

# Putkipakettien materiaalmäärä-laskenta

Foster Wheeler Energia Oy

**Mikko Ahvenainen**

Opinnäytetyö

---



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Tuotantotalouden koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Mikko Ahvenainen	
Työn nimi Putkipakettien materiaalmäärälaskenta	
Päiväys 21.05.2012	Sivumäärä/Liitteet 41
Ohjaaja(t) Seppo Ryyänen & Petteri Heino	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Foster Wheeler Energia Oy / Mikko Pakarinen	
Tiivistelmä <p>Insinööriyön aiheena oli kehittää Excel-taulukko materiaalmäärälaskentaohjelmaan tulistin- ja välitulistinpakettien materiaalmäärien laskemiseen projektin tarjousvaiheessa. Työssä piti selvittää Foster Wheelerin käyttämät erilaiset tulistinpakettien variaatiot ja kehittää niille mahdollisimman tarkka laskentapohja, joka skaalautuisi kattilan koon ja eri variaatioiden mukaan.</p> <p>Materiaalmäärälaskentaohjelma toimii Aveva PDMS:n alla. Ohjelma mallintaa kattilakomponentin jo tarjousvaiheessa lämpölaskuista saatavien lähtötietojen perusteella, jonka jälkeen se laskee siihen kuluvan materiaalmäärän Excel-laskentapohjassa mallista sekä lämpölaskuista saatavien lähtötietojen perusteella.</p> <p>Excel-laskentapohjassa kattilakomponentti on jaettu osiin kuten osaluetteloissa. Jokaiselle osalle on kehitetty oma laskentasääntö, jossa on otettu huomioon kattilan koon skaalautuvuus sekä eri variaatioiden tuomat muutokset.</p> <p>Työn tuloksena saatiin toimiva ja testattu laskentataulukko materiaalmäärälaskentaohjelmaan tulistinpaketeille ja sille kattava dokumentaatio, jossa on selitetty kaikki laskentakaavat ja -säännöt kuvien kanssa. Näin ohjelman jatkokehitys ja käyttö on helpompaa.</p>	
Avainsanat Kiertopetikattila, tulistin, välitulistin, Excel	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Industrial Engineering and Management			
Author(s) Mikko Ahvenainen			
Title of Thesis Material Calculations for Superheater and Reheater Tube Bundles			
Date	21.05.2012	Pages/Appendices	41
Supervisor(s) Seppo Ryyänen & Petteri Heino			
Client Organisation/Partners Foster Wheeler Energia Oy / Mikko Pakarinen			
<p><b>Abstract</b></p> <p>The aim of this thesis was to develop an Excel table for a material take off program to calculate the material quantities of superheater and reheater tube bundles in the proposal phase. The thesis was started by researching different types and variations of superheater and reheater tube bundles used by Foster Wheeler. After that an Excel table was created that takes boiler size and all variations of sh/rh tube bundles to account.</p> <p>The material take off program operates as subprogram in Aveva PDMS. It models a boiler component with the info gained from boiler performance calculations in proposal or project phase. After that it calculates the material quantities of the component with the info from the modelled component and performance calculations.</p> <p>In the Excel table the boiler component is divided into small parts like in part lists. A formula has been created to calculate the material quantity for each part. Boiler size and variations in the boiler component affect how the material quantity is calculated.</p> <p>The result of the thesis was working and tested Excel table for material take off program, and documentation for the material calculation formulas. In the documentation all material calculation formulas are explained with pictures which makes the further development and using of the program easier.</p>			
Keywords CFB-boiler, superheater, reheater, Excel			

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö tehtiin Foster Wheeler Energia Oy:lle sen Varkauden toimipisteessä. Työn tarkoituksena oli kehittää toimiva ja testattu materiaalmäärälaskentataulukko tulistinpaketeille osaksi laajempaa ohjelmakokonaisuutta sekä dokumentoida työ sen jatkokäyttöä varten.

Haluan kiittää Foster Wheelerin henkilökuntaa ja erityisesti Mikko Pakarista, joka oli suurena apuna neuvomassa ja kertomassa voimakattilan rakenteesta työtä tehdessä. Lisäksi haluan kiittää päättötyön ohjaajia Seppo Rynästä ja Petteri Heinoa sekä muita työn tekemisessä mukana olleita henkilöitä.

Työn tekeminen antoi paljon kokemusta voimakattiloiden rakenteesta sekä niiden suunnittelusta ja työstä on varmasti hyötyä minulle jatkossa.

Varkaudessa 21.05.2012

Mikko Ahvenainen

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	9
2	YRITYSESITTELY.....	10
	2.1 Foster Wheeler AG -konserni.....	10
	2.2 Foster Wheeler Energia Oy Group.....	11
3	HÖYRYKATTILA.....	12
	3.1 Höyrykattilan historiaa.....	12
	3.2 Leijukerrospoltto ja kiertopetikattila .....	12
	3.3 Tulistin.....	15
4	MATERIAALIMÄÄRÄLASKENNASSA KÄYTETTÄVÄ OHJELMA .....	17
	4.1 Ohjelman käyttöliittymä ja käyttäminen .....	18
	4.2 Materiaalilaskentaohjelman valinnat tulistinpaketeille .....	20
5	MATERIAALILASKENNASSA OLEVAT TULISTINTYYPIT .....	21
	5.1 Inline-tyyppin variaatiot.....	21
	5.2 Over the Top -tyypin variaatiot.....	25
	5.3 Horizontal pass .....	27
6	TULISTINPAKETTIEN MATERIAALIMÄÄRÄLASKENTA.....	28
	6.1 Materiaalilaskentataulukko .....	28
	6.1.1 Laskentataulukon rakenne.....	29
	6.1.2 DSM-sivut .....	32
	6.1.3 Materiaalisivut .....	33
	6.1.4 Materiaalilaskentataulukon standardisivut.....	34
7	MATERIAALILASKENNAN TESTAUS .....	35
8	YHTEENVETO.....	37

## LIITTEET

Liite 1 Tulistimien materiaalilaskennan dokumentaatio (salainen)

## KÄSITTEET

### Amigo

Foster Wheelerin kehittämä työkalu kattiloiden performance-laskentaan.

### ASME

American Society for Mechanical Engineers (ASME) on amerikkalainen standardisointijärjestö.

### AutoCAD

Autodeskin kehittämä 2D- ja 3D-suunnitteluohjelmisto.

### CFB-kattila

Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler eli kiertopetikattila.

### CI-sheet

Amigon tuottama yhteenveto kattilakomponentista sen suunnittelun kannalta keskeisimmistä mitoista ja arvoista.

### Comos

Siemensin kehittämä järjestelmä tuotteen elinkaaren hallintaan.

### CSV-tiedosto

Comma-Separated Values (CSV) on tiedostomuoto, jolla voidaan tallentaa taulukkomuotoista tietoa pelkäksi tekstiksi. Taulukon eri solut erotetaan esim. puolipisteellä.

### DSM-ohje

Design Standard Manual (DSM) on Foster Wheelerin suunnitteluohje, jossa on kerrottu kattilakomponentin suunnittelussa tarvittavia tietoja kuten esim. jonkin rakenteen suositeltuja mittoja tai materiaalilaatuja.

### EN-standardi

Eurooppalainen standardi, jota hallinnoi CEN (Comité Européen de Normalisation).

Excel

Microsoftin kehittämä ohjelmisto taulukkolaskentaan.

KKS

Kraftwerk-Kennzeichen-System (KKS) on voimalaitosten komponenttien ja osien tunnistamiseen ja luokitteluun tehty standardi.

Linko

Nimitys tulistinpaketin yhdelle putkiriville, joka lähtee jakokammioista ja päättyy kokoojakammioon.

MTO

Material Take Off (MTO) –termillä tarkoitetaan listaa materiaaleista ja materiaalmääristä, joita vaaditaan suunnitellun komponentin valmistukseen.

PDMS

Plant Design Management System (PDMS) on Avevan kehittämä 3D-suunnitteluympäristö teollisuuslaitoksille.

RDF-polttoaine

RDF (Refuse-Derived Fuel) on mm. yhdyskuntajätteestä tehtyä polttoainetta.



## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on osa ”FWE NW 2012 –uuden sukupolven digitaalinen tuoteprosessi” TEKES-hanketta, jonka yhtenä tavoitteena on kehittää painerungon parametrissa 3D-suunnittelua PDMS:ssä sekä nopeuttaa ja tarkentaa painerungon materiaalilaskentaa hinnoittelua ja projektioista varten. [1]

Tällä hetkellä materiaalimäärälaskenta perustuu suurelta osin hyvään arvioon sekä vertailuun vanhoihin projekteihin, joka on melko epätarkkaa sekä työlästä. Hankkeen tavoitteena on helpottaa materiaalilaskentaa tarjoamalla työkalu, joka perustuu faktaan ja dokumentoituihin laskentasääntöihin. Tällöin materiaalilaskenta on paljon nopeampaa ja tarkempaa, minkä lisäksi tulosten jäljitettävyys on hyvä. Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä ohjelmaan toimiva materiaalilaskentataulukko tulistinpaketeille ja dokumentoida työ, jotta sen jatkokäyttö on helpompaa.

Aveva PDMS:n alla toimivan ohjelman ideana on mallintaa voimakattilan painerungon komponentteja Amigo-lämpölaskuista saatavien lähtötietojen perusteella, jonka jälkeen komponenttiin kuuluva materiaalimäärä lasketaan Excel-laskentapohjassa ohjelmalla mallinnetusta komponentista saatavien arvojen perusteella.

Excel-laskentapohjassa tulistinpaketit on jaoteltu osaluetteloiden mukaisesti osiin. Jokaiselle osalle on kehitetty laskentakaava vanhojen toteutuneiden projektien sekä Foster Wheelerin suunnittelijoiden kokemuseräisen tiedon perusteella. Kattilan koon skaalautuvuus ja yleisimmät variaatiot on otettu huomioon laskentapohjassa.

## 2 YRITYSESITTELY

Hankkeen osatoimittajana oli Savonia-ammattikorkeakoulu, mutta opinnäytetyö tehtiin Foster Wheeler Energia Oy:n tiloissa Varkaudessa.

### 2.1 Foster Wheeler AG -konserni

Yritys on perustettu vuonna 1884 ja se on toiminut Foster Wheeler nimellä vuodesta 1927. Yrityksen päätuotteita ovat voimalaitokset sekä öljy- ja prosessiteollisuuden laitteet. Yhtiö työllistää maailmanlaajuisesti n. 12 000 henkilöä ja sen osakkeet on noteerattu NASDAQ-listalla (kuva 1). [2]

Avainluvut, 2011	
• Henkilöstö	n. 12.000
• Tilauskanta	3.6 miljardia dollaria
• Myynti	4.3 miljardia dollaria
• Liikevaihto	4.5 miljardia dollaria
• EBITDA	283 miljoonaa dollaria

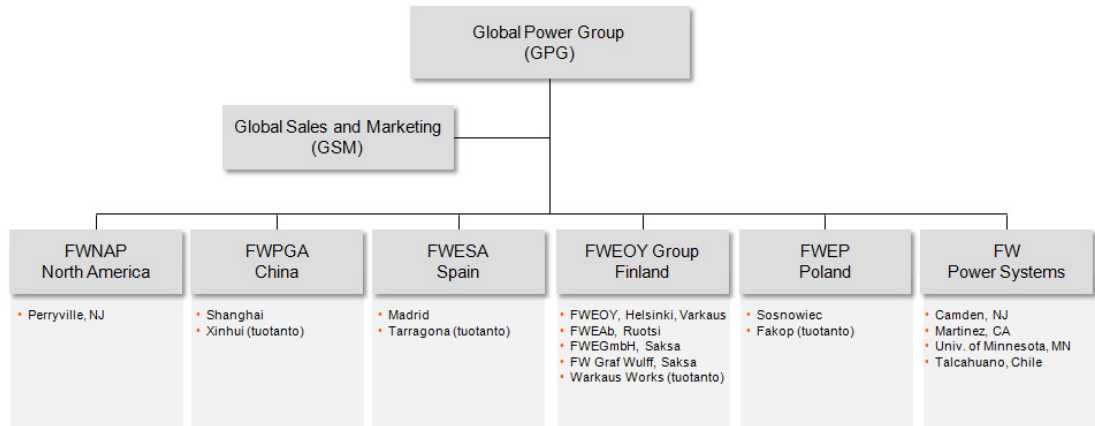
Kuva 1. Foster Wheeler AG:n avainluvut, 2011. [2]

Foster Wheelerin liiketoiminnot on jaettu kahteen pääryhmään: Global Engineering & Construction Groupiin ja Global Power Groupiin.

Global Engineering & Construction Groupin toimialana on suunnittelu, urakointi ja projektinhallinta prosessiteollisuudelle kuten esim. öljy-, kaasu-, kemian- ja lääketeollisuuden laitoksille. [2]

Global Power Group keskittyy vastaavasti voimakattiloiden ja niiden laitteiden suunnitteluun, valmistukseen ja asennukseen teollisuudelle sekä sähkön- ja kaukolämmön tuottajille. Yhtiö toimittaa lisäksi savukaasujen puhdistuslaitteistoja energian tuotantoon ja teollisuuteen sekä service-palveluja kattiloille. Yhtiö on yksi johtavia polttoteknologioiden asiantuntijoita maailmassa. [2]

## Foster Wheeler Global Power Group



Kuva 2. Foster Wheeler Global Power Group yrityskaavio. [2]

### 2.2 Foster Wheeler Energia Oy Group

Foster Wheeler Energia Oy Group on osa Foster Wheeler AG -konsernin Global Power Groupia (kuva 2). Yhtiö on erikoistunut voimalaitos- ja teollisuuskattiloihin sekä niiden huoltoon ja kunnossapitoon. Yhtiön ydinosamista on leijukerrosteknologia ja erityisesti CFB- eli kiertopetiteknologia. [3]

Foster Wheeler Energia Oy työllistää yhteensä n. 450 henkilöä ja sen pääkonttori sijaitsee Espoossa. Suunnittelu- ja tuotantotilat ovat Varkaudessa. Yrityksellä on lisäksi tytäryhtiöt Ruotsissa ja Saksassa, jotka työllistävät n. 70 henkilöä. [2]

Noin 40% markkinaosuudella Foster Wheeler on maailman johtava CFB-kattiloiden toimittaja ja sille on kertynyt kokemusta n. 350 toimitetusta CFB-kattilasta. Suurin toimitettu yksikkö, kooltaan 460 MWe, käynnistyi vuoden 2009 keväällä Lagiszassa, Puolassa. Käynnissä on projekti neljän kooltaan 550 MWe kattilan toimittamisesta Samcheokiin, Etelä-Koreaan. Valmistuessaan voimalaitos tulee korvaamaan Lagiszan suurimpana ylikriittisenä CFB-kattilalaitoksena maailmassa. [2,4]

### 3 HÖYRYKATTILA

#### 3.1 Höyrykattilan historiaa

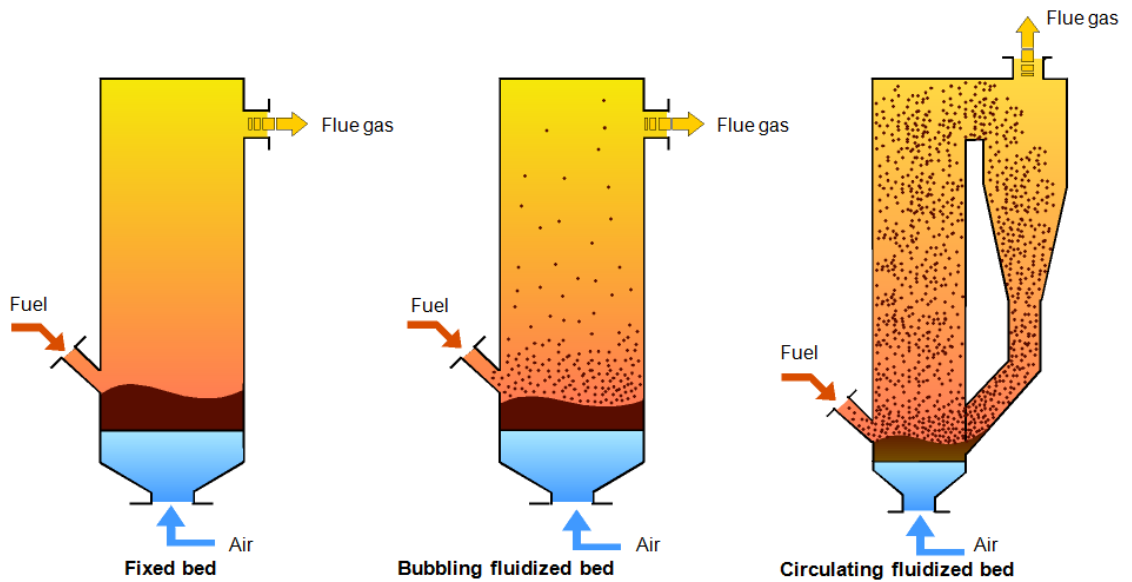
1700- ja 1800-luvuilla höyrykattilat olivat ruoanvalmistuskattilan kaltaisia eli puoliksi vedellä täytettyjä umpinaisia astioita, joita lämmitettiin liekillä alta päin. 1800-luvulla kehitettiin nk. suurvesitilakattila, jossa savukaasut kulkevat ensin tulitorvessa ja sen jälkeen tuliputkissa ja vesi höyrystyy niiden ulkopuolella. [5]

Höyryturbiinin keksiminen sekä tarpeet höyrykattilan paineen nostamiseen johtivat vesiputkikattilan kehittämiseen 1900-luvun alussa. Vesiputkikattiloissa vesi höyrystyy putkissa. Rakenne sopii paremmin korkeille paineille, jonka vuoksi voimalaituskattilat ovat vesiputkikattiloita. Höyrykattiloiden vesihöyrypiirin kehitystä kuvaava piirros 1700-luvulta lähtien on ollut yhä korkeammille paineille soveltuvien ratkaisujen etsiminen hyötysuhteen maksimoimiseksi. [5]

Vesiputkikattilat voidaan jakaa vedenkierron mukaan luonnonkiertokattiloihin, pakkokiertokattiloihin ja läpivirtauskattiloihin. Luonnonkiertokattilassa vesi ja höyry liikkuvat tulipesää ympäröivässä putkistossa veden ja höyryn välisen tiheyseron vaikutuksesta, kun pakkokierto- sekä läpivirtauskattiloissa vesi ja höyry kiertävät pumpun muodostaman paineen vaikutuksesta. [5]

#### 3.2 Leijukerros poltto ja kiertopetikattila

Leijukerros poltossa kattilan tulipesän petimateriaalia (hiekkaa) leijutetaan ilmapirran vaikutuksesta. Petimateriaalin lämpökapasiteetti on hyvä, jolloin polttoaine voi olla kosteampaa ja myös laadultaan huonompaa. Tekniikka mahdollistaa myös erilaisten polttoaineiden käytön samassa kattilassa, ja matalamman palamislämpötilan takia typenoksidipäästöt jäävät pieniksi. Savukaasujen rikinpuhdistus voidaan hoitaa syöttämällä kalkkia suoraan tulipesään. [5]

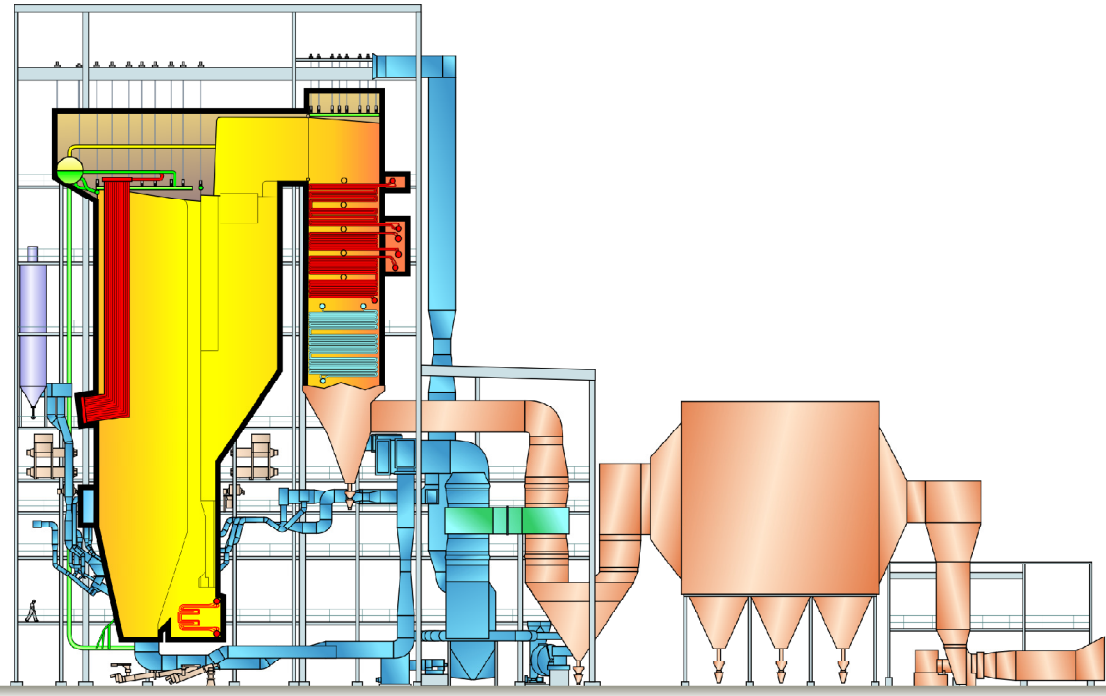


Kuva 3. Kiinteäpeti-, leijupeti-, ja kiertopetikattiloiden periaatekuva. [6]

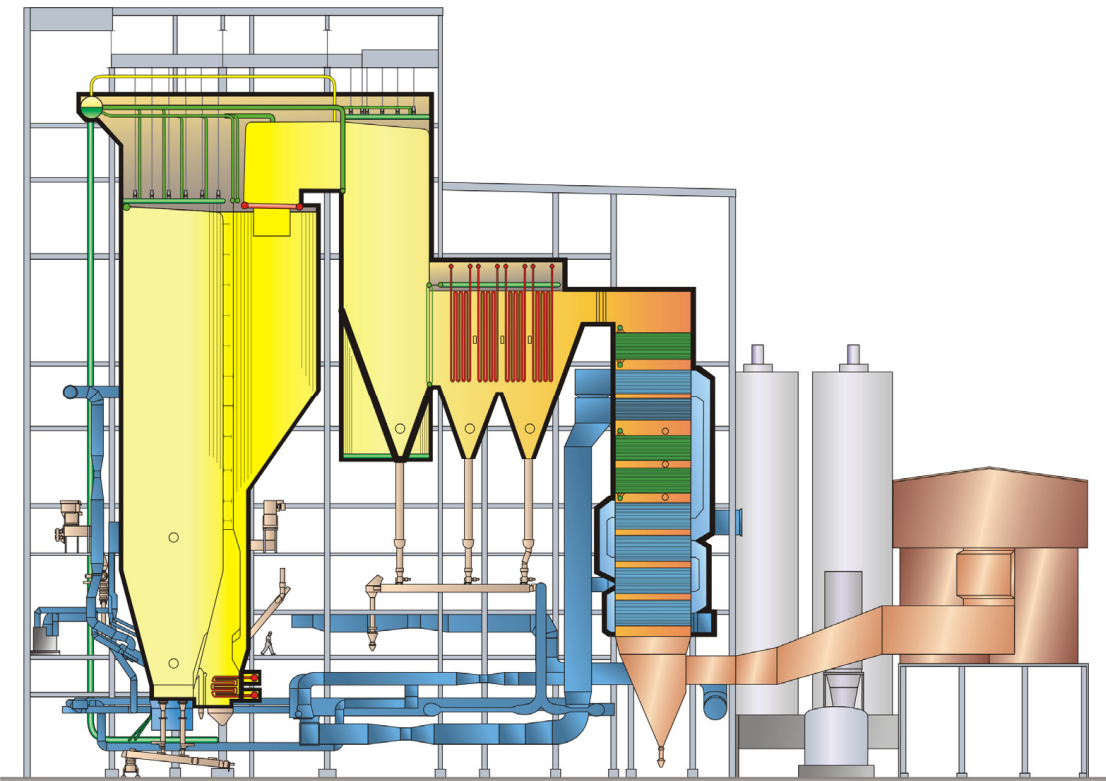
Kiertopetikattilassa käytetään niin suurta ilmavirran nopeutta, että petimateriaali saadaan kiertämään tulipesän ja syklonierottimen välillä (kuva 3). Ilmavirran nopeus voi olla luokkaa 3-10 m/s ja hiekan raekoko 0,1-0,5 mm. Erottimessa hiekka sekä palamaton polttoaine erotetaan savukaasuista ja sitten palautetaan takaisin tulipesään. Osa tuhkasta poistuu savukaasujen mukana ja osa kiertää hiekan mukana takaisin tulipesään. [5]

Palamisilma tuodaan kattilaan primääri- ja sekundääri-ilmana. Primääri-ilma tuodaan arinasuuttimien kautta ja se toimii samalla leijutusilmana. Sekundääri-ilmasuuttimia on tulipesän seinillä eri korkeuksissa. [5]

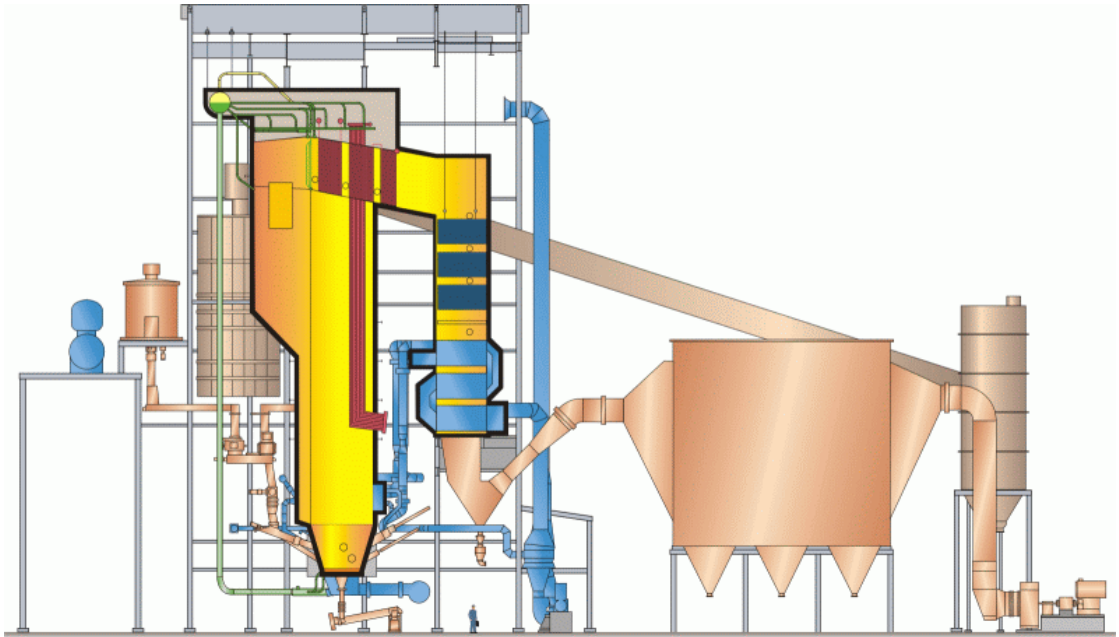
Kiertopetikattilan etuja ovat erittäin laaja polttoainevalikoima, mahdollisuus polttaa huonolaatuisia polttoaineita sekä useita eri polttoaineita samaan aikaan, alhaiset päästöt, luotettavuus sekä melko yksinkertainen rakenne. [7]



Kuva 4. Inline-tyypin kattila, Jyväskylän Energia Oy:n voimalaitos. Tulistimet on värjätty punaiseksi. [8]



Kuva 5. Inline-tyypin kattila, Söderenergi AB, Igelstan voimalaitos. Tulistimet on värjätty punaiseksi. [9]

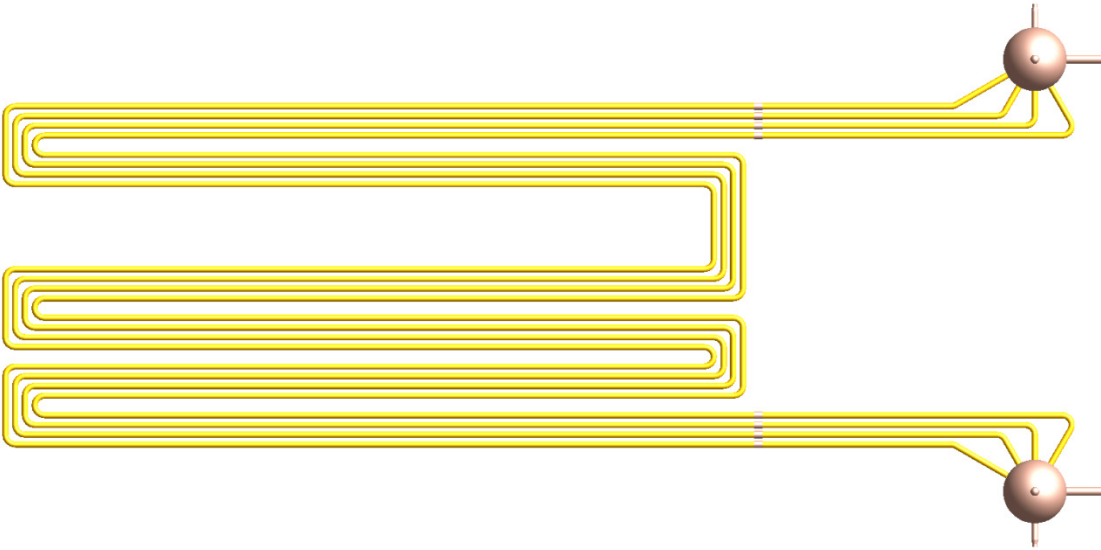


Kuva 6. Over the Top -tyypin kattila. Tulistimet on värjätty punaiseksi.

Foster Wheelerin kiertopetikattilat voidaan jakaa rakenteensa puolesta ns. Inline, Over the Top ja Once-Through -tyyppisiin. Inlinessa (kuvat 4 ja 5) erottimet ovat tulipesän takaseinällä ja savukaasut kulkevat ns. "linjassa". Over the Top -tyypissä (kuva 6) erottimet ovat tulipesän etuseinällä ja savukaasut kiertävät tulipesän katon yläpuolelta, jonka jälkeen ne jatkavat matkaansa kuten Inlinessa. Once-Through-tyypin kattilassa tulipesä on usein käännetty 90 astetta ja erottimet ovat kummallakin puolella tulipesää.

### 3.3 Tulistin

Tulistin on kattilakomponentti, jolla nostetaan höyryn lämpötilaa. Mitä kuumempaa höyry saadaan johdettua turbiiniin, sitä enemmän siitä saadaan liike-energiaa, jolloin hyötysuhde paranee. Välitulistuksella tarkoitetaan jo kerran turbiinin läpi menneen höyryn tulistamista uudelleen matalammassa paineessa. [5]



Kuva 7. Ns. Inline-mallinen konvektiotulistinpaketti.

Tulistin koostuu pääasiassa kahdesta kammioista sekä niiden välisistä putkista (kuva 7). Ensimmäiseen kammioon tulee höyryä, joka jaetaan sadoille putkiriveille eli ns. lingoille, jotka taas liittyvät toiseen kammioon, josta tulistettu höyry jatkaa matkaansa.

Foster Wheelerin kiertopetikattiloissa käyttämät tulistimet ovat konvektiotulistimia ja säteilytulistimia. Konvektiotulistimet on usein sijoitettu tulipesän ja erottimien jälkeen savukaasukanavaan (kuvat 4 ja 5) ja lämpö siirtyy niihin virtaavista savukaasuista. Säteilytulistimet sijaitsevat taas tulipesän sisällä ja lämpö siirtyy niihin säteilemällä (kuva 4). Kattilatyypin sekä käytettävä polttoaine määräävät kattilassa käytettävien tulistimien mallin sekä niiden sijainnin. Huonoilla polttoaineilla kuten esim. yhdyskuntajätteellä (RDF-polttoaine) tulistimet joudutaan laittamaan myöhemmäksi savukaasukanavaan (kuva 5), kun paremmilla polttoaineilla voidaan käyttää sekä säteily- että konvektiotulistimia (kuva 4).

Insinööriydessä kehitetty materiaalilaskenta on tehty konvektiotulistinpaketeille, jotka sijaitsevat joko heti erottimen jälkeen savukaasukanavassa (kuva 4) tai roikkuvat vaakavedossa (kuva 5) tai roikkuvat tulipesän katon yläpuolella (kuva 6). Myös ns. Intrex-tulistin joka sijaitsee palautusjalan alaosassa (kuvat 4 ja 5) on konvektiotulistin, mutta se kuuluu eri jaokseen, joten sen materiaalilaskenta tehdään erikseen omana osiona.

Edellä mainituista tulistimista on myös useita eri variaatioita, jotka on käsitelty insinööriydessä. Eri variaatiot on esitelty tarkemmin edempänä.



#### 4 MATERIAALIMÄÄRÄLASKENNASSA KÄYTETTÄVÄ OHJELMA

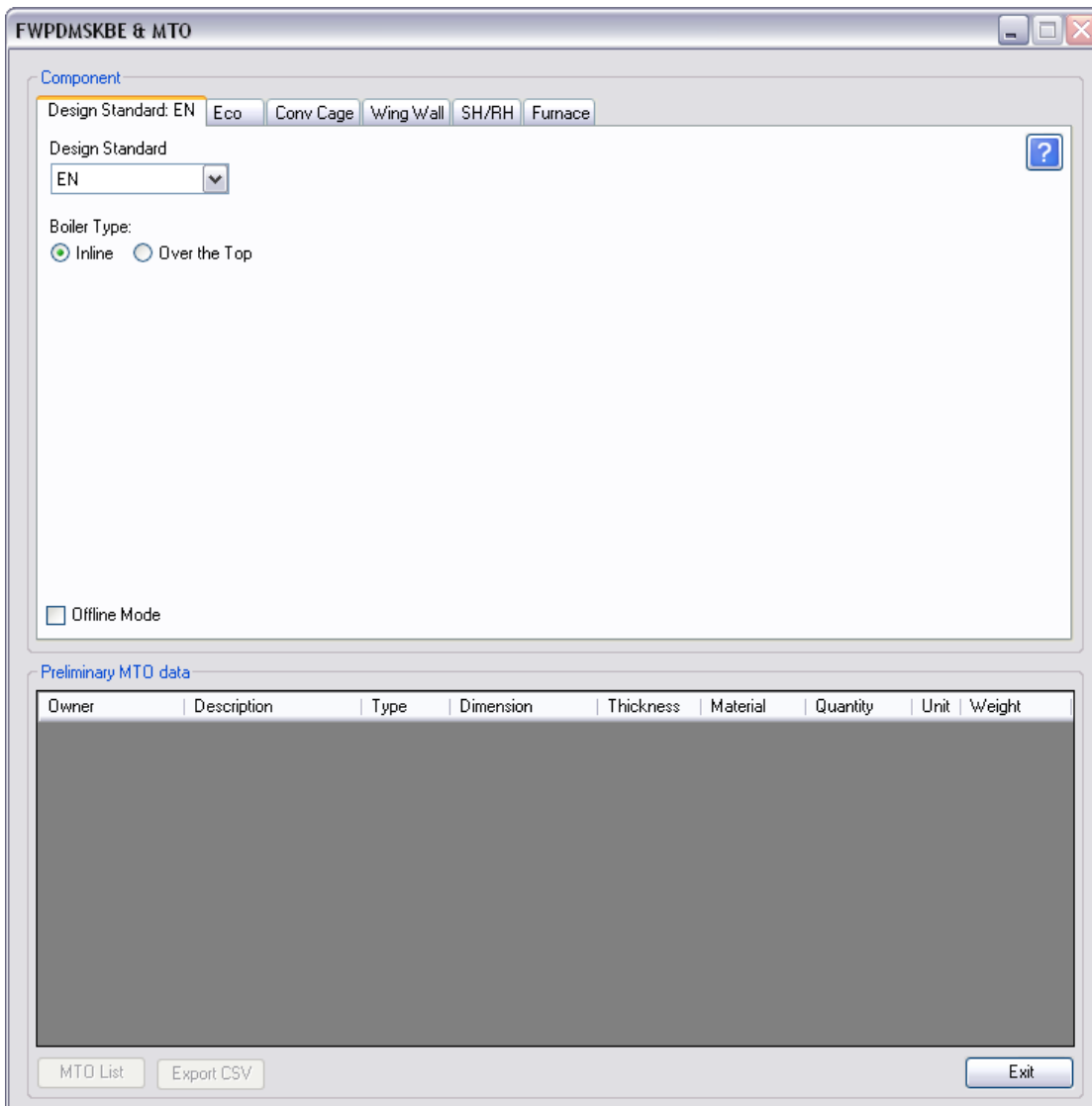
Nykyisin materiaalimäärälaskenta perustuu muiden kuin mallinnettavien putkiosien osalta hyvään arvioon sekä vertailuun vanhoihin projekteihin. Materiaalimäärien tarkka arviointi on vaikeaa, koska kattilat ovat harvoin täysin samanlaisia kooltaan ja rakenteissakin on eroja. Arviointityö vie myös erittäin paljon aikaa, koska saatujen tuloksien oikeellisuutta täytyy tarkastella ja miettiä paljon.

Materiaalimäärälaskentaohjelman ideana on nopeuttaa, tarkentaa ja helpottaa tarjousvaiheen materiaalimäärälaskentaa sekä lisäksi auttaa layout-suunnittelua nopeuttamalla mallintamista. Ideana ohjelmassa on tehdä yksinkertaistettu PDMS-malli tietystä kattilakomponentista Amigo-lämpölaskuista saatavien lähtöarvojen perusteella, jonka jälkeen komponenttiin kuuluva materiaalmäärä lasketaan Excel-laskentapohjassa mallinnetusta komponentista saatujen tietojen perusteella.

Excel-laskentapohjassa kattilakomponentti on eritelty osiin, joille jokaiselle on kehitetty laskentasäännöt vanhojen projektien perusteella. Laskusäännöt vaihtelevat osittain ja ne käyttävät hyväkseen Amigo-lämpölaskujen CI-sheeteiltä sekä ohjelmalla mallinnetusta kappaleesta saatuja mittoja. Tällä tavoin saadaan laskettua kattilakomponentin aiemmin vaikeasti arvioitavissa olleet varusteluosat melko tarkasti, koska mittojen ja arvojen muuttuessa materiaalmäärät skaalautuvat kattilan koon mukaan hyvin. Rajoituksena on, että komponentin perusdesignin pitää pysyä samana, mutta tämä on otettu huomioon tekemällä mallinnus sekä laskenta useille eri komponenttien variaatioille.

Tulevaisuudessa tavoitteena on käydä läpi koko CFB-kattilan painerunko ja tehdä mallinnus sekä materiaalilaskenta jokaiselle painerungon komponentille. Tällä hetkellä ohjelmassa on tehtynä ekonomaiseri, convection cage, wing wall, tulistin- ja välitulistinpaketit sekä tulipesä ja useat näiden eri variaatioista.

#### 4.1 Ohjelman käyttöliittymä ja käyttäminen



Kuva 8. Materiaalilaskentaohjelman aloitusikkuna.

Materiaalilaskentaohjelma toimii aliohjelmana PDMS:ssä, johon sille on tehty oma nappi. Aloitusikkunasta (kuva 8) valitaan ensin materiaalistandardi (EN tai ASME) ja kattilatyyppe (Inline tai Over the Top) sekä valitaan, halutaanko käyttää ohjelman offline-tilaa vai ei. Offline-tilassa kaikki tarvittavat lähtöarvot täytyy etsiä ja syöttää itse, kun taas online-tilassa voidaan tulevaisuudessa valita valmis tarjousprojekti, jonka lähtöarvot tuodaan ohjelmaan Comosista.

FWPDMSKBE & MTO

Component

Design Standard: EN Eco Conv Cage Wing Wall SH/RH Furnace

< HAH41 Show in PDMS Save Values Copy Delete Rename

Attribute	Current Value	Unit
Pass Depth	4940	mm
Pass Width	12978	mm
Gap to Convection Cage Front Wall	160.57	mm
Gap to Convection Cage Rear Wall	84.5	mm
Number of Rows	12	pcs
Number of Tubes in a Row	137	pcs
Number of Parallel Rows	2	pcs
Number of Tube Banks	1	pcs
Number of Tube Rows in Bank 1	12	pcs

Confirmed Value   
 Horizontal Pass   
 Counter Flow   
 Build all tubes   
 User Value  
 DSM Value   
 Austenitic Tube Material   
 Split Headers   
  
 Unconfirmed Value   
Half-track   
 Inlet Header Inside the Cage   

Preliminary MTO data

Owner	Description	Type	Dimension	Thickness	Material	Quantity	Unit	Weight
HAH41	Tube	Seamless tube	38x2088.15	5.6	16Mo3	286.08	m	1280.07
HAH41	Tube	Seamless tube	38x58447.96	5.6	13CrMo4-5	8007.37	m	35829.64
HAH41	Tube	Seamless tube	38x2078.87	5.6	13CrMo4-5	284.8	m	1274.38
HAH41	Header pipe	Seamless tube	323.9x13084	50	16Mo3	13.08	m	4418.98
HAH41	Header end, hemisph...	Hemispherical head	323.9x0	25	16Mo3	1	Pcs	27.61
HAH41	Header pipe	Seamless tube	355.6x13084	45	13CrMo4-5	13.08	m	4509.97
HAH41	Header end, hemisph...	Hemispherical head	355.6x0	35	16Mo3	1	Pcs	44.54
HAH41	Header inspection no...	Seamless tube	63.5x260	6.3	16Mo3	3.12	m	27.73
HAH41	Header inspection no...	Hemispherical head	63.5x0	6.3	16Mo3	12	Pcs	3.06
HAH41	Header nozzle pipe	Round bar	50x170		16Mo3	0.34	m	5.24

MTO List Export CSV Exit

Kuva 9. Tulistinpaketien mallinnusikkuna.

Aloitusikkunan valintojen jälkeen valitaan mallinnettava kattilakomponentti ikkunan yläosasta, jonka jälkeen valitaan mallinnettava komponentti valikosta KKS-koodin perusteella tai luodaan uusi komponentti offline-tilassa.

Komponentin valinnan tai luomisen jälkeen ohjelma näyttää listauksen kaikista sen mallinnukseen tarvittavista lähtöarvoista sekä siihen liittyvät valintamahdollisuudet. Tämän jälkeen ohjelman pyytämät arvot täytyy syöttää "current value"-kenttään (kuva 9). Sen jälkeen kun arvot on syötetty ja tarvittavat valinnat tehty ne pitää hyväksyä "confirm"-napilla, jonka jälkeen komponentti voidaan mallintaa "build"-napilla. Jos arvoissa on virheitä, ohjelma värjää kyseisen arvon punaiseksi sekä kertoo syyn virheelle erillisessä virheilmoituksessa. Hyväksytyt arvot värjätään vihreiksi. Jos joku arvo haetaan Excelin DSM-sivulta, se värjätään keltaiseksi.

Mallinnuksen jälkeen komponenttia voidaan hienosäätää halutunlaiseksi käsin, esim. tulistimien tapauksessa kammioiden sekä putkien pituudet ovat säädettävissä. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan voida muuttaa koko designia, vaan muutosten on oltava tietyissä rajoissa. Jos halutaan tehdä suurempia muutoksia, kappale pitää mallintaa uusiksi halutuilla arvoilla sekä mahdollisesti eri valinnoilla.

Kun tulistimen malli on halutunlainen siihen kuuluva materiaalmäärä voidaan laskea ”MTO List”-napilla. Materiaalilista tulostuu ohjelman alaosaan, jonka jälkeen lista saadaan otettua ohjelmasta ulos CSV-tiedostona ”Export CSV”-napilla (kuva 9).

## 4.2 Materiaalilaskentaohjelman valinnat tulistinpaketeille

The screenshot shows a configuration panel with several options:

- Confirmed Value
- Horizontal Pass
- Counter Flow
- Build all tubes
- User Value
- DSM Value
- Austenitic Tube Material
- Split Headers
- Inlet Header Inside the Cage
- Unconfirmed Value
- Sootblower Type (dropdown menu)
- Confirm button
- Build button

Kuva 10. Valintavaihtoehdot tulistinpakettien mallinnukselle ja materiaalilaskennalle.

Ilman mitään ylimääräisiä valintoja ohjelma mallintaa tulistinpaketeista kammiot ja holkit sekä kaksi laitimmaista linkoa kummaltakin sivulta. Valintana on ”build all tubes”, jolloin mallinnetaan kaikki putket. Kaikkien putkien mallinnus ei kuitenkaan ole käytännöllistä, koska mallista tulee liian raskas varsinkin jos halutaan pitää esillä useita eri kattilan komponentteja samaan aikaan (kuva 10).

Toisena valintana on virtaussuunnan valinta, joka määrittää tulistimessa kulkevan höyryn virtaussuunnan suhteessa savukaasuun. Jos tulistimen virtaussuunta on savukaasun suuntaa vastaan, valitaan ”counter flow”, joka vaikuttaa jako- ja kokoojakammioiden sijaintiin (kuva 10).

”Split headers” valitaan jos tulistimen kammiot on jaettu kahteen. ”Inlet header inside the cage” valitaan jos jakokammiona toimii convection cagen takaseinän alakammio (kuva 10).

Lisäksi valitaan, käytetäänkö tulistinputkissa austeniittista materiaalia, sekä käytössä oleva nuohointyyppi, jossa vaihtoehtoina on ”half-track” ja ”retract”. Nämä valinnat ovat vain materiaalilaskentaa varten eivätkä ne vaikuta kappaleen mallinnukseen mitenkään (kuva 10).

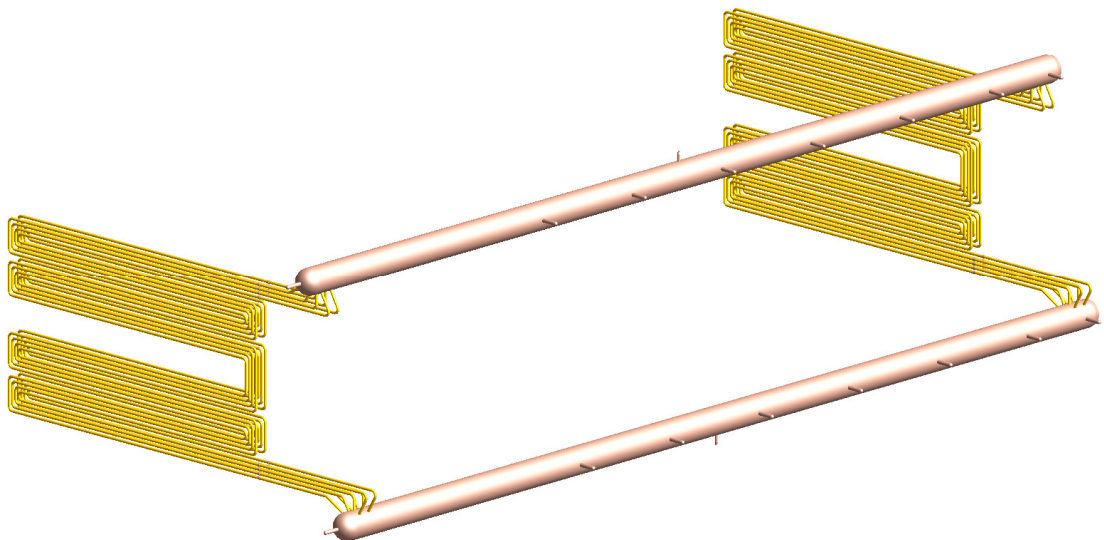
## 5 MATERIAALILASKENNASSA OLEVAT TULISTINTYYPIT

Tulistimien materiaalilaskennan tekeminen aloitettiin tekemällä AutoCAD-tutkielma eri tulistintyypeistä, joka toimisi pohjana ohjelman koodaajalle mallinnusta tehtäessä. Tutkielmaan selvitettiin Foster Wheelerin yleisimmin käyttämät tulistintyytit ja niiden yleisimmät variaatiot sekä piirrettiin niistä kuvat samalla tarkkuudella, jolla mallinnus tulitisiin tekemään. Tutkielman kuvien mitoituksiin merkittiin mittojen alkuperä eli esim. tuleeko mitta Amigo-lämpölaskuista vai onko se jokin kiinteä ja hyväksi todettu arvo, ns. "common practice" arvo, vai perustuuko mitta DSM-ohjeisiin. Tällä tavoin saadaan kokonaiskuva tulistimen mitoituksesta, sekä tiedetään, mitkä mitat täytyy olla säädettävissä mallinnusta tehtäessä, ja mitkä mitat voidaan kovakoodata ohjelmaan.

Tutkielman tekeminen antoi erittäin hyvän kuvan erilaisten tulistimien rakenteesta, joka auttoi paljon myöhemmin niille materiaalilaskentaa tehdessä. Myös AutoCAD:n käyttö tuli melko tutuksi, josta on hyötyä tulevaisuutta ajatellen.

Foster Wheelerin CFB-kattiloissa käyttämät tulistinpaketit voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri perustyyppiin, joille annettiin ohjelmaa varten nimet "inline", "over the top" ja "horizontal pass" niiden pääasiallisen käyttökohteen mukaan.

### 5.1 Inline-tyypin variaatiot

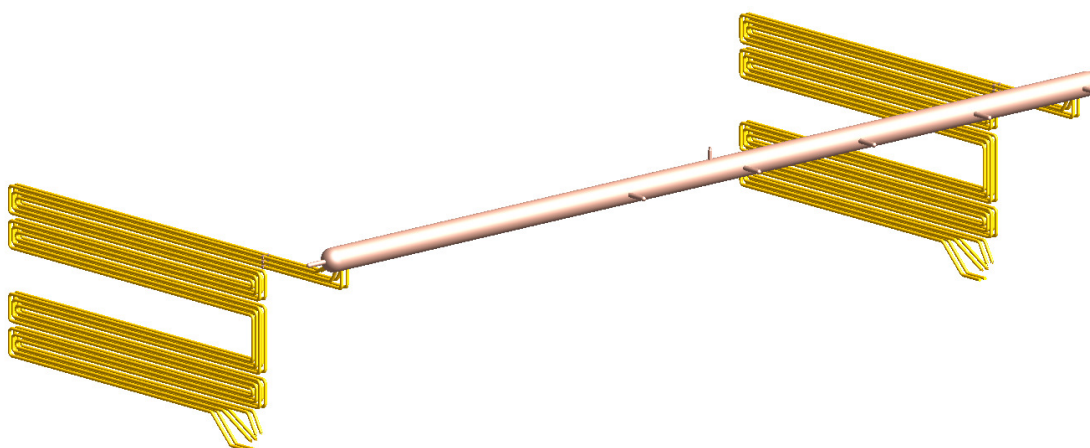


Kuva 11. Inline-tyypin tulistin.

"Inline" on yleisimmin käytössä oleva tulistintyyppi, jota käytetään Inline ja Once-Through -tyyppisissä kattiloissa (kuva 4). Tulistinpaketti sijaitsee convection cagen

sisällä, jossa sitä kannatellaan lingoista kantoputkilla. Tulistimen kammiot tulevat convection cagen seinän ulkopuolelle, jossa niitä kannatellaan kannatinpalkeilla ja kantoputkilla. Kuvassa 11 näkyy mallinnettuna vain kaksi linkoa kummaltakin sivulta, mutta todellisuudessa linkoja lähtee koko kammion matkalta. Tulistinpaketteja voi olla useita päällekkäin ja osa niistä voi toimia välitulistimina.

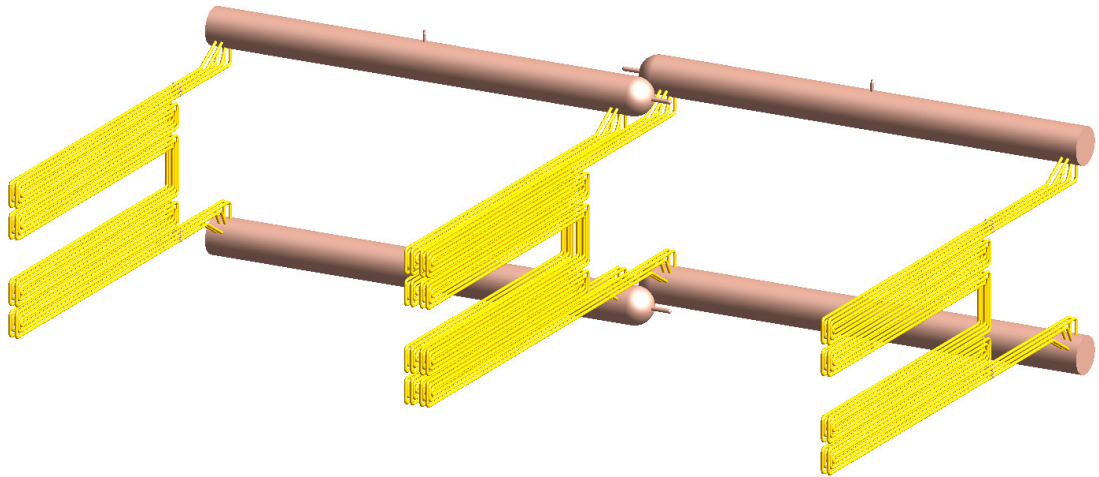
Tulistin on mahdollista mallintaa ohjelmassa yhteensä kahdeksalla eri putkipaketilla sekä kolmellatoista rinnakkaisella putkilähdöllä. Putkipakettien numerointi aloitetaan alhaalta ylös, eli kuvan 11 tapauksessa alin paketti on numeroltaan 1 ja ylempi numeroltaan 2. Rinnakkaisten putkilähtöjen määrä kertoo montako putkea kammiosta lähtee samaan linkoon. Useimmiten tämän tyyppin tulistimet ovat kooltaan noin 1-4 putkipakettia, jossa on 2-6 rinnakkaista putkilähtöä kammiosta.



Kuva 12. Inline-tyypin tulistin convection cagen kanssa yhteisellä jakokammioilla.

Kuvassa 12 on esitetty variaatio Inline-tulistinpaketista, jossa jakokammio on yhteinen convection cagen takaseinän alakammion kanssa. Tässä variaatiossa jakokammiota ei mallinneta eikä siihen liittyviä osia tule tulistimien materiaalilaskentaan, koska ne lasketaan convection cagen takaseinän alakammion mukana. Kun tällainen tulistin on käytössä, se sijaitsee alimpana tulistimena convection cagen sisällä. Sen yläpuolella voi olla kuitenkin muita inline-tyyppisiä tulistinpaketteja.

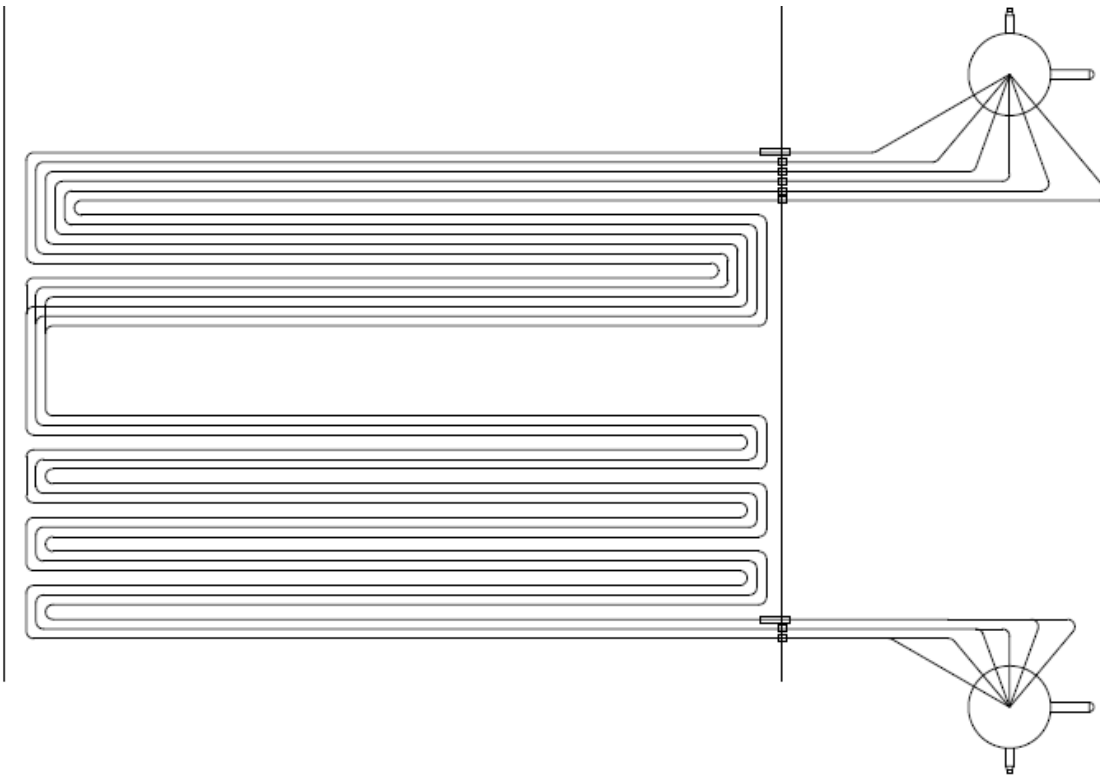
Tämä variaatio on aina "counter flow" sekä jakokammio on normaalia alempana. Lisärajoituksena on kolme rinnakkaista putkilähtöä, koska convection cagen seinä vie tilaa enemmän. Muilta osin variaatio on samanlainen kuin kuvan 11 "inline".



Kuva 13. Inline-tyypin tulistin jaetuilla kammiolla.

Hyvin suurissa tulistimissa kammiot saattavat olla jaettuina kahteen osaan (kuva 13). Erona kuvan 11 inline-tyyppiin on vain se, että kammiot ovat eri tasolla toisistaan sivusuunnassa, jotta kammioiden päädyille jää tilaa. Tulistinpaketit on usein jaettu A- ja B-osiin, mutta ohjelma mallintaa ne yhtenä. Periaatteessa materiaalilaskenta ja mallinnus voitaisiin tehdä myös kummallekin osalle erikseen.

Variaatioon pätevät samat rajoitukset kuin kuvan 11 inline-tyyppiin, eli maksimimäärä putkipaketeille on kahdeksan ja rinnakkaisille putkilähdöille kolmetoista. Jaettuja kammiota ei kuitenkaan voida valita tulistimeen, jonka jakokammiona on convection cagen alakammio (kuva 12).



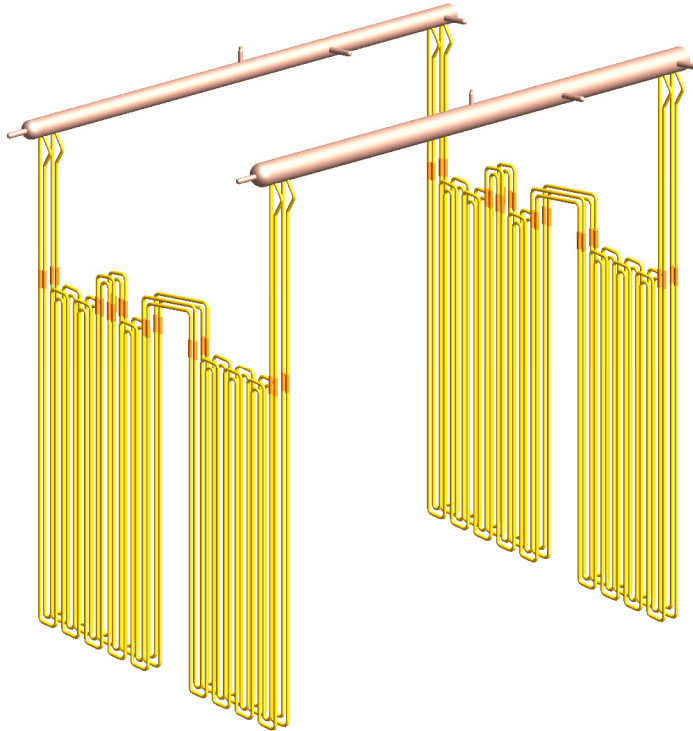
Kuva 14. Inline-tyypin tulistin muuttuvalla putkijaolla.

Kuvassa 14 on esitetty harvinaisempi variaatio, jossa putkijako on erilainen jako- ja kokoojakammioiden välillä. Lingot voivat lähteä jakokammiosta esim. kolmella rinnakkaisella putkella ja 104 mm putkijaolla, jonka jälkeen kaksi linkoa yhdistyvät kulkemaan päällekkäin tulistimen keskellä, jolloin rinnakkaisten putkien määräksi tulee kuusi ja putkijaoksi 204 mm.

Tästä variaatiosta ei ole tehty mallinnusta ja se jääkin tehtäväksi myöhemmin muiden puuttuvien osioiden kanssa. Variaation materiaalilaskenta ei kuitenkaan eroa merkittävästi perinteisemmästä inline-tulistinpaketista, joten materiaalilaskenta voidaan ajaa läpi, jos ensin mallinnetaan inline-tulistin ja johon mallinnetaan putkijaon vaihto käsin.



## 5.2 Over the Top -tyypin variaatiot

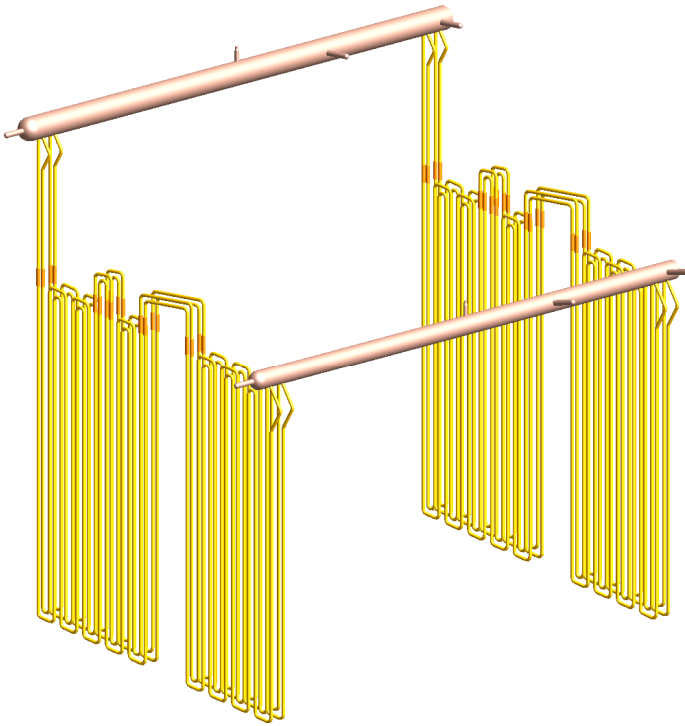


Kuva 15. Over the Top -tyypin tulistin.

”Over the Top” -tyyppinen tulistin eroaa merkittävästi Inline-tyypistä varsinkin materiaalilaskennan osalta. Tulistinta käytetään Over the Top -tyyppisessä kattilassa, jossa se sijaitsee tulipesän katon yläpuolella (kuva 6), josta myös nimitys ”Over the Top” tulee. Tulistinpaketteja kannatellaan kammioista sekä myös lingoista erillisillä kannatinrakenteilla. Putkien alaosa myötäilee tulipesän katon muotoa ja ne ovat katon kanssa samassa kulmassa.

Tulistin voidaan mallintaa maksimissaan kahdeksalla putkipaketilla ja kuudella rinnakkaisella putkilähdöllä. Käytännössä OTT-tyypin tulistimissa on usein noin 1-2 putkipakettia ja 1-3 rinnakkaista putkilähtöä, koska Over the Top -tyyppiset kattilat ovat melko pieniä. Putkipakettien numerointi menee oikealta vasemmalle, eli kuvan 15 tulistimessa oikealla oleva paketti on numeroltaan 1 ja vasemmalla oleva on numeroltaan 2.

Pakettien väliseen solaan tulee aina kannakerakenne, joten sen kohdalla putket mallinnetaan muita ylemmäksi ja vaakasuoraan. Jos putkipaketissa on vähintään viisi ”kieppiä” alapuolella, mallinnetaan paketin keskelle yläosaan yksi kieppi ylemmäksi, johon tulee kiinni pienempi kannakerakenne (kuva 15).

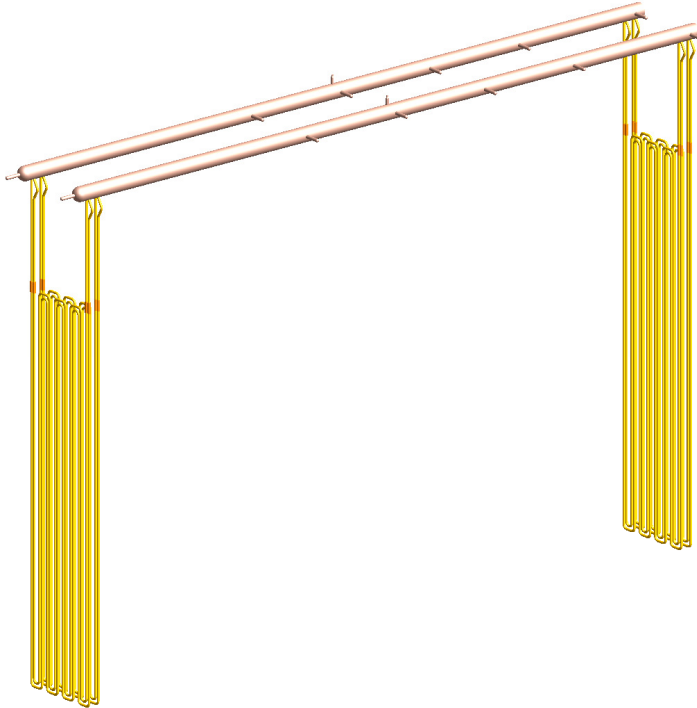


Kuva 16. Over the Top -tyypin tulistin, katon kanssa yhteinen jakokammio.

Variaatio on kuin inline-tyypin vastaava, eli tulistinpaketin jakokammio on yhteinen tulistimen katon kammion kanssa (kuva 16).

Erona kuvan 15 "Over the Top" -perustyyppiin on se, että jakokammion puolelta linkon ensimmäinen putkirivi on hieman normaalia alempana, jotta kammion ja linkoputken väliin jää riittävästi tyhjää tilaa. Rajoituksena tyypissä on maksimissaan kolme rinnakkaista putkiriviä, mutta muilta osin tulistin on samanlainen kuin perus OTT-tulistin.

### 5.3 Horizontal pass



Kuva 17. Horizontal pass -tyypin tulistin.

”Horizontal pass” -tyyppinen tulistin on kuin 90 astetta käännetty ”Inline”, mutta ”Over the Top” -tulistimen putkilähdöillä. Tulistinta käytetään Inline-kattiloissa ja se sijaitsee vaakavedossa (kuva 5). Tästä tyypistä oli useita hieman erilaisia variaatioita, mutta materiaalilaskennan sekä mallinnuksen yksinkertaistamiseksi käsittelyyn otettiin vain selkein ja yleisin malli. Ohjelmaan otetussa variaatiossa putkipaketteja tulee vain yksi ja putket ovat suorassa kulmassa savukaasukanavaan nähden. Linkoja kannattelevat kammiot ja sekä paketin keskellä oleva erillinen kannatinrakenne.

Mallinnus olisi voitu tehdä mallintamalla ”Over the Top”-tyyppi yhdellä putkipaketilla ja nollakulmalla, mutta materiaalilaskennan kannalta oli helpompi tehdä tulistimelle oma osio. Rajoituksena on yksi putkipaketti ja kuusi rinnakkaista putkilähtöä.

## 6 TULISTINPAKETTIEN MATERIAALIMÄÄRÄLASKENTA

Materiaalimäärälaskenta on tehty aiemmin mainituille tulistintyypeille sekä niiden variaatioille.

Laskentakaavat on kehitetty vanhojen toteutuneiden projektien perusteella, paitsi silloin, jos tiedossa on ollut, että rakenne tulee muuttumaan tietyn osan kohdalla merkittävästi. Tällöin laskentakaavoja tehdessä on käytetty uutta rakennetta, vaikka sitä ei olisikaan vielä käytetty projekteissa. Laskentasääntöjä mietittäessä suurena apuna ovat olleet Foster Wheelerin suunnittelijat, joilta on saatu tietoa yleisistä rakennekäytännöistä ja muusta kaikesta mahdollisesta aiheeseen liittyvästä.

### 6.1 Materiaalilaskentataulukko

Kaikkien ohjelmalla mallinnettavien kattilakomponenttien materiaalimäärälaskenta tehdään samassa Excel-tiedostossa, mutta kuitenkin eri välilehdillä. Jokaisella komponentilla on lisäksi oma DSM-sivu, jossa on suunnitteluohjeilta kerättyä tietoa sekä mahdollisia muita laskennassa tai parametrisessa mallinnuksessa käytettäviä arvoja tai laskuja. Laskentataulukot sekä materiaalisivut on jaettu omiin sivuihin EN- ja ASME-standardien kesken, koska näissä standardeissa käytettävät materiaalit sekä jotkin laskennassa käytettävät arvot eroavat toisistaan.

Jokaisella komponentilla on myös oma "default values" -sivu, jolta ohjelma haluttaessa hakee valmiit lähtöarvot, joilla saadaan rakennettua toimiva malli esim. esittelykäyttöä tai muuta testausta varten.

## 6.1.1 Laskentataulukon rakenne

	A	B	C
1	<b>Input Values</b>		
2	<b>SH MTO Rows Begin (row):</b>	102	
3	<b>RH MTO Rows Begin (row):</b>	225	
4			
5			
6	<b>PDMS / Comos Input</b>		
7	Superheater / Reheater Type	1	1 = Inline, 2 = Over the Top, 3 = Horizontal Pass
8	Pass Width	12996	
9	Pass Depth	7391	
10	Number of Rows	60	
11	Number of Tubes per Row	124	
12	Number of Parallel Rows	3	
13	Number of Banks	4	

Kuva 18. Osa laskentataulukon input-osiosta.

Laskentataulukon alkuosassa on ”PDMS/Comos input”-osio, johon ohjelma syöttää laskentakaavojen tarvitsemat lähtöarvot PDMS:stä, kun materiaalilaskenta halutaan ajaa mallinnetusta komponentista. Alun ”MTO Rows Begin” -rivit kertovat ohjelmalle, miltä Excelin riviltä materiaalilaskenta alkaa (kuva 18).

Useat kappaleen mittoihin liittyvät arvot (esim. kammioiden mitat) haetaan PDMS-mallista, joka mahdollistaa kappaleen muuntelemisen käsin mallinnuksen jälkeen. Ominaisuus on tärkeä, koska pelkästään automaattimallinnuksella saadaan harvoin tehtyä yksityiskohdiltaan täysin halutunlaista komponenttia. Loput lähtöarvoista (esim. savukaasun lämpötila) tulevat Exceliin suoraan PDMS:ään syötetyistä arvoista.

	KKS	Group	Description (KBE)
101	KKS		
102	FWRH01		131 Superheater Inlet Tubes
103	FWRH01		131 Superheater Coil Tubes (Material 1)
104	FWRH01		131 Superheater Coil Tubes (Material 2)
105	FWRH01		131 Superheater Coil Tubes (Material 3)
106	FWRH01		131 Superheater Coil Tubes (Material 4)
107	FWRH01		131 Superheater Outlet Tubes
108	FWRH01		131 Inlet Header Pipe
109	FWRH01		131 Inlet Header Hemispherical Head

Kuva 19. Materiaalilaskentataulukon alkuosa.

Varsinaisen taulukon ensimmäisessä sarakkeessa on KKS-koodi, jonka avulla tunnistetaan voimalaitoksen komponentti, ja näiden sisältä voidaan erotella esim. putket ja kammiot (kuva 19). Esim. tulistimen jakokammion KKS-koodi voi olla muotoa HAH41BR550 [10]. KKS-koodia tarvitaan siihen, että laskennasta saadut materiaalitiedot voidaan kohdentaa automaattisesti Comosissa oikeaan paikkaan.

Group- eli jaos-sarake kertoo, minkä jaoksen alle laskennassa oleva osa kuuluu. Voimalaitoksen eri komponentit on jaettu omiin jaoksiinsa, esim. tulistinpakettien jaos on 131 ja välitulistinpakettien 141. Tiettyjen komponenttien laskentaulukoissa on laskettu myös niiden jaoksiin kuulumattomia osia erinäisistä syistä, jonka takia jaos pitää mainita erikseen jokaisen osan kohdalla. Tulistimessa tällaisia osia ovat convection cagen takaseinälle tulevat kammiokannakkeet, jotka kuuluvat convection cagen jaokseen 134, sekä kantoputkien suojakourut, jotka kuuluvat jaokseen 126 (kuva 19).

”Description (KBE)” -sarakeeseen on keksitty mahdollisimman kuvaava nimi kaikille materiaalilaskennassa oleville osille helpottamaan laskentataulukon tekoa ja myös ylläpitoa. Osaluettelossa osien nimet ovat usein hyvin yksinkertaistettuja (esim. ”tube”), jolloin suuressa taulukossa samanlaisia nimiä tulisi paljon. Tällöin olisi vaikeaa tietää minkä tulistimen osan materiaalimäärää ollaan laskemassa. Keksityt nimet eivät ole kuitenkaan mitenkään virallisia eivätkä välttämättä yleisesti tunnettuja, joten materiaalilaskennan dokumentaatioissa eri osat on selitetty kuvien kanssa (kuva 19).

Description	Form	Dimensions/		
		Width	Height	Thickness
Tube	Seamless tube	44,5	3,0	4,19
Tube	Seamless tube	44,5	328,5	4,19
Tube	Seamless tube	44,5	0	0
Tube	Seamless tube	44,5	0	0
Tube	Seamless tube	44,5	0	0
Tube	Seamless tube	44,5	4,5	4,19
Header pipe	Seamless tube	558,8	13092	28,58
Header end, hemispherical	Hemispherical head	558,8		20

Kuva 20. Materiaalilaskentataulukon keskiosa.

Description-sarakkeessa on Foster Wheelerin käyttämän osaluettelosovelluksen kanssa yhtenäinen nimikkeistö, joka ei ole aivan yhtä kuvaava kuin edellinen ”Description (KBE)” -sarakeen nimikkeistö. Tämä on kuitenkin Foster Wheelerin virallisesti käyttämä nimikkeistö kattilakomponenttien eri osille ja sitä käytetään kun materiaalilistaus ajetaan ulos ja tallennetaan CSV-tiedostona (kuva 20).

Description	Form
Hanger structure for header/tube	Seamless tube
Hanger structure for header/tube	Plate
Hanger structure for header/tube	Round bar
Hanger structure for header/tube	Nut, hexagon, style 1

Kuva 21. Esimerkki saman descriptionin eri formeista.

”Form”-sarake kertoo mitä muotoa osa on. Osan descriptionin perusteella ei vielä voida tietää pitäisikö tilata putkea, levyä vai esim. tankoa, joten tarvitaan lisätietoa osan muodosta. Samalla descriptionilla voi olla useita eri formeja. Esimerkiksi kuvan 21 ”hanger structure for header/tube” descriptionilla on tulistimien laskentataulukossa yhteensä kahdeksan eri formia.

”Dimensions”-sarakeissa (kuva 20) ovat osan mitat, jotka tulevat joko suoraan lähtöarvoista taulukon alun ”PDMS/Comos input”-osiosta tai ne lasketaan niiden perusteella. Joillekin samankokoisille osille kuten esim. tarkastusyhteille mitat on syötetty suoraan laskentapohjaan. ”Dimensions”-sarakeisiin tulee aina vain yhden osan mitat. Kokonaismäärä lasketaan myöhemmin ”Quantity”-sarakeessa.

Material	Material Standard	Quantity	Unit	ITEMCODE	Weight [Kg]
16Mo3	EN 10216-2	0,38	m	44,5x4,19_Seamless tube_EN 10216-2_16Mo3	1,56
13CrMo4-5	EN 10216-2	40,74	m	44,5x4,19_Seamless tube_EN 10216-2_13CrMo4-5	169,68
13CrMo4-5	EN 10216-2	0,00	m	44,5x0_Seamless tube_EN 10216-2_13CrMo4-5	0,00
13CrMo4-5	EN 10216-2	0,00	m	44,5x0_Seamless tube_EN 10216-2_13CrMo4-5	0,00
13CrMo4-5	EN 10216-2	0,00	m	44,5x0_Seamless tube_EN 10216-2_13CrMo4-5	0,00
13CrMo4-5	EN 10216-2	0,55	m	44,5x4,19_Seamless tube_EN 10216-2_13CrMo4-5	2,31
16Mo3	EN 10216-2	13,09	m	558,8x28,58_Seamless tube_EN 10216-2_16Mo3	4892,65
16Mo3	EN 10028-2	0	Pcs	558,8x20_Hemispherical head_EN 10028-2_16Mo3	0,00

Kuva 22. Materiaalitalukon loppuosa.

Taulukon ”Material”-osioon (kuva 22) määritetään jokaiselle osalle siinä käytettävä materiaali. Kaikki materiaalitiedot on koottu omille Excel-sivuille, joista ne käydään hakemassa kaavalla tietyillä perusteilla. Putkiosille tulevat materiaalit tiedetään ja ne haetaan taulukon input-osiosta. Muille kuin putkiosille materiaalmääritykset ovat monesti käytännössä ”hyviä arvauksia”, mutta tiedot perustuvat kuitenkin vanhoihin projekteihin, DSM-ohjeisiin sekä suunnittelijoilta saatuun tietoon. Materiaaliosio on käyty tarkemmin läpi edempänä.

”Material Standard”-osioon (kuva 22) haetaan materiaalistandardi jokaiselle eri materiaalille. Materiaalistandardit haetaan kaavalla listoilta, jotka on laitettu omille välilehdille EN- ja ASME-standardien kesken.

"Quantity"-sarakkeessa lasketaan jokaisen osan kokonaismateriaalimäärä per tulistin. Laskenta käyttää "PDMS/Comos input"-osion lähtöarvoja, osan mittoja "Dimensions"-sarakkeista sekä mahdollisesti arvoja DSM-sivulta kokonaismäärää laskettaessa. Seuraava "Unit"-sarake kertoo "Quantity"-sarakkeessa lasketun arvon yksikön, esim. metri, neliömetri tai kappale (kuva 22).

"Itemcode"-sarakkeessa Excel-funktio kokoaa osan mitat, formin, materiaalin ja materiaalistandardin tekstijonoksi, jota tarvitaan kun materiaalilaskennasta saatua tietoa ajetaan Comosiin (kuva 22).

Viimeisessä "Weight"-sarakkeessa lasketaan osalle kokonaispaino "Quantity"-sarakkeen määrän perusteella. "Weight"-sarakkeessa ei lasketa materiaalmäärää, vaan siinä lasketaan vain paino jo lasketulle määrälle. Esim. putkille lasketaan ensin kokonaispituus "Quantity"-sarakkeessa, jonka jälkeen "Weight"-sarakkeessa sille lasketaan tilavuus pituuden ja seinämäpaksuuden perusteella, jonka jälkeen tulos kerrotaan tiheydellä. Teräksen tiheytenä on käytetty arvoa  $7850 \text{ kg/m}^3$  jokaiselle osalle. Joillekin osille kuten esim. muttereille ja aluslevyille paino on syötetty suoraan yhtä kappaletta kohden, jolloin se lopuksi vain kerrotaan osien kokonaislukumäärällä per tulistin (kuva 22).

### 6.1.2 DSM-sivut

DSM 111-131-102, Gap to Convection Cage Wall (Inline only)			
	Gap		Calculations
X1	160,57 mm		160,57 mm
X2	84,50 mm		84,50 mm

Kuva 23. Esimerkki DSM-sivulta haettavasta arvosta.

DSM- eli suunnitteluohjesivuille on kerätty materiaalilaskennassa ja mallinnuksessa tarvittavia tietoja ja vakioarvoja Foster Wheelerin suunnitteluohjeista. Kuvan 23 esimerkissä tulistimen linkoputken ja convection cagen seinäputken väli lasketaan DSM-ohjeesta saadulla laskentakaavalla, jonka jälkeen se käydään hakemassa ohjelmaan, ellei arvoa tiedetä tai haluta syöttää itse. Taulukon DSM-sivuille on kerätty myös muita vakioita, jotka eivät kuitenkaan ole suunnitteluohjeista, mutta joita tarvitsee mahdollisesti päivittää tarpeen mukaan. Arvon päivittäminen DSM-sivulle Excelissä on helpompaa kuin sen päivittäminen materiaalilaskentaohjelman koodiin.

Kaikki laskentakaavojen tai ohjelman mahdollisesti päivittämistä vaativat vakioarvot onkin pyritty hakemaan DSM-sivulta, jolloin päivitys on helpompaa kun haettua arvoa



ei tarvitse etsiä laskentakaavoista. DSM-sivulle kirjoitetun arvon viereen on lisätty muistutuksena myös ”default value” eli arvon alkuperäinen arvo.

Myös DSM-sivut ovat jaettu omiin EN- ja ASME-standardien kesken, koska tietyissä arvoissa on eroja näiden standardien välillä.

### 6.1.3 Materiaalisivut

Materiaalimäärälaskennan käyttökelpoisuutta lisää eri materiaalien määrittäminen laskentataulukossa oleville osille. Tällä tavoin saadaan tietoon komponenttiin kuuluva materiaalmäärä, paino sekä käytettävä materiaalilaatu kyseiselle osalle. Näiden perusteella saadaan arvioitua komponentille hinta sekä komponenttiin kuluvien eri materiaalilaatujen määrä.

Putki- ja kammiomateriaalilaadut tiedetään jo tarjousvaiheessa, mutta muiden osien materiaaleja ei tiedetä, koska tarkempaa suunnittelua ei ole silloin vielä tehty. Näille osille on siis jouduttu tekemään materiaalmääritys itse, käyttäen hyväksi vanhoja toteutuneita projekteja, suunnitteluohjeiden tietoa, sekä Foster Wheelerin suunnittelijoiden materiaalitietämystä ja kokemusta.

Coil Support Casting Hanger Lock & Base	
	<b>Material</b>
	GX40CrNiSi25-12

Kuva 24. Esimerkki materiaalmäärityksistä kantoputkien kiinnikepaloille.

Materiaalitiedot ovat koottu DSM-sivujen tapaan omille välilehdille EN- ja ASME-standardien kesken. Sivuille on koottu kaikki materiaalitaulukot, joista materiaalitiedot haetaan kullekin osalle laskentataulukoon. Useimmat materiaalit määräytyvät savukaasun lämpötilan mukaan, mutta joillekin osille on mietitty yksi materiaali, jota siinä useimmiten käytetään (esim. kuva 24).

Laskentataulukon materiaalmääritys on kuitenkin todellisuudessa lähinnä suuntaa antava ”hyvä arvaus”, sillä oikeissa projekteissa materiaalit vaihtuvat paljonkin eri tekijöiden mukaan, ja todellisuudessa käytettävät materiaalit eivät välttämättä ole yleisten suunnitteluohjeiden mukaisia. Kaikkia materiaalivaihtoehtoja ja -variaatioita ei olisi mahdollista huomioida pelkästään jo ajan puutteen vuoksi, ja siltikin tarkan materiaalin määrittäminen olisi mahdotonta pelkkien taulukoiden perusteella.

#### 6.1.4 Materiaalstandardisivut

Jokaiselle materiaalille on olemassa myös materiaalistandardi, joka haetaan kaikille komponentille yhteiseltä välilehdeltä Excelissä.

Tube / Pipe			
Std. ID	Material	EN name	Mat. Standard
3	P235GH	1.0345	EN 10216-2
3	16Mo3	1.5415	EN 10216-2
3	10CrMo9-10	1.7380	EN 10216-2
3	X20CrMoV11-1	1.4922	EN 10216-2
13	X5CrNi18-10	1.4301	EN 10216-5

Kuva 25. Esimerkki materiaalistandardisivun listoista.

Materiaalistandardisivulla on listat eri materiaaleista ja niille tulevista standardeista, joista kaava hakee oikean standardin materiaalilaskentaulukkaan. Standarditiedot on saatu Foster Wheelerin tietokannasta, joka on sovitettu Exceliin. Materiaalistandardit menevät kappaleen muodon mukaan, eli esim. saumattomalle putkelle tulee eri standardi kuin levyille, vaikka materiaali olisi muuten sama (kuva 25).

## 7 MATERIAALILASKENNAN TESTAUS

Jotta materiaalilaskenta olisi käyttökelpoinen ja siihen voisi luottaa oikeita tarjousprojekteja tehdessä, se pitää testata kattavasti. Materiaalilaskennalle alunperin asetettu tavoitetarkkuus verrattuna osaluettelossa laskettuun painoon on 5 %, mutta ihannetarkkuus olisi n. 2 % yli osaluettelon painon. Tulistimissa päästiin noin  $\pm 2$  % laskentatarkkuuteen, joten tulos on erittäin hyvä. Testauksessa löydettiin myös laskennan ongelmakohtat sekä osat, joista suurin epätarkkuus johtuu.

Laskentakaavojen testaus tehtiin osittain jo kaavojen kirjoitusvaiheessa laittamalla jo olemassa olevan projektin lähtöarvot Excelin input-osioon, jolloin jokaisen kaavalla laskettavan osan painon pitäisi vastata saman osan painoa projektin osaluettelossa. Jos taas painot eivät vastanneet toisiaan, etsittiin sille syy. Täysin tarkkaan tulokseen ei kuitenkaan voida päästä, koska joidenkin osien mitat ja rakenteet saattavat hieman muuttua projektikohtaisesti, esimerkkinä kammiokannakkeet ja värinänestolevyt. Laskentakaavan toimivuus voidaan kuitenkin todeta laittamalla lähtöarvoiksi osaluettelossa olevan osan tarkat mitat, jolloin tulokseksi pitäisi tulla tarkalleen sama määrä ja paino.

Kun laskentataulukko ja automaattimallinnus oli saatu toimintakuntoon, testausta tehtiin ensin mallintamalla tulistimia oikeiden projektien arvoilla, ja sen jälkeen vertailemalla tuloksia projektien osaluetteloihin. Tämänkaltaisen testaus tehtiin noin kahdeksalla eri projektilla, jolloin laskennan tarkkuudesta ja toimivuudesta saatiin kattava kuva. Samalla myös mallinnus saatiin testattua, sillä jos mallinnus olisi pahasti pielessä, ei myöskään materiaalilaskenta antaisi oikeita tuloksia.

Taulukko 1. Esimerkki materiaalilaskennan painoverailusta.

Quantity	Description	Type	Unit	Weight	Osaluettelo	Ero [%]	Ero [Kg]
375,72	Reheater Inlet Tubes	PIPE	m	1564,99	1486	5,32 %	78,99
41138,24	Reheater Coil Tubes (Material 1)	PIPE	m	171353,14	171335,6	0,01 %	17,54
554,28	Reheater Outlet Tubes	PIPE	m	2308,74	1930,7	19,58 %	378,04
13,09	Inlet Header Pipe	PIPE	m	4892,65	4970,4	-1,56 %	-77,75
1	Inlet Header Hemispherical Head	PLATE	Pcs	71,63	71,6	0,04 %	0,03
13,09	Outlet Header Pipe	PIPE	m	7650,17	7736,7	-1,12 %	-86,53
1	Outlet Header Hemispherical Head	PLATE	Pcs	146,93	146,9	0,02 %	0,03

Muutamista projekteista tehtiin lisäksi erittäin tarkka painovertailu (taulukko 1), jossa tulistin mallinnettiin projektin arvoilla. Tämän jälkeen jokaista laskentataulukossa olevaa osaa verrattiin projektin osaluetteloihin. Vertailusta nähdään, mitkä osat aiheuttavat eniten eroa kiloina sekä prosentteina. Tuloksia ei kuitenkaan voi tuijottaa suoraan, sillä kevyen ja pienen osan tapauksessa ero voi olla kymmeniä prosentteja, mutta painona silti mitätön. Laskennassa kuitenkin pyrittiin samaan +5 % tarkkuuteen myös kaikkien yksittäisten osien kanssa, mutta käytännössä se ei ole mahdollista ilman, että lähtöarvoja lisätään, jolloin taas ohjelman käytettävyys huononisi. Lisäksi satojen tonnien painoisissa komponenteissa pienien osien muutamien kilojen erot ovat merkityksettömiä.

Jos olisi haluttu tehdä täysin tarkka painovertailu, materiaalilaskentaohjelmalla mallinnettujen tulistimien putkilähdöt sekä kammiot olisi pitänyt muuntaa käsin samanlaisiksi kuin testattavassa projektissa. Kammioiden pituudet vaihtelevat hieman projektikohtaisesti, mutta vaikka ero ei sinällään ole iso, jo muutamien kymmenien senttien ero putkessa, jonka seinämäpaksuus saattaa olla lähellä kymmentä senttiä, voi aiheuttaa satojen kilojen eron painoon. Lisäksi kammioiden putkilähdöt vaihtelevat projektikohtaisesti ja niissä ero kertaantuu etenkin tulistimissa, joissa on useita rinnakkaisia putkia ja satoja linkorivejä.

Monissa testatuissa projekteissa putkipainot menivät miinukselle, josta saattoi aiheutua tuhansien kilojen ero, joka taas voi olla prosentteissa n. 1%. Joissakin projekteissa myös kammioiden painot menivät miinukselle, joka putkien kanssa aiheutti sen, että kokonaispaino jäi alle osaluettelon painon. Nämä ovat kuitenkin vain testauksen ajanpuutteesta johtuvia ongelmia, sillä materiaalilaskenta mallintaa putket ja kammiot aina samalla tietyllä periaatteella, eikä jokaisen mallin käsin korjaamiseen ollut aikaa. Oikeaa tarjousprojektia tehdessä putki- ja kammiopituudet tulevat menemään aina oikein, koska suunnittelija hienosäätää ohjelmalla tehdyn mallin käsin juuri oikeanlaiseksi ennen materiaalilaskennan ajamista.

Testituloksista tehtiin vertailu osaluettelon lisäksi myös Foster Wheelerin omiin tarjouslaskelmiin samoista projekteista. Materiaalilaskennalla saadut tulokset olivat pääsääntöisesti osaluettelon ja FW:n oman tarjouslaskennan välimaastossa, eli testitulosten perusteella ohjelma sekä materiaalilaskentataulukko toimivat niin kuin oli suunniteltu – nopeuttaen ja tarkentaen materiaalilaskentaa. Jos ohjelmalla tehtyä mallia ei tarvitse säätää käsin, mallintaminen ja materiaalilaskennan ajaminen vievät n. 15 minuuttia, kun perinteisesti tehtynä työhön menee ainakin päivä.

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä päästiin hyvin sille asetettuihin tavoitteisiin. Työn tuloksena saatiin testattu ja hyvin toimivaksi todettu osio määrälaskentaohjelmaan tulistinpaketeille sekä sille kattava dokumentaatio. Dokumentaatiossa on selitetty kuvien kera jokaisen Excel-laskentataulukossa olevan kaavan toiminta sekä laskentaperiaatteet. Tämä on tärkeää, jotta tulevaisuudessa ohjelman jatkokehittäjät pääsevät nopeasti perille sen toiminnasta ja jotta ohjelman käyttäjät ymmärtävät sen toiminnan.

Projekti ja työn tekeminen onnistuivat mielestäni hyvin. Etuna oli, että sain aloittaa projektissa tekemällä aluksi materiaalilaskentataulukon wing wallille, joka on erittäin yksinkertainen säteilytulistin kattilan tulipesän sisällä. Tällä tavoin pääsi tutustumaan alussa rauhassa laskentataulukon aiempiin osioihin sekä materiaalilaskentaohjelman toimintaan ja ideaan. Wing wallilla aloittamisesta oli hyötyä myös siksi, että silloin oppi hyvin lukemaan kattilan työkuvia. Kuvissa on useasti erittäin paljon erilaisia merkintöjä ja mittoja, joiden lukeminen saattaa olla aluksi vaikeaa, mutta joka oli välttämätöntä myöhemmin tulistimien AutoCAD-tutkielmaa sekä laskentataulukkoa tehdessä sekä yleensäkin tekniikan alalla toimiessa.

Vaikka projekti meni lopulta hyvin, ongelmilta ei kuitenkaan välttytty. Suurimpana ongelmana oli ehkä se, että aluksi ei tiedetty mitä kaikkea laskentataulukoon sekä ohjelmaan pitäisi lopulta tulla. Tämä aiheutti jonkin verran päällekkäistä työtä, kun vanhoja jo tehtyä juttuja täytyi korjata ja uusia ominaisuuksia lisätä kesken kaiken. Esim. aluksi ei ollut tarkoitus ottaa materiaalilaatuja huomioon laskentataulukossa, mutta ne lisättiin mukaan myöhemmin.

Toisena ongelmana oli ohjelman testauksen puute Foster Wheelerin puolelta, mutta se on kuitenkin ymmärrettävää muiden kiireiden takia. Kuitenkin ohjelman sekä laskennan kannalta olisi ollut erittäin hyvä, jos sen tulevat käyttäjät olisivat antaneet kommentteja ja parannusehdotuksia projektin alussa sekä sen aikana. Tällöin olisi mahdollisesti vältetty päällekkäistä työtä sekä järjestelmä oltaisiin saatu parempaan kuntoon vähemmällä testauksella.

Ohjelman mallinnuspuolta voidaan myös käyttää aloitettaessa projektin oikean PDMS-mallin tekoa, vaikka materiaalilaskentaa ei haluttaisikaan ajaa. Ohjelmalla on erittäin nopea tehdä tarkka malli esim. tulistimista tai tulipesästä, josta voidaan sitten lähteä muokkaamaan projektin varsinaista mallia.

Ohjelman kehitystyö kuitenkin jatkuu, ja ohjelma on jo osittaisessa käytössä Foster Wheelerillä. Tulevaisuudessa ohjelmaan on tarkoitus tehdä osiot kaikille painerungon komponenteille sekä myös mahdollisesti muille komponenteille, joiden mallintaminen ja materiaalilaskenta voidaan suorittaa järkevällä tarkkuudella jo tarjousvaiheessa saatavien tietojen perusteella.

## LÄHTEET

1. "FWE NW 2012 – uuden sukupolven digitaalinen tuoteprosessi"  
projektisuunnitelma. 08.06.2009.
2. Foster Wheeler Global Power Group esitelmä. PowerPoint. Foster Wheeler intranet.
3. Foster Wheeler Energia Oy Group yritysesittely. PowerPoint. Foster Wheeler intranet.
4. Samcheek Factsheet. [Viitattu 18.04.2012]. Saatavissa:  
[http://www.fwc.com/publications/pdf/FactSheets/Samcheek\\_Modified\\_071111.pdf](http://www.fwc.com/publications/pdf/FactSheets/Samcheek_Modified_071111.pdf)
5. Huhtinen, M., Kettunen A., Nurminen P., Pakkanen H. 2000.  
Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Oy Edita Ab
6. Foster Wheeler Fluid Bed Experience esitelmä. PowerPoint. Foster Wheeler intranet.
7. Successful CFB Operating Experience. PowerPoint. Foster Wheeler intranet.
8. Jyväskylä Factsheet. Foster Wheeler intranet.
9. Igelsta Factsheet. Foster Wheeler intranet.
10. KKS Taging Procedure. [Viitattu 18.04.2012]. Saatavissa:  
<http://www.scribd.com/doc/19835198/Kks-Taging-Procedure>.





