiden ympäristövaikutukset tulivat ajattelumalliin mukaan 1970-luvulla. 1990-luvun aikana ajattelu on kehittynyt entisestään ympäristövaikutuksia ajatellen. Tällöin tuotteiden jätteiden ja jätteiden laadulle on tullut uudenlainen merkitys ja elinkaarianalyysia on ruvettu yleisesti käyttämään tuotteiden suunnittelun osana. [10]

”Tuotteen elinkaaren jokaisessa vaiheessa tapahtuu energiankulutusta, kuljetuksia, päästöjä maahan, veteen tai ilmaan sekä meluhaittoja. Elinkaarianalyysissä selvitetään näiden vaikutuksia luontoon, jotta voidaan vertailla eri tuotteiden kokonaisvaikutuksia ympäristöön. Ongelmana eri tuotteiden elinkaarien

vertailussa on se, että niiden ympäristövaikutuksia on hyvin vaikea vertailla keskenään. Elinkaarianalyysistä onkin eniten hyötyä yrityksen sisäisessä päätöksenteossa. Yritys voi elinkaarianalyysin tehtyään esimerkiksi välttää tuotteen valmistuksessa tarvittavia erityisen haitallisia aineita.” [11]

Tuotteen elinkaari määräytyy elinkaaren vaiheista. Elinkaaren vaiheet alkavat suunnittelusta ja raaka-aineiden hankinnasta, siirtyen tuotteen valmistamiseen, käyttämiseen ja kunnossapitoon, uudelleen käyttämiseen ja lopulta romuttamiseen ja jätteiden käsittelyyn. [10, 11]

### **3.1.1 PLM, Product Life Management**

Tuotteen elinkaaren hallintaa ei ole yritysmaailmassa käytetty vielä kovinkaan kauan. PLM järjestelmä pystyy huolehtimaan käsiteltävistä tiedoista kaikkien toimintojen vaiheissa ja niiden rajapinnassa. [12]

Tuotteen elinkaaren hallintaan on kehitetty erityisiä ohjelmakokonaisuuksia niin sanottuja PLM-järjestelmiä. Näiden järjestelmien avulla pyritään hallitsemaan kaikki tuotteen elinkaareen liittyvät tiedot yhdessä tietojärjestelmässä, jossa tuotetiedot olisivat koko toimintaketjun helposti saavutettavissa. Ensimmäisiä PLM-järjestelmiä on kehitetty 1995-2000-luvuilla. [12]

### **3.1.2 PDM, Product Data Management**

PDM tarkoittaa tuotetiedonhallintaa, joka on osa koko tuotteen elinkaaren hallintaa. Tuotetiedonhallintaa voidaan ajatella joko tuotetiedonhallintajärjestelmänä tai toimintatapana tuotetiedon käsittelyssä.

Tuotetiedosta puhuttaessa, voidaan tuotetiedoksi käsittää suuri osa teollisuusyrityksissä käsiteltävästä tiedosta. Tuotetiedonhallinnassa tuotetiedoksi ymmärretään kuitenkin yleensä tuotteisiin liittyviä teknisiä tietoja, joita voivat olla mm. piirustukset, 3D-mallit, esitteet, valmistusohjeet, materiaalilaskelmat, testaustulokset, tilaukset, toimitetut tuotteet ja laskut.



Tuotetiedonhallintajärjestelmään ei yleensä tallenneta ensisijaisesta hintoja tai valmistusaikoja vaan näitä tietoja voidaan siirtää PDM-järjestelmään muista järjestelmistä. Tuotetiedonhallintajärjestelmät on kehitetty yleisesti suunnittelun tarpeista lähtien, mitä tukevat mm. erilaiset versiointi-, tarkastus- ja hyväksymiskäytännöt järjestelmien sisällä.

Tuotetiedonhallintajärjestelmä voidaan rakentaa erilaisia tarpeita ajatellen. Tällöin järjestelmässä pystytään hallitsemaan nimikkeitä, dokumentteja, tuoterakennetta ja näiden muutoksia yrityksen omien tarpeiden mukaan. [13]

### **3.1.3 EDM, Engineering Data Management**

EDM-järjestelmä on kehittynyt PLM:n ja PDM:n pohjalta. Periaatteena EDM:ssä on pohjalla sama ajatus tuotteen elinkaaren aikaisen tiedon tallentamisesta. EDM on kuitenkin laajentanut ajatusta käsittämään tuotetiedoilla muutakin kuin pelkän suunnittelusta lähtevän teknisen tietomäärän.

EDM tulee käsittämään tuotetiedon tarjouksesta kattilaitoksen romuttamiseen. Erona kahteen edelliseen järjestelmään on siirtyminen uuteen aikakauteen tiedon tallennuksessa. Ennen tietoja käsiteltiin asiakirjoina. EDM järjestelmissä tiedot käsitellään datana. Data tallennetaan järjestelmään sellaisenaan, jolloin se on koko organisaation ja yhteistyökumppaneiden käytössä reaaliaikaisesti kaikilla ohjelmistoilla, jotka ovat integroituneena EDM-järjestelmään.

## **4 PARAMETRISEN SUUNNITTELUOHJELMISTON KEHITYSTYÖ**

Savonia ammattikorkeakoulu on toteuttaa digitaalisen tuoteprosessin kehityksessä oman osaprojektinsa, joka liittyy EDMS järjestelmän käyttäjärajapinnan ohjelmointiin liittyviin tehtäviin ja järjestelmän tietovirtojen mallinnukseen. Tavoitteena on tuottaa tehokas työkalu kiertopeti-kattilalaitosten tarjousvaiheen mallinnukseen sekä painerungon muiden ei paineenalaisten materiaalien määrälaskentaan.

### **4.1 Comos**

Comos-järjestelmää voidaan käyttää suunnitteluun ja dokumentointiin yrityksen kaikilla teknisillä alueilla. Kaikki laitteet, putkistot ja muu tieto syötetään järjestelmään datana. Se muodostaa perustan kokonaiselle tuotteen elinkaaren hallinnalle. Järjestelmä mahdollistaa eri osastojen pääsyn reaaliaikaisesti käsiksi tallennettuun ja julkaistuun dataan ilman, että tiedon ajantasaisuudesta tarvitsee kantaa huolta.

Etuna voidaan pitää sitä, että eri yhteistyökumppanit ja eri osastojen toimijat voivat samanaikaisesti työskennellä samojen tietojen parissa eri paikoissa. Tuotteen elinkaaren kokonaisvaltainen hallinta on myös mahdollista.

Comos:in EDMS-järjestelmän ja Avevan PDMS:n välille on kehitetty integrointi, joka mahdollistaa PDMS:n ja Comosin saumattoman käytön. [15]

### **4.2 PDMS**

PDMS (Plant Design Management System) on Aveva Solution Vantage:n kehittämä 3D-suunnitteluohjelma. PDMS perustuu suunnittelua varten luotuun tietokantaan, joka sisältää osia ja osakokonaisuuksia kattilamallinnukseen. PDMS-ohjelmistolla suoritetaan kattilalaitoksen kolmiulotteinen suunnittelu. 3D-

suunnitteluun kuuluvat laitojen layout – suunnittelu, putkistojen ja laitteiden mallintaminen.

PDMS-ohjelmisto on räätälöitävissä yritykselle hyödyllisillä ominaisuuksilla, jotka tehostavat ohjelman käyttöä ja helpottavat mallintamista.

### **4.3 Sovelluskehitysprojektin toteutus**

Tietoteknistä toteutusmallia on toteutettu käyttäen välimuotoa ns. inkrementaalista sovelluskehitysprosessista ja RAD:sta. Tämä tarkoittaa, että järjestelmää on kasattu pienistä osista jolloin testausvaiheeseen asti toteutettu proto on jo lähes valmis käyttöönottoon.

#### **4.3.1 Inkrementaalinen kehitys**

Inkrementaalinen sovelluskehitys ei ole uutta. Tätä mallia on käytetty niin kauan kuin sovelluskehitystä on ollut olemassa. Malli perustuu ns. osatoimituksiin, jossa kokonaisuus koostuu pienistä yhteen liitettävistä osioista, puhutaan ns. vaiheistetun toimituksen malleiksi.

Osatoimituksilla saatava etu tulee siitä, että projektilla on nopeammin julkaista käyttökelpoista ja kommentoitavaa osaa kokonaistuotteesta. Tämä helpottaa myös asiakkaan ja toimittajan välistä yhteistyötä, sillä tällöin kehitystoimista voidaan antaa välitöntä palautetta kesken projektin omien käyttäjäkokemusten kautta.

Inkrementaalisia malleja on useita erilaisia. Näiden välillä voi olla useita eroja siinä, minkä verran lopputuotteen ohjelmoinnista toteutetaan ositettuna. [20]

### **4.3.2 RAD (Rapid Application Development)**

RAD toteutusmallissa tehdään yleensä selkeä tehtävämäärittely. Tällä tavalla toteutettuna järjestelmien tuottaminen tulee tehokkaammaksi, sillä ohjelmiston suunnittelu, toteutus sekä testaaminen tapahtuvat samanaikaisesti. Nykyaikana käytetyt graafiset ohjelmointiympäristöt ovat lähes aina RAD kehitysympäristöjä.

[17]

## 5 LEIJUPOLTTOTEKNOLOGIA

Leijukerrospoltto on suhteellisen uusi polttotapa verrattuna perinteisiin arina- ja pölypolttotapoihin, vaikka teknologia onkin tullut kaupalliseen käyttöön jo 70-luvulla. Nykyinen ympäristölähtöinen ajattelutapa on nostanut leijupolton suosiota, sillä sen avulla voidaan hyvin pitää kurissa poltossa syntyviä päästöjä hallitun palamisen, alhaisen polttolämpötilan ja savukaasujen puhdistuskemikaalien käytön ansiosta.

Leijupoltto tarkoittaa polttoaineen polttamista inertin kiintoaineen, eli hiekan, tuhkan, kalkin tai muun vastaavan aineen avulla kattilan tulipesässä. Tulipesän pohjalla sijaitsevaa palamatonta ainetta kutsutaan pediksi, joka saadaan tulipesän alta suuttimista puhalletun ilman avulla leijumaan kiehuvan veden tavoin. Leijupoltto sopii hyvin vaikeille ja huonolaatuisille polttoaineille, joiden polttaminen muuten on hankalaa tai mahdotonta ilman monimutkaisia järjestelmiä. Polttoaine syötetään leijuvan kiintoaineen joukkoon, jolloin kiintoaineen ansiosta polttoaineen sekoittuminen ja lämmönsiirto paranee. Koska petimateriaalilla on suuri lämpökapasiteetti se pystyy helposti kompensoimaan polttoaineen laadun normaalin vaihtelun ja näistä koituvat häiriötekijät. Leijupolton tilaa pystytään helposti todentamaan erilaisten mittausten avulla, toisin kuin arinapoltossa. Tämä tekee palamisen hallinnan ja pedin toiminnan helposti automatisoitavaksi. [14]

Kattilassa poltettavien polttoaineiden ominaisuudet vaikuttavat suuresti kattilan suunnitteluun. Polttoaineet voidaan jaotella raakasti hyvälaatuisiin ja huonolaatuisiin polttoaineisiin niiden lämpöarvon, polttoaineen ja tuhkan kemiallisen koostumuksen, kosteuden sekä palakoon ja rakenteen mukaan. ”Huonolaatuisiin polttoaineisiin” luetaan yleensä seuraavat ryhmät, jätteet, kierrätyspolttoaineet, osa biopolttoaineista sekä jätehiilet. Huonolaatuiset polttoaineet voivat aiheuttaa leijupoltosta, aivan kuin muissakin polttotavoissa, päästöjen lisääntymistä, korroosiota ja eroosiota.

Polttoaineen sisältämä kosteus vaikuttaa kattilassa palamislämpötilaan ja hyötysuhteeseen. Kattiloilla on olemassa oma mitoituskosteutensa, mikäli polttoai-

neen kosteus käytännössä poikkeaa huomattavasti tästä, kattilan täyden tehon saavuttaminen voi olla hankalaa ja lämpötila tulipesässä voi nousta liian korkeaksi. Yleensä liian kostea polttoaine vaikeuttaa kattilan käyttöä sekä lisää epätäydellisestä palamisesta aiheutuvien kaasujen määrää. Kosteus voi aiheuttaa ongelmia myös muiden laitteiden, kuten käsittelylaitteiden mitoituksessa sekä polttoaineiden varastoinnissa. [21]

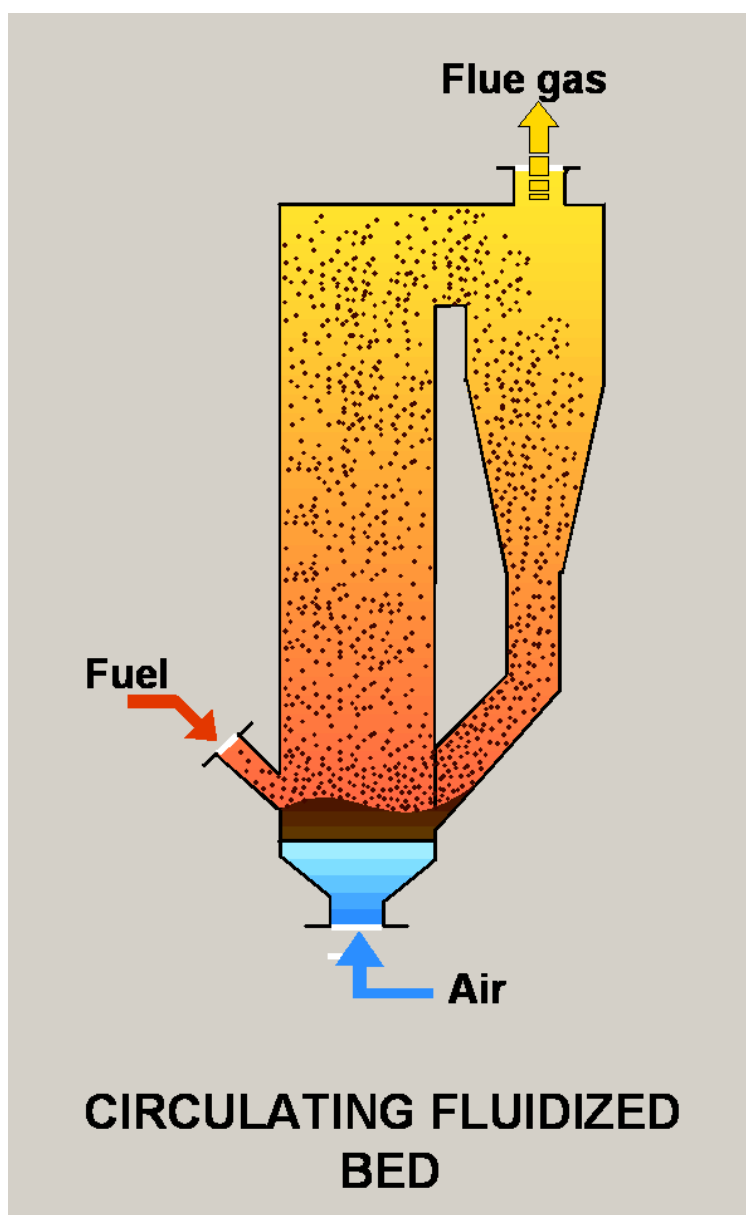
Polttoaineen kosteus ei ole ainoa kattilan mitoitukseen vaikuttava tekijä, suunnitteluun vaikuttaa suuresti myös polttoaineen kemiallinen koostumus. Höyrykattiloissa puhutaan polttoaineen sisältämän tuhkan, eli polttoaineen tuhkapitoisuuden prosentista. Tuhkan alkalit voivat aiheuttaa vakavia likaantumis- ja korrosio ongelmia lämpöpinnoilla, kuten syöttöveden esilämmittimien ja tulistimien pinnoille. Ongelmia voidaan vähentää lisäämällä turvetta puupolttoaineen joukkoon.

Leijupoltto sopii hyvin erilaisten polttoaineiden yhtäaikaiseen polttamiseen. Tämä mahdollistaa myös jätteiden, kuten yhdyskuntajätteen polttamisen, kunhan jätteen esikäsittely on kuitenkin hoidettu. Leijupolttokattiloissa pedin lämpötila on niin suuri, ettei erillistä polttoaineen kuivatusta tarvita ennen polttoaineen syöttämistä pedille.

Leijupolttoa voidaan suorittaa joko leijupolttona tai kiertoleijupolttona. Näiden polttamiseen on kehitetty BFB- eli kuplapeti- ja CFB- eli leijupetikattilat joista CFB-kattiloista kerrotaan yksityiskohtaisempaa tietoa seuraavassa kappaleessa. [2]

## 5.1 CFB, Kiertopetikattila

Kiertopetikattilasta voidaan myös käyttää nimeä kiertoileijukattila, joka kuvastaa petimateriaalin liikehdintää kattilan tulipesästä kiertoon. Petimateriaali kiertää tulipesästä syklonin kautta takaisin tulipesän alaosaan. Kiertopetikattilassa polttoaineen syöttö voidaan hoitaa kahdella eri tavalla, joko etuseinän kautta tai sekoittamalla polttoaine syklonista palaavan hiekan joukkoon. [2]



*Kuva 4 Kiertopetikattilan toimintaperiaati*

CFB-kattilan rakenne ei kuitenkaan ole juuri muuttunut vuosikymmenien saatossa ylikriittisiä kattiloita lukuunottamatta. Kattiloiden koko on kasvanut ja materiaalmäärät tietysti siinä mukana. Painerunko sisältää samanlaisia osia toimituksesta toiseen. Ainoastaan osien koko, määrä ja käytettävät materiaalit voivat vaihdella asiakkaan vaatimuksien mukaan.

CFB-kattilat voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tyyppiin. Kattiloita on 1:n ja 2:n vedon Inline, Over the Top sekä Once Trough (OTU) kattilat.

Kattilalaitoksen painerunkoon kuuluvat seuraavat osat, tosin rakenteesta riippuen kaikki kattilat eivät välttämättä sisällä kaikkia:

- Hörylieriö sisäosineen (Steam drums with internals)
  
- Höyrystystulipinnat (Evaporative surfaces):
  - o Tulipesän seinät (Furnace water walls)
  - o Intrex pesä (Intrex chamber)
  - o Keittopinta (Boiler bank)
  - o Eväseinäkekeittopinta (Evaporative wingwall)
  - o Konvektiopaketit (Convection tube banks)
  - o Compact erotin (compact separator)
  - o Vesijäähdytetty konvektio-osa (Water cooled convection)
  
- Ekonomaiserit (Economizers)
  - o Teräsputkielä (Economizer)
  - o Vesijäähdytetyt kannatusputket (Water cooled hanger tubes)
  
- Tulistimet (Superheaters)
  - o Tulistimien putkiryhmit (Superheater tube bundles)
  - o Eväseinäketulistin (Wing wall superheater)
  - o Höyryjäähdytetty konvektio-osa (Steam cooled convection cage)
  - o Omega-tulistin (Omega tube superheater)
  - o Höyryjäähdytetyt kannatusputket (Steam cooled hanger tubes)



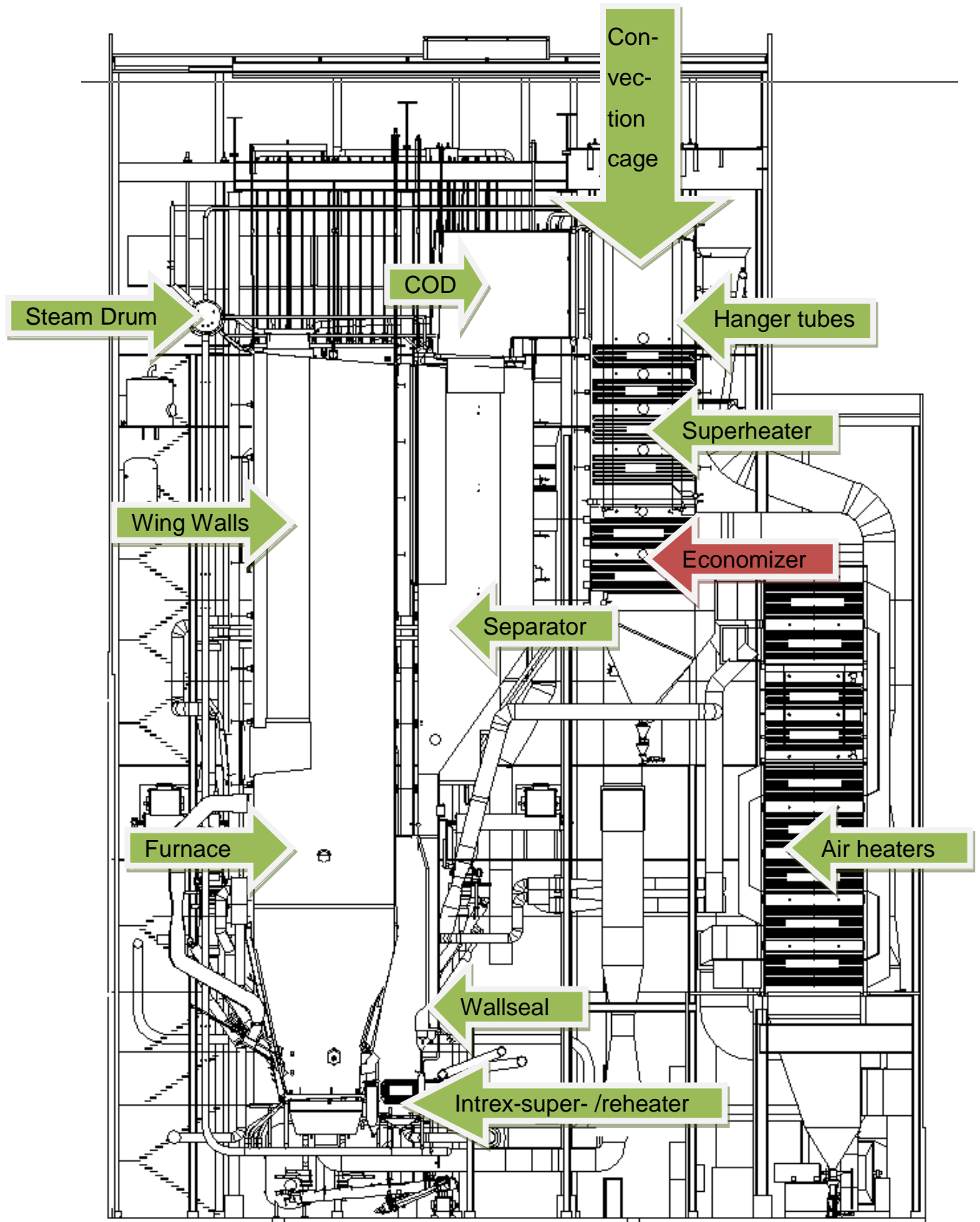
- Höyryjäähdytetty Kuumakaasukanava (Steam cooled cross over duct)
- Intrex tulistin (Intrex superheater)

- Välitulistimet (Reheaters)

- Välitulistimien putkiryhmät (Reheater tube bundles)
- Eväseinäkevälitulistin (Wing wall reheater)
- Seinävälitulistin (Wall reheater)
- Omega-välitulistin (Omega tube reheater)
- Intrex välitulistin (Intrex reheater)

- Savukaasuluvot (Flue gas air reheaters)

- Teräsputkiluvo (Tubular air preheater)



**Kuva 5 CFB-Kattilan (In-line 2-veto) painerunko, osien sijoitus**

## 5.2 Syöttöveden esilämmitin eli ekonomaiseri

Ekonomaiseri tunnetaan myös toimintansa mukaisesti syöttöveden esilämmittimenä. Ekonomaiseri sijaitsee kattilalaitoksen savukaasukanavassa tulistimien jälkeen savukaasuvirtaukseen nähden. Ekonomaiserin avulla kattilan hyötysuhdetta voidaan parantaa, sillä vettä esilämmitetään lähemmäksi höyrystymislämpötilaa ja samalla savukaasuista saadaan talteen energiaa. Ekonomaisereita voi kattilassa olla useita. Ekonomaiseri I sijaitsee aina savukaasun kylmemässä päässä verrattuna ekonomaiseri II:een.

Savukaasujen lämpötila savukaasukanavassa vaikuttaa materiaalivalintoihin. Kattilan lämpötila on riippuvainen tuorehöyryn paineesta, ja ekon lämpötilat taas kylläisen höyryn paineesta. Ekonomaiserissa ei saa missään tilanteessa ylittää kiehumispistettä. Luonnonkierto kattilassa suurin sallittu lieriön paine on 193 bar, joten suurimmaksi sallituksi lämpötilaksi ekolle tulee n.120°C. Ylikrittisissä kattiloissa tilanne on toinen, mutta edelleenkin kiehumispistettä ei saa ylittää, ettei ekonomaiseri rupea keittämään.

Ekonomaiseri koostuu useista eri osista. Isoin osa materiaalista koostuu putkipaketeista ja jako- ja kokoojakammioista sekä näiden päädyistä. Näitä ei ole otettu huomioon materiaalimäärälaskennassa, sillä näiden materiaalimäärät saadaan suoraan mallinnuksesta. Materiaalimäärälaskennassa mukana olevat osat ovat värinänestolevyt, sekä näiden ylä- ja alapuoliset kannakkeet, läpimenoholkit, tarkastusyhteet, ilmaus- ja vesitysyhteet, levytyksen tartuntarenkaat, kannatintangot, kulkuaukkojen levyt, tukiraudat, kannatuslevyja- ja rautoja sekä putkien suojakouruja. Määrälaskennassa eivät ole mukana viisteen suojat, lämpötilamittaukset hanger strapsien mahdolliset tukiraudat ja levyt eivätkä tikapuiden suojarassit. Näitä ei otettu mukaan, sillä osia ei välttämättä ole kaikissa syöttöveden esilämmittimissä tai niiden materiaalimäärä on merkityksetön kokonaisuuteen nähden.

## 6 KATTILOIDEN TARJOUSSUUNNITTELUPROSESSI

Ennen varsinaisen tarjousprosessin alkamista yrityksen myyntipäälliköt tekevät paljon töitä luodessaan asiakassuhteita. He kiertävät maailmalla kartoittamassa asiakkaiden tarpeita ja arvioivat pystytäänkö asiakkaan tarpeisiin vastaamaan. Ko. neuvotteluita saatetaan jatkaa kuukausia, ennen kuin kaikista yksityiskohdista ollaan samaa mieltä siihen pisteeseen, että varsinaista tarjousta voidaan lähteä tekemään. Tarvittaessa myyntihenkilöt saavat teknistaloudellista apua yrityksen Engineering & Technology osastolta.

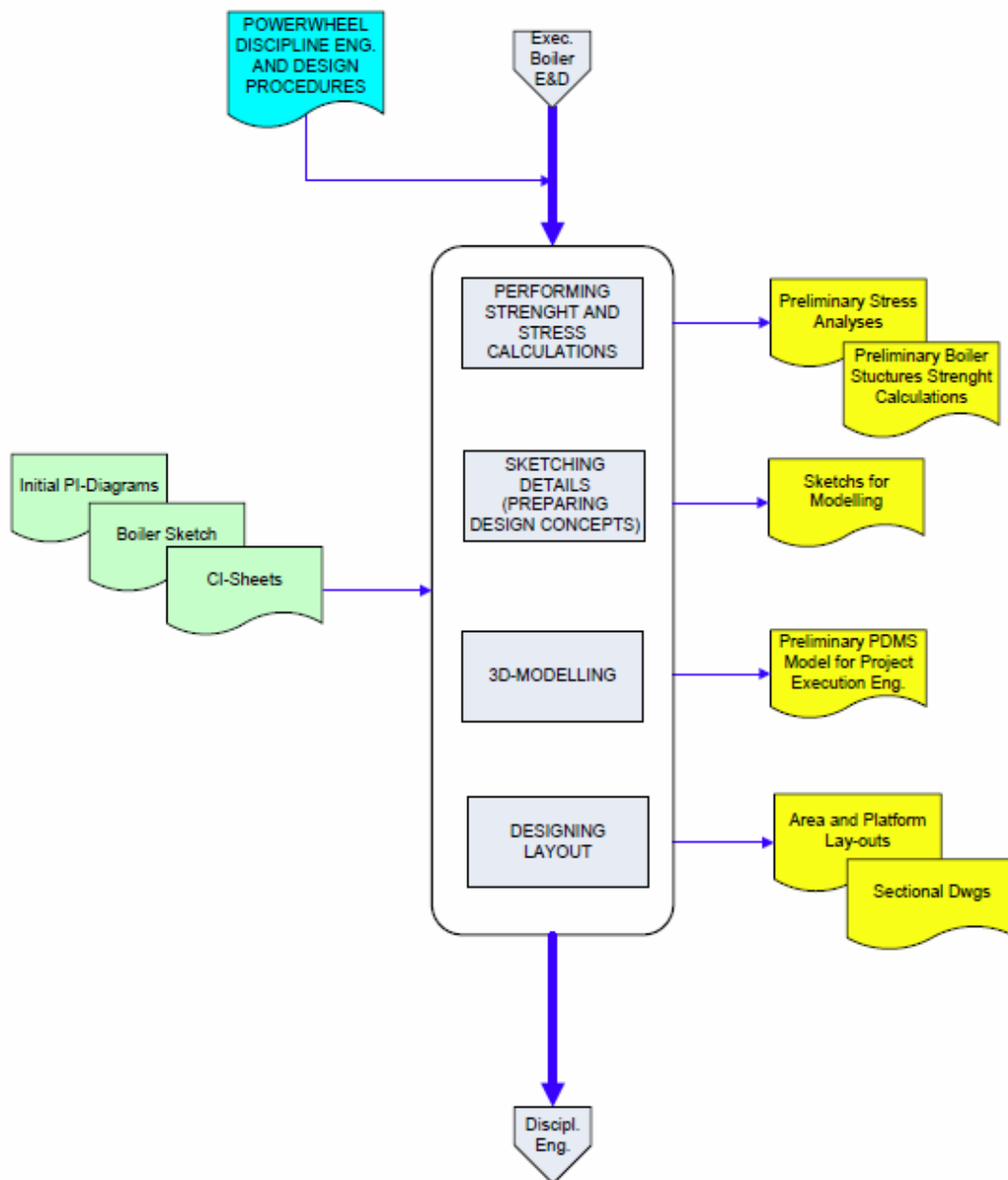
Näin siis saadaan mahdollisesti tarjottavien kauppojen lähtötiedot. Varsinainen päätös tarjouksen tekemisestä tehdään kuitenkin puntaroimalla erityisesti kaupanteosta aiheutuvat riskit taloudellisen kannattavuuden kanssa. Tehdään niin sanottu tuotesoveltuvuusarvio, jonka jälkeen päätös tarjouksen jättämisestä voidaan tehdä. Tämän jälkeen aloitetaan varsinainen tarjouksen suunnittelu, joka alkaa tarjousorganisaation nimeämisellä.

Kattiloiden suunnitteluun osallistuu yrityksestä suuri joukko henkilöitä eri osastoilta. Mukana tarjousvaiheen suunnittelussa ovat suorituskyky suunnittelu (Performance engineering), systeemisuunnittelu (System engineering), asennussuunnittelu (Comissioning engineering) sekä laitesuunnittelu (Equipment engineering). Tarjottavan tuotteen mitoitus hahmottuu pääsääntöisesti lähtötietojen perusteella, jotka saadaan eri osastoilta / asiakkaalta. Lähtötiedot tarkentuvat koko ajan tarjoussuunnitteluprosessin edetessä.

Tarjousvaiheen suunnittelu aloitetaan suorituskykylaskennan tuottamien laskelmien perusteella. Ensimmäisessä vaiheessa luodaan AutoCad skitsit, joiden avulla mitoitukset tarkentuvat ja tarkemmat mitat palautetaan takaisin suorituskykylaskennan käyttämään ohjelmistoon Amigoon.

Ensimmäisten PI-kaavioiden, AutoCad skitsien eli uloslyöntien ja Amigon tuottamien tarkennettujen laskelmien perusteella aletaan tehdä alustavaa 3D-mallinnusta. Täydentävää tietoa saadaan koko suunnittelun ajan myös asen-

nussuunnittelusta sekä laitesuunnittelusta. Laitesuunnittelun tulee tehdä alihankintaan tarvittavat kyselyt laitteista, jotta oikeanlaiset tilavaraukset esim. suotimille, polttimille ym. laitteille kyetään tekemään.



**Kuva 6 Kattilasuunnittelun tarjousvaiheen prosessikaavio**

Tarjousvaiheen mallinnuksien ja laskelmien saavutettua tarvittavan muotonsa tekee sähkö- ja automaatio suunnittelu (EIC engineering) omat suunnitelmansa automaatiojärjestelmistä, sähköistyksestä, kaapeloinneista, käyttämästään alihankinnasta yms. Oman työnsä tekee myös teräsrakennesuunnittelu, joka 3D-mallinnuksen rinnalla tekee omaa suunnitelmaansa teräsrakenteista mallinnuk-

sen täsmentyessä. Asennussuunnittelu tekee asennus- ja nostosuunnitelmat, aikatauluttaa työmaan. Kaikkien prosessin vaiheiden jälkeen tehdään vielä määrä laskenta niin mekaanisista, sähköautomaatio, teräsrakenne ja asennusvaiheessa vaikuttavista asioista, muodostetaan näistä työpaketit ja tehdään työmaasuunnitelmat.

Kaikista edellämainituista vaiheista saadaan ulos runsaasti asiakirjoja, jotka kaikki vaikuttavat tarjousvaiheen lopputulokseen, eli asiakkaalle annettavaan tarjoukseen. Ennen varsinaisen tarjouksen jättämistä seuraa kuitenkin ns. tarjouksen sulkeminen, jossa kaikki asiat käydään vielä kerran kootusti läpi ja kasaataan itse tarjous.

## 7 LAYOUT-SÄÄNTÖJEN KERÄÄMINEN SYÖTTÖVEDEN ESILÄMMITTIMELLE

Sääntöjen määrittely aloitettiin valitsemalla useita toteutuneita projekteja tarkastelun alle. Näistä kerättiin tietoa ekonomaiserin eri tyypeistä ja mitoitus tavoista projekteittain ja vertailtiin näitä keskenään. Tietoja kasattiin projektien työkuvista sekä näiden osaluetteloista. Osat nimettiin yhtenäisesti kuvaamaan saman osan tarkoitusta kaikissa projekteissa, jotta nämä olisivat keskenään vertailukelpoisia. Tarkoituksena oli myös KKS-koodata osat tarkemmin, mutta koodaus jätettiin entiselleen, kun todettiin nimeämisen riittävän ja jokaisen osan koodaamisen hankaloittavan. KKS-koodi oli alun perin määritelty syöttöveden esilämmittimen päätasolla, putkistolla ja kammioilla.

Vanhoja projekteja tarkastellessa eteen on tullut useita erilaisia ekonomaiseri variaatioita. Päätettiin selvittää tulevaisuudessa varmimmin käytössä olevat tapaukset ja asiaa selvitettiin kyselemällä mm. painerungon mitoitus- ja suorituskykylaskennasta normaalisti laskettavia tapauksia. Tulimme siihen tulokseen, että niitä on olemassa kolmea eri päätyyppiä.

Syöttöveden esilämmittimissä inlet kammio sijoitetaan aina lähtökohtaisesti savukaasukanavaan. Outlet kammion sijoitukselle on kuitenkin olemassa kaksi eri vaihtoehtoa, joko savukaasukanavassa tai sen ulkopuolella tapauksesta riippuen.

Syöttöveden esilämmittimen kannatustapa tekee vielä toisen jaottelun mahdolliseksi. Nämä voidaan kannatella niin teräsrakenteista kuin kantoputkienkin avulla.

Inlet kammioista lähtevien jakoputkien määrä saattaa vaihdella yhdestä neljään rinnakkaiseen putkeen. Yleisimpinä tapauksina kuitenkin yhdellä (single tube pass) ja kahdella (multiple pass) putkella lähtevät. Myös outlet kammioiden määrä voi vaihdella yhdestä kolmeen kammiota.

Erityyppisistä syöttöveden esilämmittimistä valittiin ns. tyyppikuvat. Mukana on syöttöveden esilämmittimet joissa outlet kammio on sijoitettuna savukaasuun ja kannatus teräsrakenteista tai kantoputkista sekä outlet kammion sijoitus ulkona savukaasusta, kaikki tapaukset sekä yhdellä että kahdella putkella inlet kammiosta lähtevänä. Tyyppikuviin liitettiin kiinteästi mukaan suunnittelun perussäännöt. Näiden layout sääntöjen ja tyyppikuvien avulla alkoi parametrimallinnus PDMS:n puolella.

Parametrimallinnuksesta ohjelman avulla saadaan automaattisesti syötettyjen arvojen perusteella ekonomaiserin putkikierrat, jako- ja kokoojakammiot sekä tarkastusyhteet.



## 8 MATERIAALIMÄÄRÄLASKENNAN KEHITTÄMINEN

Materiaalimäärälaskenta toteutetaan tarjouslaskennan tarpeita ajatellen. Kiertopeti-kattiloiden materiaalmäärät vaihtelevat toimituksittain paljonkin, vaikka teknisesti voimalaitos pysyykin samanlaisena. Materiaalimäärään vaikuttaa paljon kattilan kokoluokka, joka määräytyy poltettavan polttoaineen mukaan ja siitä, kuinka paljon kattilan halutaan tuottavan energiaa. Kaikki kattilalaitokset suunnitellaan asiakkaan tarpeita ajatellen ja asiakkaan toiveita kuunnellen.

Materiaalimäärälaskenta tapahtuu vielä tälläkin hetkellä toteutuneisiin projekteihin ja hyvään arvioon perustuen. Tämä tarkoittaa vertailemista toteutuneiden kattiloiden kokoluokkaa tarjottavaan laitokseen ilman tarkkaa laskentaa. Paineurungon osalta laskenta tapahtuu seuraalla tavalla.

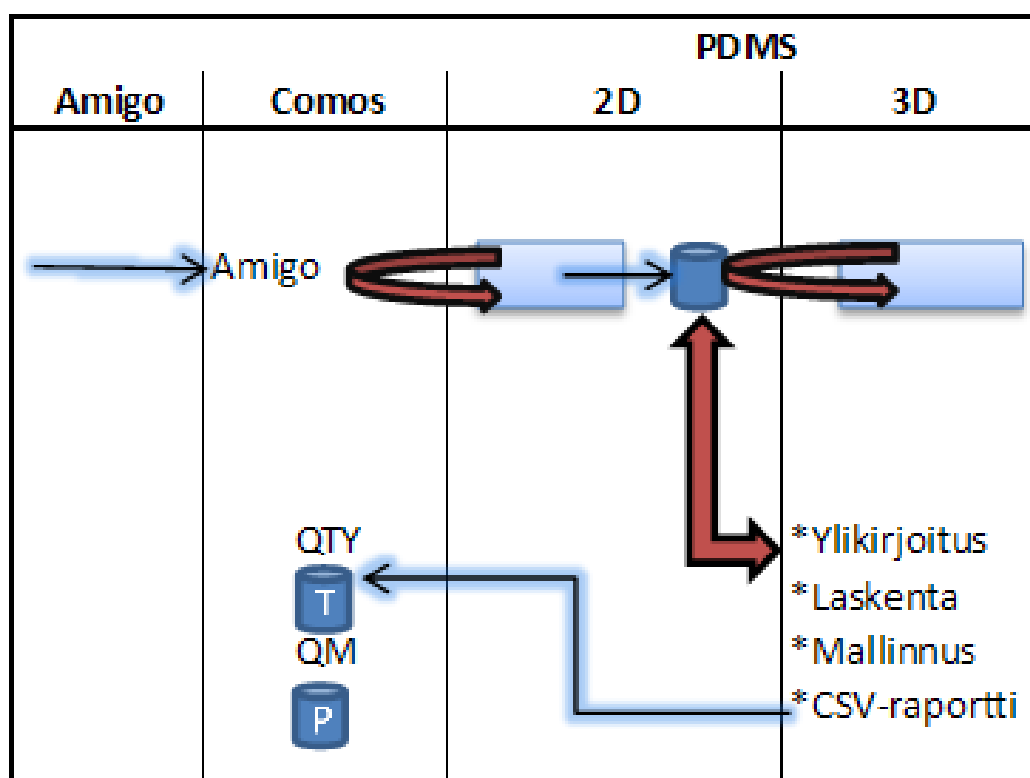
Ilma- ja savukaasukanavat mallinetaan ja mallinnuksesta saadaan ulos kuluvat levymäärät ja eristysten pinta-alat. Jäykisteiden määrät lisätään laskentaan toteutusprojekteista saadun kokemuksen mukaan. Suuret sisäisen kierron putkistot mallinetaan ja niiden määrät saadaan suoraan mallista. Kannakkeet putkistoille lisätään määrälaskennassa toteutusprojekteista saadun kokemuksen mukaan. Pienputkistoja ei mallineta vielä tarjousvaiheessa, vaan näiden määrä arvioidaan vastaavia toteutusprojekteja ja kattiloiden kokosuhteita vertaamalla ja määräraviot tehdään näiden perusteella.

Näiden perusteella saadaan CEMP:n avulla estimoitua ns. as sold-tilanne materiaalmäärään, jota päivitetään projektin eri vaiheissa. Kattilan ollessa ns. as built-vaiheessa, eli rakennettuna ja kuvat päivitettyinä projekti käydään läpi myös materiaalmäärien osalta ja verrataan arvioitua lopullisiin määriin.

Putkimäärät ja teräsrakenteet on siis tarjousvaiheessakin helpohko laskea mallinnuksen avulla, mutta muiden ei paineenalaisen materiaalin, kuten käytettävän levymateriaalin laskeminen arvioiden on paljon hankalampaa.

## 8.1 Materiaalilaskennassa käytettävä informaatio

Materiaalimäärälaskennan perusta koostuu useista eri tietolähteistä kasattuun dataan, sekä näiden pohjalta kehitelyyn laskentaan. Kuvassa seitsemän nähdään tiedon kulku Comos järjestelmän kautta Comosin ja PDMS:n rajapinnassa toimivalle sovellukselle, jossa laskenta tapahtuu, aina materiaalmäärien palautukseen takaisin Comosiin.



**Kuva 7 Tietojen kulun kuvaus**

Seuraavissa kappaleissa on esitelty tietolähteet, joista data on pääosin laskenta varten kerätty.

## 8.1.1 CI-Sheets

Osana laskennan kehittämistä on käytetty Performance-engineeringin käyttämän Amigo-ohjelmiston tuottamia CI-Sheettien arvoja. CI-Sheetit sisältävät painerungon osan esimerkiksi ekonomaiserin päämitat, jotka on lämpölaskennan mukaan määriteltä. CI-Sheet:n arvot lasketaan kunkin projektin kohdalla erikseen. Arvot ovat projekteittain kuitenkin keskenään sinänsä vertailukelpoisia, että jokaisen, esimerkiksi syöttöveden esilämmittimen osalta annetaan aina samat mittatiedot.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R		
2	FOSTER WHEELER										03 Pressure System						Page			
3											10.1 Economiser						1(2)			
4	Boiler												SH:		143,0		kg/s			
5	Kaukaan Voima Oy												FH:		115,0		bar(a)			
6																	°C			
7	Eco 1																			
8	Type										Economizer									
9	Flow Type										Counter flow									
10	Tube Configuration										Inline									
11	Main Dimensions																			
12	Pass Depth, (wall CL--wall CL),										D		mm		5200					
13	Pass Width, (wall CL--wall CL),										W		mm		18778					
14	Transverse Spaces,										T_s		mm		88					
15	Gap Btw. Banks, (tube CL--tb. CL),										Gap_b		mm		610					
16	Gap to Prev. HX, (top -- tube CL),										Gap_Hx1		mm		610					
17	Gap to Next HX, (tube CL-- bottom),										Gap_Hx2		mm		0					
18	Total Height, (top--bottom),										H		mm		4244					
19																				
20	Number of tubes																			
21	Number of Rows										pcs		38							
22	Number of Tubes per Row										pcs		268,0							
23	Number of Parallel Rows										pcs		1							
24	Number of Banks										pcs		2							
25	Number of Gas Side Passes										pcs		N/A							
26	Tubes in Banks																			
27	Number of Tube Rows in Bank										pcs		Upr Bank		Lwr Bank					
28													(?)		(?)					
29																				
30	Tube & Pitch Data																			
31	Tube OD										mm		31,80							
32	Tube Thickness, (average)										mm		4,50							
33	Longitudinal Pitch w/in Par. Rows,										c		mm		84,00					
34	Longitudinal Pitch btw. Rows,										d		mm		84,00					
35	Longitudinal Pitch, (average),										Sl(b)		mm		84,00					
36	Transversal Pitch,										St(a)		mm		70,00					
37	Tip Clearance (surf. - surf.)												N/A							
38	Gas Flow Angle										°		90							
39	Tube Length Inside Pass										mm		(?)							
40	Tube Inlet Length										mm		(?)							
41	Tube Outlet Length										mm		(?)							
42	Total Single Tube Length										mm		(?)							
43																				
44																				

**Kuva 8 CS-Sheet Ekonomaiserille. Esimerkkinä Ekon leveys, joka on tummennettuna yhtenä päämitoista. Ympyröitynä on mitan sijoitus kuvassa.**

CI-sheet sisältää osille tietyt tärkeimmät mitat, päämitat. Päämitat on esitetty sivulla tummennettuina mittalukuina. Mittatietojen vieressä olevissa kuvissa on kirjainlyhentein kerrottuna, missä kohdassa osaa mikäkin mitta sijaitsee. Tummenneet mitat ovat määrääviä, ja näitä arvoja eivät suunnittelijat saa muuttaa,

ainakaan ilman, että suorituskykylaskenta on tarkastettu. Muut mitat ovat suuntaa-antavia, joita voidaan vielä tarpeen mukaan muuttaa.

### 8.1.2 DSM-ohjeet

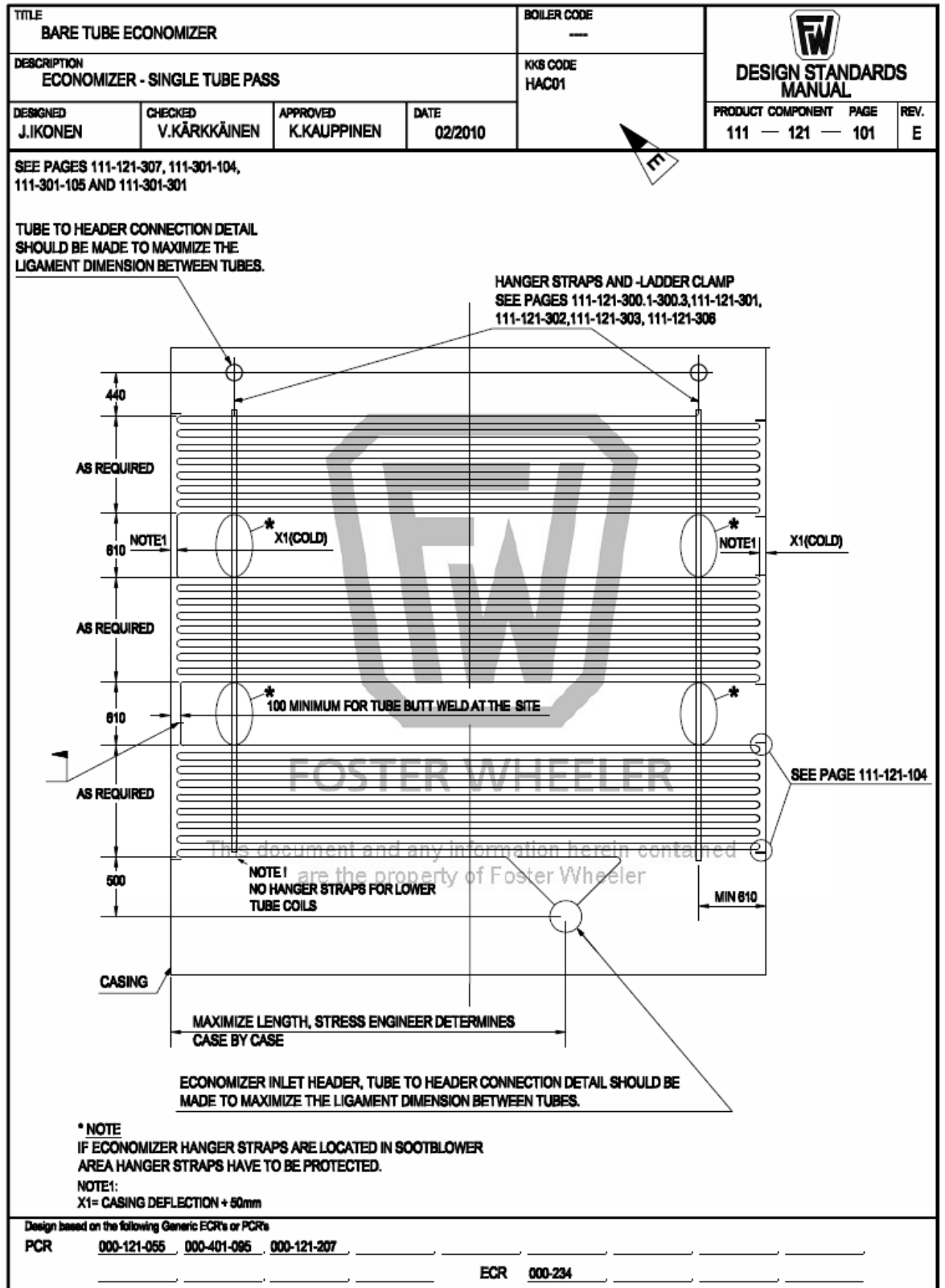
Yrityksellä on käytössään DSM-suunnitteluohjeet (Design Standard Manual), joita suunnittelussa pyritään noudattamaan. DSM:t ovat yleisesti hyväksytyjä ohjeita, joita tarpeen vaatiessa päivitetään. DSM-ohjeet ovat revisioituja ohjeita, joten kussakin kohteessa noudatetun ohjeen uusin revisio tulee tarkastaa, jotta varmistutaan ohjeen oikeellisuudesta.

DSM-ohjeet sisältävät niin yksityiskohtaista mitoitustietoa painerungon osille, kuin suuntaa-antavia minimi- ja maksimiarvoja. Ohjeissa on myös kerrottu lujuuslaskennan tarpeet tiettyjen osien mitoitusten ja materiaalien määrittelyyn. Ohjeet eivät kuitenkaan ole aivan yksiselitteisiä ja toisinaan näitä ei pystytä aivan sellaisenaan noudattamaan. Seuraavassa lueteltuna asioita, joita ohjeista mm. löytyy.

- Yksityiskohtaista mitoitustietoa
- Minimi- ja maksimiarvoja
- Lujuuslaskennan tarpeet mitoitukselle
- Materiaalit
- Lämpötilariippuvuus
- Hitsaus
- Kannatukset
- Nuohoinsijoitukset

Ohessa pari esimerkkiä DSM-ohjeista, jotka koskevat ekonomaisein suunnittelua. Ensimmäisessä yleinen ohje yhdellä putkella lähtevälle ekolle, jossa mitoitustietoa mm. outlet kammion sijoituksesta, putkipakettien väleistä sekä tietoa muista DSM:stä, jotka liittyvät tämän tyyppiseen syöttöveden esilämmittimeen.

Toisessa esimerkissä kerrotaan putkiväleistä, taivutuksista ja nuohoinsijoituksesta sekä yhdellä, että kahdella putkella lähtevälle ekolle.



**Kuva 9 Yleinen suunnitteluohje yhdellä putkella lähtevälle ekonomaiseril-  
le.**

### **8.1.3 Kokemusperäinen suunnittelu**

Materiaalilaskennan ohjeistuksessa on otettu huomioon myös aiemmin hyväksi todettu käytäntö. Aiemmin toteutuneista projekteista on kerätty tietoa ja näistä on saatu koottua tietoa esimerkiksi mitoitus- ja kammioden sijoittelun suhteen. Tiedot on kerätty haastattelemalla suunnittelijoita, tarkastelemalla projektien työkuvia, osaluetteloita sekä projektikohtaisesti laadittuja Amigon lämpölas- kelmia.

Toteutuneiden projektien tietoja vertailtiin ja havaittiin paljon yhtäläisyyksiä mi- toituksissa mm. inlet kammion suhteen, joka päätettiin ohjeistaa saatujen tietojen mukaan.

## **8.2 Materiaalilaskentasääntöjen dokumentoiminen**

Materiaalimäärälaskennan kehitykseen valittiin ohjelmaksi taulukkolaskentaoh- jelma excel, joka on kohtuullisen yksinkertainen käyttää ja laajan käyttäjäkun- nan hallinnassa. Excel on myös taipuvainen käsittelemään suurta määrää da- taa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty excel pohja, jota käytetään laskentatyöka- luna materiaalmääriä kartoitettaessa. Samassa excel-pohjassa on tarkoitus laskea kaikki painerungon osat, tosin jokainen komponentti omalla sivullaan.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Input Values</b>								
2	<b>MTO rows begins (row):</b>		37						
3									
4	<b>PDMS/Comos input</b>								
5	Number of rows								
6	No of tube banks		4						
7	Tube OD								
8	Number of tubes in a row								
9	Gap btw banks 1								
10	Gap btw banks 2								
11	Gap btw banks 3								
12	No of gaps								
13	Casing Depth		6400						
14	Casing Width		25000						
15	Casing Height								
16	Coil height								
17	Coil weight								
18	Temp bank 1								
19	Temp bank 2								
20	Temp bank 3								
21	Temp bank 4								
22	No of hanger strap rows								
23	Inlet header OD								
24	Inlet header thickness								
25	Inlet arrive tube OD								
26	No of outlet headers								
27	Outlet header OD								
28	Outlet header Thickness								
29	Outlet leave tube OD								
30	Inspection nozzle end thickness (body pipe)								
31	Inspection nozzle end thickness (end)								
32									
33									
34									
35	<b>MTO Lines</b>								
36	KKS	Desdription	Form	Dimensions	Thickness	Material	Quantity	Unit	Pcs
37	HAC10	Sleeves	P	#N/A			60 mm		0
38	HAC10	Inlet header end	PL						
39	HAC10	Outlet header end	PL						
40	HAC10	Inspection nozzles	P	63,5	6,3				
41	HAC10	Inspection nozzle ends	PL						
42	HAC10	Vent and drain nozzles	O	50					
43	HAC10	Attachment clamps for casing	PL	50	10		0,06 m		
44	HAC10	Hanger strap bank 1	LIT	40	5	P355GH	#N/A	m	
45	HAC10	Hanger strap bank 1	LIT	30	5	P355GH	#N/A	m	
46	HAC10	Hanger strap bank 2	LIT	40	5	P355GH	#N/A	m	
47	HAC10	Hanger strap bank 2	LIT	30	5	P355GH	#N/A	m	
48	HAC10	Hanger strap bank 3	LIT	40	5	P355GH	#N/A	m	
49	HAC10	Hanger strap bank 3	LIT	30	5	P355GH	#N/A	m	
50	HAC10	Hanger strap bank 4	LIT	40	5	P355GH	#N/A	m	
51	HAC10	Hanger strap bank 4	LIT	30	5	P355GH	#N/A	m	
52	HAC10	Acces opening plates	PL	510x600	12	13CrMo4-4	0 m <sup>2</sup>		
53	HAC10	Support flat bar	LIT	50	12	13CrMo4-5	0,00 m		
54	HAC10	Hanger ladders, hanger plates	PL	250	12		50		
55	HAC10	Hanger ladders, hanger bars	PL	1415	12		434,049 m		
56	HAC10	Tube shields	PL				0 m		

**Kuva 10 Excel-pohja, jossa materiaalmäärälaskentaa hallitaan ekonomaiserin osalta**

### PDMS / Comos input;

Nämä ovat tietoja, jotka haetaan joko mallinnuksen jälkeen suoraan PDMS:stä tai sitten ovat jo Comosiin aiemmin syötettyjä tietoja.

**MTO Lines;**

MTO osio sisältää varsinaiset kaavat, joita estimointi ohjelma käyttää hyväkseen laskiessaan materiaalmääriä.

**DSM-sheet;**

Yhdelle sheetille kasataan kootusti kaikkien painerungon osien DSM viittauksissa käytetyt taulukot yms, joista tietoa voidaan käyttää laskentaa ilman, että niitä tarvitsee hakea muista tiedostoista. Tarvittaessa DSM ohjeen arvojen muuttuessa on muuttuneet arvot helppo muuttaa yhdelle excel sheetille. Jokaiset arvot on merkitty selkeästi, sekä DSM numerolla, että viittauksella mihin osaan arvot liittyvät.

<b>DSM 111-121-101 D, Bare tube economizer</b>				
Single tube pass	bankCapHeight	610		
	outletHeaderHeight	440		
	inletHeaderHeight	500		
<b>DSM 111-121-102 D, Bare tube economizer</b>				
Multiple tube pass	bankCapHeight	610		
	outletHeaderHeight	440		
	inletHeaderHeight	500		
<b>DSM 111-121-201.2 B, Bare tube economizer, Single tube pass</b>				
Tube spacing, tube radius and sootblower location	OD	P1	P2	P3
	31,80	84,00	84,00	84,00
	38,10	100,00	100,00	65,00
	44,50	140,00	140,00	70,00
	50,80	200,00	200,00	76,00
In use	31,80	84,00	84,00	84,00
<b>DSM 111-121-300.3 A, Bare tube economizer</b>				
Support flat bar for tube bundles and vibration baffle	Nro of tube bundles	Material		
	1	13CrMo4-5		
	2	13CrMo4-5		
	3	13CrMo4-5		
	4	13CrMo4-5		
	5	Wno 1.4818		
6	Wno 1.4818			

**Kuva 11 Esimerkki DSM arvoista laskennassa**



### 8.3 Muutosten hallinta

Uusien sovellusten kehittämisessä ongelmaksi muodostuu hyvin usein tietojen päivitettävyyden tulevaisuudessa. Uusien sovellusten käyttöönotto voi muutenkin olla yrityksissä haasteellista ja näin ollen sovellukset joudutaan ”myymään” loppukäyttäjille todistellen niiden toimintaa. Tässä vaiheessa muutosten hallintakin on usein pöydällä ja sitä tullaan epäilemään hankalaksi toteuttaa.

Muutosten hallinta on pyritty materiaalimäärälaskennan osalta hoitamaan mahdollisimman yksinkertaiseen muotoon. Suurin osa layout ja materiaalimäärälaskennan kaavoista toteutetaan excelissä. On todettu, että se on jatkoylläpidon kannalta tehokkainta, sillä käytettävät DSM-säännöt ja suunnitteluarvot voivat tarvittaessa muuttua projektikohtaisesti. Tällöin jokaisella projektilla voitaisiin luoda oma projektikohtainen excel-tiedosto materiaalilaskentaa varten muuttaen sääntöjä tarpeen mukaan.

Excel:n käyttäminen on myöskin laajemman käyttökunnan hallinnassa kuin ohjelmointikielten kirjoittaminen. Näin muutosten hallinnasta ei muodostu kynnyksymystä uuden sovelluksen käyttöön myös tulevaisuudessa. Excel on hyvin muokkautuva, ja sen sisältävää dataa on helppo muokata, lisätä tai poistaa tarpeen mukaan. Muutosten hallinnasta voisivat vastata esimerkiksi aluevastaavat suunnittelijat.

## 9 PROJEKTIN JATKUMINEN TULEVAISUUDESSA

Projektin jatko on tarkoitus toteuttaa projektisuunnitelman mukaisesti ekonomaiserin prototyypin valmistuttua ja tietoteknisen perusarkkitehtuurin muotouduttua kohdalleen.

Tulevina aikoina tullaan käymään läpi kaikki CFB-kattilan painerungon komponentit materiaalmäärälaskennan ja 3D-mallinnuksen osalta. Aikaa tuleville toteutusosille on varattu vuoden 2010 loppuun. Seuraava toteutusosa tulee käsittelemään konvektio osaa, jolle materiaalmäärälaskenta ja 3D-mallinnus toteutetaan ja dokumentoidaan ekonomaiserin toteutuksen aikana hioutuneen toimintatavan mukaisesti.

Projektille on varattu useita insinööritöitä. On tarkoitus, että jokainen toteutusosa olisi yksi kokonaisuutensa insinööriyötä ajatellen. Projektityöntekijöitä on samaan aikaan työskentelemässä kaksi, joista toinen toimii materiaalmäärälaskennan ja layout-sääntöjen keräämisen parissa ja toinen on kehittämässä parametrimallinnusta.

## 10 KEHITYSTYÖ OPPIMISTAPAHTUMANA

Alusta asti oli selvää, että insinööriyön tekeminen yrityksessä oikealle kehityshankkeelle tulisi olemaan valtavan hieno oppimistapahtuma, sitä se on kaikenkaikkiaan ollutkin. On ollut upeaa todeta, että aiemmin oppimaansa kykenee oikeasti käyttämään hyödyksi työelämässä. Kaikkea tarvittavaa opiskelu ei kuitenkaan ole mukaan antanut, mutta pohja, jonka avulla tiedon syventäminen ja hankkiminen tapahtuu on ainakin minun kohdallani toiminut hienosti.

Kattilalaitokset ja painelaitteet ovat olleet koko opiskeluaikani mielenkiinnon kohteena. Huomasin painelaitesuunnittelun, materiaalien ja NDT-menetelmien erikositumisopinnoista olevan kovasti hyötyä. Layout-sääntöjen kerääminen antoi minulle mahdollisuuden tutustua suunnittelun maailman konkreettisesti. Sain työskennellä suunnitteluosastolla osaavien suunnittelijoiden lähellä ja sain heiltä todella paljon tärkeää tietoa ja opastusta. Työ on myös konkreettisesti opettanut kattilaitosten elinkaaren. Olen saanut tehdä yhteistyötä niin tarjousvaiheessa työskentelevien henkilöiden kuin projektinaikaisten henkilöiden kanssa. Suuressa organisaatiossa työskenteleminen on haastavaa ja osastojen välinen yhteydenpito ja tiedonkulku on oma taiteenlajinsa. Suureen organisaatioon mahtuu mukaan hyvin erilaisia persoonia ja on mielenkiintoista nähdä kuinka hyvin eri henkilöt sopivat tietyntyyliisiin työtehtäviin.

Minut otettiin suunnittelu osastolla vastaan hyvin ja pienten alkuhankaluuksien jälkeen pääsin kiinni työn tekoon. Layout-sääntöjen kerääminen tapahtui projektien historiatietoja tutkien ja suunnittelijoilta neuvoa kysyen. Samalla pääsin käsiin CFB-kattilan komponenttien detail-suunnitteluun ja opin ymmärtämään tuoterakennetta paremmin. Opetussuunnitelmassa saisi suunnittelutekniikan opintokokonaisuudessa olla enemmänkin itse suunnittelun tuotoksiin tutustumista. Kuitenkin käydyistä kursseista on hyötyä, sillä teknisen piirustuksen ja koneen suunnittelun perusteiden tunneilla pääsee myös itse hahmottelemaan kappaleita.

Materiaalimäärälaskennan kehittäminen oli myös hyvin opettavaista. Tämä lisäsi entisestään detail tietämystä syöttöveden esilämmittimien ja tulistimien osal-

ta. Laskennan kehittäminen syöttöveden esilämmittimien osille oli haastavaa, mutta myös antoi paljon. Tässä osiossa excellin tuntemus ja matemaattiset aiheet nousivat esille. Tuntui hienolta, kun sai ratkaistua ongelmia toisensa jälkeen. Alkuun tuntui, että itsenäisesti näinkin laajan alueen hallitseminen on mahdotonta, mutta hyvän tuen ja kannustuksen ansiosta sain intoa ja motivaatiota jatkaa. Voisin jopa harkita työskenteleväni kehitysinsinöörinä tulevaisuudessa. Ongelmien ratkaiseminen ja asioiden pätkäily monelta eri kantilta auttaa hahmottamaan suuriakin kokonaisuuksia, vaikka itse ongelma liittyisi vain pienen detailiin.

Kehitysprojekti jatkuu edelleen, mutta on hienoa huomata, että on pystynyt jättämään oikeasti jälkensä johonkin konkreettiseen ja saanut aikaan oikeita tuloksia. Projektin edetessä olen kasannut dokumentaatiota kehityshanketta ajatellen, mutta otin huomioon myös sen, että tulevaisuudessa tulee uusia kokemattomampia suunnittelijoita joille dokumentaatiosta olisi varmasti hyötyä. Dokumentaatiossa esitellään materiaalmäärälaskennan lisäksi myös pääpiirteittäin CFB-kattilat, niiden päätyypit sekä tällä hetkellä ekonomaiseri, sen tyypit ja osat kuvineen ja laskentaperusteineen. Dokumentaatiota on tarkoitus jatkaa kaikkien komponenttien osalta samalla tavalla. Näin saadaan aikaiseksi ymmärrettävä paketti CFB-kattiloiden painerungon komponenteista ja näiden osista.

Toivon, että tekemästäni työstä on hyötyä jatkossa, kun loppuja painerungon komponentteja käydään läpi. Uskon, että monet kömmähdykset ovat opettaneet paljon jatkoa ajatellen ja kokonaisuus on hahmottunut kaikille osapuolille.

## LÄHTEET

1. Foster Wheeler Energia Oy. Projektisuunnitelma, FWE NW 2012 – Uuden sukupolven digitaalinen tuoteprosessi osana verkostomaista projektitoimintaa, 13.6.2008.
2. <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/34788/nbnfi-fe20021205.pdf?sequence=1> 12.06.2009
3. Savonia ammattikorkeakoulun kuntayhtymä. 2008. Henkilöstökertomus 2008.
4. Savonia ammattikorkeakoulu. 2008. Toimintakertomus ja tilinpäätös 2008, Tulosaluekohtainen osa.
5. [www.savonia.fi](http://www.savonia.fi) 5.2.2009
6. FWE Oy:n intranetti 5.2.2009
7. Foster Wheeler. 2008. Energiaa työssä ja tuloksissa, Katsaus Foster Wheeler Energia Oy Groupin toimintaan.
8. Huhtinen, Kettunen, Nurminen, Pakkanen. Höyrykattilatekniikka. Edita. Helsinki. 1999
9. Teir, Sebastian. Steam boiler technology. Helsinki University of Technology. Espoo. 2003
10. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Elinkaari> 090610
11. <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/ymparistokemia/elinkaari.html> 090610
12. [http://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotteen\\_elinkaaren\\_hallinta](http://fi.wikipedia.org/wiki/Tuotteen_elinkaaren_hallinta) 090610

13. Hannu Peltonen, Asko Martio, Reijo Sulonen, PDM Tuotetiedon hallinta, Edita IT Press, 2002
14. <http://www.savonvoima.fi/SiteCollectionDocuments/yksityisasiakkaat/SVLampoBioenergiaohjelma.pdf> ”
15. <http://comos.com/basic.html?&L=1>
16. [http://en.wikipedia.org/wiki/KKS\\_Power\\_Plant\\_Classification\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/KKS_Power_Plant_Classification_System)
17. <http://www.aumanet.fi/Helpdesk/IT-sanasto?Templates=Yhtio#rad>
18. <http://www.ganttthead.com/process/processMain.cfm?ID=2-19516-2>
19. [http://www.webopedia.com/TERM/R/Rapid\\_Application\\_Development.html](http://www.webopedia.com/TERM/R/Rapid_Application_Development.html)
20. <http://www.ketteratkaytannot.fi/Ketteryys/IteraatiotJalnkrementit/>
21. helgren, Matti. Energia ja ympäristö. Opetushallitus. Helsinki. 1999.

## KUVALUETTELO

*Kuva 1 Avainlukuja, 2008*

*Kuva 2 Foster Wheeler Energia Oy osa Global Power Group:ia*

*Kuva 3 Henkilöstö ja toimipisteet 2009*

*Kuva 4 Kiertopetikattilan toimintaperiaati yllä*

*Kuva 5 CFB-Kattilan (Inline 2-veto) painerunko, osien sijoitus*

*Kuva 7 Tietojen kulun kuvaus*

*Kuva 8 CS-Sheet Ekonomaiserille. Esimerkkinä Ekon leveys, joka on tummennettuna yhtenä päämitoista. Ympyröitynä on mitan sijoitus kuvasa.*

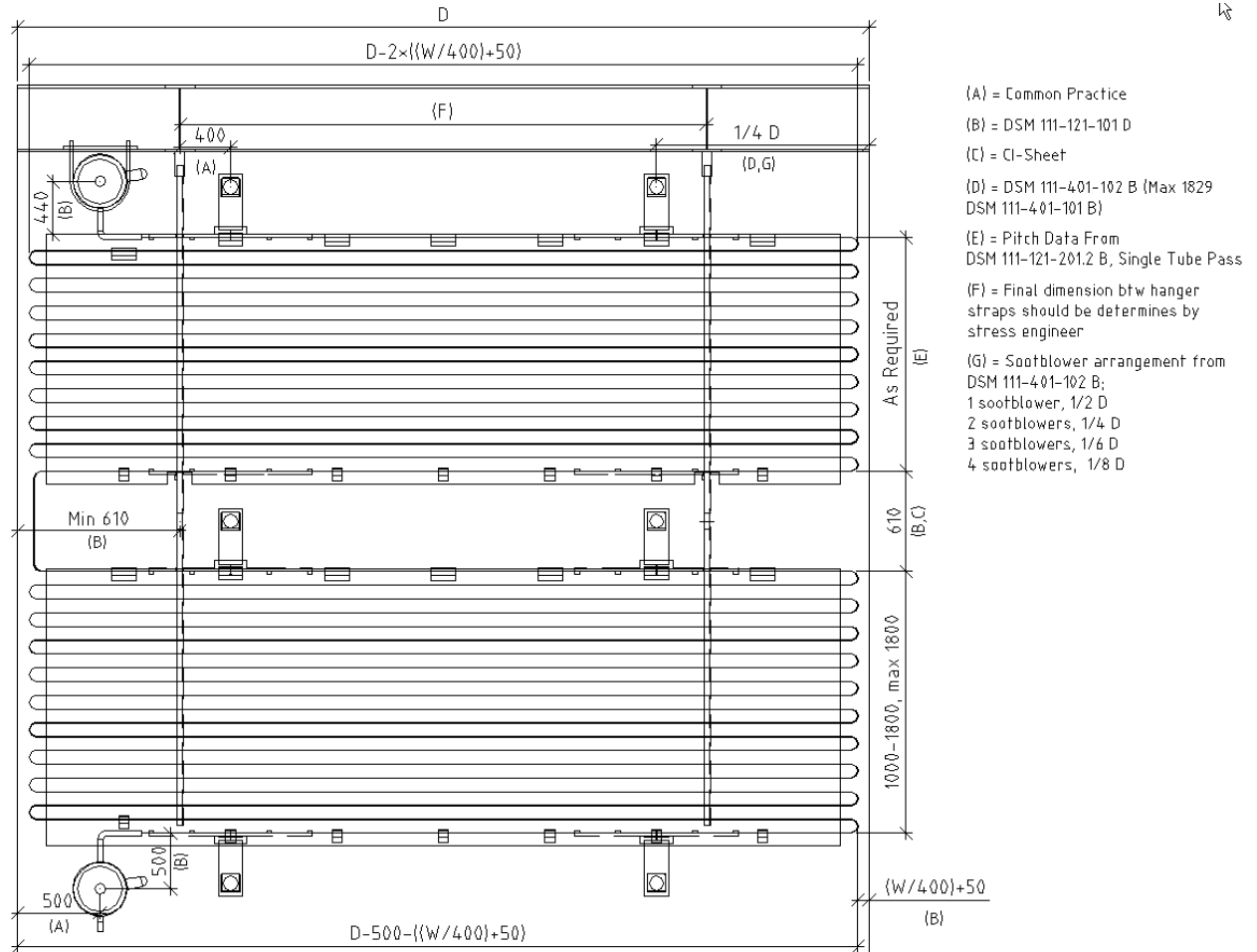
*Kuva 9 Yleinen suunnitteluohje yhdellä putkella lähtevälle ekonomaiserille.*

*Kuva 10 Excel-pohja, jossa materiaalmäärälaskentaa hallitaan ekonomaiserin osalta*

*Kuva 11 Esimerkki DSM arvoista laskennassa*

## LIITTEET

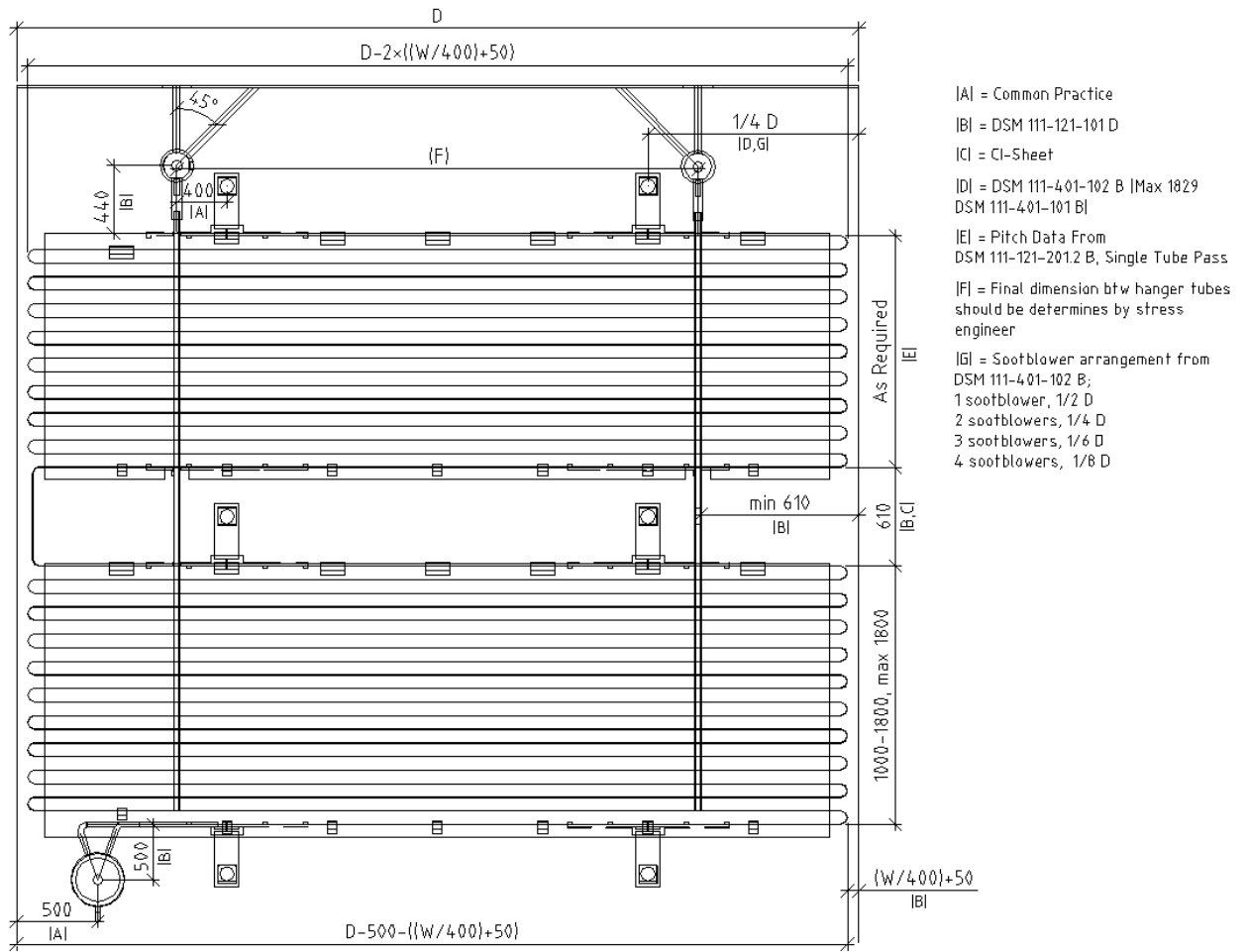
## Single tube pass with hanger straps



**Kuva 12 Single tube pass with hanger straps, kammion sijoitus savukaasukanaavaan (KauVo)**

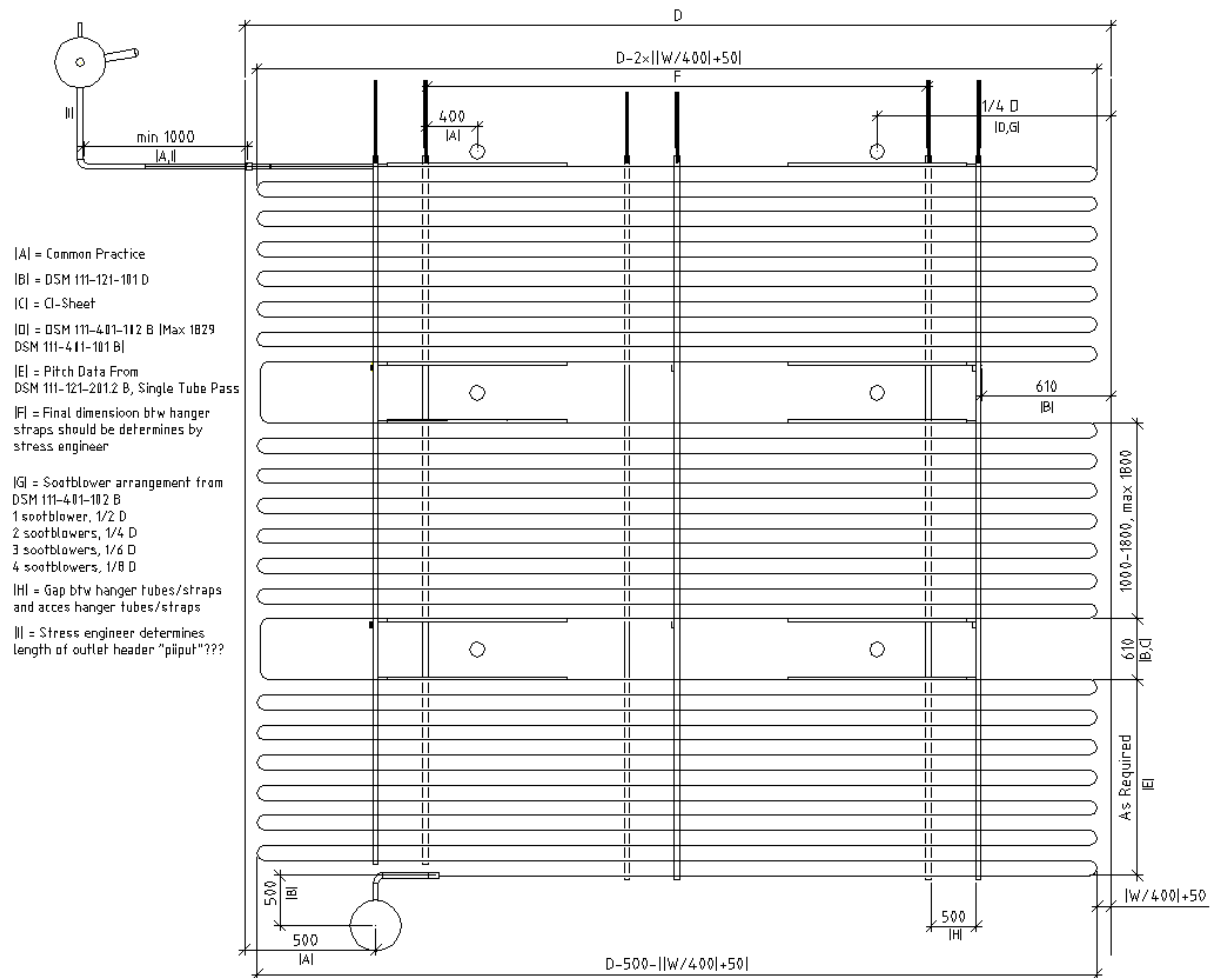


Single tube pass with hanger tubes



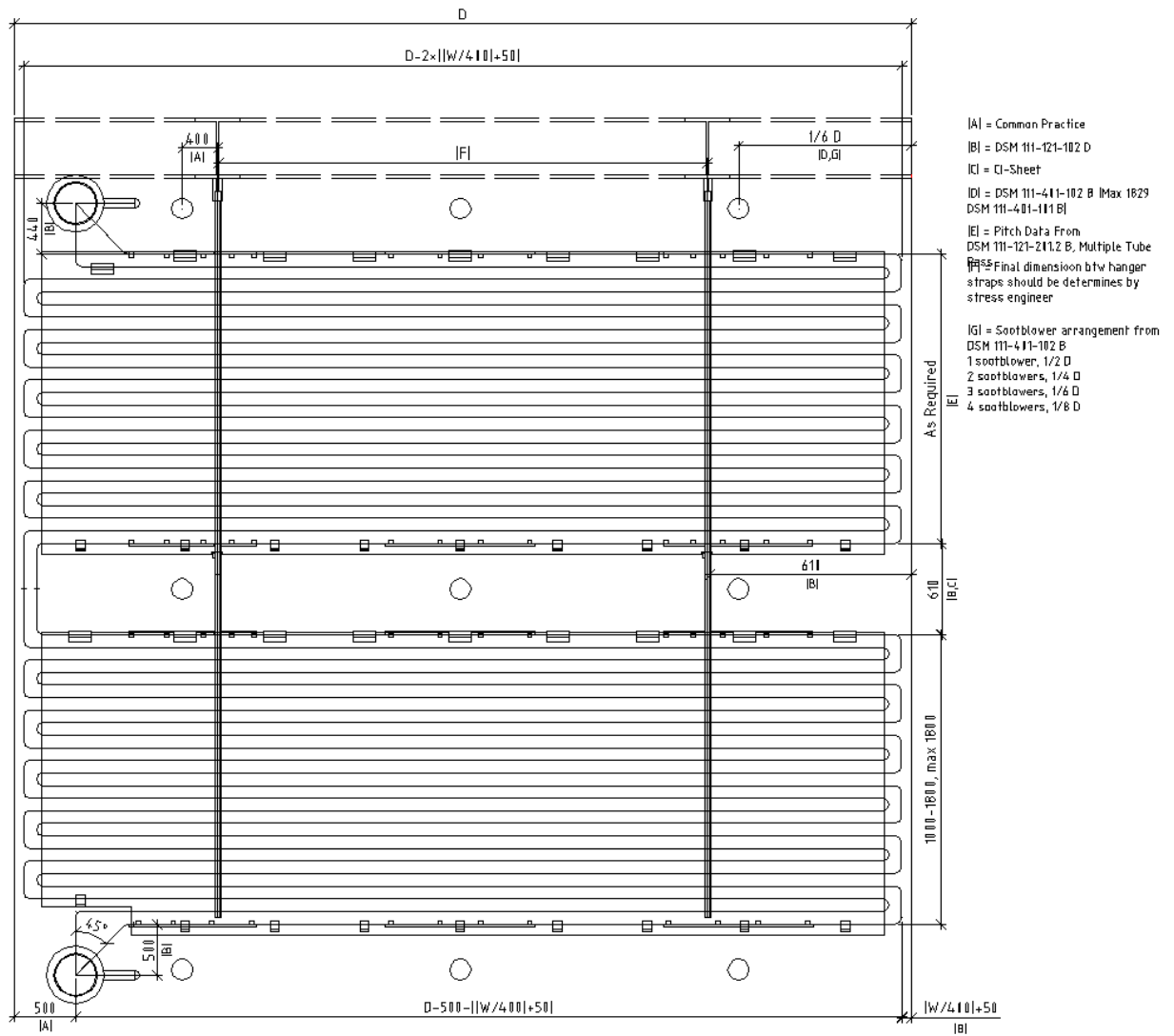
Kuva 13 Single Tube Pass with hanger tubes (KauVo, muokatuilla outlet kammiolla)

## Single tube pass with hanger straps



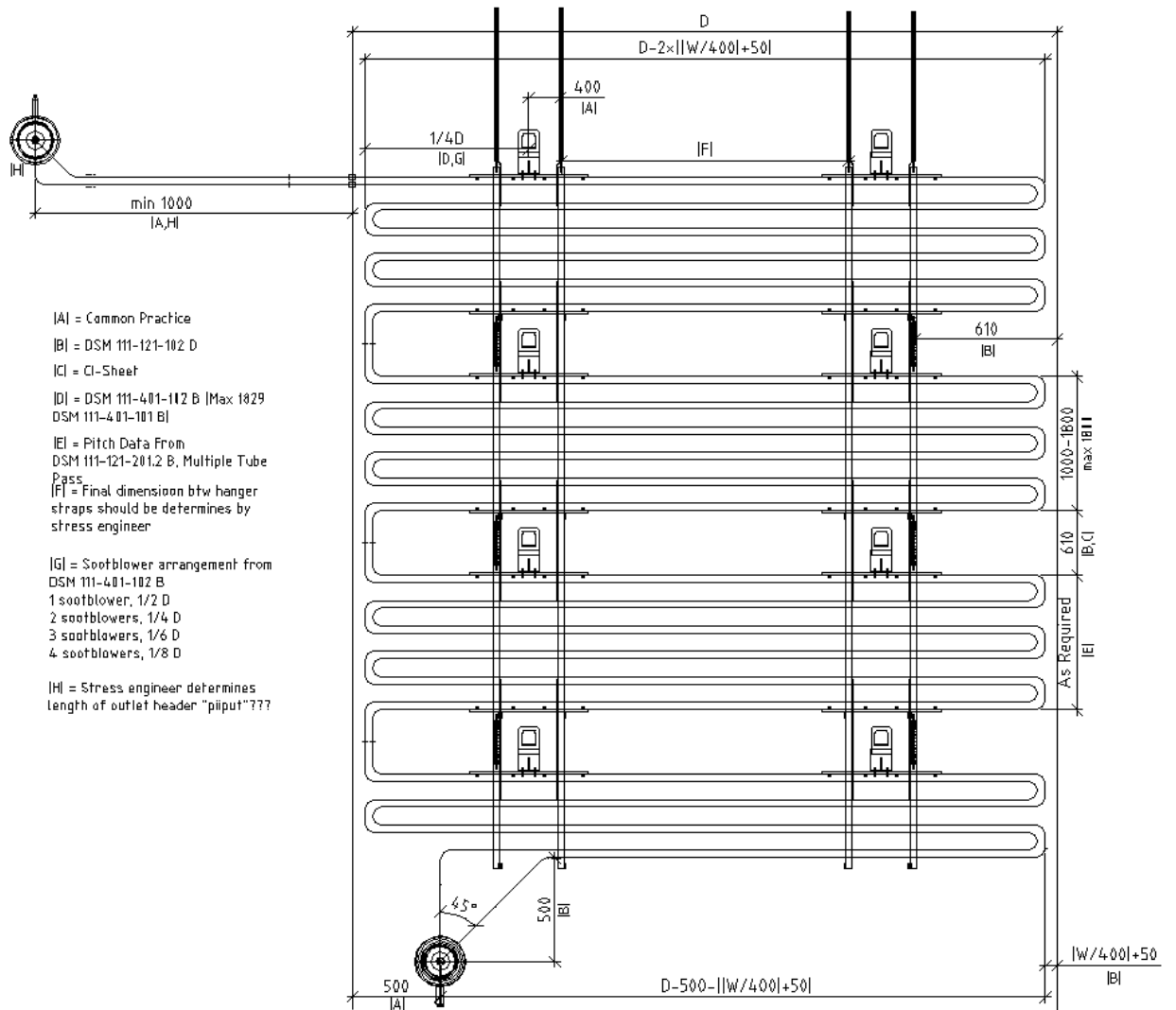
**Kuva 14 Single tube pass with hanger straps, kammion sijoitus savukaasukanavan ulko-  
puolella (Lagitza)**

**Multiple tube pass**



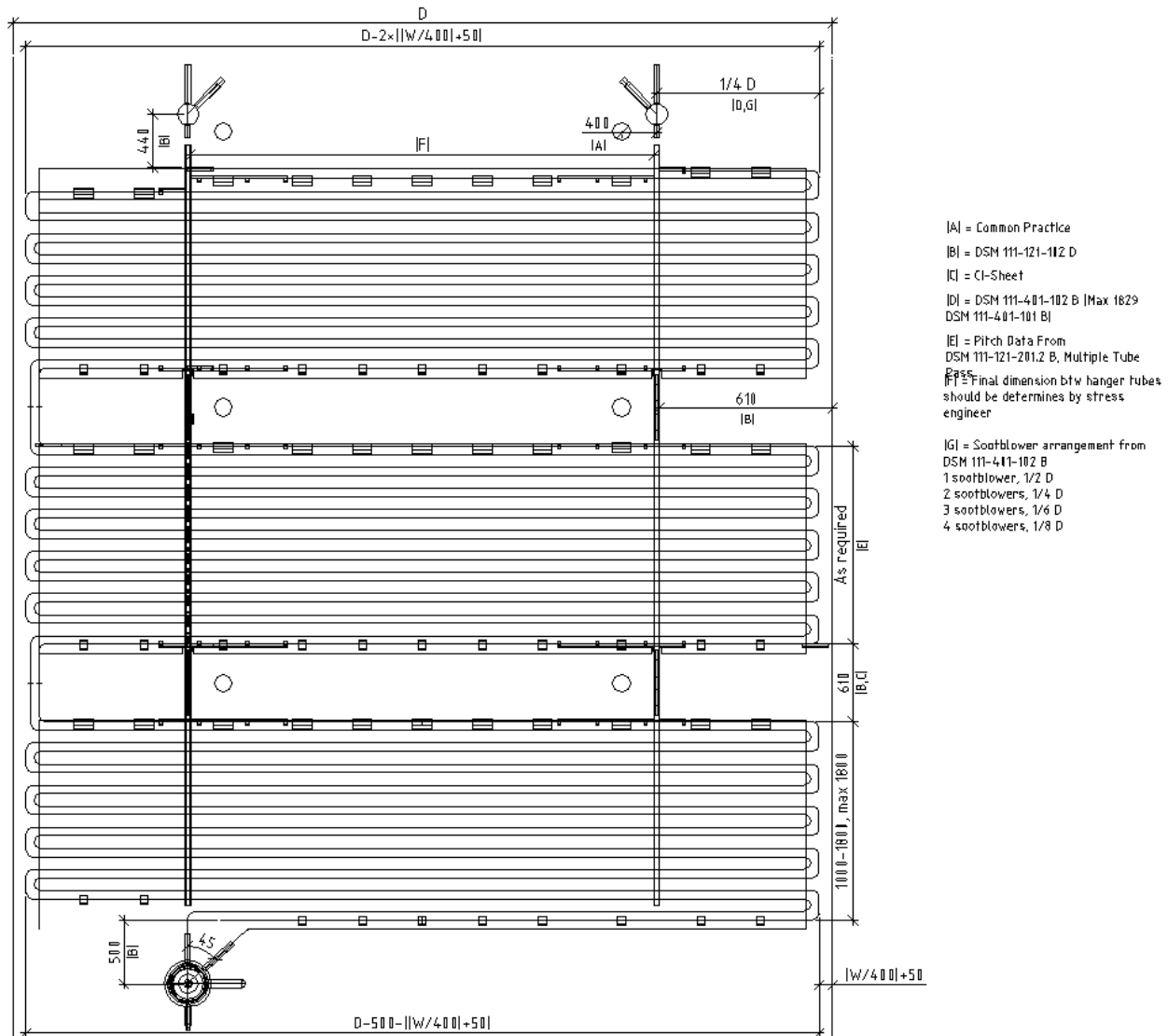
**Kuva 15 Multiple tube pass with hanger straps (Igelsta)**

**Multiple tube pass, hanger straps**



**Kuva 16 Multible tube pass, kammion sijoitus savukaasukanavan ulkopuolella (Novo)**

## Multiple tube pass with hanger tubes



Kuva 17 Multiple tube pass with hanger tubes (Jyväskylä)