

Andrei Kangasmäki

AUTOKLAAVIN
JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN
KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyön tiivistelmä
Kone- ja tuotantotekniikka


Marraskuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences


KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 18.11.2010	
Tekijä(t) Andrei Kangasmäki	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Nimeke Autoklaavin jäähdytysjärjestelmän kehittäminen.		
Tiivistelmä Tämän työ tehtiin mikkeliläiselle yritykselle Platom Oy, joka on ydinvoimatekniikkaan keskittynyt asiantuntijayritys. Yritys suunnittelee ja valmistaa uraaniheksafluoridin käsittelylaitteistoa ja jäähdytysjärjestelmiä, tarjoaa erilaisia konsultointipalveluja ydinjätehuoltoon, ydinvoimaturvallisuuteen ja projektin hallintaan liittyen. Työn tavoitteena oli kehittää vaihtoehto nykyiselle autoklaavin jäähdyttimelle. Autoklaavia käytetään uraaniheksafluoridin käsittelyyn. Tavoitteina oli saada jäähdytysjärjestelmä modulaariseksi, parantaa sen huollettavuutta, pienentää valmistuskustannuksia ja säilyttää järjestelmän jäähdytysteho tai parantaa sitä. Työn alussa jouduttiin paneutumaan normaalia syvemmälle fysiikan lämmönsiirtoteorioihin, jonka jälkeen tutkittiin erilaisia lämmönsiirinvaihtoehtoja. Vaihtoehtoja on pois suljettu aina johdonmukaisesti. Työssä on pidetty aktiivista yhteyttä toimittajien ja yrityksen henkilöstön kanssa, erityisesti yhteisissä palavereissa. Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan onnistunut. Lähes kaikki tavoitteet saavutettiin. Työ jätti kuitenkin avoimia kysymyksiä, jotka vaativat lisäselvitystä tulevaisuudessa. Näistä esimerkkinä on jäähdyttimen optimointi ja laitteiston muuntaminen uutta jäähdytintä varten. Sarjatuotannon edellytyksenä luonnollisesti on jäähdyttimen testaus oikeissa käyttöolosuhteissa.		
Asiasanat (avainsanat) Lämmönsiirrin, autoklaavi, jäähdytin		
Sivumäärä 12 s.	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä) Tämä osa opinnäytetyöstä on tarkoitettu yleisölle, loppuosa työstä on kokonaan salainen.		
Ohjaavan opettajan nimi Markku Kemppe	Opinnäytetyön toimeksiantaja Platom Oy	

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis 18 November 2010
Author(s) Andrei Kangasmäki	Degree programme and option Machine and industrial technology	
Name of the bachelor's thesis Research and development of cooling system for autoclave.		
Abstract <p>This thesis was made for company Platom Oy operating in nuclear industry. The company designs equipment for handling uranium hexafluoride, which is used in nuclear fuel fabrication processes. In addition, Platom provides expert services for nuclear operators, especially in the field of nuclear safety and waste management.</p> <p>The goal of this thesis was to develop improved a cooling system for an autoclave, which is used to handle uranium hexafluoride. Specific targets were to improve modularity, to ease maintenance measures, lower manufacturing costs and to maintain existing cooling power or even to improve it.</p> <p>In the beginning of the project it was necessary to study various aspects of the heat transfer theory and to examine different types of heat exchangers. I ended up with the final choice through a multi-stage process. The project required active communication with equipment suppliers and company personnel, several meetings were held.</p> <p>Almost every goal was reached and the thesis was success as a whole. Further research is needed regarding optimizing the cooling system and finalizing the design with the autoclave. The requirement for serial production is that the finalized version of cooling system is properly tested.</p>		
Subject headings, (keywords) Heat exchanger, autoclave, cooler.		
Pages 12 pages.	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices This part of the thesis is intended for the public, rest part of the work is entirely confidential.		
Tutor Markku Kemppi	Bachelor's thesis assigned by Platom Oy	

ОПИСАНИЕ

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Дата диплома 18.11.2010
Автор Андрей Кангасмяки	Программа и направление Направление по механике и производству	
Название диплома Разрабатывание системы охлаждения автоклава		
Краткий обзор Этот проект был сделан для компании Платом, которая занимается промышленностью в сфере атомной технологии. Платом разрабатывает и производит устройства для обращения с гексафторидом урана и системы охлаждения. Компания также предоставляет услуги консалтинга в сферах переработки ядерных отходов, безопасность производства, разработка моделей аварийных ситуаций и других процессов. Цель проекта была разработать вариантную систему охлаждения для автоклава. Просьбой была найти способ как сделать систему охлаждения более модулярной, облегчить процесс монтажной работы, постараться понизить расходы на производство и улучшить мощность охлаждения. В начале работы требовалось по лучше познакомиться с теориями переноса тепла и разными вариантами теплообменников. Варианты теплообменников были исключены последовательно. Во время проекта поддерживалась связь и общение с поставщиками, а также и со специалистами фирмы Платом. В целом проект получился, так как почти все цели были достигнуты. Проект все-таки оставил некоторые открытые вопросы, которые требуют дальнейшего изучения в будущем. Например, оптимизация и тестирование оборудования.		
Ключевые слова Теплообменник, автоклав, охлаждение		
Страницы 12 с.	Язык Финский	URN
Примечание Эта часть диссертации предназначена для общественности, остальная часть работы является полностью конфиденциальной.		
Учитель Маркку Кемппи	Бакалаврская работа назначенная от Платом ОИ	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	LÄMMÖNSIIRTO.....	1
2.1	Lämmönsiirron tehostaminen	2
2.1.1	Johtuminen.....	2
2.1.2	Konvektio.....	4
2.1.3	Säteily	5
2.2	Lämmönläpäisykerroin	6
2.2.1	Likaantumisen vaikutus lämmönläpäisyyteen.....	6
3	PAINELAITEMÄÄRITYKSET.....	7
3.1	PED -moduulit.....	8
4	ONGELMIEN JA ALUSTAVIEN RATKAISUJEN POHDINTA NYKYISEEN LÄMMÖNSIIRTIMEEN	10
5	YHTEENVETO	10
	LÄHTEET	12

1 JOHDANTO

Teen opinnäytetyön Platom Oy:lle ja työn aiheena on autoklaavin nykyisen jäähdytyksen kehittäminen. Autoklaavi on avattava painelaite, johon sisältyy lämmitys- ja jäähdytyslaite.

Parannuksia halutaan erityisesti huollon, asennuksen ja valmistuksen helpottamiseksi. Kehitetyn jäähdyttimen jäähdytystehon täytyy olla vähintään sama tai parempi kuin nykyisen laitteen. Rakenteesta halutaan tehdä nykyistä modulaarisempi. Toiveena on myös kustannusten pienentäminen.

Tämän projektin vaikein osa on itse laitteiston testaus. Laitteistoa ei pystytä testaamaan prototyyppinä, vaan ratkaisun tulee olla niin hyvä ja loppuun asti viety, että se on parempi kuin melkein 20 vuotta vanha, toimiva ratkaisu. Myös toimiva ratkaisu voi kohdata vastoinkäymisiä siinä vaiheessa, kun sitä tarjotaan asiakkaalle. Asiakkaat määrittelevät minkälaisia liitoksia he haluavat autoklaavien sisään ja minkälaiset liitokset ovat kiellettyjä.

2 LÄMMÖNSIIRTO

Lämpövirta syntyy, kun kaksi väliainetta, joilla on eri lämpötilat, joutuvat vuorovaikutukseen toistensa kanssa. Teknisissä sovelluksissa on tärkeitä pystyä määrittämään sen lämpövirran suuruus, joka siirtyy väliaineesta toiseen nesteen tai kaasun välillä aikayksikköä kohden, kun väliaineita erottaa toisistaan seinämä. Tätä sanotaan lämmönsiirtotehoksi. Lämmön siirtämiseksi on olemassa kolme eri tapaa, johtuminen, konvektio ja säteily. [1, s. 13.]

Johtuminen tapahtuu kiinteissä kappaleissa tai levossa olevissa nesteissä ja kaasuissa. Konvektio eli kulkeutuminen syntyy, kun lämpö siirtyy kiinteän kappaleen ja virtaavan nesteen tai kaasun välillä. Lämpösäteilyssä väliainetta ei tarvita lämmön kuljettajana, sillä energia siirtyy sähkömagneettisten aaltojen välityksellä. Lämpösäteilyssä korkeammassa lämpötilassa oleva kappale luovuttaa lämpöä matalammassa lämpötilassa olevalle kappaleelle. Lämmön siirtymiseen säteilemällä tarvitaan kappaleiden välinen näköyhteys tai lämmön kulkutie heijastavien pintojen kautta. [1, s. 13.]

2.1 Lämmönsiirron tehostaminen

Lämmönsiirtoa voidaan tehostaa monella eri tavalla. Seuraavana on eriteltyä eri lämmönsiirtotekniikan mukaan erilaisia tapoja tehostaa lämmönsiirtoa.

2.1.1 Johtuminen

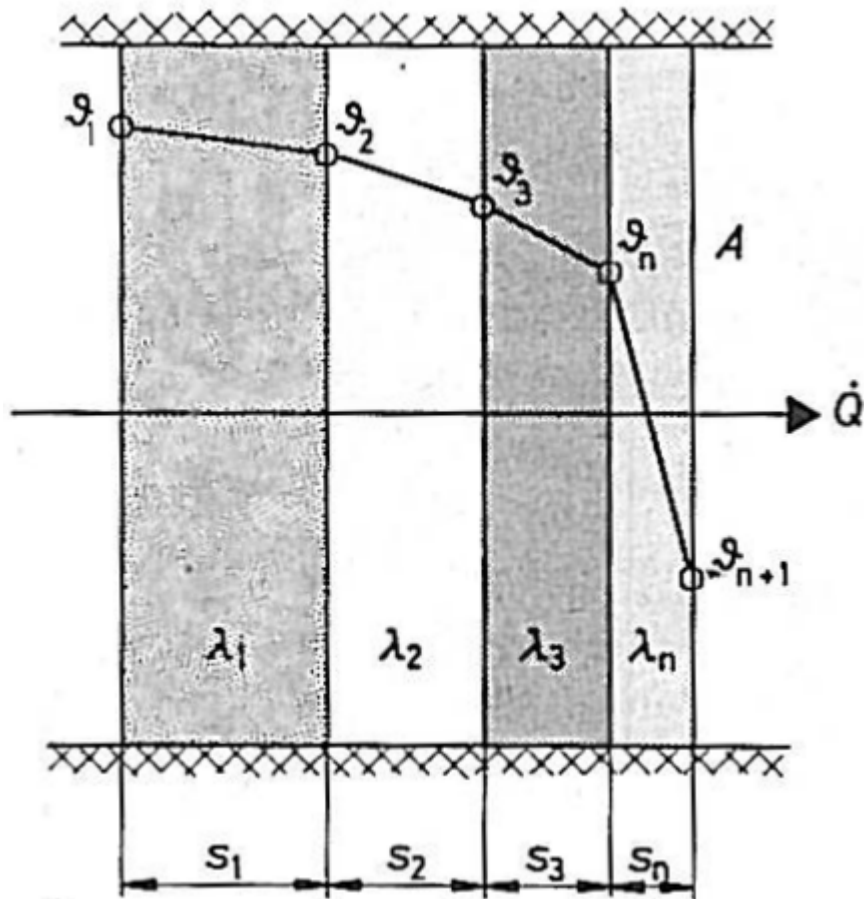
Lämmönsiirtoa tehostetaan johtumalla muun muassa hyvin lämpöä johtavilla materiaaleilla. Kiinteissä aineissa lämpö johtuu yleensä molekyylien värähtelyjen välityksellä. Metalleissa lämpö johtuu tämän lisäksi myös elektronien välityksellä, jolloin lämmönjohtavuus kasvaa. Metalleissakin on lämmönjohtavuudessa eroavaisuuksia. Esimerkiksi hopea, kupari, kulta ja alumiini johtavat lämpöä yli nelinkertaisesti ferriittisten terästen nähden. [1, s. 15–16.]

Johtumista voidaan edesauttaa, kun kappaleet ovat kiinni toisissaan niin, että kappaleiden pinnat ovat mahdollisimman sileät, eikä niiden välissä ole ilmaa tai likaa. Kappaleiden pinnan paksuus on myös vaikuttava tekijä lämmön johtumiseen, mitä ohuempi kappaleen pinta on, sitä nopeammin lämpö tasoittuu väliaineessa ja sitä paremmin siirtää lämpöä toiseen.

Kaavassa 1 esitetään lämmön johtuminen monikerroksisen tasomaisen seinän läpi.

$$\dot{Q} = \frac{A \times (\vartheta_1 - \vartheta_{n+1})}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{s_n}{\lambda_n}} \quad (1)$$

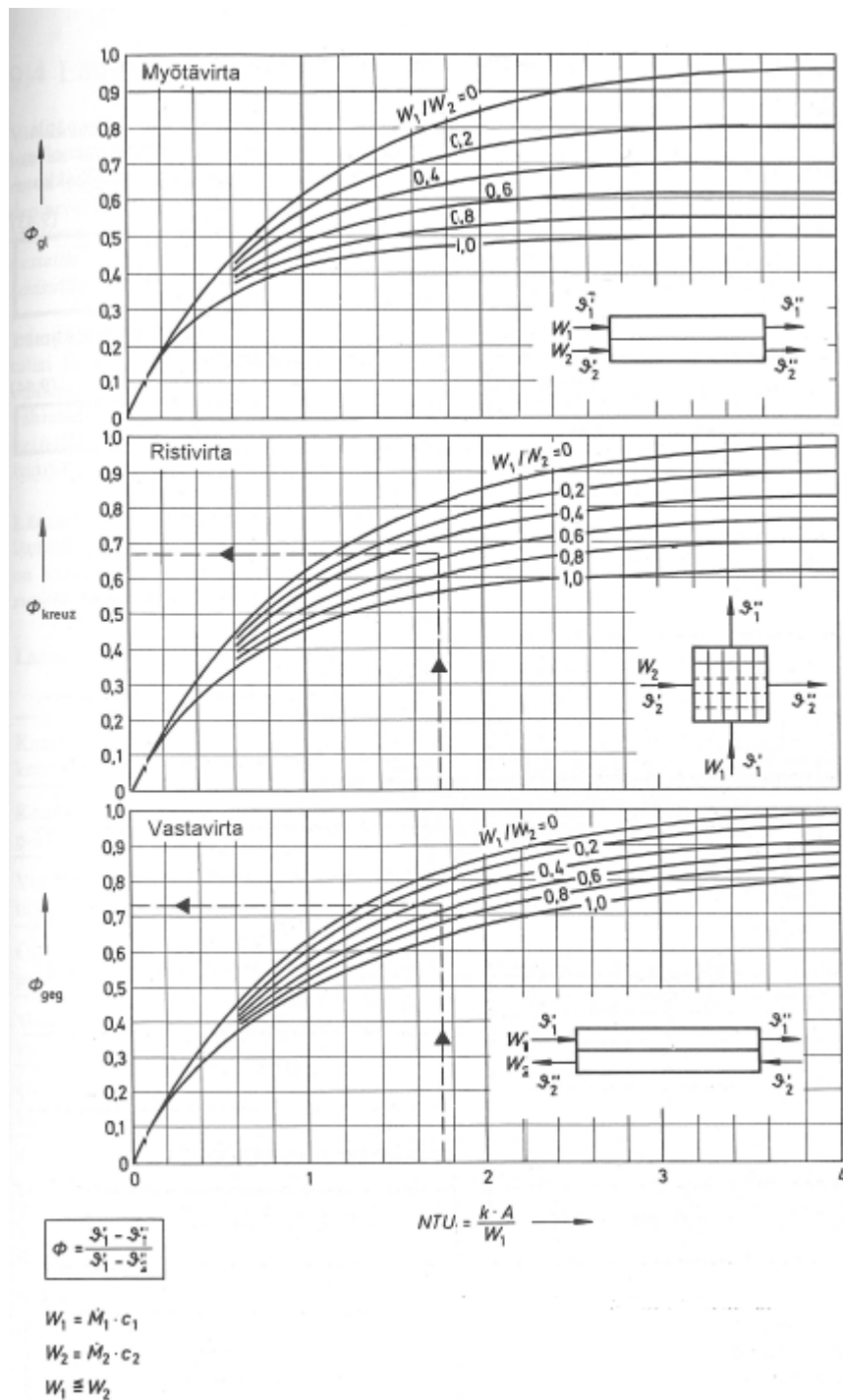
Kaavassa (1) vektori Q on lämpövirta, A on pinta-ala, ϑ on celsiuslämpötila, s on seinämän paksuus ja λ on lämmönjohtavuus.



KUVA 2. Lämmön johtuminen monikerroksisen tasomaisen seinän läpi. [1, s. 18.]

2.1.2 Konvektio

Konvektiossa lämmönsiirtoa voidaan tehostaa nostamalla virtausnopeutta tai tekemällä virtauksesta turbulenttista. Lämmönsiirtopinta-alan kasvattamiseksi voidaan joissakin tapauksissa käyttää rivoitettuja pintoja. Tämän lisäksi konvektion lämmönsiirtoa voidaan parantaa muuntamalla lämmönsiirtimen virtaussuunta sellaiseksi, jotta siitä saadaan suurin mahdollinen hyöty. Vastavirtaisella lämmönsiirtimellä saavutetaan suurin mahdollinen lämmönsiirtoteho pinta-alaan nähden. Myös lämmönsiirtoaineen viskositeetilla on vaikutusta lämmönsiirtotehoon, vähäviskoosisilla aineilla on parempi lämmönsiirtoteho. [1, s. 51,72–82.]



KUVA 3. Tässä esitetään kolmen lämmönsiirrinlajin tunnusluvut. Kuvasta voidaan nähdä, että vastavirtainen lämmönsiirrin on muita tehokkaampi. [1, s. 159.]

2.1.3 Säteily

Säteilyä voidaan tehostaa parhaiten korkeilla lämpötilaeroilla. Mitä korkeampi säteilevän kappaleen lämpötila, sitä enemmän se lähettää energiaa aaltojen välityksellä. Vastaanottavalla kappaleella tärkeät tekijät ovat materiaalin valinta. Materiaalin täy-

tyy olla sellaista, joka minimoisi heijastusta ja sen pinta olisi mahdollisimman lähellä mustaa kappaletta. Tämän lisäksi säteilyä voidaan parantaa, kun pinnat ovat koh-tisuorassa toisiinsa nähden, näin näkyvyyskerroin kasvaa. [1, s. 13.]

2.2 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerrointa käytetään lämmönsiirtimien mitoituksessa. Lämmönlä-päisykerroimesta käytetään myös nimeä k-arvo.

Otetaan esimerkiksi kaksi ainetta, joiden välissä on teräseinä. Aine 1:stä lämpö siir-tyy konvektion kautta teräseinän seinämään, josta se siirtyy johtumalla teräseinän läpi ja sitten taas konvektion kautta aineeseen 2. Lämmönsiirtimen lämmönläpäisyke-roin siis ilmaisee kuinka hyvä lämmönläpäisy on ennalta määriteltyjen aineiden kes-ken, koska siinä otetaan huomioon vaikuttavien aineiden lämmönsiirtokerroimet ja väliaineen lämmönjohtavuuskerroin. k-arvon laatu on $W/(m^2 \cdot K)$.

Termisessä mielessä korkea k-arvo on hyvä asia, mutta k-arvon nousu tapahtuu yleen-sä painehäviön kustannuksella. Painehäviö ei ole aina huono asia, jos sitä esimerkiksi käytetään turbulenttisen virtauksen aikaansaamiseksi, mutta se ei saa kasvaa puhallin-tai pumppaustehon tarpeen vuoksi liian suureksi [2, s. 204–208.]

Kaavassa (3) k on lämmönläpäisykerroin, α on lämmönsiirtymiskerroin, s on seinämän paksuus ja λ on lämmönjohtavuus.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

2.2.1 Likaantumisen vaikutus lämmönläpäisyyn

Lämmönsiirron heikentyminen otetaan lämmönsiirtimien mitoituksessa huomioon kertoimella φ , jolloin saadaan todellinen lämmönläpäisykerroin.

Kaavassa (4) esitetään todellinen lämmönläpäisykerroin k , kun pinnan likaantumisen otetaan huomioon. Kaavan k_0 on puhtaan pinnan lämmönläpäisykerroin ja φ on likaantumiskerroin.

$$k = \varphi \cdot k_0$$

Kaavasta (5) saadaan likaantumiskerroin φ tasomaisille pinnoille ja hyvä likiarvo käyrille pinnoille. Kaavan k_0 on puhtaan pinnan lämmönläpäisykerroin, s on seinämän paksuus ja λ on lämmönjohtavuus.

$$\varphi = \frac{1}{1 + k_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{s_i}{\lambda_i}}$$

TAULUKKO 1. Lämmönsiirtokertoimia erityyppisille lioille. [3, s. Cb 9.]

Kattilakivi, kipsipohjainen	0,6-2,3
Kattilakivi, silikaattipohjainen	0,08-0,18
Ruoste, kuiva	0,035-0,07
Hiilipöly, kuiva	0,11
Jää	1,75-2,3
Jäähdytysvesi – kerrostuma	≈ 0,35
Suolaliuos – kerrostuma	≈ 0,46
Suola	≈ 0,6

3 PAINELAITEMÄÄRITYKSET

Autoklaavia koskevat painelaitedirektiivin G-moduulin mukaiset painelaitemääritykset. Painelaitedirektiivi on EU:n lainsäädäntöä ja jossain määrin tulkinnanvarainen.

Tulkintoja varten EU:n komission työryhmä antaa soveltamisohjeita. [4]

- PED ei anna yksityiskohtaisia teknisiä vaatimuksia. Hyväksyttävä turvallisuustaso saavutetaan kun seurataan yhdenmukaistettuja standardeja.

- PED vaatimukset ja standardien vaatimukset eivät ole yhteneviä. Yhdenmu-
kaistetuissa standardeissa esitetään usein painelaitedirektiivin minimivaati-
muksia kovempia vaatimuksia.

Tämän lisäksi autoklaaveja valmistetaan ASME -luokitusten mukaan, jotka ovat vas-
taavanlaisia amerikkalaisia painelaitemäärittäviä.

3.1 PED -moduulit

PED -moduulit ja niiden moduuliyhdistelmät jaetaan neljään eri luokkaan vaatimusten
mukaan. ”Tarkastusten toteutusta valvoo ilmoitettu laitos, joka on jonkin Euroopan
maan viranomaisen nimittämä puolueeton laitos tai elin, jolle on myönnetty lupa suo-
rittaa ilmoitetun laitoksen tehtäviä, kuten direktiiveissä on määritelty.” [5]

TAULUKKO 2. Vaatimustenmukaisuuden arviointimenettelyt. [6]

VAATIMUSTENMUKAISUUDEN ARVIOINTIMENETTELYT			
MODUULI TAI MODUULIYHDISTELMÄ			
LUOKKA I	LUOKKA II	LUOKKA III	LUOKKA IV
A	A1	B1 + D	B + D
	D1	B1 + F	B + F
	E1	B + E	G
		B + C1	H1
		H	

Taulukossa (2) nähdään miten eri vaatimustaso ja moduulien yhdistelmät arvioidaan.
Vaativimmat vaatimukset luokitellaan luokkaan IV.

TAULUKKO 3. Arviointimenettelyt ja niiden kuvaukset. [6]

Mo- duuli	Arviointimenettely	Kuvaus
A	Valmistuksen sisäinen tarkastus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin.

A1	Valmistuksen sisäinen tarkastus ja loppuarvioinnin valvonta	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo.
B	EY-tyyppitarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimustenmukaisuuden.
B1	EY-suunnitelmatarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimustenmukaisuuden.
C1	Tyyppinmukaisuus	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo.
D	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
D1	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa valmistuksessa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E1	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatujärjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
F	Tuotekohtainen todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotekohtai-

		sen loppuarvioinnin.
G	Yksikkökohtainen EY-todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin.
H	Täydellinen laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
H1	Täydellinen laadunvarmistus ja suunnitelmatarkastus sekä loppuarvioinnin erityisvalvonta	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu laitos tekee suunnitelmatarkastuksen ja valvoo loppuarviointia.

4 ONGELMIEN JA ALUSTAVIEN RATKAISUJEN POHDINTA NYKYISEEN LÄMMÖNSIIRTIMEEN

Seuraavaksi esittelen joitakin ongelmia, joita on esiintynyt ja joita on pohdittu nykyisessä järjestelmässä ja alustavien ratkaisujen pohtimista

Lämmönsiirtimen valmistus on erittäin hankalaa. Lämmönsiirrin hitsataan kiinni jäähdytysjärjestelmään sen jälkeen, kun se on asennettu autoklaavin sisään, eikä sitä jälkeenpäin käytännössä voida vaihtaa. Lämmönsiirtimen vaihdettavuus onkin yksi alue, joka täytyy ottaa huomioon uutta ratkaisua valittaessa.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyö oli kokonaisuudestaan onnistunut. Modulaarisuutta saatiin erilaisilla lämmönsiirrin vaihtoehtoilla. Näin asiakkaalle voidaan tarjota useampi vaihtoehto lämmönsiirtotehon nostamiseen.

Tällaisen kokonaisuuden asentaminen ja huoltaminen on myös huomattavasti helpompaa.

Tämä vaihtoehto myös varmasti asettuu paikalleen huomattavasti nykyistä vaihtoehtoa paremmin ja näin olleen riskit autoklaavien valmistuskustannuksissa pienenevät.

Näistä vaihtoehtoista täytyy tehdä prototyypit ja testata niiden lämmönsiirtotehoa nykyiseen verrattuna. Profiili muuttuu kuitenkin sen verran paljon uusissa vaihtoehtoissa, vaikka pinta-alaa kasvatetaankin, mahdollinen turbulentsisuuden häviäminen voi vaikuttaa jäähdytystehoon.

Lopulliset ratkaisut vaativat vielä jonkun verran hienosäätöä suunnittelussa ja testauksessa.

Tulevaisuudessa lämmönsiirrinlaitteistossa täytyy ottaa huomioon laitteiston likaantumisen valvonta. Olisiko esimerkiksi mahdollista valvoa likaantumista lähtevän ja tulevan lämmönsiirtoaineen lämpötilaa seuraamalla. Jos lämpötilaero jää kovin alhaiseksi, pitää lämmönsiirrin puhdistaa.

Haluaisin kiittää koko Platom Oy:n henkilökuntaa avusta ja motivoinnista, sekä mahdollisuudesta toteuttaa tämä opinnäytetyö. Erityiset kiitokset kuuluvat Erkki Jantuselle, Miika Puukolle, Janne-Pekka Mäkiselle ja Janne Matilaiselle.

LÄHTEET

1. Wagner, Walter 1994. Lämmönsiirto. Helsinki: Painatuskeskus Oy.
2. Huhtinen, Hannu, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. Helsinki: Edita.
3. VDI-Wärmeatlas. 1984. Düsseldorf: VDI-Verlag.
4. Purje, Juha 2008. Painelaitekoulutus Mikkelissä 9.9.2008.
5. Det Norske Veritas 2010. Säätiön WWW-sivut.
http://www.dnv.fi/palvelut/sertifiointi/tuotesertifiointi/ce_merkinta/ilmoitettu_1aitos/ Ei päivitystietoa. Luettu 1.11.2010.
6. Painelaiteopas, 2010. Turvatekniikan keskus. PDF-dokumentti.
http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaiteopas.pdf Ei päivitystietoa. Luettu 1.11.2010.