

Konvektiopakettien optimointi

Foster Wheeler Energia Oy, Service

Joonas Vesterinen

Opinnäytetyö

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Joonas Vesterinen	
Työn nimi Konvektiopakettien optimointi	
Päiväys	15.5.2012
Sivumäärä/Liitteet	71+3
Ohjaaja(t) Projekti-insinööri Juha Auvinen, Lehtori Pertti Kupiainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Foster Wheeler Energia Oy, Service	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli WHB-kattilan konvektiopakettien rakenteen kehittäminen ja kustannustehokkuuden parantaminen. Tavoitteena oli löytää keinoja konvektiopakettien suunnittelun sekä kokoonpanon läpimenoaikojen lyhentämiseksi ja lisäksi ohjeistaa näitä toimintoja.</p> <p>Työ toteutettiin seuraamalla konvektiopakettien työkuvasuunnittelua ja kokoonpanoa sekä haastatteleamalla kyseisiin tehtäviin osallistuneita henkilöitä. Tällä tavoin selvitettiin toimintojen nykyhetken toteutustavat, ongelmat ja saatiin kehitysehdotuksia niiden ratkaisemiseksi. Nykytila-analyysin, toimintojen seurannan sekä haastattelujen kautta saatujen kehitysehdotusten pohjalta muodostettiin toiminnoille tavoitetilat, joihin kehitystyöllä pyrittiin.</p> <p>Työkuvasuunnittelun kehittämiseksi tutkittiin konvektiopakettien tuoterakenteen modulointimahdollisuuksia, osien parametristä suunnittelua sekä kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen tarjoamia mahdollisuuksia. Konvektiopakettien kokoonpanon osalta pääosa kehitysehdotuksista kohdistui niiden rakenteisiin, jotka asettivat tiettyjä haasteita kokoonpanovaiheisiin. Rakennetta kehitettiin valmistettavuudeltaan paremmaksi, jonka avulla pyrittiin poistamaan vaikeasti toteutettavat työvaiheet kokoonpanosta.</p> <p>Työn lopputuloksina löydettiin runsaasti kehitysmahdollisuuksia työkuvasuunnittelun tehostamiseksi ja rakenteiden valmistettavuuden parantamiseksi, joilla pystyttiin vaikuttamaan toimintojen kustannustehokkuuteen. Työkuvasuunnittelun kehitysehdotukset jätettiin tutkimustyön asteelle työn asettajan jatkokäyttöä varten. Konvektiopakettien kokoonpanoon vaikuttava rakenteen kehitystyö pystyttiin soveltamaan työn asettajalle hyötykäyttöön, jolloin kustannustehokkuuden kasvulle asetetut vaatimukset ovat mahdollista saavuttaa.</p>	
Avainsanat WHB-kattila, konvektiopaketit, kustannustehokkuus, valmistettavuus, modulointi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Joonas Vesterinen			
Title of Thesis Optimization of Convection Banks			
Date	May 15, 2012	Pages/Appendices	70+3
Supervisor(s) Mr. Juha Auvinen, Project Engineer, Mr. Pertti Kupiainen, Lecturer			
Client Organisation/Partners Foster Wheeler Energia Oy, Service			
<p>Abstract</p> <p>The objective of this final year project was to develop the structure of WHB-boilers convection banks and improve the cost-effectiveness. The aim was to find ways to shorten the lead times of designing and assembling convection banks and make instructions for these functions.</p> <p>The work was carried out by following the drafting of manufacturing drawings and assembly stages of convection banks. The personnel involved in these stages were interviewed for more information. In this way the current methods and problems were examined and development proposals were made to solve them.</p> <p>On the basis of the current situation analysis and interviews and by monitoring the functions, the target level was set. The possibilities of the product structure modularization, parametric design of parts and more advanced engineering software were studied. Most development proposals concerned structural solutions. The structure of convection banks was developed to improve its manufacturability.</p> <p>As a result of this final project there were many possibilities to develop draft manufacturing drawings and improve the manufacturability the structures of convection banks which affects cost-effectiveness. Development proposals for the manufacturing drawings drafting were submitted on research stage for the further use. The structural development of convection banks, which affects the assembly, was applied for further use by the client and requirements for cost-effectiveness improvement are possible to achieve.</p>			
<p>Keywords WHB-boiler, convection banks, cost-effectiveness, manufacturability, modularization</p>			

ALKUSANAT

Tämän opinnäytetyön aiheena on konvektiopakettien optimointi. Työ on tehty Foster Wheeler Energia Oy:lle Service-osastolle kevään 2012 aikana.

Haluan kiittää työni ohjaajia projekti-insinööri Juha Auvista tilaajan puolelta ja lehtori Pertti Kupiaista Savonia-ammattikorkeakoulun puolelta, asiantuntevasta ja sujuvasta työnohjauksesta. Suuret kiitokset kuuluvat myös koko Service-osaston henkilökunnalle, joilta olen saanut varauksettomasti tukea työn suorittamisen aikana.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia läheisiäni, opiskelutovereitani sekä erityisesti puolisoani opiskeluun ja opinnäytetyöhön saamastani tuesta.

Varkaudessa 15.5.2012

Joonas Vesterinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	FOSTER WHEELER AG	9
2.1	Foster Wheeler Energia Oy Group (FWE OY Group).....	10
2.2	Service.....	11
3	HÖYRYKATTILATEKNIikka.....	12
3.1	Kattiloiden vesihöyrypiirit.....	13
3.2	Luonnonkiertokattila.....	13
3.3	Pakkokiertokattila.....	14
3.4	Läpivirtauskattilat.....	15
4	KATTILATYYPIT	17
4.1	Leijukerros poltto	17
4.2	Leijupetikattila (BFB-kattila)	18
4.3	Kiertopetikattila (CFB-kattila)	19
5	JÄTELÄMPÖKATTILA (WHB)	21
5.1	WHB-kattilan rakenne.....	22
5.2	Vaakakattila.....	22
5.3	Pystykattila.....	24
6	KONVEKTIOPAKETTIEN RAKENNE	26
7	TYÖN TOTEUTUS	28
7.1	Tehtävän asettelu	28
7.2	Tehtävän rajaus.....	29
7.3	Työn tavoitteet	30
7.4	Työn suoritus.....	30
7.5	Konvektiopakettien valmistuksen ja suunnittelun seuranta.....	32
7.6	Konvektiopakettien valmistukseen ja suunnitteluun osallistuvien haastattelut.....	32
7.7	Nykytilan analysointi.....	33
7.7.1	Konvektiopakettien työkuvasuunnittelun nykytila	33
7.7.2	Konvektiopakettien työkuvasuunnittelun kehityskohteet	33
7.7.3	Konvektiopakettien kokoonpanon nykytila.....	35
7.7.4	Konvektiopakettien kokoonpanon kehityskohteet.....	36
7.8	Tavoitetilan kuvaus	38
8	SUUNNITTELUN KUSTANNUSTEHOKKUUDEN KASVATTAMISEN KEINOJA	41
8.1	Modulointi kustannustehokkuuden kasvattamisen työkaluna	41
8.2	Moduloinnin soveltaminen konvektiopaketteihin.....	43

8.3	Moduloinnin tarjoamat edut eri näkökulmista	43
8.4	Parametrisointi kustannustehokkuuden kasvattamisen työkaluna	44
8.5	Parametrisuuden soveltaminen konvektiopaketteihin	45
8.6	Parametrisoinnin tarjoamat edut	46
8.7	Osa-, ja komponenttikirjastojen käytön tarjoamat edut standardiosilla	47
8.8	Kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen tarjoamat mahdollisuudet	48
9	KONVEKTIOPAKETTIEN RAKENNETARKASTELUT	51
9.1	Lähtötiedot konvektiopakettien rakenteen optimoinnille	51
9.2	Konvektiopakettien rakenteen optimointi	52
9.2.1	Kuljetus- ja kokoonpanokehikko	52
9.2.2	Kannatusrakenne	53
9.2.3	Kaasutiiveyslevyt.....	54
9.2.4	Iskutangot.....	55
9.2.5	Putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsaus.....	56
9.3	Rakenteen optimoinnin vaikutus konvektiopaketin kokoonpanovaiheisiin	57
9.4	Rakenteen optimoinnin vaikutus kokoonpanon läpimenoaikaan.....	59
9.5	Rakennemuutosehdotusten välilliset vaikutukset.....	61
9.6	Rakenteen optimoinnin soveltaminen konkreettiseksi tuotteeksi.....	62
9.6.1	Prosessisuunnittelun asettamat reunaehdot.....	62
9.6.2	Kannatusrakenteen soveltaminen	63
9.6.3	Kaasutiiveyslevyjien soveltaminen	64
9.6.4	Jäähdytettyjen iskutankojen soveltaminen.....	66
9.6.5	Sovellettavan rakenteen kokoonpano	67
10	TYÖN TULOKSET	68
11	YHTEENVETO	69
	LÄHTEET	71

LIITTEET

Liitteet poistettu julkaistavasta versiosta tilaajan toiveesta

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena on WHB-kattiloiden konvektiopakettien rakenteen kehittäminen ja kustannustehokkuuden kasvattaminen. Kehitystyön tavoitteena on löytää keinoja, joilla pystytään lyhentämään konvektiopakettien työkuvasuunnittelun sekä kokoonpanon läpimenoaikoja ja tällä tavoin kasvattamaan näiden toimintojen kustannustehokkuutta.

Tuotteesta tai toimialasta riippumatta toimitus- ja läpimenoaikojen laskeminen sekä toiminnan kustannustehokkuuden kasvattaminen ovat avaintekijöitä, joilla yritys pystyy parantamaan mahdollisuuksiaan pärjätä nykypäivän kovassa kilpailutilanteessa. Edellä mainittujen tekijöiden merkitys korostuu varsinkin toimittaessa maailmanlaajuisilla markkina-alueilla.

Työtä suoritettaessa tietoa ja kehitysehdotuksia, joilla konvektiopakettien työkuvasuunnittelua ja kokoonpanoa voitaisiin tehostaa, hankitaan seuraamalla niiden suunnittelua sekä kokoonpanoa ja haastatteleamalla näihin työvaiheisiin osallistuvia henkilöitä. Tällä tavoin toimintojen nykyhetken toteutustavat ja ongelmakohdat saadaan selvitettyä. Nykytila-analyysin, toimintojen seurannan sekä haastattelujen avulla saatujen kehitysehdotusten pohjalta muodostetaan tavoitetilat kehitystyön alaisille toiminnoille.

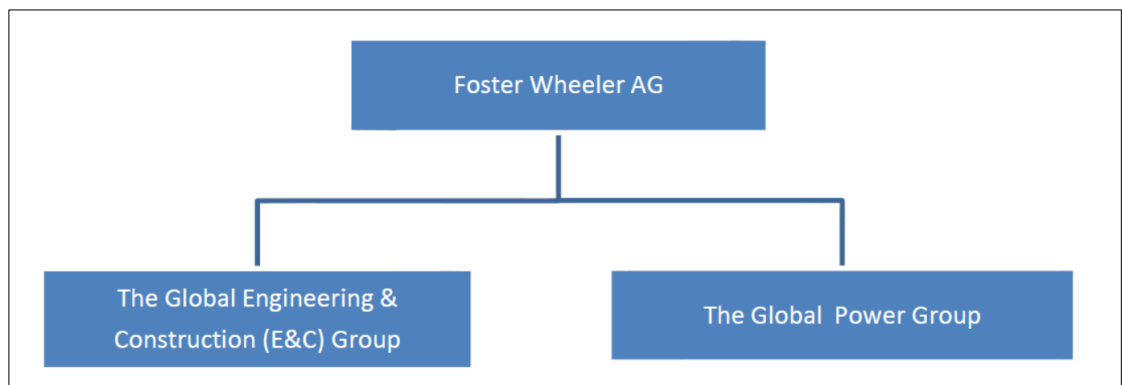
Osa tämän opinnäytetyön aikana syntyneistä kehitysehdotuksista jäänee tutkimuksen asteelle, kuitenkin siten että työn asettaja pystyy niitä jatkossa hyödyntämään liittämällä niitä omiin projekteihinsa. Toisaalta taas osa, varsinkin konvektiopakettien rakenteisiin kohdistuvista kehitysehdotuksista on mahdollista jalostaa melko pitkälle soveltaen niitä asettajalle hyötykäyttöön.

2 FOSTER WHEELER AG

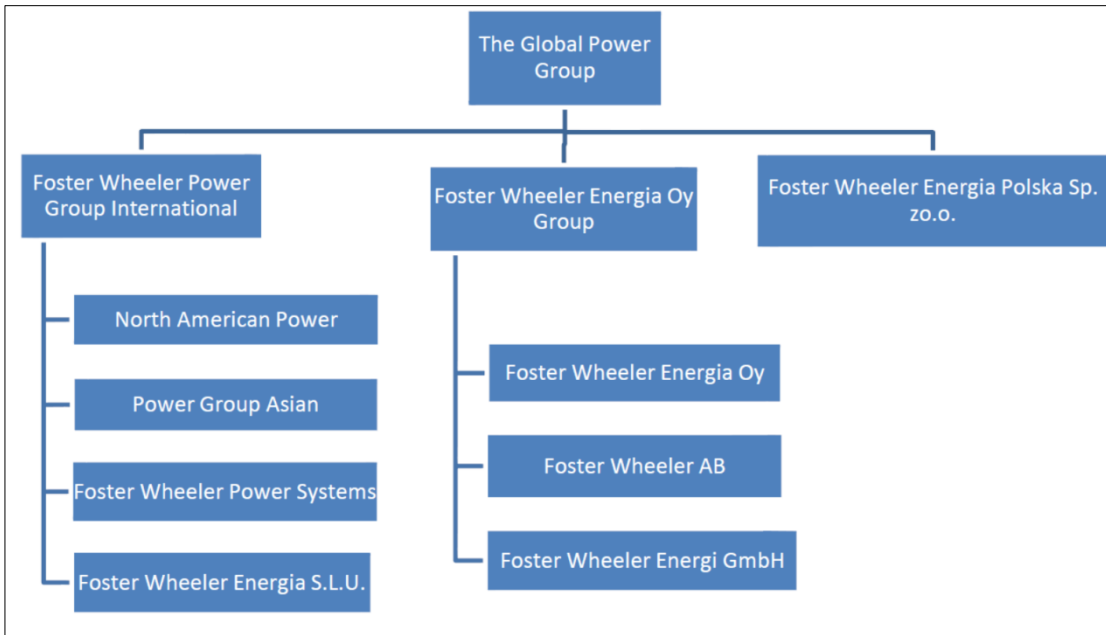
Foster Wheeler on perustettu vuonna 1884 Yhdysvalloissa, ja se on toiminut Foster Wheeler nimellä vuodesta 1927. Foster Wheeler on monikansallinen ja kansainvälinen yritys, joka tarjoaa asiakkailleen projektinhallinta-, suunnittelu- ja urakointipalveluja monilla teollisuuden alueilla, kuten öljy-, kaasu-, kemian-, energia- ja lääketeollisuuden aloilla. Foster Wheeler on listautunut pörssiin ja sen osakkeet noteerataan NASDAQ-listalla New Yorkissa. Henkilöstöä vuonna 2010 oli noin 12 000 ja yrityksellä on toimintaa tällä hetkellä 28:ssä eri maassa. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a.)

Foster Wheeler on jakaantunut kahteen päätoimialaan kuvan 1 mukaisesti. The Global Engineering & Construction (E&C) Group tuottaa suunnittelua urakointi- ja projektinhallintateollisuudelle, joista esimerkkeinä voidaan mainita öljy-, kaasu- ja kemianteollisuus. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a.)

The Global Power Group (GPG) on polttoteknologian johtavia asiantuntijoita maailmassa. Yritys suunnittelee voimakattiloita ja niiden laitteita, valmistaa ja asentaa voimakattiloita teollisuudelle sekä voiman-, sähkön- ja kaukolämmön tuottajille. Lisäksi yritys tuottaa voimalaitoskattiloiden Service-palveluja. Suomessa toimiva Foster Wheeler Energia Oy Group on yksi The Global Power Groupin toimialoista. Kuvassa 2 on esitetty tarkemmin The Global Power Group:n organisaatiokaavio. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a.)



KUVA 1. Foster Wheelerin pääorganisaatio. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a)



KUVA 2. Organisaatiokaavio. The Global Power Group. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a)

2.1 Foster Wheeler Energia Oy Group (FWE OY Group)

Foster Wheeler Energia Oy Group kehittää tehokkaita ja ympäristöä säästäviä energiaratkaisuja. Yhtiön erikoisosaamisaluetta on voimalaitos- ja teollisuuskattiloiden suunnittelu ja valmistus sekä niiden kunnossapito ja huolto. Yhtiön ydinosaamista edustaa korkean hyötysuhteen matalapäästöinen leijukerrosteknologia ja erityisesti CFB (Circulating Fluidized Bed) - eli kiertopetiteknologia. (Foster Wheeler Energia Oy 2011c.)

Foster Wheeler on maailman johtava CFB-kattiloiden toimittaja noin 40 prosentin markkinaosuudellaan. FWE OY Group ja muut Foster Wheeler-konserniin kuuluvat yritykset ovat toimittaneet noin 500 leijukerroskattilaa, joista yli 300 on ollut CFB-kattiloita. (Foster Wheeler Energia Oy 2011c.)

Foster Wheeler Energia Oy Groupin päätuotteita ja sen tarjoamia palveluita ovat erityyppisten kattilalaitosten toimitukset sekä niiden ylläpitoon liittyvät toiminnot. Tuotevalikoimaan kuuluvat mm. kiertopetikattilat (CFB), kuplapetikattilat (BFB), jätelämpökattilat (WHB), lämmöntalteenottokattilat (HRSG) sekä erilaiset kaasuttimet, lauhduttimet, lämmönsiirtimet ym. voimalaituskattiloihin liittyvät komponentit. Palveluvalikoimaan taas kuuluvat mm. erityyppiset kattiloiden modernisointiprojektit, service-toiminnot eli kunnossapito, huolto ja koulutustoiminnot sekä varaosapalvelut.

Suomessa FWE OY Group toimii kolmella paikkakunnalla, Espoossa, Varkaudessa ja Kurikassa. Lisäksi yrityksellä on tytäryhtiöt Ruotsissa (Norrköping) ja Saksassa (Düsseldorf). FWE Group työllistää lähes 500 henkilöä, joista suurin osa, noin 450, työskentelee Suomessa. (Foster Wheeler Energia Oy 2011a; Foster Wheeler Energia Oy 2011c.)

2.2 Service

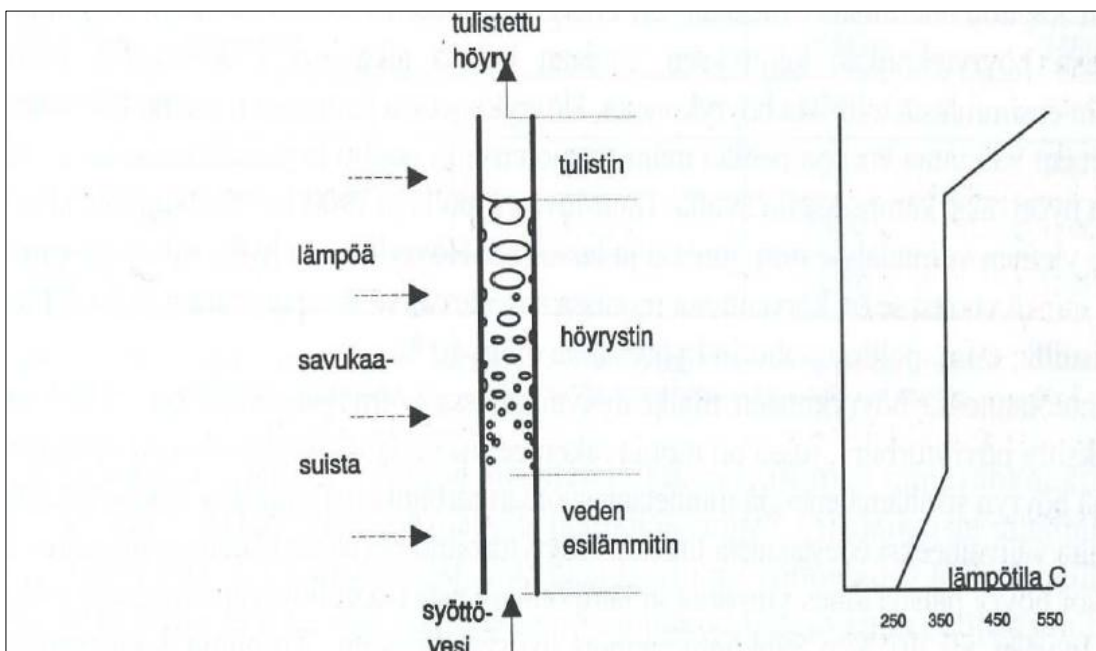
Foster Wheeler Energia Oy Service vastaa omien ja muiden kattilavalmistajien toimittamien voimalaitoskattiloiden huoltotoimenpiteistä, perusparannuksista sekä korjauksista. Servicen erikoisosaamisaluetta ovat muun muassa kattilan painerungon ja kattilalaitoksen komponenttien kunnossapito sekä asiantuntijuus WHB-jätelämpökattiloista. (Foster Wheeler Energia Oy 2011c.)

Service suunnittelee, toteuttaa, valvoo sekä raportoi asiakkaalle tarpeellisista kunnossapito-, huolto- tai korjaustoimenpiteistä. Service-toiminnalle on ominaista varsin lyhytkestoiset projektit, kestoiltaan muutamasta viikosta pariin vuoteen, mutta projekteja on käynnissä useita yhtä aikaa. Joustavaa toimintaa varten Servicellä on myös omat valmistuskonepajat Varkaudessa ja Kurikassa sekä asentajia ja hitsaajia. Servicen tuotantotyökaluihin kuuluu muun muassa modernit paneelihitsauskoneet, putkentaivutuslaitteistot, paneeliportaalit sekä kaikki normaalit konepajakalustot. Servicellä on käytössä 24/7-päivystyspalvelu vauriotapauksia varten ja varaosapalvelu, joka toimittaa alkuperäisvaraosia erilaisiin kattilalaitoksiin. (Foster Wheeler Energia Oy 2011c.)

3 HÖYRYKATTILATEKNIikka

Höyrykattilan perusajatuksena on tuottaa kattilaan syötetystä vedestä höyryä. Yksinkertaistettuna höyrykattila toimii siten, että kattilan putkistoon syötetään sen toisesta päästä vettä nestemäisenä sisään ja putkiston toisesta päästä se tulee ulos tulistuneena vesihöyrynä. Muuttuakseen nestemäisestä olomuodosta tulistetuksi höyryksi vesi lämmitetään, höyrystetään ja lopuksi tulistetaan. Nämä vaiheet, jotka vesi käy kattilan putkistoissa läpi, kuluttavat energiaa. Vaadittu lämpöenergia tuotetaan putkistoon joko polttamalla kattilassa fossiilisia polttoaineita tai hyödyntämällä teollisten prosessien tuottamaa hukkalämpöä. (Huhtinen ym. 2000, 7.)

Kattilassa polttoaine reagoi palamisilmassa olevan hapen kanssa, jolloin polttoaineeseen sitoutunut kemiallinen energia saadaan muutettua savukaasuihin sitoutuneeksi lämpöenergiaksi. Savukaasuihin sitoutuneen lämpöenergian avulla vesi lämmitetään ensin höyrystymislämpötilaan. Tämän jälkeen vesi höyrystetään painetta vastaavassa höyrystymislämpötilassa ja lopuksi muodostunut vesihöyry lämmitetään höyrystymislämpötilaa korkeampaan lämpötilaan, jolloin puhutaan vesihöyryn tulistamisesta. Kuvassa 3 on esitetty veden muuttuminen höyryksi ja edelleen tulistetuksi höyryksi sekä lämpötilan muuttuminen vettä höyrystettäessä ja tulistettaessa. (Huhtinen ym. 2000, 7.)



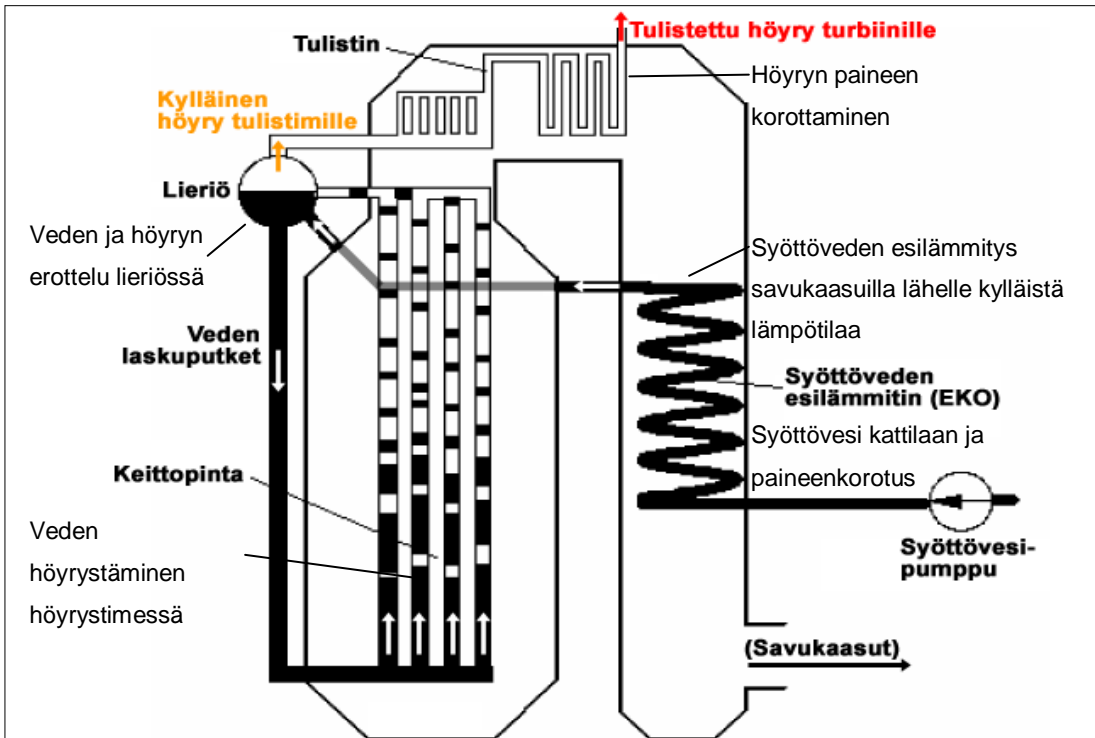
KUVA 3. Veden höyrystyminen ja tulistuminen kattilassa (Huhtinen ym. 2000, 7)

3.1 Kattiloiden vesihöyrypiirit

Kattilat voidaan jakaa vesihöyrypiirin mukaan suurvesitilakattiloihin ja vesiputkikattiloihin. Suurvesitilakattiloissa savukaasut kulkevat ensin tulitorvessa ja sen jälkeen seuraavissa tuliputkissa ja vesi höyrystyy niiden ulkopuolella toisin kuin vesiputkikattiloissa, joissa vesi höyrystyy kattilan putkissa. Suurvesitilakattiloita käytetään lähinnä teollisuudessa matalapaineisen höyryn tuotantoon, silloin kun höyryä tarvitaan niin vähän, ettei sähköntuotanto kannata. Vesiputkikattilarakenne sopii paremmin korkeammille paineille mistä syystä voimalaitoskattilat ovat vesiputkikattiloita. Vesiputkikattilat, joita käytetään voimalaitosprosesseissa, voidaan vedenkierron mukaan jakaa luonnonkiertokattiloihin, pakkokiertokattiloihin sekä läpivirtauskattiloihin. (Huhtinen ym. 2000, 111.)

3.2 Luonnonkiertokattila

Nimitys luonnonkiertokattila tulee siitä, että höyrystyvä vesi kiertää putkistoissa ilman erillistä pumppaamista. Luonnonkiertokattilassa veden ja vesihöyryn kierto lieriön ja höyrystimen välillä tapahtuu veden ja vesihöyryn tiheyseron avulla. Lieriöstä lähtevä veden laskuputki ja tulipesää ympäröivä höyrystinputkisto muodostavat yhtenäisen putkiston. Höyrystinputkistossa osa vedestä muuttuu höyryksi tulipesästä siirtyvän lämmön vuoksi, tällöin höyrystinputkistossa olevan veden ja vesihöyryn seoksen tiheys on pienempi kuin laskuputkessa olevan kylläisen veden. Tiheyseroihin perustuen höyrystinputken kevyempi seos nousee ylöspäin ja virtaa takaisin lieriöön, samalla kun laskuputkesta virtaa tiheämpää kylläistä vettä tilalle. Kuvassa 4 on esitettyä luonnonkiertokattilan toimintaperiaate ja veden sekä höyryn kierron vaiheet kattilassa. (Huhtinen ym. 2000, 113.)

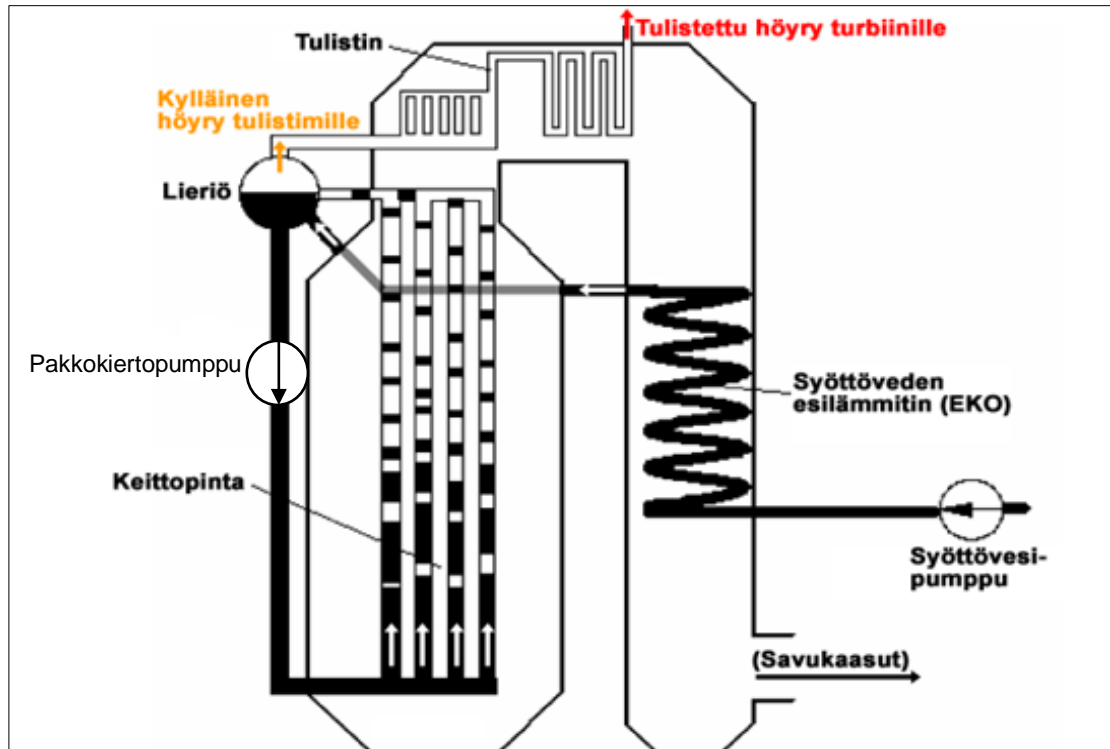


KUVA 4. Luonnonkiertokattilan vesihöyrypiiri (muokattu lähteestä Huhtinen ym. 2000, 113)

3.3 Pakkokiertokattila

Pakkokiertokattilassa vesi kiertää höyrystimessä pumpun avulla. Höyrystimessä muodostunut veden ja vesihöyryn seos jatkaa pumppujen muodostaman paineen avulla takaisin lieriöön, joka on pakkokiertokattilassa yleensä samanlainen kuin luonnonkiertokattilassa. Syklonilla varustettu lieriö erottelee veden ja vesihöyryn, minkä jälkeen vesi palautuu takaisin kiertoon ja vesihöyry johdetaan tulistimille. Pumpun kavitointi saadaan vältettyä sijoittamalla pumppu tarpeeksi lieriön alapuolelle, jottei kylläinen vesi höyrystyisi pumpussa. (Huhtinen ym. 2000, 117.)

Pakkokiertokattilan etu on sen soveltuvuus hieman korkeammille paineille kuin luonnonkiertokattila. Lisäksi höyrystinputkisto voidaan tarpeen vaatiessa rakentaa lähes miten päin tahansa sekä mitoittaa putkisto suuremmille painehäviöille kuin luonnonkiertokattilassa. Pakkokiertokattiloiden kiertoluvut ovat yleensä 3–8 minkä takia höyrystinputket voivat olla pakkokiertokattilassa halkaisijaltaan pienempiä ja hinnaltaan edullisempia kuin luonnonkiertokattilassa. Kuvassa 5 on esitettyä pakkokiertokattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 2000, 118.)



KUVA 5. Pakkokiertokattilan vesihöyrypiiri (muokattu lähteestä Huhtinen ym. 2000, 113)

3.4 Läpivirtauskattilat

Läpivirtauskattilat voidaan vedenkierron mukaan ajatella pitkäksi, ulkopuolelta lämmitetyksi putkeksi tai putkiryhmäksi, jonka toisesta päästä vesi syötetään sisään ja jonka toisesta päästä se tulistuneena höyrynä poistuu. Läpivirtauskattilat poikkeavat luonnonkiertokattiloista siinä, ettei niissä ole lieriötä, jossa kattilassa muodostunut höyry erotettaisiin vedestä, eikä siis myöskään lieriön ja höyrystimen välistä kattilan sisäistä kiertoa. Läpivirtauskattiloiden kiertoluku on näin ollen yksi. (Huhtinen ym. 2000, 120.)

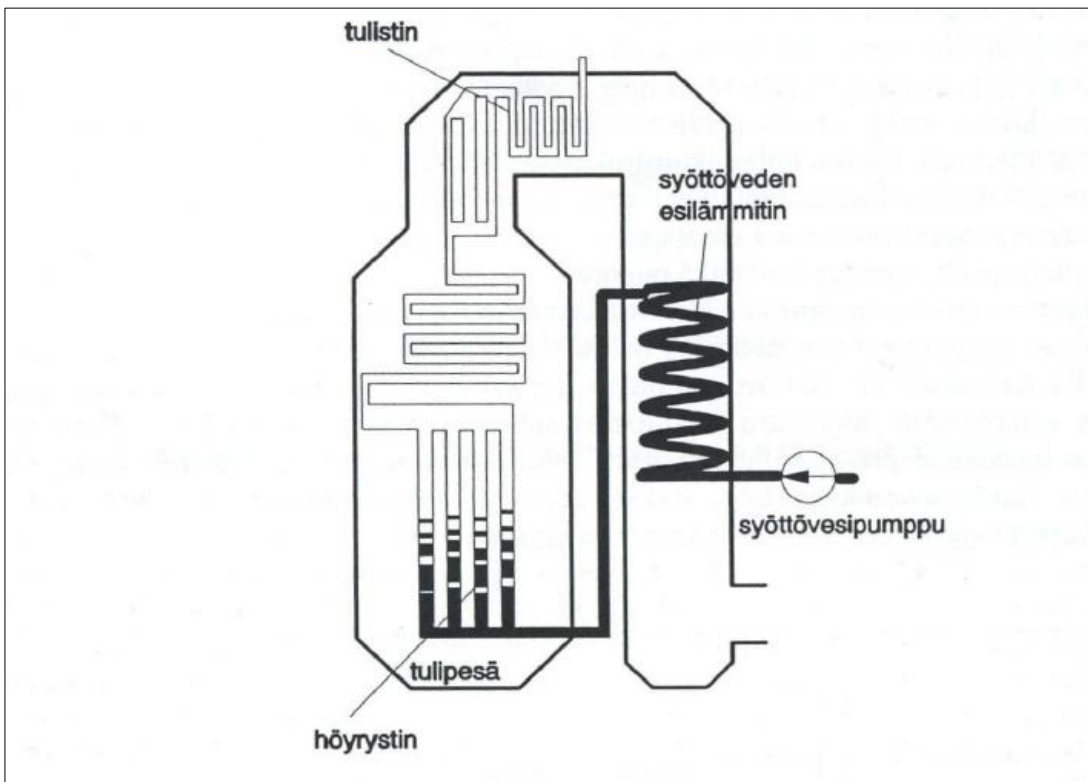
Läpivirtauskattilat voidaan jakaa vesihöyrykierron mukaan kahteen ryhmään. Sulzerkattilat toimivat vakiohöyrystymispisteessä kun taas Benson-kattilat toimivat kuorman mukaan vaihtelevassa höyrystymispisteessä. Läpivirtauskattilat vaativat puhtaampaa syöttövedtä kuin lieriökattilat, koska läpivirtauskattiloissa kaikki vesi höyrystyy eikä vettä ja siihen mahdollisesti konsentroituvia, kattilakiveä aiheuttavia suoloja poisteta ulospuhalluksella kuten lieriökattiloissa. (Huhtinen ym. 2000, 120.)

Koska läpivirtauskattiloissa ei vettä ja höyryä eroteta, ne soveltuvat myös ylikriittisiin

paineisiin. Läpivirtauskattiloiden virtausputket voidaan rakentaa pieniläpimittaisista putkista, koska vesi virtaa pumpun tuottamalla paineella. Tosin läpivirtauskattiloiden syöttöveden pumppaus vaatii paljon tehoa suurten painehäviöiden (jopa 40 - 50 bar) vuoksi. Tietyin paineenkeston saavuttamiseksi pieniläpimittaisten putkien ei tarvitse olla niin paksuseinäisiä kuin suuriläpimittaisten putkien. (Huhtinen ym. 2000, 120.)

Läpivirtauskattiloiden käynnistäminen ja ylösajaminen on nopeampaa kuin luonnonkiertokattiloiden, koska niiden vesitilavuus on pienempi ja putkiseinämät ohuempat kuin luonnonkiertokattiloiden, jolloin lämpöä varaavia massojakin on vähemmän. Pienen vesitilavuuden vuoksi läpivirtauskattilat tarvitsevat herkän ja hyvätasoisien säätöautomaatiikan. (Huhtinen ym. 2000, 120.)

Läpivirtauskattiloita käytetään suurissa voimalaitoksissa, kun halutaan rakentaa voimalaitosprosessi korkealle tuorehöyrinpaineelle sähköntuotannon hyötysuhteen parantamiseksi. Kuvassa 6. on esitettyä Benson-kattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 2000, 120.)



KUVA 6. Muuttuvan höyrystymispisteen läpivirtauskattila (Huhtinen ym. 2000, 124)

4 KATTILATYYPIT

Kattilatyypit jaetaan usein niiden polttoaineiden polttotavan tai tulipesärakenteen mukaan. Kattilalaitoksissa käytettäviä polttoaineiden polttotapoja sekä tulipesäratkaisuja on olemassa useita eri variaatioita. Tässä luvussa esitellään polttotavoista leijukerros poltto sekä sen kattilasovelluksista leijupetikattila ja kiertopetikattila. Jätelämpökattila ja sen rakenne esitetään tarkemmin seuraavassa luvussa.

4.1 Leijukerros poltto

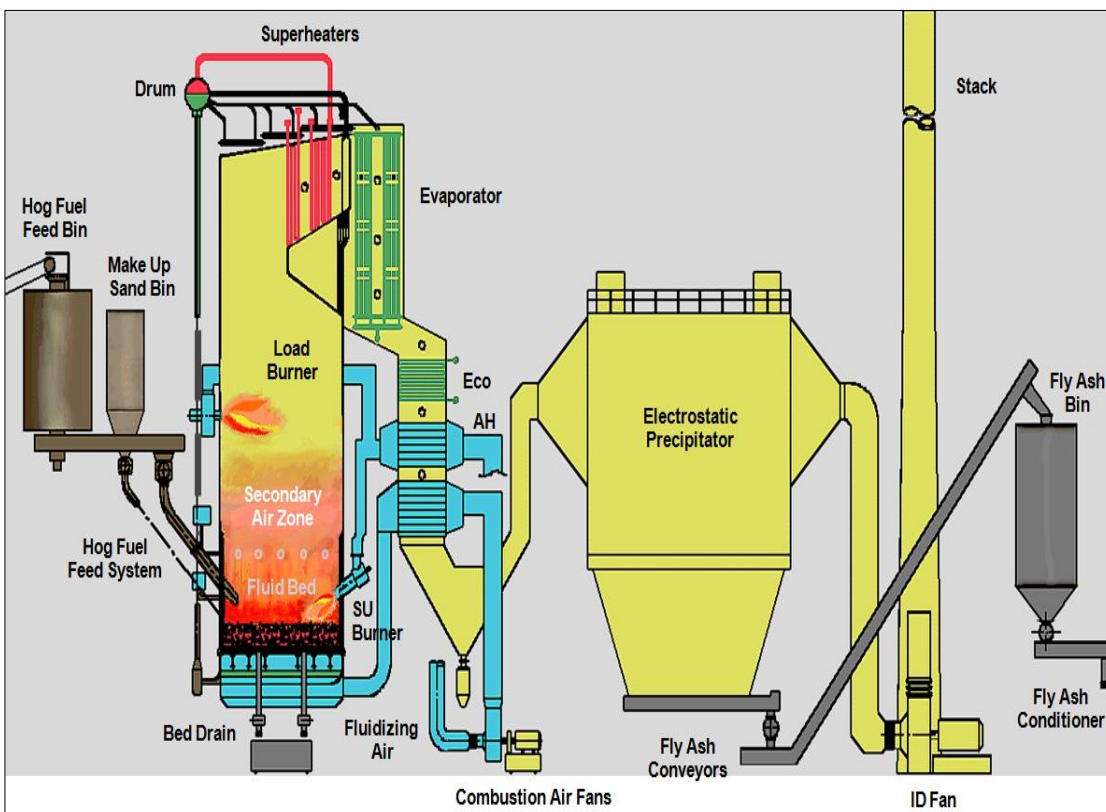
Leijukerros polttoa on alettu soveltaa energiantuotannossa 1970-luvulla, jota ennen sitä on kuitenkin käytetty monissa muissa teollisuuden sovelluksissa. Leijukerros poltto on yleistynyt voimakkaasti viime vuosikymmeninä, koska sen polttotapa mahdollistaa useiden eri polttoaineiden polton. Huonolaatuisetkin polttoaineet pystytään leijukerros poltolla polttamaan kattilassa korkealla palamishyötysuhteella. Toinen merkittävä tekijä leijukerros polton suosimiseen on sen palamistapahtuman alhainen lämpötila, joka vähentää merkittävästi typenoksidipäästöjä. Lisäksi leijukerros tekniikka mahdollistaa rikinpuhdistuksen savukaasuista syöttämällä kalkkia suoraan tulipesään. (Huhtinen ym. 2000, 153.)

Leijukerros polton toiminta perustuu nimensä mukaisesti kattilan tulipesässä leijuvaan hiekkakerrokseen, jota kutsutaan pediksi tai patjaksi. Leijutus tulipesässä tapahtuu ilmavirtauksen avulla, jonka aikaansaaman paine-eron on oltava samansuuruinen hiekkakerroksen hydrostaattisen paineen kanssa, jotta hiekkapeti saadaan leijumaan. Leijutukseen vaadittavan ilmavirran nopeuteen vaikuttaa leijutettavan hiekan hiukkaskoko. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mitä pienempi on pedissä olevan hiekan hiukkaskoko, sitä pienemmällä ilman virtausnopeudella polttokerros saadaan leijumaan. Ilmavirtauksen nopeudesta, jolla sen hiekkapartikkeleihin kohdistuva voima on yhtä suuri kuin maan vetovoima eli hiekkakerros alkaa leijua, käytetään nimitystä minimileijutusnopeus. Leijukerros polttoa hyödyntäviä kattiloita on kahdenlaisia, kuplivia leijupetikattiloita tai kiertopetikattiloita. (Huhtinen ym. 2000, 154.)

4.2 Leijupetikattila (BFB-kattila)

Leijupetikattila, josta usein käytetään lyhennettä BFB-kattila (Bubbling Fluidized-Bed Boiler), hyödyntää edellisessä luvussa mainittua leijutustekniikkaa. Hiekkapatjaa leijutetaan tulipesässä minimileijutusnopeudella, ja kun minimileijutusnopeus ylitetään, alkaa hiekkapatja kuplia kiehuvan veden tavoin, mistä kattilan nimitys myös johtuu.

Leijupetikattilalle on ominaista hiekkapatjan suuri lämpökapasiteetti, jonka ansiosta sillä voidaan polttaa hyvinkin kosteita polttoaineita ilman erillistä kuivausta, ja lisäksi se tasaa tehokkaasti polttoaineen laatuheilahteluja. Tällä tavoin kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kosteakin polttoaine saadaan kuivumaan nopeasti ja lämpenemään syttymislämpötilaansa. Kuvassa 7 on esitettyä leijupetikattilan toimintaperiaate. (Huhtinen ym. 2000, 157 - 159.)



KUVA 7. BFB-kattila. (Foster Wheeler Energia Oy 2011b)

4.3 Kiertopetikattila (CFB-kattila)

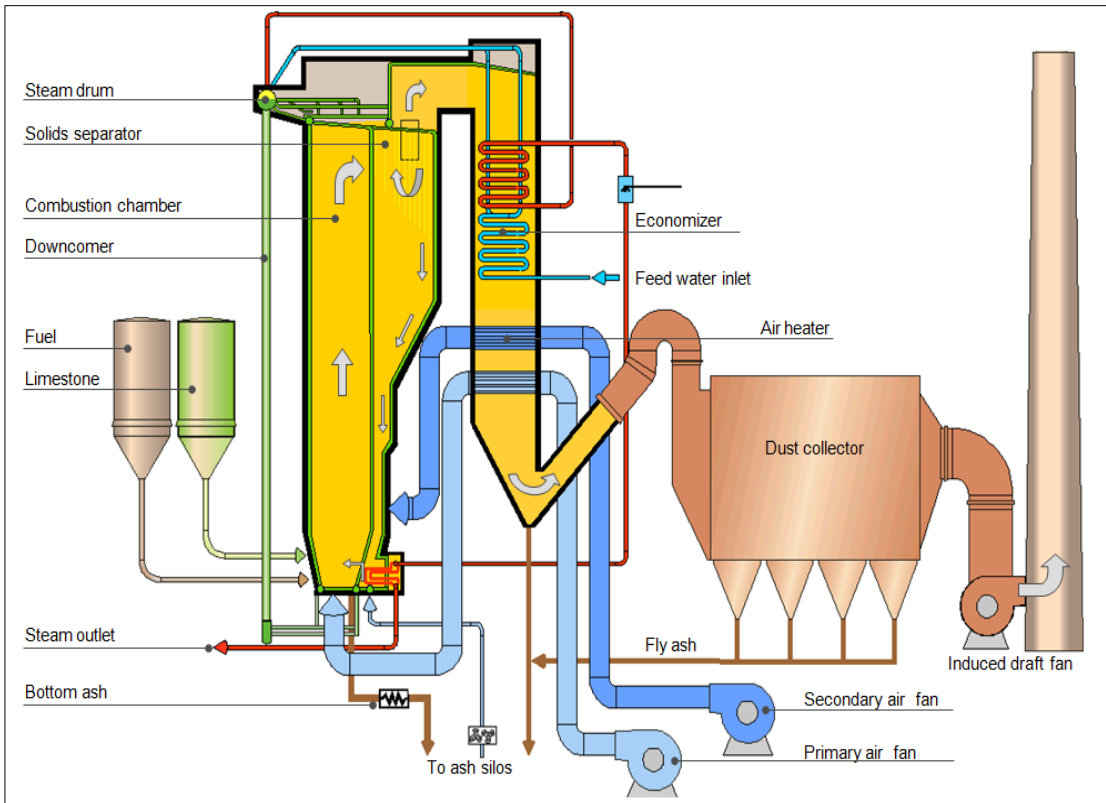
Kiertopetikattila, josta käytetään usein lyhennettä CFB-kattila (Circulating Fluidized Bed-Boiler), hyödyntää toiminnassaan leijutustekniikkaa kuten leijupetikattilakin. Erona on kiertopetikattiloissa käytettävä huomattavasti suurempi leijutusnopeus ja hienojakoisempi petimateriaali kuin leijupetikattiloissa. Suuremman leijutusnopeuden sekä petimateriaalin pienemmän partekkelikoon johdosta kiertopetikattilan toiminta tapahtuu leijutusalueella, jolle on ominaista voimakas pyörteisyys ja hiukkasten hyvä sekoittuminen. (Huhtinen ym. 2000, 159.)

Kiertopetikattilassa ei ole havaittavissa petin selkeää pintaa, koska osa petin hiekasta tempautuu savukaasujen mukaan, jolloin petin tiheys pienenee korkeuden funktiona. Kaasuvirtauksen mukana poistuvat hiukkaset erotetaan syklonissa ja palautetaan takaisin tulipesään. (Huhtinen ym. 2000, 159.)

Kiertopetikattilan toiminta mahdollistaa huonolaatuisten, vähän haihtuvia komponentteja sisältävien hiilipolttoaineiden polton hyvällä hyötysuhteella. Tällaisten polttoaineiden poltto leijukerros polttona tai pölypolttona ei onnistu, koska niistä ei saada riittävän hyvää palamistulosta. (Huhtinen ym. 2000, 159.)

Kiertopetikattilan pääosat ovat tulipesä ja siihen liitetty erillinen sykloni. Edellä mainitun polttoainetyypin polton mahdollistaakin nimenomaan syklonin käyttö polttotapahtumassa. Sykloni on sikäli merkittävä osa kiertopetikattilan toimintaa, että sen tehtävänä on palauttaa kiertävä petimateriaali ja palamattomat hiukkaset takaisin tulipesän pohjalle. Tällöin savukaasujen mukaan tempautuneet polttoainepartikkelit jotka ovat jääneet palamatta, saadaan palautettua takaisin tulipesään, jolloin niille saadaan tarpeeksi pitkä palamisaika ja sen ansiosta hyvä palamishyötysuhde. (Huhtinen ym. 2000, 161.)

Viime aikoina kiertopetikattiloiden kehitystyö onkin keskittynyt pitkälti sykloneihin, jotta palamishyötysuhdetta voitaisiin nostaa entisestään. Esimerkkinä syklonien kehityksestä voidaan mainita mm. jäähdytettyjen syklonit, jotka mahdollistavat ohuempien muurausten käytön kattiloissa, jolloin ne ovat nopeampia ylösajaa sekä helpommin säädettävissä kuin perinteisillä sykloneilla varustetut kiertopetikattilat. Kuvassa 8 on esitettyä kiertopetikattilan rakenne. (Huhtinen ym. 2000, 161 – 163.)



KUVA 8. CFB-kattila. (Foster Wheeler Energia Oy 2011b)

5 JÄTELÄMPÖKATTILA (WHB)

Tässä luvussa kuvataan WHB – kattilan rakenne ja toiminta yleisesti sekä perehdytään tarkemmin vaaka- ja pystymallisen kattilan rakenteeseen ja toimintaan. Luvun loppupuolella tarkastellaan työn aiheena olevia konvektiopaketteja. Tässä luvussa esitetty teoretieto pohjautuu pääosin FWE Oy:n, Service-osaston WHB Engineering Manual – dokumenttiin.

Jätelämpökattila, josta käytetään usein nimitystä WHB-kattila (Waste Heat Boiler), hyödyntää erityyppisten teollisten prosessien sivutuotteena muodostuvaa hukkalämpöä. Tätä taustaa vasten kuvaavampi nimitys olisikin prosessien hukkalämmön talteenottokattila, joissain sovelluksissa puhutaan myös kombikattiloista. Tyypillisimpiä teollisia prosesseja, joissa muodostuu paljon talteen otettavaa lämpöä prosessin sivutuotteena ovat esimerkiksi metallurgiset prosessit.

Metallurgisen prosessin jätelämpökattilan toiminnan tarkoitus on jäähdyttää uunista tulevia kuumia prosessikaasuja sekä ottaa talteen lämpöä ja energiaa paineistetun höyryn muodossa. Lisäksi prosessikaasujen mukana kulkeva pöly pyritään talteen ottamaan kattilan lämpöpinnoilta jousivasarajärjestelmällä jatkokäsittelyä varten, jolloin samalla estetään pölyn liiallista lämpöpinnoille kertymistä.

Jätelämpökattilassa tuotettavan paineisen höyryn tuottamisprosessi on samantyyppinen kuin aiemmin kuvatun pakkokiertokattilan höyryntuottamisprosessi. Eroavana tekijänä on se, että veden höyrystymisen vaatiman lämmön tuottavat kuumat prosessikaasut eivätkä savukaasut. Tuotettu höyry voidaan hyödyntää joko sähköntuottamiseen johtamalla paineistettu höyry tulistettavaksi ja edelleen turbiinien läpi. Muitakin höyryn hyödyntämismuotoja on, se voidaan esimerkiksi käyttää lämmitykseen tai prosessin muiden vaiheiden lämpöä tai höyryä vaativiin vaiheisiin.

WHB - kattilat ja niiden osat ovat jatkuvasti prosessikaasujen kanssa tekemisissä ja altistuvat korkealle kuumuudelle sekä kaasujen sisältämille epäpuhtauksille. Kattilan läpi johdetut kaasuvirtaukset aiheuttavat eroosiota ja käyttöolosuhteet korroosiota kattilan osiin ja rakenteisiin. Lisäksi prosessikaasujen sisältämät epäpuhtaudet aiheuttavat ongelmia kattilan sisäisiin rakenteisiin likaantumisen ja tukkeentumisen muodossa. WHB - kattilan toiminnan ylläpitoon onkin kehitetty erilaisia sovelluksia, joilla likaantumista ja tukkeentumista voidaan hallita, näistä voidaan esimerkkinä mainita kattilan lämpöpintoja puhdistavat jousivasarajärjestelmät. Likaavista ja

kuumista käyttöolosuhteista johtuen WHB - kattilat ja niiden osat vaativat erikoisrakenteita- ja materiaaleja ja ovat sen vuoksi usein rakenteellisesti haastavia valmistaa.

5.1 WHB-kattilan rakenne

WHB – kattila sijaitsee metallurgisessa prosessissa heti seuraavana sulatusuunista. Kattilasta prosessikaasut johdetaan tyypillisesti kaasun puhdistukseen ja jatkokäsittelyyn. Prosessikaasut sisältävät usein matalissa lämpötiloissa korroosiota aiheuttavia komponentteja, mistä syystä kylmiksi jääviä kohtia kattilan rakenteissa on vältettävä. Toiminnaltaan metallurgian jätelämpökattiloiden on oltava luotettavia, koska ne ovat osa laajaa metallurgian prosessia ja häiriöt toiminnassa ovat kalliita ja myös vaarallisia.

WHB – kattilan perusosat ovat kattilan kannatusrakenteet, vedenkiertoon liittyvät komponentit, säteilypesä väliseininen ja verhoineen, konvektio-osa paketteineen, jousivasarajärjestelmät, pölykuljettimet, huolto- ja kävelytasot sekä tarkastus- ja huoltoluukut

Metallurgisten prosessien WHB - kattilat voidaan jakaa vaaka- ja pystykattiloihin. Toiminnaltaan ne ovat pakkokierto-kattiloita eli vedenkierto saadaan aikaan kiertovesipumpuilla. Pakkokierto-kattilan toimintaperiaate on kuvattu tarkemmin luvussa 3.3.

5.2 Vaakakattila

Vaakasuuntainen jätelämpökattila alkaa prosessikaasujen tuloaukosta. Kattilan ja uunin välissä sijaitsee palje, jolla on otettu huomioon lämpövaihteluista aiheutuvat siirtymät. Vaakakattilan pääosia ovat vedenkiertoon liittyvät komponentit, säteilypesä, konvektio-osa, tarkastusluukut lämpöpintojen tarkkailuun sekä huoltoluukut kattilan huoltotoimenpiteitä varten. Lisäksi kattilan ulkopuolelle on sijoitettu moottori tai pneumaattikkäyttöisiä jousivasaroita, joiden tehtävä on poistaa kiinteät epäpuhtauskerrostumat lämmönsiirtopinnoilta.

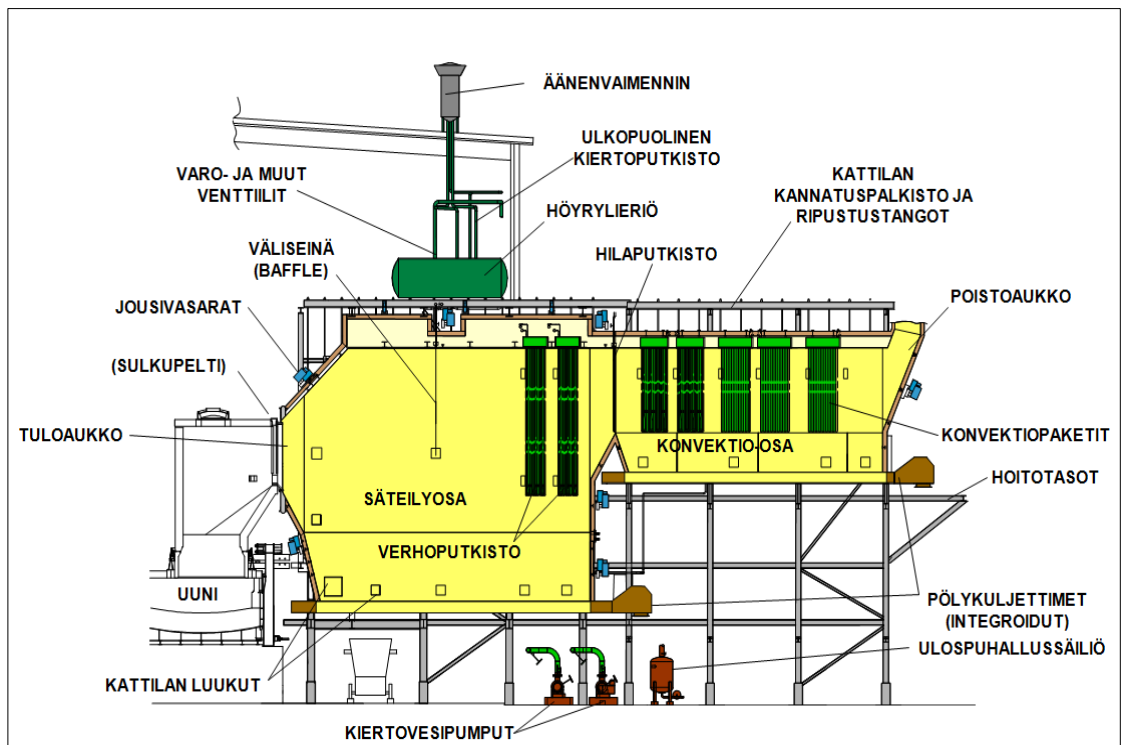
Vaakakattila toimii siten, että kuumat prosessikaasut imetään uunista savukaasupuhaltimen avulla, joka sijaitsee prosessissa jätelämpökattilan jälkeen.

Prosessikaasut johdetaan ensin säteilypesään josta ne jatkavat matkaansa kattilan konvektio-osaan.

Säteilypesä koostuu membraaniputkiseinistä, säteilyverhoista sekä usein myös riippuvista väliseinistä. Säteilypesän tehtävänä on jäähdyttää kuumia prosessikaasuja ennen niiden kulkeutumista konvektio-osaan. Nimensä mukaisesti prosessikaasut jäähtyvät säteilypesässä säteilemällä lämpöä kattilan seinäosiin ja verhoputkistoihin, joissa osa vedestä höyrystyy.

Prosessikaasujen jäähdyttäminen säteilypesässä tapahtuu riippuvien väliseinien ja säteilyverhojen avulla. Väliseinillä ohjataan prosessikaasujen virtausta siten, että ne jakaantuisivat koko säteilypesän alueelle parantaen ja tasapainottaen lämmönsiirtoa. Säteilyverhojen tehtävä on jäähdyttää prosessikaasuja ennen niiden johtumista konvektio-osaan.

Konvektio-osassa prosessikaasut ohjataan kulkemaan useamman konvektiopakettin läpi. Tällä tavoin kaasujen lämpötila saadaan alennettua kattilan ulostulokohdalle asetettuun tavoitelämpötilaan. Konvektio-osa koostuu seinämät muodostavista membraaniputkiseinistä sekä konvektiopaketeista, joiden rakenne esitetään tarkemmin luvussa 6. Kuvassa 9 on esitettyä vaakakattilan rakenne.



KUVA 9. WHB-vaakakattilan rakenne. (Foster Wheeler Energia Oy 2011b)

5.3 Pystykattila

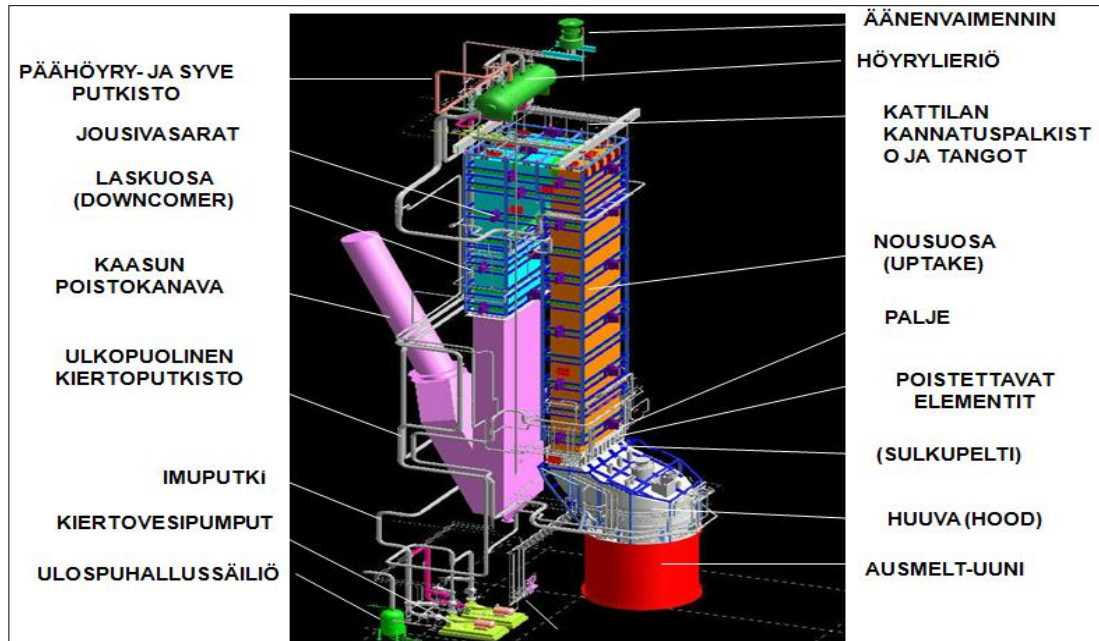
Pystysuuntainen jätelämpökattila on toiminnaltaan melko samantyyppinen kuin vaakakattila, eroavat tekijät löytyvät kattilan rakenteesta. Pystysuuntainen jätelämpökattila alkaa suoraan uuniin päältä. Kattila on liitoksissa uuniin huuvan kautta, joka lasketaan kuuluvaksi uuniin, mutta joissain tapauksissa se liitetään kattilan kanssa samaan vesikiertoon.

Pystykattilan pääosia ovat vedenkiertoon liittyvät komponentit, pystysuorat nousu- ja alasveto - osa sekä mahdollisesti vaakatasossa oleva konvektio - osa, joka sijaitsee kattilassa alasveto - osan jälkeen. Lisäksi jousivasarajärjestelmät sekä tarkastus- ja huoltoluukut kuuluvat rakenteeseen kuten vaakakattilassa, erona on niiden sijoittelu. Pystykattilassa jousivasarajärjestelmät on sijoitettu nousu- ja laskuosan ulkopuolelle ja niiden tehtävä on poistaa kiinteät epäpuhtauskerrostumat membraaniseiniä sisäpuolelta.

Kuten vaakakattilassa, myös pystykattilassa kuumat prosessikaasut imetään uunista savukaasupuhaltimen avulla, joka sijaitsee prosessissa jätelämpökattilan jälkeen. Prosessikaasut johdetaan ensin huuvaan, josta ne jatkavat matkaansa kattilan nousu- ja laskuosaan ja sitä kautta konvektio - osaan.

Huuva sekä sen kattoalue on rakennettu membraaniputkiseinistä. Huuva on muotoiltu pohjastaan pyöreäksi ja se muutetaan suorakaiteen muotoiseksi muutokappaleen avulla. Muotoilulla pyritään estämään pölyn kertyminen huuvaan.

Nousu- ja laskuosan seinämät rakennetaan myös membraaniputkiseinistä. Seinillä muodostetaan suorakaiteen muotoiset kanavat nousu- ja laskuosaan. Prosessikaasut jäähtyvät nousuosassa säteilemällä lämpöä kanavan seiniin, joiden putkissa vesi höyrystyy. Jäähdytys on tarkoitus maksimoida nousuosassa ennen yläosan käännöstä, josta kaasut ohjautuvat alasveto-osaan. Alasveto-osasta kaasut johdetaan konvektio-osaan joka toimii samalla tavoin kuin vaakakattilassa. Kuvassa 10 on esitettyä pystykattilan rakenne.

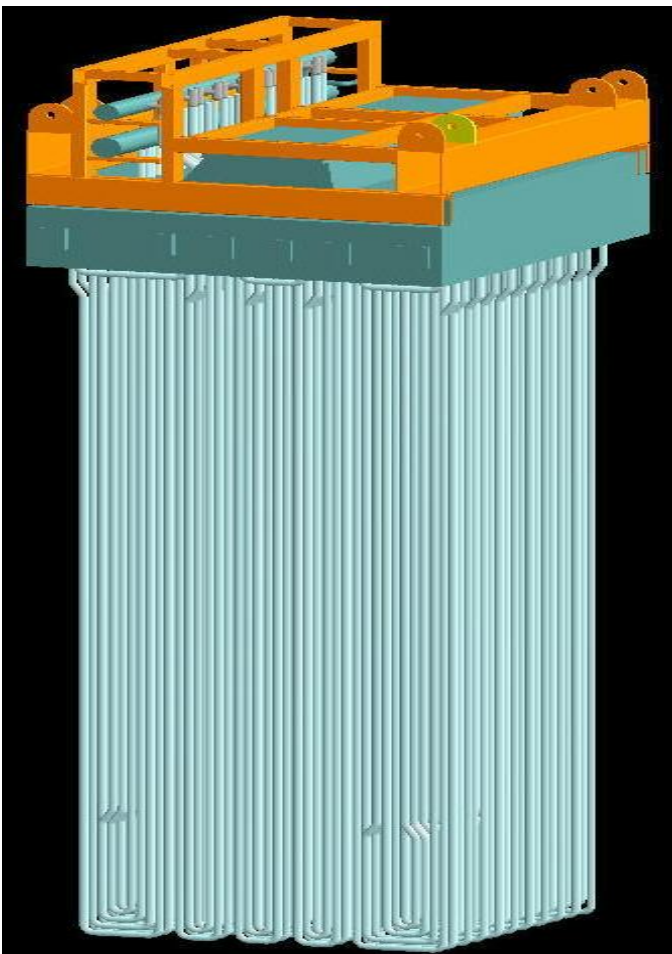


KUVA 10. WHB-pystykattilan rakenne. (Foster Wheeler Energia Oy 2011b)

6 KONVEKTIOPAKETTIEN RAKENNE

Konvektiopaketit sijaitsevat kattilan konvektio-osassa, johon prosessikaasut johdetaan säteilypesän jälkeen. Konvektiopaketit sijoitetaan konvektio-osaan siten, että niitä on useampia peräkkäin ja niiden pääasiallinen tehtävä on jäähdyttää prosessikaasut kattilan ulostulossa tavoiteltuun kaasujen loppulämpötilaan ja samalla ottaa talteen lämpöä paineisen vesihöyryseoksen muodossa.

Konvektiopaketeilta vesihöyryseos johdetaan höyrylieriöön, jossa siitä vedenerottimilla ja demisteriverkoilla erotetaan vesi- ja höyry toisistaan. Vesi palaa takaisin kattilan kiertoon sekoittuen uuteen syöttöveeteen, ja kylläinen höyry voidaan halutun käyttötavan mukaan johtaa prosessin käyttöön, lämmöntuottoon tai tulistukseen, jolloin höyry voidaan ajaa turbiinin läpi sähköksi. Kuvassa 11 on esitettyä konvektiopaketin rakenne.



KUVA 11. Konvektiopaketin rakenne (Foster Wheeler Energia Oy 2011b)

Konvektiopaketteihin kuuluu oma kannatusrakenne, ja siten ne voidaan nostaa melko helposti ylös esimerkiksi korjausta varten ja laskea sen jälkeen takaisin paikoilleen. Konvektiopaketteja kannatetaan kattilan konvektio-osassa joko riiputtamalla tai kannattamalla. Kiinteästi konvektiopaketteja ei voida sijoittaa konvektio-osaan, koska niiden on pystyttävä seuraamaan lämpölaajenemisen aiheuttamia siirtymiä rakenteessa.

Riiputetuissa malleissa paketit kannatetaan kannatustankojen välityksellä konvektio-osan yläpuolisesta teräsrakenteesta. Kannatustangot ja kannatuskorvalliset on sijoitettu paketissa sen molempiin päihin. Toinen vaihtoehto pakettien kannatukseen on niiden kannatus alapuolisesta teräsrakenteesta kannatusrullien välityksellä. Kannatusrullat on sijoitettu kannatusrakenteen molempiin päihin ja niillä otetaan huomioon konvektio-osan lämpöliikkeet.

Kannatustavasta riippumatta konvektiopakettit liitetään kaasutiiviisti olemassa olevaan kattilarakenteeseen. Tämän vuoksi pakettien rakenteeseen kuuluu useita kaasutiiveyslevyjä. Kaasutiiveys pyritään saamaan konvektiopakettiin mahdollisimman pitkälle paketin kokoonpanon aikana ja vain liitoslevyt, joilla paketti liitetään kattilan konvektio-osaan, jätetään asennusvaiheessa hitsattaviksi.

Konvektiopakettien vesikiertoon liittyvät peruskomponentit ovat putkikierrot, jakokammiot suuttimineen sekä kattoputket, joita ei välttämättä kaikissa paketeissa aina ole. Putkikierrot ovat konvektiopakettien lämpöpintoja, joilla prosessikaasujen lämpö otetaan talteen ja samalla jäähdytetään kaasuja. Konvektiopakettien putkikierrot voivat olla avojakoisia, verhomallisia tai näiden yhdistelmiä. Konvektiopakettit liitetään asennusvaiheessa samaan vesikiertoon koko konvektio-osan kanssa.

Konvektiopakettien toimintaa ylläpidetään jousivasaroiden ja iskutankojen avulla. Iskutangot, jotka voivat olla jäähdytettyjä tai jäähdyttämättömiä, liitetään hitsaamalla putkikiertoihin ja niiden tehtävänä on välittää iskutangon päähän iskevän jousivasaran iskuenergia putkikiertoihin. Putkikiertoihin kohdistuva isku aikaansaa värähtelyjä ja irrottaa lämpöpinnoilta kiinteät pölyhiukkaskertymät. Tällä tavoin estetään mahdollinen lämpöpintojen tukkeutuminen sekä saadaan putkikierroista irtoavat, kattilan pohjalle putoavat pölykertymät, otettua talteen pölykuljettimilla ja uudelleen prosessin käyttöön.

7 TYÖN TOTEUTUS

Tässä luvussa kuvataan konvektiopakettien optimoinnin suoritusprosessi. Alussa esitetään tehtävän asettelu ja rajaus sekä työlle asetetut tavoitteet. Työn suoritusta kuvaavassa osiossa perehdytään opinnäytetyön suoritustapaan, kuvataan tehtävän rajauksen mukaisten valmistusprosessin vaiheiden nykytilat, kehitysehdotukset sekä tavoitetilat.

7.1 Tehtävän asettelu

Tämän opinnäytetyön aiheeksi asetettiin WHB-kattilan konvektiopakettien optimointityö. Aiheen valintaan vaikuttivat mm. konvektiopaketin monimutkainen rakenne sekä useat eri valmistusvariaatiot. Monimutkainen rakenne asettaa varsinkin konvektiopakettien kokoonpanovaiheeseen valmistusteknisiä haasteita, jotka pidentävät kokoonpanovaiheen läpimenoaikaa ja heikentävät kustannustehokkuutta.

Useat eri valmistusvariaatiot toiminnallisesti samankaltaisista rakenteista, joita konvektiopaketeista valmistetaan, aiheuttavat varsinkin kokoonpanovaiheeseen valmistusrutiinin ja toistuvuuden puutetta. Tämä heijastuu samalla tavalla kokoonpanon läpimenoaikaan ja kustannustehokkuuteen kuin valmistettavuudeltaan haastavat rakenteet.

Asettelu vaiheessa oli huomioitava myös se, että konvektiopaketit ovat painelaitteita eli niiden valmistusta ohjaavat tarkoin painelaittevalmistusdirektiivien mukaiset reunaehdot, määräykset ja rajoitteet. Lisäksi konvektiopakettien käyttöolosuhteet ovat vaativia. Ne altistuvat käytössään varsinkin kuumuudelle sekä eroosiota ja korroosiota aiheuttaville tekijöille ja olosuhteille, jotka tekevät rakenteiden suunnittelusta ja valmistuksesta vaativaa. vaikuttavat Osaltaan rakenteiden monimutkaisuus johtuu edellä mainituista tekijöistä, eikä niitä tästä syystä ole aina mahdollista muuttaa.

7.2 Tehtävän rajaus

Konvektiopaketin kustannustehokkuutta olisi varmasti mahdollista kasvattaa monilla eri osa-alueilla ajatellen kokonaisuutta sen valmistusprosessista. Opinnäytetyö oli kuitenkin tärkeää rajata riittävän tarkoin, jotta siitä saatava hyöty saataisiin maksimoitua asettajan kannalta ja pidettyä työ laajuudeltaan siihen varattujen resurssien sisällä.

Aiemmin mainittuja taustoja vasten konvektiopaketin kokoonpanovaihe on havaittu valmistuskustannuksia eniten aiheuttavaksi valmistusprosessin osa-alueeksi. Tämän vuoksi opinnäytetyö rajattiin koskemaan erityisesti kokoonpanovaiheiden tarkastelua ja sen valmistettavuuden parantamista sekä rakenteiden yksinkertaistamista. Tässä vaiheessa nousee esille myös suunnittelun ohjeistaminen tuotannosta saadun valmistettavuuden kehityspalautteen pohjalta. Tämä sen vuoksi, että suunnitteluvaiheessa määräytyy suurin osa tuotteen valmistuskustannuksista, joten tuotannon antama palaute on erittäin huomionarvoinen kustannustehokkuutta tavoiteltaessa.

Lisäksi konvektiopaketin suunnittelua tehostavia keinoja kartoitettiin rajaten koskemaan se työkuvasuunnittelua. Työkuvasuunnittelun kehitysehdotukset liittyvät yrityksen sisäiseen kehitysprojektiin, jossa tavoitteena on löytää Service-osaston suunnitteluun ehkä paremmin soveltuva suunnitteluohjelmisto, jolla pyritään parantamaan suunnittelun tehokkuutta ja tuottavuutta.

Opinnäytetyön edetessä aloituspalaverissa tehtyä rajausta vielä tarkennettiin välikatselmuksessa, joka pidettiin, kun tarpeeksi taustatietoa ja kehitysehdotuksia oli saatu kerättyä. Tällöin käytiin läpi alkuperäisen rajauksen mukaiset nykytila-analyysit sekä kehitysehdotusten pohjalta muodostetut tavoitetilan kuvaukset ja muutettiin niiden pohjalta hieman alkuperäistä työn rajausta. Tämä tehtiin sen vuoksi, että opinnäytetyöstä syntyvä lopputuote saataisiin mahdollisimman hyvin konkretisoitua työn asettajalle hyötykäyttöön.

7.3 Työn tavoitteet

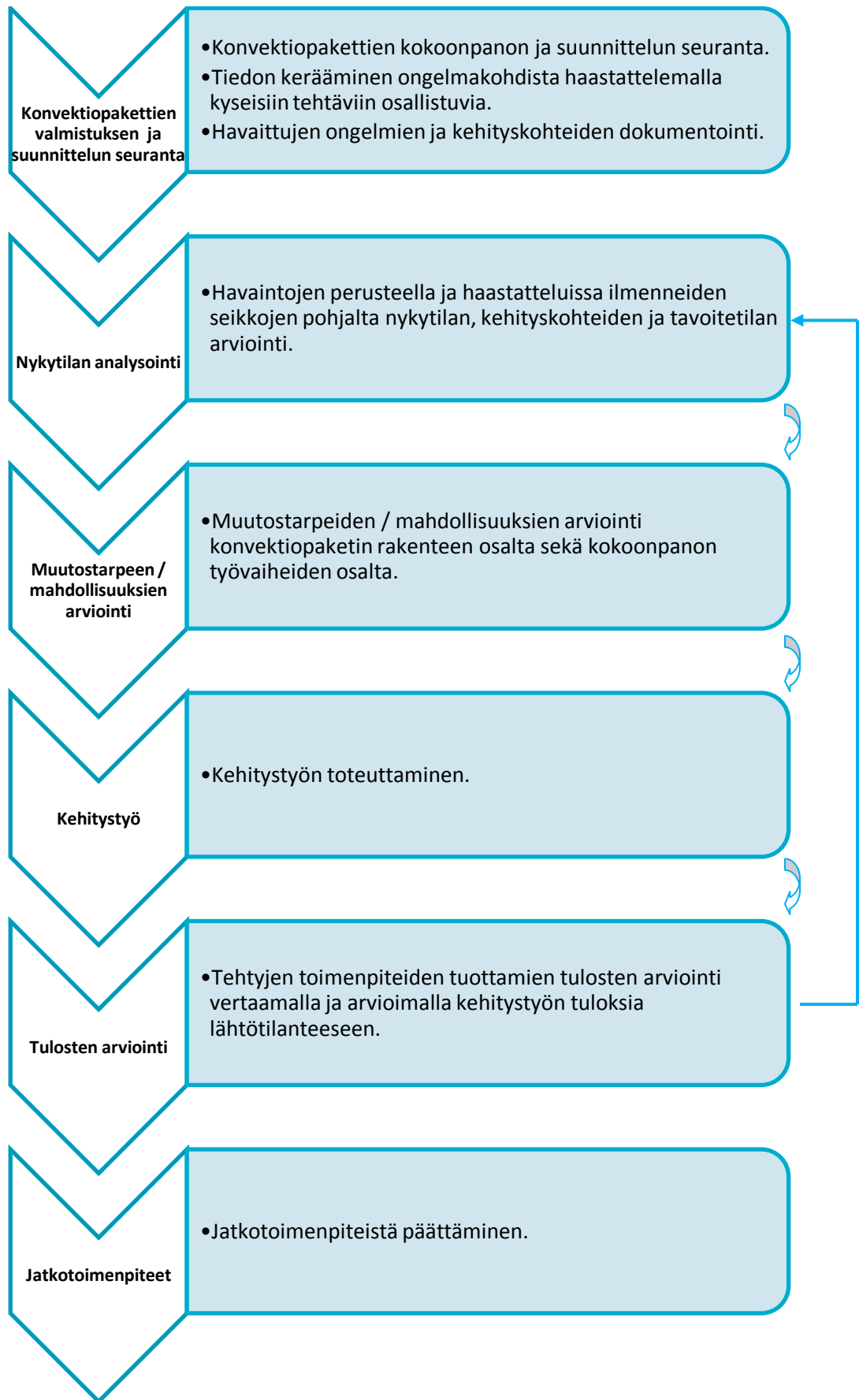
Konvektiopakettien optimointityön kokonaistavoitteena oli niiden valmistuksen kustannustehokkuuden kasvattaminen edellisessä luvussa kuvatun rajauksen mukaisesti. Lähtökohtana tämä tarkoitti sitä, että konvektiopakettien valmistuksesta kokonaisuutena oli pystyttävä muodostamaan kattava kokonaiskuva. Muutoin eri toimintojen väliset riippuvuussuhteet sekä niiden vaikutukset kokonaisuuteen olisivat saattaneet jäädä huomiotta.

Tavoitteet asetettiin opinnäytetyön aloituspalaverissa, jossa selvitettiin tehtävän rajauksessa mainittuja konvektiopakettien valmistuksen ongelmakohtia ja syitä, joiden vuoksi aihe asetettiin opinnäytetyöksi. Tällöin työlle muodostettiin seuraavat tavoitteet:

1. Konvektiopaketin rakenteen yksinkertaistaminen ottaen huomioon kaikki tuotteeseen liittyvät eri tekijät, kuten tuotteen toiminnallisuus, käytettävyys ja huollettavuus.
2. Valmistettavuuden kehittäminen, valmistusrutiinin ja toistettavuuden kasvattaminen tutkimalla mm. rakenteen modulointimahdollisuuksia.
3. Työsuunnitelmien sekä ohjeiden laatiminen kokoonpanon ja työkuvasuunnittelun eri vaiheille.
4. Kokonaistavoitteena oli konvektiopakettien valmistuksen kustannustehokkuuden kasvattaminen, jonka tuli olla mitattavissa kustannus- ja aikasäästöinä.

7.4 Työn suoritus

Työ toteutettiin seuraamalla konvektiopakettien työkuvasuunnittelua ja kokoonpanoa sekä haastatteleamalla kyseisiin tehtäviin osallistuneita henkilöitä. Tällä tavoin selvitettiin toimintojen nykyhetken toteutustavat ja ongelmakohdat sekä saatiin kehitysehdotuksia ongelmakohtien ratkaisemiseksi. Nykytila-analyysin, toimintojen seurannan sekä haastattelujen kautta saatujen kehitysehdotusten pohjalta muodostettiin toiminnoille tavoitetilat, joihin kehitystyöllä pyrittiin. Kuvassa 12 on esitetty opinnäytetyön prosessikaavio.



KUVA 12. Opinnäytetyön prosessikaavio

7.5 Konvektiopakettien valmistuksen ja suunnittelun seuranta

Työn asettamisen ajankohta oli ajoitettu hyvin, koska opinnäytetyön suorittamisen aikana Servicen tuotantotiloissa tapahtui kahden eri konvektiopaketin kokoonpanoa. Pakettien kokoonpanovaiheet eivät kuitenkaan alkaneet aivan yhtä aikaa, mikä oli opinnäytetyön tekemisen kannalta hyvä asia. Tällöin pystyttiin seuraamaan tarkemmin yhden konvektiopaketin kokoonpanoa ja analysoimaan sen ongelmakohtia.

Useamman konvektiopaketin valmistuksen seuranta mahdollisuus opinnäytetyön aikana oli hyvä asia siltä kannalta, että ne eivät ole oikeastaan koskaan rakenteeltaan täysin identtisiä. Tätä kautta saatiin havainnoitua molemmista paketeista erilaisten rakennevaihtoehtojen ongelmakohtia, sekä myös yhdistettyä niistä rakenneratkaisuja mitkä on todettu toimiviksi.

Konvektiopaketin suunnittelua oli myös mahdollisuus seurata, koska työn suorittamisen aikana oli meneillään vaihe, jossa tehtiin erään konvektiopakettien työkuvasuunnittelua. Suunnittelun seuraaminen oli siinä mielessä vaikeasti toteutettavissa, ettei sen seuraamista voinut suorittaa samalla tavoin kuin esimerkiksi kokoonpanon seuranta. Tämän vuoksi suunnittelijoiden tietoa ja kehitysehdotuksia hankittiin enemmänkin haastattelujen kautta.

7.6 Konvektiopakettien valmistukseen ja suunnitteluun osallistuvien haastattelut

Konvektiopakettien optimointityötä suoritettaessa tietoa ja kehitysehdotuksia, joilla konvektiopakettien työkuvasuunnittelua ja kokoonpanoa voitaisiin tehostaa, hankittiin seuraamalla niiden suunnittelua sekä kokoonpanoa ja haastattelemalla näihin työvaiheisiin osallistuvia henkilöitä.

Haastattelut toteutettiin vapaamuotoisesti, kuitenkin niin, että haastattelutilannetta varten laadittiin ennalta lyhyt kysymyslista niiden ongelmakohtien mukaisesti, joita opinnäytetyön aloituspalaverissa tuli ilmi. Vapaamuotoisella haastattelulla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että vaikka haastattelurunko oli ennalta valmisteltu, saattoi se muuttua haastattelun aikana.

Haastattelut kohdistuivat valmistuksen työnjohtoon, konvektiopakettien kokoonpanoa suorittaviin tuotannon henkilöihin sekä konvektiopaketteja suunniteleviin henkilöihin.

Eri henkilöiden haastattelutavat ja tilanteet erosivat jonkin verran toisistaan, esimerkkinä voidaan mainita tuotannon henkilöiden kanssa käydyt keskustelut, jotka tapahtuivat hyvinkin vapaamuotoisesti samalla kun kokoonpanovaiheissa joitain ongelmia havaittiin.

Erityisesti valmistuksen työnjohdon sekä konvektiopakettien kokoonpanotyötä suorittaneiden henkilöiden mielipiteet ja heiltä saadut kehitysehdotukset ovat arvokkaita. Tätä kautta saavutetut kehitysehdotukset ja palaute pystytään hyödyntämään suunnittelua tehostettaessa ja niiden merkitys korostuu, koska suunnitteluvaiheessa määräytyy hyvin pitkälle tuotteen valmistuskustannukset, joten tuotannon antama palaute on erittäin huomionarvoinen tekijä kokonaiskustannustehokkuutta tavoiteltaessa.

7.7 Nykytilan analysointi

Nykytila-analyysi muodostettiin tehtyjen haastattelujen sekä edellä mainittujen toimintojen seurannan ja tätä kautta havaittujen pääasiallisten ongelmakohtien pohjalta. Nykytilan kuvaaminen on siinä mielessä tärkeä osa työn suorittamista, että sitä kautta saadaan referenssitietoa, kun tulevaisuudessa arvioidaan työstä saatavia tuloksia.

7.7.1 Konvektiopakettien työkuvasuunnittelun nykytila

Suunnittelijoiden haastatteluissa pyrittiin keräämään suunnittelijoiden mielipiteitä konvektiopakettien työkuvasuunnittelun nykyhetken tilanteesta sekä vaiheen nykyisestä läpimenoajasta. Kaikki ongelmakohtat ja kehitysehdotukset, jotka tätä kautta pystyttiin hankkimaan, dokumentoitiin ja niitä pystytään jatkossa hyödyntämään. Liitteessä 1. on esitettyä esimerkkitaulukko, johon kerättiin konvektiopaketin pääasiallisten osakokonaisuuksien työkuvasuunnittelun läpimenoajat.

7.7.2 Konvektiopakettien työkuvasuunnittelun kehityskohteet

Merkittävä osa konvektiopaketteja suunnittelevien henkilöiden työajasta kuluu vanhojen piirustusten muokkaamiseen. Osa konvektiopakettien piirustuksista on jo sen verran iäkkäitä, että ne on piirretty alkuperäisesti käsin. Käsin laadittuja vanhoja piirustuksia muokataan AutoCad – suunnitteluohjelmistolla sähköiseen 2D - ja 3D –

muotoihin tarpeiden mukaan, jolloin ne saadaan siirrettyä yrityksen käyttämään dokumenttienhallinta ohjelmistoon. Muokkaaminen AutoCad - muotoon tapahtuu pääasiassa siinä vaiheessa, kun pitkän aikaa sitten toimitetut konvektiopaketit ovat käyttöiltään siinä tilanteessa, että niitä joudutaan uusimaan.

3D – suunnitteluohjelmistona yrityksellä on käytössään Aveva PDMS – laitossuunnitteluohjelma, jota osa suunnittelijoista käyttää 3D – mallien luomiseen. Pääosin konvektiopakettien suunnittelu ja varsinkin valmistusdokumentaation tuottaminen tapahtuu kuitenkin pitkälti AutoCad – pohjaisesti, koska haastattelujen perusteella sillä on nopeampaa tuottaa valmistuspiirustuksia kuin PDMS – ohjelmiston draft – alustalla. PDMS – ohjelmisto on haastattelujen perusteella havaittu melko kankeaksi suunnitteluvälineeksi pienempiin töihin joita Service-osaston tehtävät usein ovat.

Konvektiopakettien valmistuspiirustusten osaluetteloiden laatiminen tapahtuu suunnittelijan osittain manuaalisesti tekemänä ja tästä johtuen niissä aika ajoin ilmenee virheitä. Tämä heijastuu vastaavasti hankinnan puolelle, koska materiaali ja komponenttihankinnat tapahtuvat pääosin osaluetteloiden pohjalta. Tästä johtuen hankinnassa kuluu aikaa osaluetteloiden tarkastamiseen ja välillä tapahtuu myös virheellisiä materiaali tai komponenttitilauksia.

Konvektiopaketeista on olemassa paljon eri valmistusvariaatioita ja näin ollen myös suunnitteluohjeita löytyy dokumenttienhallinta – ohjelmistosta runsaasti. Suunnitteluohjeet ovat kyllä keskitetysti löydettävissä ja niitä on kohdistettu vielä tarkemmin käytössä olevien komponenttijaosten mukaisesti, mutta johtuen niiden suuresta lukumäärästä tarkoituksenmukaisen suunnitteluohjeen löytämiseen saattaa varsinkin kokemattomalta suunnittelijalta kulua melko runsaasti aikaa.

Standardikomponenttien käyttö konvektiopakettien työkuvasuunnittelussa on vähäistä, koska AutoCad – ohjelmistossa ei ole käytössä yhteistä komponenttikirjastoja, josta esimerkiksi valmiita teräsrakenneprofiileja voitaisiin tuoda suunnittelualustalle. Osalla suunnittelijoista on käytössään AutoCad Mechanical – ohjelmisto, joka sisältää komponenttikirjaston, mutta tätä ohjelmistoa ei ole kuitenkaan kaikilla. Suunnittelijoilla on olemassa kuitenkin jonkin verran valmiita piirteitä, esimerkiksi osasta teräsprofiileja löytyvät valmiit poikkileikkauskuvat, joita voidaan suunnittelussa hyödyntää.

Konvektiopakettien työkuvasuunnittelua on tällä hetkellä tehostettu erilaisilla AutoCad – ohjelmistoon rakennetuilla sovelluksilla, näistä esimerkkeinä voidaan mainita:

- Putkenmallinnus sovellus, joka muodostaa 3D - putkigeometrian sille osoitetun keskiviivan mukaisesti.
- Taivutustaulukko, joka täydentää automaattisesti taulukkoon valmistuksen tarvitsemat tiedot putkimaisista osista.
- Kammioiden reikäjaon mitoitus taulukko, joka täydentää automaattisesti taulukkoon valmistuksen vaatimaa tietoa reikien sijainnista ja koosta.

Tarkasteltaessa kokonaiskustannustehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä eri tahojen kanssa toteutetuissa haastatteluissa, eräs havaittu kehityskohde on suunnittelijoiden joiltain osin puutteellinen tietämys valmistusprosessista. Esimerkiksi osavalmistukseen liittyvät toteutustavat ja käytössä oleva konekanta sekä niiden rajoitteet tulisi tietää, jottei suunniteltaisi turhaan sellaista mitä ei voida valmistaa olemassa olevilla resursseilla. Tämä korostuu varsinkin alihankinnasta ostettavien palvelujen kohdalla. Tällöin tilanne saattaa olla se, että alihankintasuunnittelu tuottaa valmistuspiirustuksia tietämättä alihankintavalmistuksen rajoitteita ja tätä kautta voi muodostua ongelmia.

Työn suorittamisen aikana havaittuja kehittämissuunnitelmia suunnittelun tehostamiseksi ovat mm. seuraavat:

- Tuoterakenteen selkeyttäminen ja rakennevarianttien rajaaminen.
- Rakenteen modulaarisuuden kasvattaminen ja konfigurointi moduloinnin perusteella.
- Rakenteen osien parametrisuuden hyödyntäminen suunnittelussa.
- Yhteisten osa-, ja komponenttikirjastojen käyttö standardiosilla.
- Suunnittelun aputoimintoja nopeuttavien työkalujen kehittäminen.
- Kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen hyödyntäminen suunnittelussa.

Yhteenvetona konvektiopakettien suunnittelun kehityskohteista voidaankin edellä kuvatun mukaisesti todeta, että kehityspotentiaalia on olemassa useammalla osa-alueella. Pienilläkin suunnittelua tehostavilla keinoilla on mahdollista vaikuttaa sen tuottavuuteen melko paljon ja lisäksi tehostamiskeinojen vaikutukset ulottuvat välillisesti myös muihin yrityksen toimintoihin.

7.7.3 Konvektiopakettien kokoonpanon nykytila

Konvektiopakettien kokoonpanon nykytila – analyysi pohjautuu tuotannon työnjohdon ja tuotannon henkilöiden haastatteluihin sekä opinnäytetyön aikana suoritettuun

toimintojen seurantaan. Tämän lisäksi työn suorittamisen aikana konvektiopakettien kokoonpanon eri vaiheista hankittiin tarkempaa tietoa koskien niiden likimääräisiä läpimenoaikoja, vaiheiden tuottamaa painelaittevalmistusdokumentaatiota sekä vaiheiden vaatimia resursseja.

Tämä tehtiin sen vuoksi, että nykyisellään ei ole kovinkaan tarkasti tiedossa tai ainakaan dokumentoitu, kuinka kauan tietyn kokoonpanovaiheen valmistuminen vaatii aikaa ja mitkä ovat sen resurssivaatimukset koskien esimerkiksi materiaaleja tai henkilöitä tai kohdistuuko työvaiheeseen mahdollisesti joitain erityisvaatimuksia.

Ongelmakohtat ja kehitysehdotukset, jotka tätä kautta pystyttiin hankkimaan, dokumentoitiin ja niitä kaikkia on mahdollisuus hyödyntää jatkossa referenssitietona työn tuloksia analysoitaessa. Liitteessä 2. on esitettyä esimerkkitaulukko, johon on kirjattu konvektiopaketin kokoonpanon päävaiheista kerätty informaatiota.

7.7.4 Konvektiopakettien kokoonpanon kehityskohteet

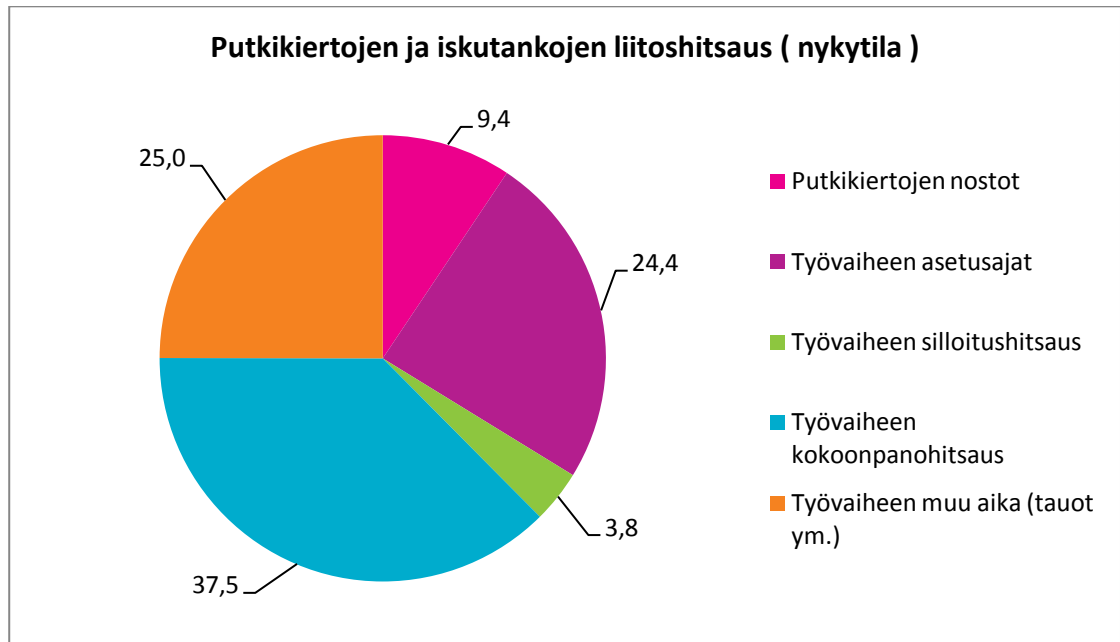
Kehityskohteita, koskien konvektiopaketin kokoonpanoa, löytyy lähes sen kaikista vaiheista. Osa haastattelujen ja seurannan aikana havaituista kehityskohteista ovat merkitykseltään vähäisiä, osa taas varsin merkittäviä. Tässä luvussa kuvataan tarkemmin ne kokoonpanon vaiheet, joissa eniten kehityspotentiaalia havaittiin olevan.

Kokoonpanon aloitustyövaiheissa aikaa kuluu kokoonpanoa varten valmistettävien asennuspöytämittojen etsimiseen sekä pöytämittojen valmistamiseen. Tässä vaiheessa huomataan usein, ettei valmistuspiirustuksiin ole mitoitettu putkikiertojen sekä iskutankojen sijaintimittoja suhteessa kuljetus-, ja kokoonpanokehikkoon. Tästä syystä työvaihe sisältää tarpeettoman paljon tuotetta jalostamatonta aikaa.

Putkikiertojen asennus ja hitsaus iskutankoihin on aikaa vievä työvaihe, jossa aikaa kuluu putkikiertojen yksittäisiin paikoilleen nostoihin sekä niiden asemointiin ja mittaamiseen paikoilleen. Putkikierron ja iskutankon toisiinsa liittävät hitsit ovat vaikeasti toteutettavissa, johtuen rakenteellisista ratkaisuista. Tämä ilmenee varsinkin alapuolen hitsauksen toteutusvaiheessa, jossa hitsaus joudutaan suorittamaan useammalla puikolla hitsin huonon luokse päästävyuden johdosta.

Taulukossa 1. on esitetty opinnäytetyön aikana seurattujen konvektiopaketin putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsauksen työvaiheiden suhteet prosenttiosuuksina, josta voidaan todeta että pelkästään nosto- ja asetusajoja vähentämällä sekä kyseistä liitostyyppiä ja hitsausmenetelmää kehittämällä voidaan vaikuttaa huomattavasti vaiheen läpimenoaikaan.

Taulukko 1. Putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsaus (nykytila)



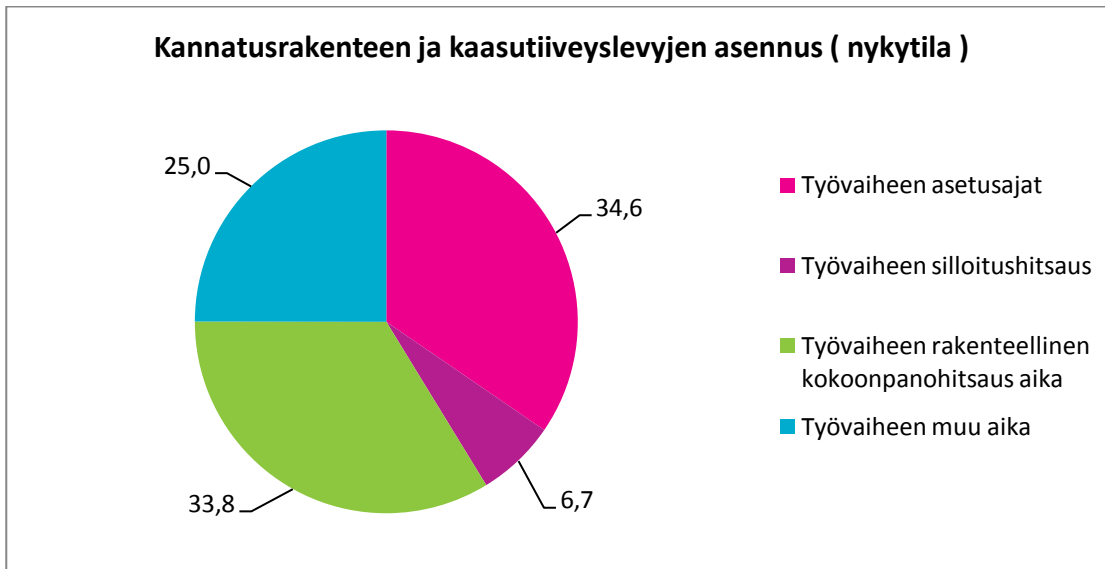
Putkikiertojen päiden tasaus sekä hitsausviisteiden valmistaminen kammioiden hitsausta varten kokoonpanovaiheessa tapahtuen putkikiertojen ollessa paikoillaan, on tarpeeton vaihe kokoonpanossa ja se olisi mahdollista siirtää osavalmistuvaiheeseen.

Kannatusrakenteen ja kaasutiiveyslevyjen asennus ja hitsaus on hitaasti toteutettava työvaihe, jossa aikaa vieviä tekijöitä ovat osittain yhdessä asennettavat kannatusrakenne ja kaasutiiveyslevyt sekä levyjen sovittaminen toisiinsa sekä muuhun rakenteeseen.

Kannatusrakenteet eivät usein ole kovinkaan avoimia ja se vaikeuttaa kaasutiiveyslevyjen hitsausta, koska rakenne peittää hitsattavat kohteet osittain ja hitsien luokse päästävyys on huono. Lisäksi kaasutiiveyslevyjä joudutaan usein sovittamaan melko paljon kokoonpanovaiheissa, johtuen lähinnä käytetyistä rakenneratkaisuista ja liian pienistä asennustoleransseista. Taulukossa 2. on esitetty opinnäytetyön aikana seurattujen konvektiopaketin kaasutiiveyslevyjen

asennustyövaiheiden suhteet prosenttiosuuksina, josta myös voidaan havaita asetus- ja sovitusaikojen muodostavan varsin ison osuuden vaiheen kokonaisläpimenoajasta.

Taulukko 2. Kannatusrakenteen ja kaasutiiveyslevyjen asennus (nykytila)



Koeponnistuksessa ei ajallisesti ole merkittävää kehityspotentiaalia, mutta sitä on pidettävä riskitekijänä siinä mielessä, että nykyisellään se suoritetaan lähes viimeisenä työvaiheena, jolloin sekä kannatusrakenne sekä kaasutiiveyspellitykset ovat jo hitsattuina paikoilleen. Mikäli tässä vaiheessa havaitaan vuoto kaasutiiveyslevyjen sisäpuolella, on kokoonpanoa purettava melko paljon, jotta mahdollinen vuoto saadaan korjattua.

Pääasiassa kokoonpanon vaiheisiin, sen läpimenoaikaan ja kustannustehokkuuteen pystytään vaikuttamaan muuttamalla konvektiopakettien rakenneratkaisuja valmistusystävällisemmiksi. Rakenteen muutosehdotuksissa on kuitenkin tärkeää ottaa huomioon konvektiopaketin toiminnallinen kokonaisuus, eikä ainoastaan sitä kuinka valmistus onnistuu helpoiten. Rakeneratkaisut ovatkin kompromisseja toiminnallisuuden ja valmistettavuuden asettamista reunaehdoista. Rakennetarkasteluja on kuvattu tarkemmin luvussa 9.

7.8 Tavoitetilan kuvaus

Konvektiopakettien suunnittelun osalta perussuunnittelun, suunnittelijan tekemien aputoimintojen ja vanhojen piirustusten muokkaamisen kautta tapahtuvan suunnittelun määrää tulisi laskea. Tätä kautta saadaan vapautettua suunnittelijoiden

resursseja varsinaiseen suunnittelutyöhön eli tuotteen kehittämiseen esimerkiksi mahdollisimman valmistusystävälliseksi.

Perussuunnittelun ja aputoimintojen osuutta tulisi vähentää joko kehittämällä suunnittelutyötä nopeuttavia sovelluksia, mikäli halutaan käyttää nykyisiä suunnitteluohjelmistoja tai siirtyä kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen käyttöön. Parametrisen suunnittelun hyödyntämistä olisi lisättävä niiden osien kohdalla, joissa se on mahdollista ja nostaa näin suunnittelutyön tuottavuutta.

Käytettävän suunnitteluohjelmiston tulisi sisältää osa- ja komponenttikirjastot, joita kaikki suunnittelijat voivat käyttää. Atribuuttitiedot omaavien standardiosien käyttö suunnittelussa nopeuttaa sekä nostaa suunnittelun laatua osaluettelossa ilmenevien virheiden vähenemisen kautta. Osaluettelon luominen tulisi tapahtua automaattisesti standardiosien tai valmiiksi luotujen mallien avulla ja pohjautuen ainakin osittain valmiiksi määritettyihin attribuuttitietoihin.

3D - suunnittelua toteutettaessa ohjelman tulisi olla sellainen, että sillä on myös nopeaa tuottaa mallista tarvittavaa valmistusdokumentaatiota ja mallia muokattaessa muutos- ja mittatiedon on siirryttävä myös valmistusdokumentteihin ilman erillistä piirustuksen muokkausta. Tämä on mahdollista saavuttaa mm. parametristen piirremallinnusohjelmien käytöllä.

Tuoterakennetta tulisi moduloida mahdollisuuksien mukaan, jolloin suunnittelua saadaan nopeutettua valmiiksi luotujen mallien avulla. Tuotteen asiakaskohtainen muuntelu tapahtuu tällöin konfiguroimalla moduuleista koostuvaa tuoterakennetta. Suunnitteluohjeet tulisi kohdistaa valmiiksi luotuihin moduuleihin, jolloin niiden löydettävyys nopeutuu.

Konvektiopakettien kokoonpanon osalta tuotetta jalostavan työn osuutta kokonaisajasta tulisi kasvattaa. Tähän voidaan pääasiassa vaikuttaa kehittämällä konvektiopaketin rakennetta valmistettavuudeltaan paremmaksi, kasvattamalla kokoonpanoon tuotavien osien valmiusastetta ja nostamalla niiden asemointitarkkuutta jigien avulla, varustelemalla alihankintakomponentit valmiimmiksi ja isommiksi kokonaisuuksiksi sekä kehittämällä kokoonpanossa käytettäviä työmenetelmiä.

Lisäksi kokoonpanovaiheisiin tulisi saada toistuvuutta ja työrutiinia moduloimalla tuoterakennetta ja kohdistamalla käytettävät työmenetelmät- ja ohjeet niihin. Konvektiopaketin tavoitetilan mukainen kokoonpanon uudelleen vaiheistamisen mahdollisuus on kuvattu tarkemmin luvussa 9.3.

8 SUUNNITTELUN KUSTANNUSTEHOKKUUDEN KASVATTAMISEN KEINOJA

Tässä luvussa kuvataan opinnäytetyön aikana tutkittuja keinoja, joilla konvektiopakettien työkuvasuunnittelun läpimenoaikaa pystyttäisiin laskemaan ja tällä tavoin kasvattamaan sen kustannustehokkuutta. Kehitysehdotukset pohjautuvat suunnittelijoiden haastatteluihin sekä suunnittelun seurantaan. Tätä kautta pyrittiin selvittämään nykyisen toiminnan ja toteutustapojen ongelmakohdat, joissa olisi kehityspotentiaalia.

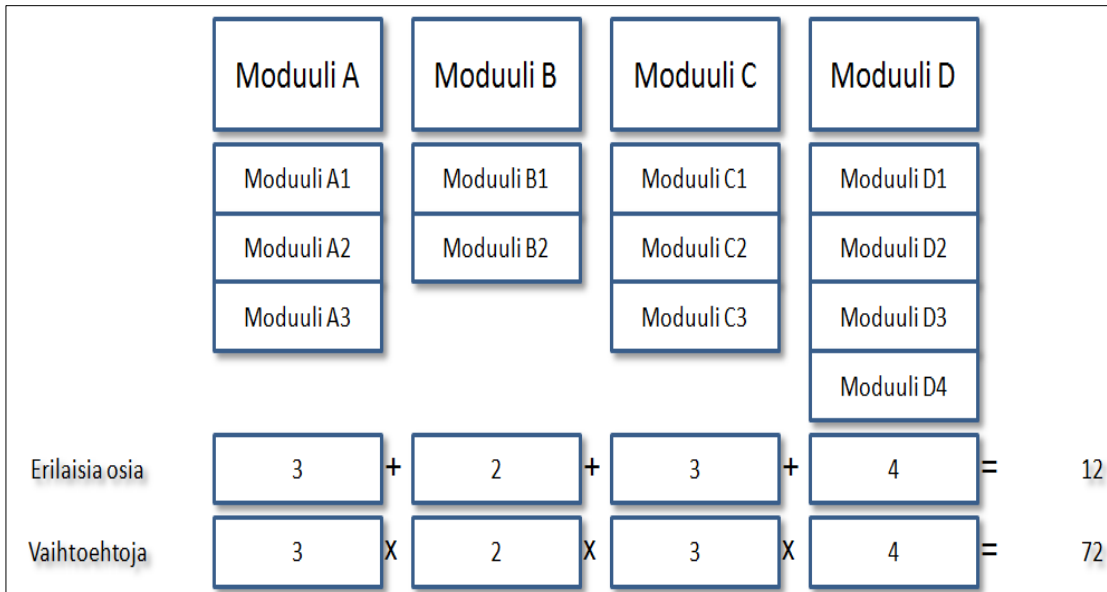
Työkuvasuunnittelun kehitysehdotukset liittyvät yrityksen sisäiseen kehitysprojektiin, jossa tavoitteena on löytää Service-osaston suunnitteluun paremmin soveltuva suunnittelualusta, jolla pyritään nostamaan sen tehokkuutta ja tuottavuutta.

Työkuvasuunnittelun kehitystyö jätettiin tutkimuksen asteelle eikä niitä jalostettu toistaiseksi sen pidemmälle. Työn asettaja hyödyntää osan tutkimustuloksista omaan käyttöönsä mahdollisesti myöhemmin liittäen niistä saatuja tuloksia muihin projekteihinsa.

8.1 Modulointi kustannustehokkuuden kasvattamisen työkaluna

Moduuli on määritelmän mukaan standardoitu yksikkö, joka voidaan yhdistää tai vaihtaa toisiin moduuleihin riippumatta tuotteen muista moduuleista. Modulaarisuudella taas tarkoitetaan tuotevarianttien luomista valmiiksi suunniteltujen moduulien avulla. Modulaarinen tuoterakenne mahdollistaa varioituvan tuoterakenteen ja varioituvalla tuoterakenteella yritys pystyy tarjoamaan asiakkaalle hallitusti muunneltavan tuotteen, jota asiakas voi räätälöidä vaatimustensa mukaisesti. (Sarinko 1999, 32.)

Erixonin (1998) mukaan moduloinnin tavoitteena on muodostaa kannattava tuotevalikoima, joka kattaa asiakkaan tarpeet mahdollisimman laajasti ja standardisoida yrityksen eri toimintoja. Moduloinnin vaikutukset yrityksen sisäisiin toimintoihin ovat laaja-alaiset sisältäen myynnin, tuotesuunnittelun, tuotannon sekä aftersales-toiminnan. Kuvassa 13 on esitetty moduloinnin periaate.



KUVA 13. Moduloinnin periaate (muokattu Tuovinen 2010)

Kaivoksen (1985) mukaan paras hyöty moduloinnista on saavutettavissa, kun seuraavat tekijät yrityksen toiminnasta ja tuotteistosta pystytään havaitsemaan:

- Tarve laajaan joustavuuteen (x) = sovellettavuus konvektiopaketteihin
- Monimuotoinen tuotevalikoima (x)
- Asiakasohjautuva tuote (x)
- Tuotekehityksen ja tuotannon pitkät läpäisyajat (x)
- Hidas kiertonopeus tuotanto- ja tuotevarastossa
- Tuotteen elinikää runsaasti jäljellä (x)
- Tuotteella riittävästi volyymiä (x)
- Tuotteella hyvä valmistustekninen ja toiminnallinen kypsyy (x)
- Tuotteen rakenneratkaisut eivät hyödynnä vanhenevaa tekniikkaa
- Tuotteiden samankaltaisuus rakenteissa riittävä (x)

Kuten edellä mainituista tekijöistä on nähtävissä, kahdeksan kymmenestä määritellystä tekijästä puoltasi moduloinnin onnistumisen mahdollisuuksia konvektiopakettien valmistuksessa. Tätä taustaa vasten modulaarisen tuoterakenteen muodostamista voisi olla hyödyllistä tutkia enemmänkin soveltaen sitä konvektiopaketteihin, koska siitä saavutettavat hyödyt voivat olla merkittäviä kokonaiskustannustehokkuuden kannalta.

8.2 Moduloinnin soveltaminen konvektiopaketteihin

Tuotteesta muodostettavia moduuleita voidaan jakaa osiin eri perustein. Yleisimpiä moduulijakoja on muodostettavien moduulien jakaminen toimintomoduuleihin, valmistusmoduuleihin tai näiden yhdistelmiin. (Sarinko 1999, 34.)

Konvektiopakettien kohdalla loogisimmalta tuntuva jakovaihtoehto olisi hierarkisen tuoterakenteen muodostaminen moduuleista siten, että ylimmällä tasolla olisivat toimintomoduulit. Toimintomoduulit jaettaisiin edelleen toiminnon suorittaviin moduuleihin, suorittavan toiminnon valinnaisiin moduuleihin, sovitusmoduuleihin sekä erikoismoduuleihin. Viimeinen moduulitaso muodostuu moduulien osista ja komponenteista. Liitteessä 3 on esitetty edellä kuvatun mukaisesti konvektiopaketeille muodostettu moduulijako.

8.3 Moduloinnin tarjoamat edut eri näkökulmista

Aiemmin mainitun mukaisesti moduloinnin edut ovat laajat ja niillä on tehostavia vaikutuksia lähes kaikkiin yrityksen toimintoihin. Myynnin kannalta suurimmat edut liittyvät mahdollisuuteen tarjota rajattua määrää vaihtoehtoja tuotteesta, jolla kuitenkin asiakkaan tarpeet pystytään täyttämään hallitusti ja asiakkaalla myös säilyy räätälöinnin mahdollisuus tiettyyn rajaan saakka.

Moduloinnilla on myös vaikutuksia materiaalihallintoon sekä after-sales toimintoihin, koska kun tuotteella on selkeä moduloitu tuoterakenne, on sen nimikkeiden hallinta helpompaa niiden vähenemisen ansiosta. Lisäksi moduuleista muodostetun tuotteen moduulikohtaiset osat pystytään jäljittämään tehokkaasti tietokannoista, jolloin esimerkiksi varaosahuollon laatua voidaan parantaa.

Suunnittelun kannalta suurimmat edut voidaan saavuttaa sen läpimenoajan ja työmäärän laskemisen kautta. Tämän mahdollistaa tuotteen suunnitteleminen pitkälle valmiiksi kehitetyistä osakokonaisuuksista, joista tuote lopulta muodostuu. Tällöin tarvitaan vain vähän suunnittelutyötä, parhaimmassa tapauksessa ei ollenkaan.

Lisäksi kun rakenteet ovat suunnittelijalle entuudestaan tuttuja ja moduuleihin on kohdistettu tarkat kuvaukset kustakin moduulista sisältäen esimerkiksi mallit, osaluettelot sekä suunnitteluohjeet, jää suunnittelijalle vähemmän mietittävää ja aikaa vapautuu konkreettiseen valmistusdokumentaation tuottamiseen. Edellä mainitulla on

myös vaikutusta suunnittelun laatuun, koska kun itse suunnitteluun menee aiempaa vähemmän aikaa, jää vastaavasti enemmän aikaa tarkastaa suunnittelutyön oikeellisuutta sekä mahdollisesti vielä kehittää sitä esimerkiksi valmistettavuuden kannalta.

Tuotannon näkökulmasta katsottuna merkittävimmät edut voidaan saavuttaa tuotannon läpimenoajan lyhenemisenä sekä tuotannon laaduntuottokyvyn lisääntymisenä ja laatuvirheiden vähenemisenä. Nämä johtuvat suureksi osaksi toimintatapojen ja tuotteen rakenteiden standardisoinnista eli niillä on toistuvuutta tuotannossa ja saadaan aikaiseksi työrutiinia, joka laskee työvaiheen läpimenoaika. Tämän lisäksi erillisiä osakokonaisuuksia voidaan valmistaa yhtäaikaaisesti ja niitä pystytään myös testaamaan erillään, jolloin laadunvarmistus helpottuu. (Sarinko 1999, 45.)

8.4 Parametrisointi kustannustehokkuuden kasvattamisen työkaluna

Parametri on määritelmän mukaan toimintaa tai käsittelyä ohjaava ennalta annettu suure. Puhuttaessa suunnittelun parametrisoinnista, tarkoitetaan käytännössä sitä että tuotteen malliin tai piirustukseen voidaan kytkeä:

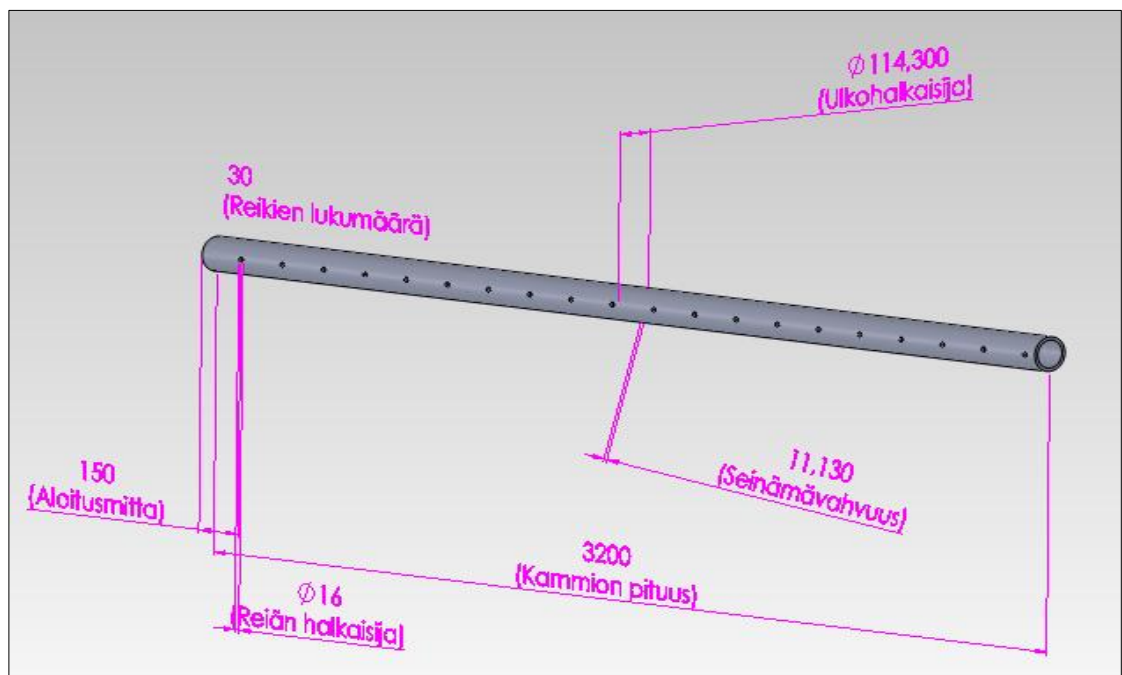
- Tiettyjä mittoja, joilla tuotteen geometriaa voidaan muuttaa missä suunnitteluvaiheessa tahansa, esimerkiksi tuotteen leveyttä tai pituutta.
- Reunaehtoja, joilla ohjataan tuotteen rakenteen muodostamista, esimerkiksi symmetrisyys tai yhdensuuntaisuusehtoja.
- Matemaattisia yhteyksiä, joilla voidaan ohjata esimerkiksi tuotteen geometriaa.
- Relatioita, joista esimerkkinä voidaan mainita kahden tuotteessa olevan mitan asettaminen yhdensuuruiseksi eli mikäli toista muutetaan, muuttuu myös toinen.

Parametrisoinnin tavoitteena on jonkinasteinen suunnittelun automatisointi, jolla pyritään tehostamaan suunnittelua. Edellytyksiä tietyn osan tai tuotteen suunnittelun parametrisoinnille ovat mm. riittävän suuri volyymi eli tuotteen toistuvuus suunnittelussa sekä selkeä tuoterakenne, jota modulointi edesauttaa. (Kaarna 2005, 2 – 5.)

8.5 Parametrisuuden soveltaminen konvektiopaketteihin

Konvektiopakettien tuoterakenteesta selkeimmin parametrisoitavissa olevat osat ovat kammiot, kannatusrakenne, iskutangot sekä putkikierröt. Myös muita osia tai osakokonaisuuksia, jotka sisältävät parametrisoitavissa olevia piirteitä, tuoterakenteesta löytyy. Ne sisältävät kuitenkin projektikohtaisia muuttujia niin paljon, että parametrisoinnista saatava hyöty ei välttämättä ole kovinkaan suuri.

Kammioiden kohdalla parametrisoitavissa olevia piirteitä ovat kammioputken halkaisija ja sen seinämävahvuus, kammion pituus, reikien määrä ja niiden koko sekä suutinrunkojen ja putkikiertojen päiden hitsausta varten valmistettujen syvennysten muoto. Kuvassa 14 on esitettyä yksinkertaistettu konvektiopaketin kammion malli parametrisine muuttujineen. Mallin konfiguraatioiden luomiseen on käytetty SolidWorksin Desingn Table ja Configuration Publisher - ominaisuuksia.



KUVA 14. Konvektiopaketin kammio

Putkikiertojen osalta parametrisuutta voitaisiin hyödyntää mm. asettamalla niiden jako muuttujaksi suhteessa paketin kokonaisleveyteen tai toiminnan vaateita ajatellen siten, että vaadittu lämpöpinnan määrä paketissa on suhteessa putkikierron pituuteen ja putkikokoon jolloin putkikiertojen määrä paketissa määräytyy prosessin vaateiden mukaisesti. Putkikiirroista olisi myös mahdollista parametrisoida käytettävän putken

halkaisija suhteessa taivutussäteeseen esimerkiksi niin, ettei suunnitteluohjelma salli tietylle putkikoolle kuin tietyt taivutussäteet.

Kannatusrakenteen kohdalla parametrisoitavissa voisi olla esimerkiksi kannatuksessa käytettävä teräsprofiili tai sen seinämävahvuus, joka on asetettu relaatioon paketin jännevälin kanssa. Lisäksi muuttujiksi voisi asettaa mm. kannatetun mallin korotuksen kattilan teräsrakenteesta tai riiputetulla mallilla kannatustankojen pituuden sekä halkaisijan suhteessa paketin kokonaismassaan.

Iskutankojen osalta niiden pituus olisi mahdollista suhteuttaa paketin jänneväliin ja asettaa esimerkiksi kannatuskorvallisten määrä ja sijainti muuttujiksi sen perusteella. Lisäksi iskutankojen riiputuskorkeus voisi olla parametrisoitava piirre.

Edellä on mainittu vain muutamia esimerkkejä konvektiopakettien parametrisoitavista osista ja piirteistä, syvemmälle ulottuvassa tarkastelussa löytyy varmasti paljon lisää vastaavia mahdollisuuksia. Yhteenvetona parametrisoinnin soveltamisesta konvektiopaketteihin voidaan todeta, että mahdollisuudet parametriseen suunnitteluun ja tätä kautta suunnittelun osittaiseen automatisointiin ovat olemassa. Sen toteuttaminen on kuitenkin eri asia ja sitä kannattanee lähteä viemään eteenpäin vähän kerrallaan. Suunnittelun tuottavuutta kasvatettaessa parametrisuus on tarkemman tutkimisen arvoinen suunnittelun tehostamistyökalu, koska sillä mahdollisesti savutettavat aika- ja kustannussäästöt voivat olla merkittäviä.

8.6 Parametrisoinnin tarjoamat edut

Parametrisen suunnittelun avulla voidaan lyhentää suunnittelun läpimenoaikaa ja tehostaa sen tuottavuutta. Tämän mahdollistaa rutiinisuunnittelun- ja tehtävien siirtäminen suunnitteluohjelmien tehtäviksi. Suunnittelijan resursseja pystytään tällöin vapauttamaan muihin tehtäviin, kuten tuotekehitykseen.

Toinen merkittävä parametrisuuden tarjoama etu on suunnittelun laatuvirheiden määrän väheneminen. Oikein rakennettuna parametrinen malli ei salli mm. mittavirheiden tapahtumista, koska sen mitat tai piirteet ovat yhteydessä keskenään ja niille on asetettu rajoitteet ja säännöt joiden sisällä mallin muutokset pysyvät.

Tämä on merkittävä etu verrattuna esimerkiksi pelkästään piirustusten muokkaamisen kautta tapahtuvaan tuotteen uudelleensuunnitteluun. Riski siitä että

piirustuksiin tehtyjen tiettyjen mittamuutosten välillisiä vaikutuksia jää huomiotta, on huomattavasti suurempi kuin parametrisesti tapahtuvassa tuotteen uudelleensuunnittelussa. (Salo 2009, 53.)

Muista parametrinen suunnittelun eduista voidaan mainita parametrinen mallien- ja piirustusten helppo muunneltavuus ja rakenteiden tunnistettavuus siinä mielessä, että ne ovat suunnittelijalle entuudestaan tuttuja vain mittojen ja geometrioiden muuttuessa. (Kaarna 2005, 3.)

Parametrinen suunnittelun tuottavuutta arvioitaessa on tarkasteltu eri suunnittelutapojen tuottavuuskertoimia. Vanhojen piirustusten muokkaamisen kautta tapahtuva suunnittelu on arvioitu tuottavuuskertoimeltaan 2,5 – 3 välillä tapahtuvaksi. Parametrinen suunnittelun tuottavuuskerron, riippuen siitä kuinka korkea on mallin parametrisuusaste, on arvioitu tutkimuksissa välille 3 – 10. Tämän perusteella voidaan todeta että oikein rakennettu ja parametrisuusasteeltaan pitkälle viety tuotteen suunnittelu on tuottavuudeltaan jopa kolminkertainen verrattaessa piirustusten muokkaamisen kautta tapahtuvaan suunnitteluun. (Kaarna 2005, 2.)

8.7 Osa-, ja komponenttikirjastojen käytön tarjoamat edut standardiosilla

Hietikon (2010) mukaan eräs tärkeimmistä suunnittelun periaatteista on uudelleenkäyttö. Koskaan ei kannattavaa suunnitella tai piirtää uudelleen sellaista mikä on jo olemassa tai voidaan hankkia standardiosana. Tähän periaatteeseen pohjautuu myös valmiiksi suunniteltujen moduloitujen standardimallien tai komponenttikirjastosta haettavien standardiosien tarjoamat edut.

Suunnittelun tehostamisen kannalta käytettävässä suunnitteluohjelmassa tulisi olla yhteiset osa- ja komponenttikirjastot standardiosille jotka ovat kaikkien suunnittelijoiden käytettävissä. Esimerkkeinä standardiosista voidaan mainita teräsrakenneprofiilit, putkiosat, ruuvit, mutterit jne., jotka suunnittelualustalle tuotaessa sisältävät oleelliset attribuuttitiedot joko valmiiksi tai suunnittelijan ennalta määrittämänä.

Merkittävimmät edut jotka osa- ja komponenttikirjastojen käytöllä on mahdollista saavuttaa kohdistuvat suunnittelun läpimenoaikaan ja suunnittelun laatuun. Aikasäästöt perustuvat valmiiksi olemassa oleviin standardimallien- ja osien käyttöön,

jolloin suunnittelija voi keskittyä varsinaiseen suunnittelutyöhön ja suunniteltavan tuotteen kehittämiseen, joka heijastuu myös tuotteen valmistukseen.

Suunnittelulaadun paraneminen taas perustuu suunnittelualustalle osa- ja komponenttikirjastosta tuotavien mallien tai osien sisältämään attribuuttitietoon. Attribuuttitiedot välittyvät, suunnitteluohjelman ja osaluettelopohjan ollessa oikein integroituna, automaattisesti osaluetteloon. Tällöin suunnittelijan ei tarvitse täyttää osaluetteloita manuaalisesti ja virhemahdollisuuksien määrä vähenee, joka heijastuu puolestaan materiaalihankintaan, joka usein tapahtuu osaluetteloiden pohjalta.

Yhteenvetona osa- ja komponenttikirjastojen käytön eduista voidaan todeta, etteivät sen tarjoamat edut rajoitu ainoastaan suunnitteluun, vaan heijastuvat aiemmin esitetyn mukaisesti useampaan tuotteen valmistukseen liittyvään toimintoon. Tätä kautta on mahdollisuus vaikuttaa tuotteen valmistuksen kokonaiskustannuksiin.

8.8 Kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen tarjoamat mahdollisuudet

Tässä luvussa tarkastellaan kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen tarjoamia mahdollisuuksia tehostaa suunnittelua. Kehittyneemmillä suunnitteluohjelmistoilla tarkoitetaan tässä tapauksessa 3D – muodossa tapahtuvaa parametrissa piirremallinnusta hyödyntäviä ohjelmistoja.

Parametrisella piirremallinnuksella tarkoitetaan suunniteltavan tuotteen luomista 3D - geometrian avulla. (Hietikko. 2010, 21) Tätä ominaisuutta hyödyntäviä, teollisuudessa käytettäviä suunnitteluohjelmistoja edustavat mm. Autodesk Inventor 3D, SolidWorks, ProEngineer, Vertex sekä Catia. (Tuhola & Viitanen 2008, 16.)

Parametrisuus suunnittelussa tarkoittaa käytännössä sitä, että kohteeseen kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa missä vaiheessa mallinnusta tahansa, jolloin mallin geometria muuttuu vastaavasti. Tämä on merkittävä etu siinä mielessä, että suunnittelua aloitettaessa ei välttämättä tarvitse tietää kaikkia suunnittelussa tarvittavia lähtötietoja aivan tarkasti, jolloin epämääräiset mitat voidaan jättää alussa epämääräisiksi kunnes ne tarkentuvat. (Hietikko. 2010, 21.)

Parametrisessä suunnittelussa relaatioita ja matemaattisia yhteyksiä pystytään käyttämään hyödyksi huomattavasti 2D - ohjelmistoja tehokkaammin ja

mahdollistetaan näin suunnittelun osittainen automatisointi. Tällä puolestaan on merkittävä vaikutus suunnittelun tuottavuuteen. (Hietikko. 2010, 23.)

Kolmiulotteista tuotemallia voidaan hyödyntää huomattavasti kaksiulotteista piirustusta tehokkaammin alkaen jo myynti tai tarjoustilanteesta, jossa asiakkaalle voidaan esittää visuaalisesti näyttävää materiaalia siitä mitä hän on hankkimassa.

Suunnittelijan näkökulmasta merkittävimmät edut saavutetaan mallin fyysisten ominaisuuksien tarkastelun mahdollisuudesta. Tällöin pystytään tarkastelemaan esimerkiksi kokoonpanon osien yhteensopivuutta hyvinkin tarkasti ja saatetaan huomata osien epäsopivuudet jo suunnittelussa hyvissä ajoin ennen tuotteen valmistuksen aloittamista. Tämä on huomattava tuotteen valmistuskustannuksiin vaikuttava tekijä, koska jos epäsopivuus huomataan vasta valmistettaessa tuotetta, on virheen korjaamisen kustannus moninkertainen. (Hietikko. 2010, 21.)

Lisäksi 2D - dokumentaation tuottaminen valmistusta varten tapahtuu nopeasti, koska esimerkiksi mitoitusta ei tarvitse tehdä uudelleen vaan malliin määrättyt mittatiedot siirtyvät myös mallin piirustukseen. Sama koskee myös tuotteen 3D – malliin tehtyjä muutoksia eli mallin geometrian muutostieto siirtyy mallista tehtyyn piirustukseen. Näillä ominaisuuksilla on vaikutus suunnitteluvirheiden määrään, koska kun mallit muokataan esimerkiksi kokoonpanossa toisiinsa sopiviksi ja mitoitetaan, jolloin malli on geometrisesti määrätty, ei mallin piirustukseen jää juurikaan virhemahdollisuutta.

Tuotteen valmistuksen kannalta edut saavutetaan työkuviin liitettävien isometristen 3D - kuvien kautta. Tällä tavoin tuotetta valmistava henkilö pystyy nopeasti saamaan hyvän yleiskuvan tuotteen rakenteesta ja muodostamaan käsityksen esimerkiksi työnvaiheistuksesta, jota tuotteen valmistaminen vaatii.

Yleisinä suunnittelua tehostavina ominaisuuksina voidaan mainita ohjelmistoissa olevat valmiit komponenttikirjastot, jolloin luotuun malliin sitä kautta tuodut osat sisältävät joko valmiin tai osalle aiemmin määrätyn attribuuttitiedon. Tällöin osaluetteloiden tekeminen tapahtuu nopeasti ja virhemahdollisuudet ovat vähäisiä. Oikein integroituna osaluetteloiden luominen tapahtuu hyvin pitkälle automatisoidusti, joka vapauttaa suunnittelijan resursseja tuottavampaan työhön kuin osaluetteloiden täyttämiseen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen käyttöönottamisella voidaan saavuttaa merkittäviä kustannus- ja ajansäästöjä konvektiopakettien suunnittelussa. Lisäksi niiden tarjoamat edut heijastuvat myös muihin toimitusketjun osa-alueisiin kuin pelkästään suunnitteluun.

Suunnitteluohjelmiston vaihtaminen ei välttämättä kuitenkaan ole aivan yksinkertainen projekti. Sen aikana saatetaan havaita muutosvastarintaa sekä käyttäjien, että yrityksen johdon puolesta ja lisäksi on pystyttävä selvittämään oman suunnittelun tarpeet ja eri ohjelmistojen soveltuminen niihin. Tästä syystä on pystyttävä perustelemaan ja osoittamaan selkeästi oman suunnittelun vaateet sekä edut, jotka kehittyneemmillä ohjelmistoilla olisi mahdollista saavuttaa ja tätä kautta saada eri osapuolien tuki projektia kohtaan.

9 KONVEKTIOPAKETTIEN RAKENNETARKASTELUT

Tässä luvussa kuvataan konvektiopakettien rakenteen kehittämistyön vaiheet. Rakennetarkasteluissa keskitytään konvektiopakettien nykytilan mukaisiin ongelmakohtiin ja pyritään löytämään näihin rakenneratkaisut. Merkittävimmät edut onnistuneiden rakenneratkaisujen kehittämisestä saavutetaan valmistettavuuden parantumisen kautta, joka vaikuttaa kokoonpanon sujuvuuteen ja läpimenoaikaan.

9.1 Lähtötiedot konvektiopakettien rakenteen optimoinnille

Taustaa konvektiopakettien rakenneoptimointiin hankittiin niiden valmistuksen seurannan ja kyseisiin tehtäviin osallistuvien henkilöiden haastatteluista saadun palautteen kautta. Varsinaiset lähtötiedot kuitenkin määrättiin ideointipalaverissa, joissa oli mukana yrityksen edustajia monesta eri tehtävästä. Tällä tavoin hankittiin mahdollisimman laajat näkökulmat eri toimintojen rakenteelle asettamista vaatimuksista, jotka tuli rakennetta kehitettäessä huomioida.

Ensimmäisessä kehitystyön vaiheessa keskityttiin tarkastelemaan kannatusrakennetta, koska se havaittiin nykytilan mukaan tarpeettoman monimutkaiseksi ja teräsprofiileiltaan hieman ylimitoitetuksi suhteessa siihen kohdistuvaan kuormaan. Tässä vaiheessa kannatusrakenteen kehittämiseksi määrättiin seuraavat lähtötiedot:

1. Kannatustavaksi valittiin riiputettu malli, kuitenkin siten että sama rakenne olisi pienin muutoksin sovellettavissa kannatetuksi malliksi.
2. Jänneväliksi valittiin 4000 mm ja kuormaksi 15 t, johon lujuuslaskennassa lisätään rakenteen vaatimat mitoitus- ja varmuuskertoimet.
3. Paketin kannatuspisteitä on oltava neljä kappaletta ja ne sijoitetaan kannatusrakenteen molempiin päihin.
4. Kannatusrakenne pidettävä erillään kaasutiiveyspellityksistä, jolloin lujuuslaskennassa voidaan mitoituslämpötilana käyttää 350 °C:sta. Tällä tavoin pysytään rakenneterästen virumisrajan alapuolella ja voidaan käyttää kannatukseen normaaleja rakenneteräsprofiileja.
5. Iskutangot kannatetaan niiden molemmista päistä sekä keskeltä, koska paketin jänneväli on pitkä.

Näiden lähtötietojen pohjalta lujuuslaskennassa määritettiin kannatusrakenteessa käytettävät teräsprofiilit. Konvektiopakettien leveyssuuntaisiksi profiileiksi valittiin IPE 270–teräspalkit ja pituussuuntaisiksi, joilla kannatetaan iskutangot ja osa putkikiertojen painosta valittiin IPE 220–teräspalkit. Lisäksi kaasutiiveyslevyjen ja iskutankojen kannatusta varten rakenteeseen on lisättävä putkipalkit sekä pituus- että

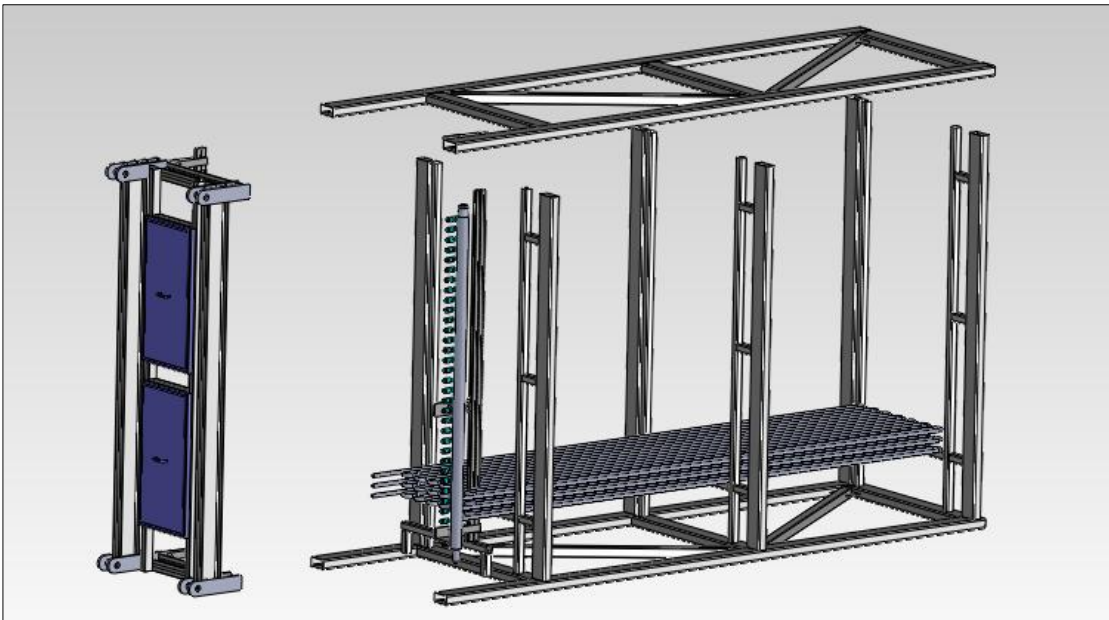
leveyssuuntaan. Osa putkipalkeista toimii samalla kehyksenä ja tiivistyspintana konvektiopaketin luukuille.

9.2 Konvektiopakettien rakenteen optimointi

Rakenteiden suunnittelu ja 3D-mallinnus toteutettiin SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmistolla. SolidWorks on yksi sovellus parametrasta piirremallinnusta hyödyntävistä suunnitteluohjelmista. Parametrisesta piirremallinnuksesta on kerrottu tarkemmin luvussa 8.8.

9.2.1 Kuljetus- ja kokoonpanokehikko

Yksi nykytilan mukaisista ongelmista oli kuljetus- ja kokoonpanokehikossa havaitut puutteet konvektiopaketin kokoonpanon aikaisista asennuspeteistä tai niiden mittojen puuttumisesta. Kuvassa 15 on esitettyä kehitysehdotusten mukainen, pidemmälle alihankinnassa varusteltu kuljetus- ja kokoonpanokehikko asennuspeteineen ja kansineen.

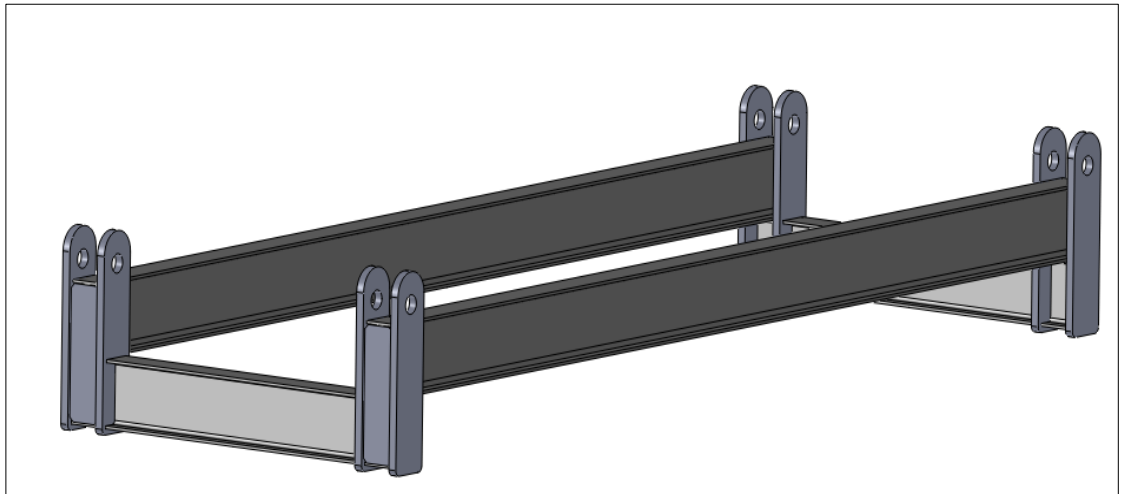


KUVA 15. Kuljetus- ja kokoonpanokehikko

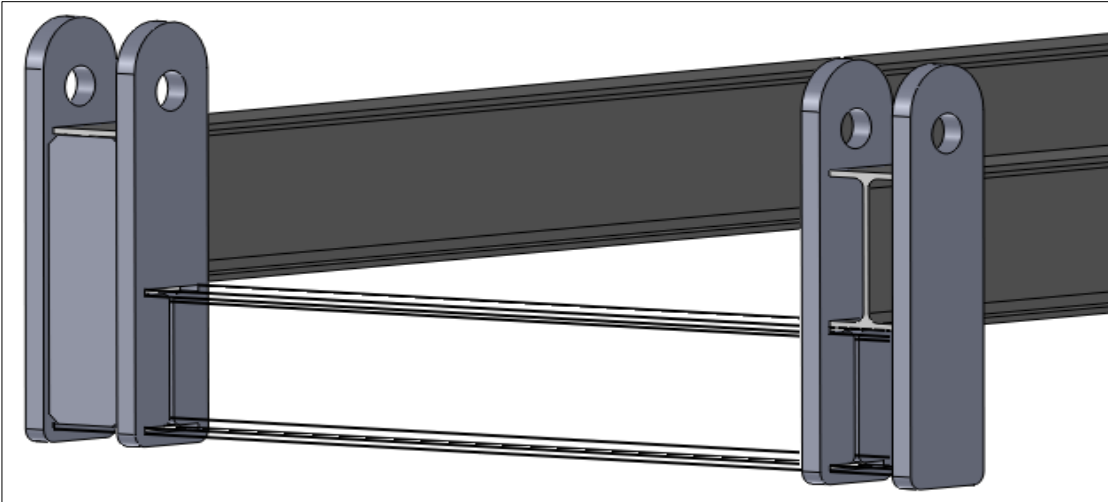
9.2.2 Kannatusrakenne

Kannatusrakenne suunniteltiin kerättyjen taustatietojen sekä ideointipalavereista ja lujuuslaskennasta saatujen lähtötietojen pohjalta yrittäen ottaa huomioon kaikki esille tulleet vaatimukset. Kannatusrakennetta suunniteltaessa oli otettava huomioon mm. rakenteellinen kuormankantokyky, rakenteen avoimuus huollon kannalta ja haluttu kokoonpanojärjestys ottaen huomioon paineenalaisten komponenttien sijainnit, iskutankojen kannatukset sekä kaasutiiveyslevyjen rakenteelle asettamat vaatimukset.

Rakenteesta pyrittiin saamaan mahdollisimman kuormankantava teräsprofiilien järkevällä sijoittelulla sekä kannatuskorvallisten rakenneratkaisuilla. Tämän tavoitteena oli optimoida hitsien a-mittoja sillä tavoin että hitseihin kohdistuvat rasitukset olisivat mahdollisimman vähäisiä ja hitsin lujustechniseen käyttäytymiseen nähden oikein suunnattuja. Kuvassa 16 on esitettyä alustava 3D-malli suunnitellusta kannatusrakenteesta ja kuvassa 17 on tarkennusta kannatuskorvallisten rakenneratkaisuista, joilla on haettu edellä mainittuja lujustechnisiä ominaisuuksia.



KUVA 16. Kannatusrakenteen alustava malli



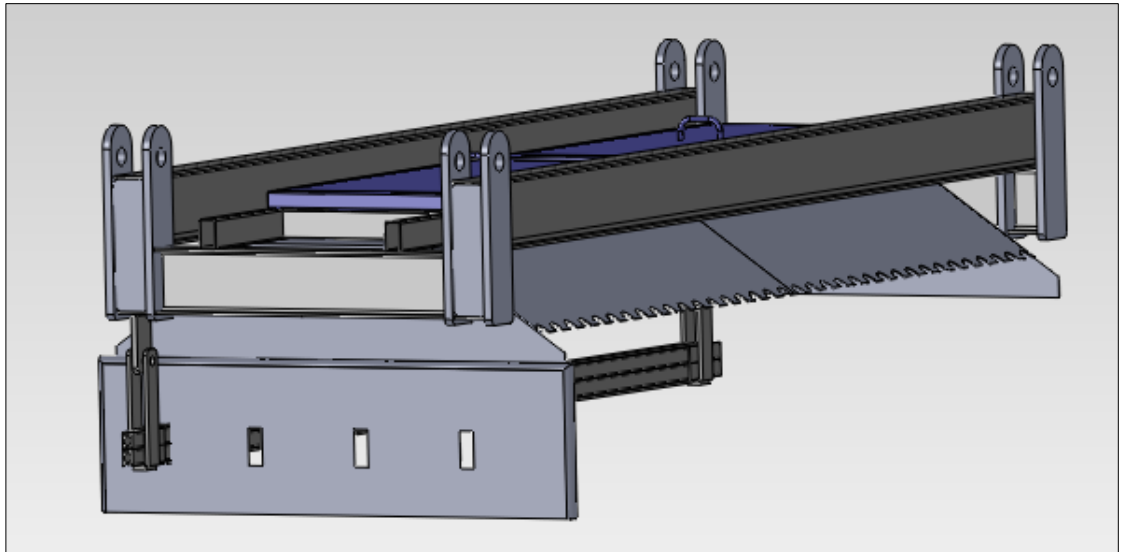
KUVA 17. Kannatuskorvalliset

9.2.3 Kaasutiiveyslevyt

Kannatusrakenteen suunnittelemisen jälkeen oli suunniteltava kaasutiiveyslevyt sekä niiden liittäminen kannatusrakenteeseen siten, että levyjen ja kannatusrakenteen välille jää ilmarako. Ilmaraon tarkoituksena on estää suora lämmönjohtuminen kannatusrakenteen teräsprofiileihin. Mallia kaasutiiveyslevyjen rakenteesta ja liittamisestä kannatusrakenteeseen haettiin aiemmin valmistetuista konvektiopaketeista ja niiden hyviä piirteitä sovellettiin myös tähän malliin.

Kaasutiiveyslevyt suunniteltiin siten, että ne on mahdollista valmistaa ja liittää kannatusrakenteeseen mahdollisimman pitkälle jo alihankinnassa, jolloin ne pystytään tuomaan konvektiopaketin kokoonpanoon isoina kokonaisuuksina. Lisäksi levyjen suunnittelussa on huomioitu haluttu kokoonpanojärjestys, eli niiden tulee olla rakenteeltaan sellaisia, että ne voidaan tuoda kokoonpanoon paineenalaisten komponenttien sekä iskutankojen asennuksen jälkeen.

Päätylevyjen suunnittelussa lisäehtona on rakenteen joustavuus, koska iskutangot joudutaan liittämään niihin kiinteästi kaasutiiveyden vuoksi. Tästä syystä päätylevyissä on oltava jonkinlainen palje, jolla otetaan iskutankojen värähtelyn aiheuttama säröytymäriski huomioon. Palkeet voivat olla koko päätylevyjen reunojen mittaiset tai vaihtoehtoisesti iskutankokohtaiset. Kuvassa 18 on esitettyä alustavasti suunnitellut kaasutiiveyspellitykset sekä niiden liittäminen kannatusrakenteeseen.



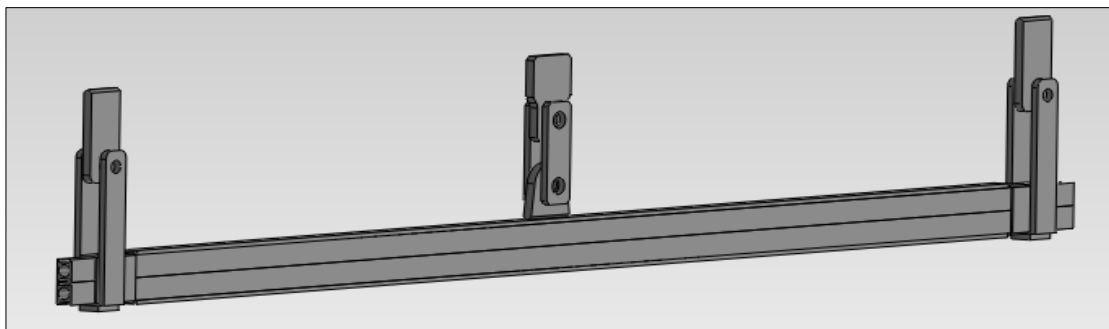
KUVA 18. Kaasutiiveyslevyt

9.2.4 Iskutangot

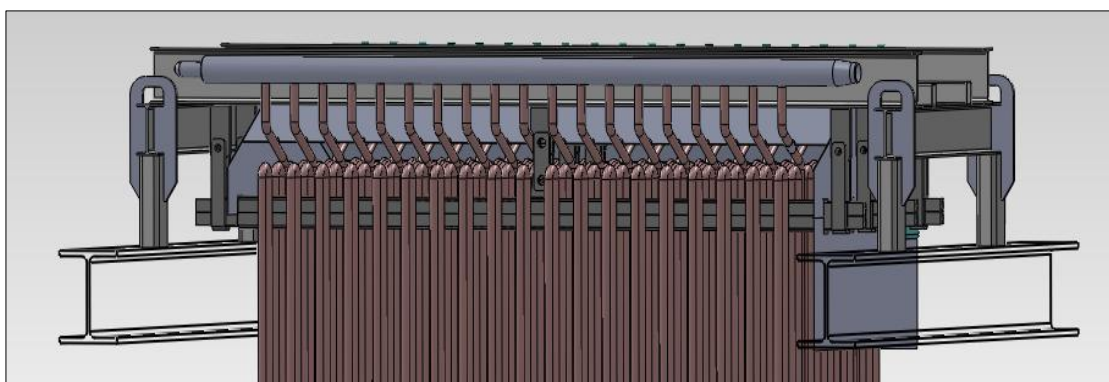
Iskutankojen rakenteen ja kannatuksen suunnittelussa hyödynnettiin opinnäytetyön aikana seurattua konvektiopaketin iskutankorakennetta sekä yrityksen iskutankojen suunnitteluohjeistoa. Malliltaan tähän rakenteeseen suunnitellut iskutangot ovat jäähdytetyt, tuplaomega-putkesta valmistetut ja niitä kannatetaan molemmista päistä sekä keskeltä.

Iskutankojen päiden kannatus toteutettiin kestäväksi todetulla kannatustavalla, jossa iskutanko ikään kuin lepää kannatuslevyjen päällä. Tässä rakenneratkaisussa iskutangot liukuvat kannatuslevyjen sisällä mukailien jousivasaran iskutankoihin aiheuttamia värähtelyjä. Iskutankojen keskikohtaan kannatukseen käytetään kannatuskorvallisista ja tappeja.

Iskutankojen suunnittelussa oli otettava huomioon mm. niiden haluttu lukumäärä konvektiopaketissa, paketin putkikiertojen jako, joka määrittää iskutankojen sijoittelun rakenteeseen, kannatuksen korkeus, joka määräytyy varsinkin kannatetussa mallissa osittain kattilan olemassa olevan teräsrakenteen mukaan, sekä jäähdytetyllä mallilla jäähdytysvesiputkien sijoittaminen rakenteeseen. Kuvassa 19 on esitettyä alustava malli iskutangosta kannatusosineen ja kuvassa 20 niiden sijoittelu konvektiopaketin kannatusrakenteeseen.



KUVA 19. Jäähdytetty iskutanko



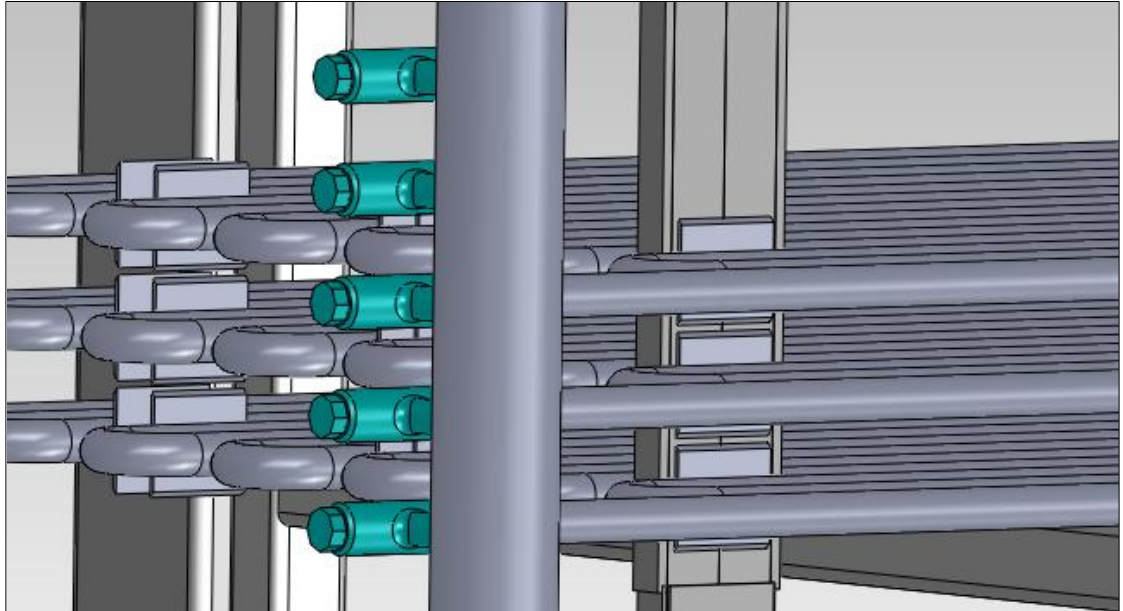
KUVA 20. Iskutankojen sijoittelu kannatusrakenteeseen

9.2.5 Putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsaus

Putkikierrat ja iskutangot toisiinsa liittävä hitsaus havaittiin valmistuksellisesti haastavaksi toteuttaa ja hitaaksi suorittaa. Iskutankojen toiminnan kannalta on oleellista, että jousivasaran iskun aikaansaama iskuenergia pystytään siirtämään putkikiertoon mahdollisimman tehokkaasti ja suoraviivaisesti. Iskutankojärjestelmän toiminnan vuoksi putkikierron ja iskutangon välinen liitoshitsaus on jatkuvan dynaamisen kuormituksen alainen hitsiliitos, mistä syystä sille asetetut laatuvaatimukset ovat korkeat ja liitostyyppin mahdollisuuksia on rajattu. Lisähaasteita liitoksen hitsaukselle asettavat varsinkin tiheällä putkikiertojaolla valmistettavat konvektio-osan loppupään paketit.

Edellä mainitut seikat huomioon ottaen tähän liitokseen kehitettiin yhteistoiminnassa tuotannon henkilöiden kanssa rakenteellinen kehitysehdotus, joka asettaa liitoksen sijainnin huomattavasti valmistusystävällisemmäksi ja mahdollistaa myös hitsausmenetelmän vaihtamisen puikkohitsauksesta tuottavampaan magtäytelankahitsaukseen. Kyseinen kehitysehdotus mahdollistaa, mikäli se saadaan hyvin onnistumaan, lisäksi kokoonpanon uudelleen vaiheistuksen ja sillä saattaa olla

myös muita välillisiä vaikutuksia konvektiopakettien rakenteeseen. Kuvassa 21 on esitettyinä rakentellinen kehitysehdotus iskutangon ja putkikierron liitokseen.



KUVA 21. Iskutangon ja putkikierron liitos

9.3 Rakenteen optimoinnin vaikutus konvektiopaketin kokoonpanovaiheisiin

Konvektiopaketin rakenteeseen kohdistuvilla rakennemuutosehdotuksilla on mahdollista vaikuttaa kokoonpanon vaiheistukseen ja nopeuttaa sitä. Tässä luvussa kuvattu kokoonpanon uudelleen vaiheistumahdollisuus perustuu edellisessä luvussa esitettyihin rakenneratkaisuihin, varsinkin putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsauksen kehitykseen. Lisäksi ajatusta kokoonpanon vaiheistukseen on haettu moduloidusta tuoterakenteesta luvussa 8.2 esitetyn moduulijaon mukaisesti.

Konvektiopaketin kokoonpanon aloitustyövaiheet on mahdollista muuttaa siltä osin, että kokoonpano- ja kuljetuskehikko, johon paketti kootaan, varustellaan alihankinnassa pidemmälle. Kehikon sisältäessä petit putkikiertoille sekä iskutangoille voidaan kokoonpano aloittaa välittömästi, kun kehikon kansi on poistettu kokoonpanon ajaksi ja kehikko on asemoitu tarkasti vaakatasoon kokoonpanotilaan.

Varsinainen konvektiopaketin kokoonpano olisi mahdollista vaiheistaa siten, että ensimmäisessä vaiheessa kammiot asetetaan kohdalleen suhteessa kuljetus- ja kokoonpanokehikkoon jigien avulla yhdenaikaisesti ensimmäisen putkikierron kanssa. Kammiot toimivat vastaavasti jigienä putkikiertojen asemoinnille.

Perustuen putkikierron ja iskutangon liitostyyppin muuttamiseen kaikki putkikierrat voidaan tässä vaiheessa nostaa paikoilleen kehikkoon useamman putkikierron paketteina, esimerkiksi kolmen tai neljän, riippuen konvektipaketin kiertojen määrästä. Samalla ne voidaan myös silloittaa kiinni iskutankoihin sekä kammioihin. Tällä toteutustavalla tarpeettomasti toistuvia nostoja, mitoituksia ja asetteluajoja pystytään vähentämään eli jalostavan työn osuus kasvaa.

Putkikiertojen ja iskutankojen ollessa paikoillaan kehikossa, voidaan kuljetus- ja kokoonpanokehikon kansi asentaa takaisin paikoilleen. Tämä mahdollistaa iskutankojen tukemisen myös niiden yläpäästä. Näin pystytään minimoimaan hitsauksen lämmöntuonnin aiheuttamat muodonmuutokset iskutankoihin, jotka aiemmin ovat olleet ongelmallisia ja aiheuttaneet oikomista lämmön sekä vaijeritaljoilla aikaansaadun jännityksen avulla.

Kaikkien putkikiertojen ollessa silloitettuna iskutankoihin ja putkikiertoihin, voidaan molempien kokoonpano hitsausta suorittaa yhdenaikaisesti eli rinnastaa kokoonpanoa, jolla on vaikutusta läpimenoaikaan. Tässä vaiheessa on huomioitava hitsausjärjestyksen suunnittelu, jolla pyritään myös minimoimaan hitsauksen lämmöntuonnin aiheuttamat muodonmuutokset. Tässä vaiheessa tapahtuu myös mahdollisten kattoputkien liittäminen kokoonpanoon, mikäli konvektipaketin rakenne ne sisältää.

Kaikkien paineenalaisten komponenttien ollessa paikoillaan, on konvektipaketin koeponnistus mahdollista jo tässä vaiheessa, ennen kuin kannatusrakenne ja kaasutiiveyslevyt asennetaan kokoonpanoon. Tämä on merkittävä etu nykyiseen verrattaessa siinä mielessä, että mikäli paketin yläpään paineenalaisissa osissa havaitaan vuoto, on sen korjaaminen huomattavasti nopeampaa ja helpompaa, kun kannatusrakennetta ja kaasutiiveyslevyjä ei tarvitse purkaa pois edestä. Tällä tavoin saadaan varmuutta konvektipaketin koeponnistukseen.

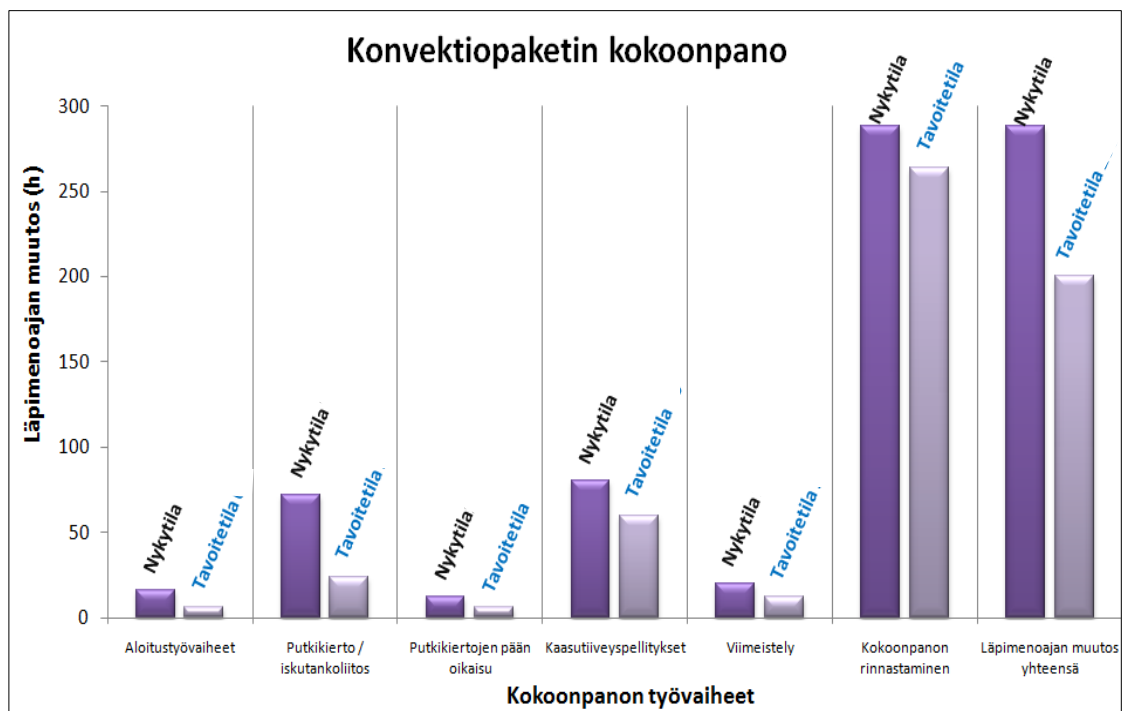
Koeponnistuksen jälkeen kun on olemassa varmuus konvektipaketin paineenalaisista osista ja hitseistä, tuodaan kannatusrakenne ja siihen valmiiksi mahdollisimman pitkälle liitetyt kaasutiiveyslevyt kokoonpanoon. Kannatusrakenne tuetaan ja silloitus hitsataan kuljetus- ja kokoonpanokehikkoon loppukokoonpanon ja kohteeseen kuljetuksen ajaksi. Tässä vaiheessa liitetään kokoonpanoon loput kaasutiiveyslevyt ja saatetaan näin konvektipaketin yläpää kaasutiiviiksi.

Lopuksi suoritetaan pakettiin liittyvät viimeistelytyövaiheet, joita on myös hieman mahdollista nopeuttaa kuljetus- ja kokoonpanokehikon nostokorvakkeiden sijoittelulla kehikkoon niin että ne pystyttäisiin alihankinnassa hitsaamaan valmiiksi kehikkoon.

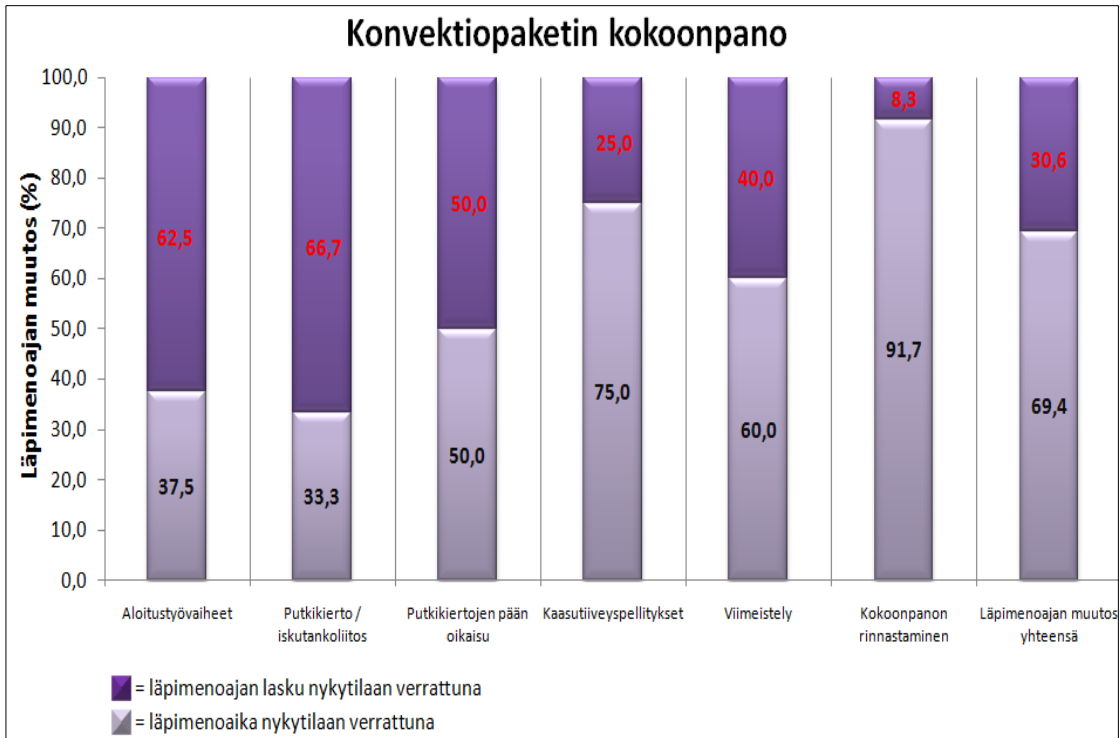
Edellä kuvatun mukaisella vaiheistuksella ja ne mahdollistaneilla rakenneratkaisuilla pystytään lyhentämään merkittävästi kokoonpanon läpimenoaikaa ja vaikuttamaan tuotetta jalostavan työn osuuden kasvamiseen. Lisäksi pystytään hallitsemaan riskiä kokoonpanon läpimenoajan ennustamattomasta pitenemisestä koeponnistusvaiheen siirrolla aiemmin tapahtuvaksi.

9.4 Rakenteen optimoinnin vaikutus kokoonpanon läpimenoaikaan

Kuvassa 22 on esitettyä opinnäytetyön aikana seurattua konvektiopaketin kokoonpanosta kerättyjä läpimenoaikoja (tuntimäärät poistettu julkisesta versiosta) sekä rakenteen kehitystyön vaikutuksia läpimenoaikaan. Kuvassa 23 on esitettyä samat vaikutukset prosenttiosuuksina.



KUVA 22. Kokoonpanon läpimenoajat



KUVA 23. Läpimenoajat prosentiosuuksina

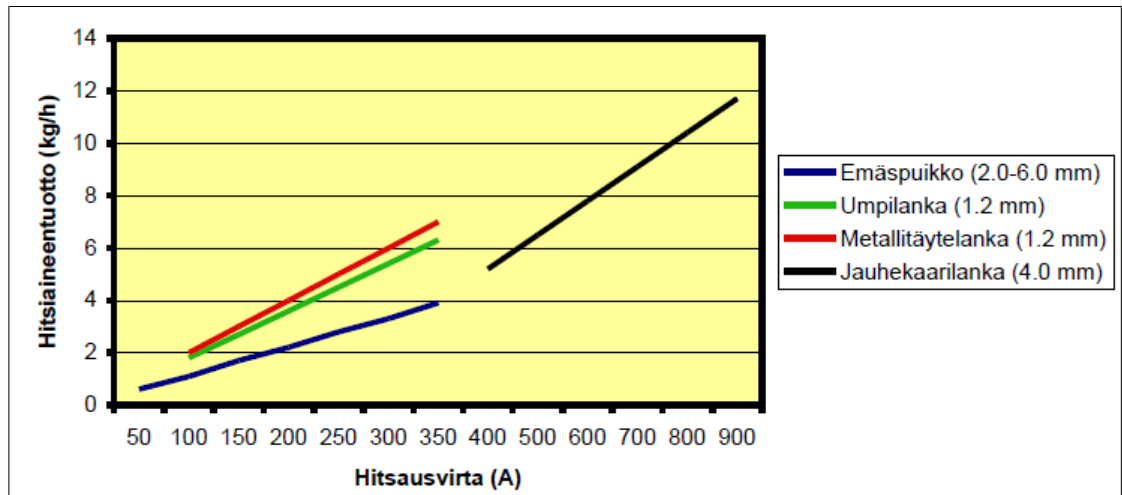
Aloitustyövaiheen ajansäästö perustuu kuljetus- ja kokoonpanon varusteluun mahdollisimman pitkälle jo alihankinnassa, sama koskee myös viimeistelyvaiheessa saavutettavaa ajansäästöä koskien kehikon nostokorvakkeiden hitsauksen poisjäämistä varsinaisesta kokoonpanovaiheesta niiden sijaintia muuttamalla.

Putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsauksien työvaiheessa saavutettavan ajansäästön mahdollistaa jo aiemmin mainittu sidoslevyn rakenneratkaisu ja liitostyyppin muutos, joka asettaa hitsin sijainnin huomattavasti paremmin luokse päästäväksi.

Tämä puolestaan mahdollistaa hitsausmenetelmän vaihdon puikkohitsauksesta noin 2-3 kertaa tuottavampaan mag - täytelankahitsaukseen. Täytelankahitsaus olisi siinä mielessä hyvä hitsausmenetelmä kyseiseen liitokseen, että valokaaren lämpötila pystytään pitämään korkeana, joka on ehtona kestäväälle hitsille tässä tapauksessa. Tämä ehto johtuu siitä, että iskutankon ja putkikierron liitoshitsaus on jatkuvan dynaamisen kuormituksen alainen liitos eli hitsissä on oltava riittävästi tunkeumaa vastaan ottamaan näitä rasituksia.

Puikkohitsauksesta on otettava lisäksi huomioon sen suuremmat menetelmäapuajat kuin mag - täytelankahitsauksessa mikä tarkoittaa hitsausmenetelmän korkeampaa

tuottavuutta. Kuvassa 24. on esitettyä eri hitsausmenetelmien tuottavuussuhteita riippuen käytetystä hitsausvirrasta.



Kuva 24. Hitsausmenetelmien tuottavuus (www.shy-hitsaus.net)

Kaasutiiveyslevyjen osalta aikaa pystytään säästämään tuomalla ne isompina kokonaisuuksina kokoonpanoon ja tätä kautta vähentämään hitsausliitosten määrää. Lisäksi putkikiertojen ja kaasutiiveyslevyjen läpivientireikien asennustoleranssia kasvattamalla esimerkiksi reikäkohtaisesti 2 mm puoleltaan, saadaan tarpeetonta sovitusaikaa laskettua eikä se vaikuta vielä kokoonpanohitsauksen toteutukseen.

Tätä periaatetta voidaan soveltaa myös päätylevyjen suunnitteluun, jossa asennuksen sovitusvarat huomioidaan valmiiksi päätylevyyn ja iskutankojen jousto sekä kaasutiiveys toteutetaan iskutankokohtaisilla paljeosilla. Tämä vähentää myös sovittamisen määrää ja nopeuttaa kokoonpanoa.

9.5 Rakennemuutosehdotusten välilliset vaikutukset

Välillisillä vaikutuksilla tarkoitetaan tässä tapauksessa putkikiertojen ja iskutankojen liitoshitsauksen ja siihen kehitetyn liitostyyppin mahdollistamia muutoksia. Yrityksen sisäisissä katselmuksissa kävi ilmi että, konvektio - osan loppupäässä, jossa prosessikaasut ovat jo jäähtyneet melko paljon, olisi mahdollisuus käyttää tiheämmällä jaolla olevia konvektiopaketteja kuin mitä nykyisin valmistetaan.

Syy siihen ettei tätä ole toteutettu on valmistustekninen eli kyseisen liitoksen vuoksi putkikierrat on jouduttu pitämään tietyllä etäisyydellä toisistaan, jotta ne saadaan

luotettavasti hitsattua. Kehitetyllä liitostyypillä jakoa on mahdollista pienentää entisestään ja tällä tavoin tuottaa suurempi lämpöpinta-ala periaatteessa samansuuruiseen konvektiopakettiin.

9.6 Rakenteen optimoinnin soveltaminen konkreettiseksi tuotteeksi

Välikatselmuksessa esiteltyjen rakenneratkaisuehdotusten arvioitiin olevan ainakin osittain mahdollisia soveltaa erään olemassa olevan kattilan konvektiopaketteihin. Kehitettyä rakennetta yritys aikoo esitellä asiakkaalleen rinnakkain vanhan konvektiopaketin kanssa ja ottaa tätä kautta heidän mielipiteensä huomioon rakenteen kehityksessä.

Rakenteen soveltaminen oli mahdollista toteuttaa opinnäytetyön puitteissa, koska opinnäytetyöhön varattua aikaa oli jäljellä sen verran, että sen katsottiin riittävän tähän jatkotoimenpiteeseen. Yrityksen kannalta rakenneratkaisujen soveltaminen katsottiin parhaaksi vaihtoehdoksi tuottaa opinnäytetyöstä konkreettinen lopputuote.

9.6.1 Prosessisuunnittelun asettamat reunaehdot

Prosessisuunnittelusta hankittiin lähtötiedot lämpöpintojen eli putkikiertojen määrään ja malliin sekä vaadittujen kokoojakammioiden nimelliskokoon ja pituuteen. Näiden pohjalta mallinnettiin paketissa käytettävät putkikierrat sekä kokoojakammiot, hyödyntäen yrityksen suunnitteluohjeistoa kyseisiä komponentteja koskien.

Osien kokoonpanovaiheessa oli huomioitava olemassa olevan kattilalaitoksen konvektio - osan layout, josta tietoa hankittiin vanhoista, yrityksen arkistossa olevista kattilalaitoksen valmistuspiirustuksista. Kuvassa 25 on esitettyinä prosessisuunnittelun vaateiden mukaiset konvektiopaketin putkikierrat ja kokoojakammiot.



KUVA 25. Putkikierrat ja kokoojakammiot

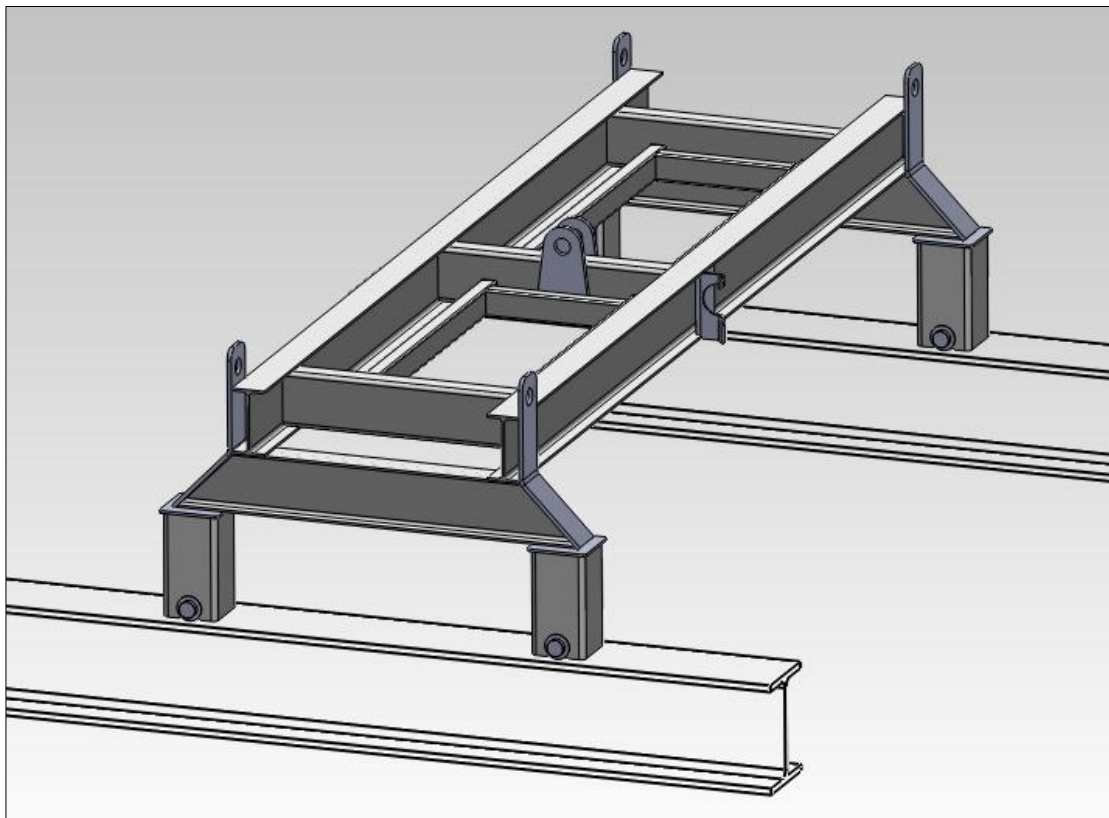
9.6.2 Kannatusrakenteen soveltaminen

Kannatusrakenteessa hyödynnettiin mahdollisimman pitkälle aiemmin tässä työssä esiteltyä rakenne-ehdotusta. Muutoksia jouduttiin kuitenkin tekemään melko paljon, mm. pakettien kannatustavan vuoksi. Myös kannatusrakenteen suunnittelussa oli huomioitava olemassa olevan kattilalaitoksen konvektio-osan layout ja muiden konvektio-osan pakettien sijainti, jotta suunniteltava rakenne mahtuu nykyisten olemassa olevien pakettien väliin.

Lisäehtoja kannatusrakenteen suunnittelulle ja soveltamiselle olivat rakenteen avoimuus, iskutankojen sijainti ja riiputus sekä kaasutiiveyslevyt liitoksineen. Lisäksi oli huomioitava lämpövaihtelujen aiheuttamat lämpöliikkeet, jotka otetaan vastaan tässä rakenneratkaisussa kannatusrullilla.

Konvektiopaketin asennuksen eli paikoilleen nostamisen helpottamiseksi kannatusrakenteeseen sijoitettiin useita nostokorvakkeita siten, että osa korvakkeista toimii samalla rakenteessa jäykistävänä ja osia toisiinsa sitovana elementtinä.

Kuvassa 26 on esitettyä kattilalaitoksen vaatimusten ja reunaehtojen mukaisesti sovellettu kannatusrakenne.



KUVA 26. Kannatusrakenteen soveltaminen

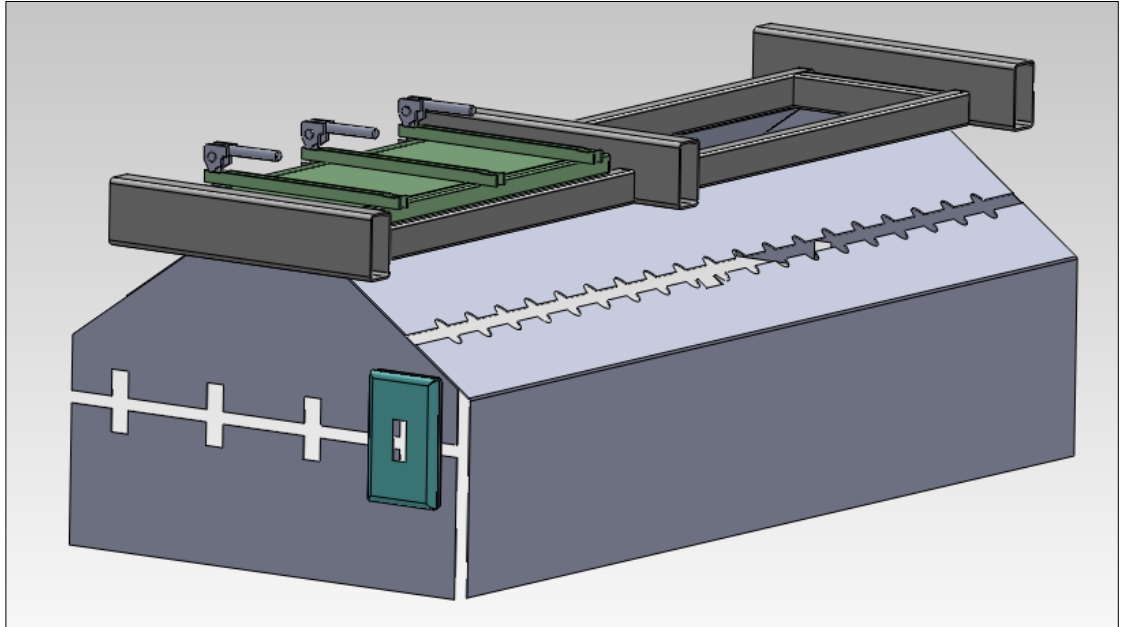
9.6.3 Kaasutiiveyslevyjen soveltaminen

Kaasutiiveyslevyjen soveltava suunnittelu pyrittiin toteuttamaan siten, että aiemmin mainitut kehitysehdotukset saatiin huomioitua ja tuotettua näin mahdollisimman helposti kokoonpantava rakenne.

Päätylevy jaettiin kahdeksi osaksi, jolloin ne voidaan tuoda kokoonpanoon iskutankojen molemmilta puolilta. Tällöin asennusta helpottavat sovitukset pystyttiin huomioimaan valmiiksi päätylevyihin ja iskutankojen jousto sekä kaasutiiveys toteutettiin iskutankokohtaisilla paljeosilla.

Avainasemassa kaasutiiveyslevyjen suunnittelussa oli riittävien, asennusta nopeuttavien toleranssien huomioiminen sekä levyjen tuominen kokoonpanoon mahdollisimman isoina kokonaisuuksina. Näillä muutoksilla pyrittiin vaikuttamaan kokoonpanovaiheen sovittamisen määrään ja kasvattamaan näin jalostavan työn

osuutta. Kuvassa 27 on esitettyä konvektipakettiin sovelletut kaasutiiveyslevyt luukkuineen sekä iskutankokohtainen joustopalje.



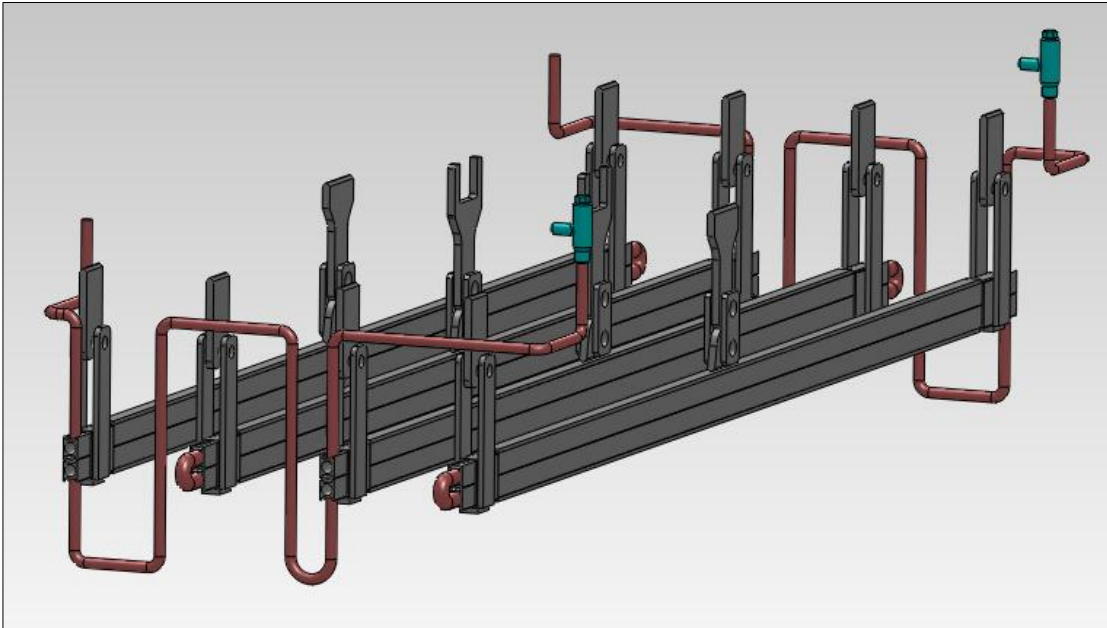
KUVA 27. Kaasutiiveyslevyjen soveltaminen

9.6.4 Jäähdytettyjen iskutankojen soveltaminen

Malliltaan sovellettavaan rakenteeseen suunnitellut iskutangot ovat jäähdytetyt, tuplaomega-putkesta valmistetut ja niitä kannatetaan molemmista päistä sekä keskeltä. Iskutankojen päiden kannatus toteutettiin kestäväksi todetulla kannatustavalla, jossa iskutanko ikään kuin lepää kannatuslevyjen päällä.

Tässä rakenneratkaisussa iskutangot liukuvat kannatuslevyjen sisällä mukailleen jousivasaran iskutankoihin aiheuttamia värähtelyjä. Iskutankojen keskikohdan kannatukseen käytetään kannatuskorvallisista ja tappeja. Iskutankojen jäähdytysputkiston toteutukseen mallia haettiin opinnäytetyön aikana seurattua konvektiopaketista.

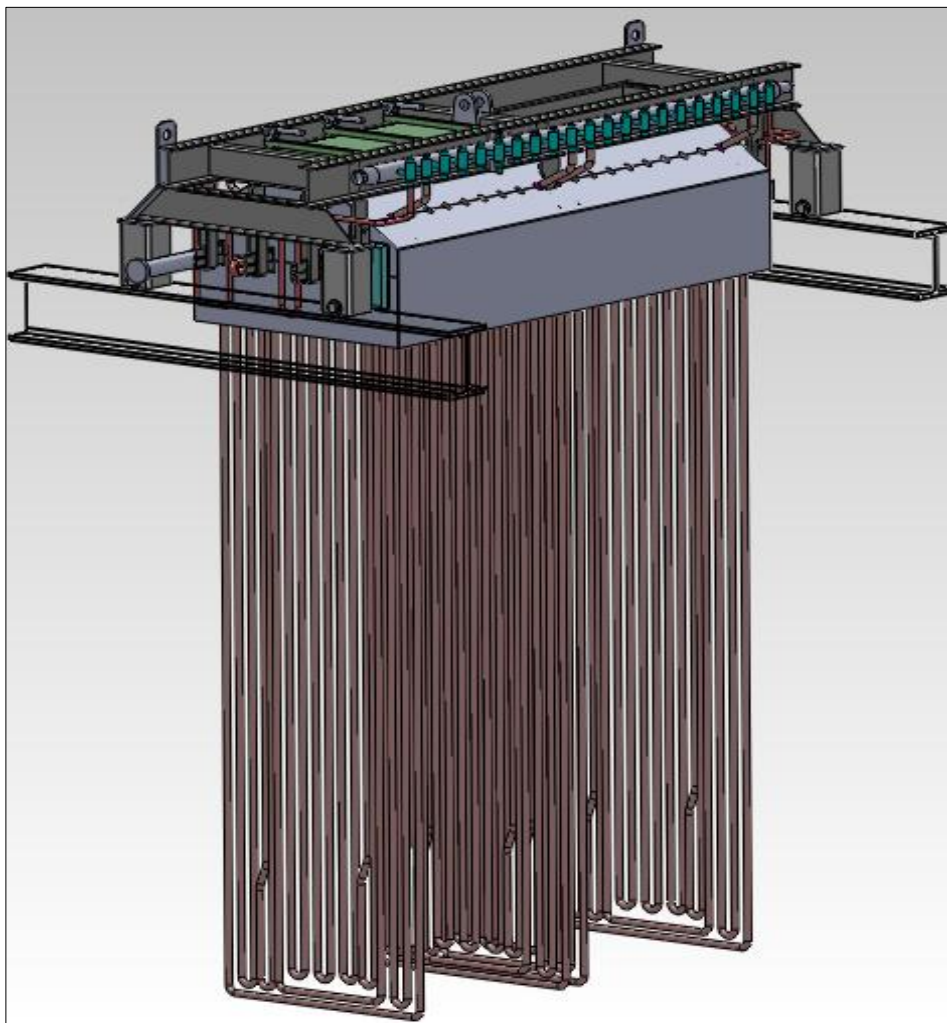
Jäähdytysveden virtausta putkistoon säädellään suuttimilla, jotka on liitetty painepuolen kammioon, jolloin vesi kiertää jäähdytysputkien sekä iskutankojen läpi paluupuolen kammioon. Eräs kriteeri jäähdytysputkien suunnittelussa oli niiden joustavuuden huomioiminen, koska ne hitsataan kiinteästi iskutankoihin ja näin ollen ne värähtelevät samoin kuten iskutangotkin. Kuvassa 28 on esitettyinä kattilalaitokseen sovelletut iskutangot jäähdytysputkineen ja suuttimineen.



KUVA 28. Jäähdytetyt iskutangot

9.6.5 Sovellettavan rakenteen kokoonpano

Konvektiopaketin 3D-mallin kokoonpanovaiheessa jouduttiin muutoksia suunniteltuihin osiin vielä jonkin verran tekemään, jotta niiden yhteensopivuus toisiinsa sekä olemassa olevaan kattilalaitoksen konvektio-osaan saatiin varmistettua. Kuvassa 29 on esitettyä kattilalaitokseen sovellettavan konvektiopaketin alustava kokoonpano. Lopullista versiota ei voida tässä työssä esittää, sillä konvektiopaketin kehitetyn rakenteen soveltaminen täysin valmiiksi tuotteeksi tapahtuu varsinaisen opinnäytetyön ulkopuolisena toimenpiteenä.



KUVA 29. Kokoonpanon soveltaminen

10 TYÖN TULOKSET

Opinnäytetyön lopputuloksina saatiin luotua konvektiopaketille yksinkertaistettu ja valmistettavuudeltaan parempi rakenne, jolla on mahdollisuus helpottaa vaikeasti toteutettavia työvaiheita kokoonpanossa ja nostaa tällä tavoin jalostavan työn osuutta. Hitaimpiin ja valmistusteknisesti haastavimpiin kokoonpanon työvaiheisiin löydettiin vaihtoehtoiset ratkaisut nykyisille toteutustavoille sekä hitsausmenetelmille ja näin pystytään vaikuttamaan vaiheiden läpimenoaikoihin.

Rakennekehitysehdotukset mahdollistavat kokoonpanon vaiheistuksen muuttamisen selkeämmäksi kokonaisuudeksi, jolloin odottamattomia läpimenoaikaa kasvattavia tekijöitä voidaan paremmin hallita jatkossa. Lisäksi työn aikana kerätty valmistusinformaatio konvektiopakettien kokoonpanovaiheista ja niiden likimääräisistä läpimenoajoista pystytään hyödyntämään tuotannon ohjauksessa ja resurssien jaossa.

Konvektiopaketin rakenteen jatkokehityksen osalta päästiin alkuperäistä opinnäytetyön tavoitetta pidemmälle siinä mielessä, että rakenneratkaisut pystyttiin soveltamaan pitkälti valmiiksi lopputuotteeksi, jota työn asettaja voi esittää asiakkaalleen melko vähäisin muutoksin. Tällä tavoin opinnäytetyöstä syntynyt lopputuote saatiin konkretisoitua asettajan hyödynnettäväksi.

Työkuvasuunnittelun kehittämisen osalta tutkittiin ja havaittiin kehitysmahdollisuuksia sen tehostamiseksi koskien tuoterakenteen modulointimahdollisuuksia, osien parametristä suunnittelua sekä kehittyneempien suunnitteluohjelmistojen tarjoamia mahdollisuuksia. Suunnittelun kehitysehdotukset jätettiin tutkimustyön asteelle tämän opinnäytetyön osalta työn asettajan jatkokäyttöä varten. Merkittävin tulos näistä lienee alustavan moduulijaon muodostaminen konvektiopakettien tuoterakenteesta, jonka vaikutukset tulevat heijastumaan muihinkin toimitusketjun vaiheisiin, mikäli modulointiajatusta viedään yrityksessä tulevaisuudessa eteenpäin.

11 YHTEENVETO

Opinnäytetyölle asetettuna kokonaistavoitteena oli WHB-kattilan konvektiopakettien valmistuksen kustannustehokkuuden kasvattaminen. Tähän tavoitteeseen pyrittiin kehittämällä konvektiopakettien rakennetta valmistusystävällisemmäksi sekä tutkimalla keinoja, joilla konvektiopakettien työkuvasuunnittelun tuottavuutta olisi mahdollisuus lisätä.

Aihe oli työtä aloitettaessa melko laaja, koska konvektiopakettien valmistuksen kustannustehokkuuden kasvattamismahdollisuuksia haluttiin tarkastella useammasta eri näkökulmasta. Tästä syystä kattavan yleiskuvan muodostaminen konvektiopakettien valmistuksesta oli tärkeä osa työn suorittamista. Tällä tavoin saatiin selville eri tahojen näkemykset ja kehitysehdotukset konvektiopakettien suunnittelusta ja valmistuksesta sekä hyödynnettyä niitä työn toteutuksen aikana.

Tässä yhteydessä on myös mainittava henkilökunnan positiivinen ja avoin suhtautuminen työtä kohtaan, joka oli merkittävä tekijä työn onnistumisen kannalta. Henkilökunnan varauksettoman tuen ansiosta saatiinkin kerättyä runsaasti kehitysehdotuksia konvektiopakettien suunnitteluun sekä valmistukseen ja näin lähtökohdat kehitystyölle olivat hyvät.

Työn laajuus muodostui lopulta suurimmaksi haasteeksi, koska eri vaihtoehtoja kustannustehokkuuden kasvattamiseen olisi ollut mahdollista löytää useammankin opinnäytetyön tarpeiksi. Tämän vuoksi alkuperäistä tehtävänantoa rajattiin uudelleen työn edetessä, jolloin arvioitiin opinnäytetyöstä syntyvien lopputuotteiden eri vaihtoehtojen yritykselle tarjoamaa lisäarvoa ja päädyttiin kehittämään sekä optimoimaan konvektiopakettien rakenne mahdollisimman pitkälle työn aikana.

Toinen haastava osuus työssä oli konvektiopaketista suunnitellun konseptin soveltaminen olemassa olevaan kattilalaitokseen. Alkuperäiseen rakenteeseen nähden siihen jouduttiin tekemään melko paljon muutoksia ja kompromisseja sijoituskohteen ehdoilla. Tämä osuus työstä oli haastava, ollen kuitenkin jälkepäin ajatellen hyvin opettavainen ongelmien ratkaisutaidon kasvamisen kannalta.

Kehitystyön aikana onnistuin mielestäni muodostamaan eri tahoilta saatujen kehitysehdotusten pohjalta ehjän kokonaisuuden konvektiopakettien suunnittelun ja valmistuksen kehittämiseksi sekä suunnittelemaan konvektiopaketeille

rakennerratkaisut, joilla on realistisia mahdollisuuksia kasvattaa toiminnan kustannustehokkuutta.

Toivon, että avoimin silmin ja ennakkoluulottomasti tekemäni kehitystyö ja sen aikana havaitut mahdollisuudet tehostaa eri toimintoja toi yritykselle uusia ajatuksia ja tulevat herättämään keskustelua ja kasvattamaan mielenkiintoa jatkaa konvektiopakettien valmistuksen kehitystyötä. Lisäksi toivon, että tämän työn avulla pystyin osaltani parantamaan suunnittelun ja tuotannon välistä vuorovaikutusta nostamalla esiin tuotantohenkilöiltä saatua palautetta ja ottamaan heidän mielipiteensä huomioon optimoituja rakennetta suunniteltaessa.

Tulevaisuuden työtehtävien kannalta tämä opinnäytetyö antoi tekijälleen huomattavan määrän lisävalmiuksia siirtyä työelämään. Toteutuksen aikana tietämys painelaitetuotteen suunnitteluprosessista ja erityisesti painelaittevalmistuksesta lisääntyi huomattavasti. Lisäksi tuotteen suunnitteluun ja valmistukseen liittyvät eri tekijät ja niiden vaikutus kokonaisuuteen auttavat varmasti hahmottamaan yhä suurempia asiasisältöjä tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Foster Wheeler Energia Oy 2011a Intranet. Sisäinen tietokanta [viitattu 16.4.2012].

Foster Wheeler Energia Oy 2011b. Project Wise Explorer V8i, WHB-koulutus [viitattu 17.4.2012].

Foster Wheeler Energia Oy 2011c. Yrityksen www-sivu. [viitattu 17.4.2012].
Saatavissa:

<http://www.fosterwheeler.fi/Default.aspx>

<http://www.fosterwheeler.fi/fi/Tuotteet/Default.aspx>

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 2000. *Höyrykattilatekniikka*. 6 painos. Helsinki: Oy Edita Ab.

Hietikko, E. 2010. *SolidWorks - Tietokoneavusteinen suunnittelu*. 4 uudistettu painos. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. *3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä*. Tampere: Tammertekniikka.

Erixon, G. 1998. *Modular Function Deployment – A method for Product Modularisation*. KTH. Högskoletryckeriet. Stockholm. Sweden

Sarinko, K. 1999. *Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu: Konetekniikan osasto. [viitattu 19.4.2012]. Saatavissa:

<http://www.soberit.hut.fi/pdmg/papers/Sari99Mas.pdf>

Tuovinen, J. 2010. *Tuotannonohjauksen kehittäminen*. Opetusmateriaali. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.

Kaivos, P. 1985. *Standardisointi ja modulointi yrityksen toiminnan selkeyttäjänä*. SMK: Helsinki.

Salo, P. 2009. *HYPEX-kattilalaitoksen rungon perussuunnittelun ja 3D-mallintamisen kehittäminen*. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu: Rakennustekniikan osasto. [viitattu 21.4.2012]. Saatavissa:

<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9554/Salo.Pekka.pdf?sequence=2>

Kaarna, A. 2005. *Parametrinen suunnittelu*. Tietokoneavusteinen suunnittelu-kurssin luentokalvot. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [viitattu 24.4.2012]. Saatavissa:

<http://www2.it.lut.fi/kurssit/05-06/Ti5212800/tas-a4-param.suunnittelu.pdf>

Lukkari, J. 2011. *Hitsaustalous ja tuottavuus*. Hitsaustekniikka lehti 3/2011 [viitattu 28.4.2012]. Saatavissa:

http://www.shy-hitsaus.net/Portals/shy/dokumentit/HT-3-11%20hitsaustalous_201108101.pdf