

Opinnäytetyö AMK

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotantopainotteinen konetekniikka

2014

Janne Ali-Lekkala

# KORKEAPAINEISEN LÄMMÖNVAIHTIMEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Huhtikuu 2014 | 34sivua

Timo Vaskikari

Janne Ali-Lekkala

# KORKEAPAINEISEN LÄMMÖNVAIHTIMEN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Tämän opinnäytetyön projektina on suunniteltu ja valmistettu korkeapaineinen lämmönvaihdin Finnfoam Oy:lle. Tavoitteena oli vaihtaa vanha käytössä oleva lämmönvaihdinjärjestelmä uuteen taloudellisempaan ja energiatehokkaampaan. Osana projektia oli myös pyytää tarjouksia monilta lämmönvaihdintoimittajilta ja valmistajilta valmistushinnan vertaamiseksi. Omavalmisteisen laitteen rakenteen osalta päädyttiin valmistamaan kierukkalämmönvaihdin, sillä se on valmistettavissa jo käytössä olevilla laitteilla lämmönvaihtimen yksinkertaisen rakenteen sekä paineenkeston vuoksi.

Lämmönvaihtimen kierukka valmistettiin manuaalisorvilla vääntämällä käyttäen itse tehtyjä erikoistyökaluja, ja hitsaukset suoritettiin joko puikko- tai TIG-hitsaamalla.

Valmiin lämmönvaihtimen hyötysuhde on erittäin hyvä, ja suunnittelusta jääneillä tiedoilla voidaan valmistaa uusi samanlainen tai pienillä muutoksilla eri käyttökohteeseen sopiva lämmönvaihdin huomattavasti pienemmällä vaivalla ja ajankäytöllä.

## ASIASANAT:

Kierukkalämmönvaihdin, temperointi, suunnittelu, tarjouspyyntö, kaksoisputkilämmönvaihdin

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and Production Engineering | Mechanical Engineering

April 2014 | 34 pages

Timo Vaskikari

Janne Ali-Lekkala

## DESIGNING AND PRODUCING OF HIGH PRESSURE HEAT EXCHANGER

As a project of this thesis has been designed and produced high pressure helical coil heat exchanger to the client, Finnfoam Oy. The main objective was to change the old heat exchanger to a new, more economic and energy efficient one. Part of this project was also to request quotations from many heat exchanger manufacturers and suppliers, to use in comparison for price. The structure of a self-made device was decided as it was possible to manufacture with the machinery that company already owned, and because it had an easy structure and high pressure resistance.

The helical coil of device was bended with lathe using self-made custom tools, and welding were performed with MMA welder or TIG welder.

Energy efficiency of new heat exchanger is now better, and the information an experience collected during the planning can be used to make a new similar heat exchanger or one with small modifications to different position with much less effort and time.

### KEYWORDS:

Helical coil heat exchanger, heating, designing, tender, tubular heat exchanger

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET</b>	<b>6</b>
<b>1. JOHDANTO</b>	<b>7</b>
1.1 Yrityksen ja laitteiston esittely	7
1.2 Aiheen valinta	8
<b>2. LAITTEEN VAATIMUKSET</b>	<b>9</b>
5.1 Paineenkesto	9
5.2 Lämmitys tuotannosta tulevalla lämpövirralla	9
5.3 Ylipaineventtiili	10
5.4 Mahdollisuus ohittaa lämmönvaihdin	10
<b>3. VANHA JÄRJESTELMÄ</b>	<b>11</b>
6.1 Temperointi	11
6.2 Lämmönvaihtimen rakenne ja toiminta	11
<b>4. LAITTEEN SUUNNITTELU</b>	<b>12</b>
7.1 Rakenne ja materiaali	12
7.2 Paineenkesto	12
7.3 Lisälaitteet	13
7.4 Lämmön johtuminen ja konvektio	13
7.5 Vastavirtaisuus	15
7.6 Kustannuslaskelmat	16
<b>5. TARJOUSPYYNNÖN TEKEMINEN</b>	<b>18</b>
<b>6. LÄMMÖNVAIHTIMEN VALMISTUS</b>	<b>19</b>
9.1 Työkalujen valmistus	19
9.1.1 Kierukan aihio	19
9.1.2 Putken ohjain	20
9.2 Kierukan vääntäminen	21
9.3 Säiliön kasaan hitsaaminen	22
9.4 Kierukan helmiliitinten kiristäminen	22
9.5 Lämmönvaihtimen kasaus ja eristäminen	24

<b>7. LAITTEEN ASENNUS JA KÄYTTÖ</b>	<b>25</b>
<b>8. YHTEENVETO</b>	<b>26</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>27</b>
<b>KAAVAT</b>	<b>28</b>

## KÄYTETYT LYHENTEET

HCFC	hydrokloorifluorivety, freoni
CFC	kloorifluorivety, freoni
HFC	fluorihilivety, freoni
XPS	suulakepuristettu polystyreenilevy

# 1. JOHDANTO

Nykypäivänä yritykset ovat jatkuvan kehittämis- ja säästöpainneiden alaisina. Yritysten tulee innovoida jatkuvasti uusia menetelmiä ja toimintatapoja, joilla tuotantoa saisi tehokkaammaksi, kilpailukykyisemmäksi ja samalla energiatehokkaammaksi.

Finnfoam Oy:n energiatehokkuus on parantunut huomattavasti tuotantoteknologian kehittymisen ja energiankulutuksen alenemisen ansiosta. Yritys valmistaa nyt samalla energiamäärällä 56 % enemmän tuotteita kuin vuonna 2001. Kaikkiaan vuosien 2001- 2010 välisenä aikana saavutettu sähköenergian säästö oli n. 14 100 megawattituntia.

Energiatehokkuutta on parannettu yrityksessä esimerkiksi itse kehitetyllä jäähdytysjärjestelmällä, jonka avulla tuotannosta tuleva hukkalämpö saadaan hyödynnettyä kiinteistöjen lämmityksessä sekä vaihtamalla tuotantotilojen 400 watin teollisuusvalaisimet 100 watin led-valaisimiin. Valaisimien vaihdon yhteydessä valotehon ja laadun parantuessa energiaa säästyy vuosittain noin 250 000 kilowattituntia, joka vastaa noin 13 omakotitalon vuosittaista sähkönkulutusta.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa korkeapaineinen lämmönvaihdin toimeksiantajalle Finnfoam Oy:lle. Työn tavoitteina oli rakenteen suunnittelu, lämmönsiirtopinta-alan laskeminen, tarjouspyyntöjen tekeminen lämmönvaihtimia valmistavilta yrityksiltä sekä itse laitteen valmistaminen ja asentaminen.

## 1.1 Yrityksen ja laitteiston esittely

Finnfoam-konsernin päätuote on Finnfoam-lämmöneristelevyt. Levyt valmistetaan polystyreenistä ekstruusiomenetelmällä eli suulakepuristamalla, jonka ansiosta solurakenteesta saadaan täysin yhtenäinen ja suljettu. Maailmalla vastaavista materiaalista käytetään yleisnimitystä XPS. [1]

Yrityksellä on tällä hetkellä noin sata työntekijää kolmessa eri maassa. Vuonna 2011 käynnistyi uusi tehdas Liettuassa ja vuonna 2012 Espanjassa.

Finfoam Oy onnistui ensimmäisenä maailmassa korvaamaan CFC-yhdisteet HCFC-yhdisteillä XPS-levyn tuotannossa vuonna 1988. HCFC-ponneaineen haitat ovat noin 5 % CFC-yhdisteiden haitoista. Vuonna 1991 aloitettiin kehitystyö HCFC-ponneaineen korvaamiseksi entistä ympäristöystävällisemmällä ponneaineella. Vuonna 1998 kehitystyössä tehtiin läpimurto, kun ensimmäiset hiili-dioksidilla valmistetut Finfoam-lämpöeristelevyt näkivät päivänvalon. Seuraavana vuonna kaikki tuotantolinjat muutettiin käyttämään uutta ponneainetta. Finfoam Oy oli ensimmäinen XPS-eristevalmistaja maailmassa, joka luopui kokonaan HCFC-yhdisteiden käytöstä. [2]

## 1.2 Aiheen valinta

Ehdotus lämmönvaihtimen suunnittelemisesta opinnäytetyönä tuli toimeksiantajalta. Yrityksessä oli pitkään harkittu yhden käytössä olevan kaksoisputkilämmönvaihtimen korvaamista uudella taloudellisemmalla lämmönvaihtimella. Aiheen valintaan vaikutti myös tämän opinnäytetyön kirjoittajan mielenkiinto, mahdollisuus uuden laitteen suunnitteluun sekä mahdollisuus oppia erilaisten laitteiden toimintaperiaatteita.



## 2. LAITTEEN VAATIMUKSET

Laitteessa on neljä päävaatimusta rakenteelle ja ominaisuuksille. Nämä ovat laitteen tarvittava paineenkesto, lämmitys tuotannosta tulevalla lämpövirralla, ylipaineventtiili liiallisen paineen varalta sekä mahdollisuus ohittaa lämmönvaihdin.

### 5.1 Paineenkesto

Ensimmäisenä ja tärkeimpänä ominaisuutena voidaan sanoa korkea paineenkesto. Tämä on oikeastaan suurin syy laitteen suunnitteluun, sillä markkinoilta ei löytynyt yhtään valmista ratkaisua näin korkeille paineille.

Laitteiston putkiston suunniteltu paineenkesto on noin 500 baria, joka on todella korkea mihinkään laitteistoon. Valmiita lämmönvaihtimia markkinoilta löytyi vain noin 200 bariin asti.

Korkea paine tulee pumpuilta, joissa varoraja on 550 barin kohdalla. Laitteiston normaali paine riippuen koneesta, johon yhdistettä menee, on 200–300 baria, mutta putkisto on suunniteltava niin, että rikkoutuminen ei olisi mahdollista, vaikka paine nousisi varorajalle asti.

### 5.2 Lämmitys tuotannosta tulevalla lämpövirralla

Alkuperäisten suunnitelmien mukaan lämmitys olisi toteutettu erillisellä sähköisellä lämmitysvastuksella, joka lämmittäisi lämmönsiirtoaineena toimivan nesteen, joka olisi ollut joko öljy tai vesi. Hetken aikaa asiaa tutkittua todettiin, että vastuksen teho vaatimus olisi ollut suuri ja energiankulutus sen myötä samaa luokkaa. Näin päädyttiin etsimään taloudellisempaa vaihtoehtoa.

Ekstruuderin jäähdytyskiertovesi, jonka lämpötila normaalin tuotannon aikana on noin 65 °C, sisältäisi tarpeeksi lämpöenergiaa yhdisteen lämmittämiseen, ja sitä pitää jäähdyttää muutenkin, joten "ylimääräisen" lämpöenergian hyväksikäyttö tässä sovelluksessa on erittäin hyvä ja taloudellinen lämmitystapa.

### 5.3 Ylipaineventtiili

Vaikka korkeapaineputkisto on valittu jo valmiiksi kestäväksi, säiliöön täytyy asentaa vielä erillinen ylipaineventtiili mahdollisen korkeapaineputken rikkoutumisen ja sitä myötä paineen nousun vuoksi. Liiallisen paineen nousun tapahtuessa, säiliö voi pahimmassa tapauksessa revetä tai jopa räjähtää.

### 5.4 Mahdollisuus ohittaa lämmönvaihdin

Koska valmiin lämmönvaihtimen testaus on tehtaalla lähes mahdotonta, täytyi putkistossa olla myös vaihtoehto muuttaa järjestelmä niin, että neste menee suoraan ekstruuderiin menemättä lämmönvaihtimen kautta. Tämä sen vuoksi, että jos jokin lämmönvaihtimen säiliön sisällä olevista putkista vuotaisi tai rikkoutuisi, hanat voitaisiin sulkea ja laite korjata.

Lisäksi lämmönvaihtimeen tulevalle vesilinjalle oli lisättävä 3-tie venttiilit, jotta tarvittaessa siitä saa vesikierron pois. Näin laite voidaan huoltaa ilman tuotantoon tulevaa häiriötä.

### 3. VANHA JÄRJESTELMÄ

Vanhassa lämmönvaihdinjärjestelmässä on ollut erillinen temperointiyksikkö ja kaksoisputkilämmönvaihdin. Tällä hetkellä on käytössä vain yksi lämmitin yhdessä koneessa, mutta tulevaisuudessa on tarve useammalle laitteelle, mikä on myös yksi osasy uuden laitteiston suunnitteluun.

Laitteistosta halutaan yksinkertaisempi, kustannustehokkaampi ja helpompi asentaa muun laitteiston yhteyteen.

#### 6.1 Temperointi

Temperoinnissa erillinen vastustoiminen laite lämmittää lämmönsiirtoaineena toimivaa öljyä, jonka avulla lämpöenergia siirtyy lämmönvaihtimen välityksellä lämmitettävään nesteeseen.

Nykyisessä järjestelmässä lämmönsiirtoaineena toimivalla öljyllä ei ole yhtä hyvä lämmönsiirtokyky (0,13 W/mK) kuin suunnitelmissa olevan laitteen vedellä (0,6 W/mK). Öljyn lämpötila täytyisi siis olla huomattavasti korkeampi kuin vedellä lämmitettäessä samalla lämmönvaihtimen mitoituksella.

#### 6.2 Lämmönvaihtimen rakenne ja toiminta

Nykyinen lämmönvaihdin on rakenteeltaan kaksoisputkilämmönvaihdin. Siinä kahden sisäkkäin olevan putken välissä lämmönsiirtoneste kulkee lämmittäen sisempää putkea, joka puolestaan siirtää lämmön lämmitettävään nesteeseen.

Vaihdintyyppi on yksinkertaisimpia käytössä olevia lämmönvaihtimia sen helpon rakenteen ja edullisen valmistuksen vuoksi. Lämmitintyyppille huonona ominaisuutena lämmönvaihtopinta-alan lisääminen vaatii suuren määrän putkea.

## 4. LAITTEEN SUUNNITTELU

Itse laitteen suunnittelun lähtökohtana oli ottaa selville kaikki mahdolliset vaatimukset joita lämmönvaihtimelta vaadittaisiin. Näitä olivat materiaalit, paineenkesto ja tarvittavat ominaisuudet. Ominaisuuksiin kuuluu tarvittava lämpötilamuutos ja korrodoivuuden kartoitus.

### 7.1 Rakenne ja materiaali

Tavoitteena oli suunnitella kustannustehokas, yksinkertainen, helppokäyttöinen ja itse valmistettavissa oleva lämmitin. Rakenteeksi tuli ns. kierukkalämmönvaihtimen periaate, eli säiliön sisällä virtaa kuuma lämmönsiirtoneste, jonka lämpövirta siirtyy pakotetun konvektion avulla säiliössä olevaan kierukkaan, jonka sisällä lämmitettävä fluidi virtaa. Säiliö, ja kaikki säiliön sisällä veden kanssa kosketuksiin pääsevät osat valmistetaan haponkestävästä teräksestä, jotta minkäänlaista syöpymistä ei pääse tapahtumaan.

### 7.2 Paineenkesto

Suurta paineenkestoa tarvitaan pääasiassa vain kierukassa, jonka sisällä oleva paine on normaalisti 200-300 baria. Pumpussa joka syöttää ainetta putkistoon on varoventtiili, joka aukeaa 550 bar:in paineessa, joten putkistoksi on valittava vähintään 550 barin paineen kestävä putkea onnettomuuksien välttämiseksi.

Tilanteita joissa paine voi nousta yli 500bar:in, syntyy esim. jos konetta käynnistettäessä avaa putkiston hanan liian nopeasti, niin tällöin putkistoon muodostuu nesteen höyrystyessä ja sen jäätyessä ns. tulppa, joka tukkii putken aiheuttaen paineen nousun äkillisesti.

Paineen noustessa 550 bar:iin pumpun varoventtiili päästää liiallisen paineen välittömästi pois, mutta siitäkin huolimatta laitteisto on suunniteltava kestäämään tämäkin paine. 12x2 putki jonka materiaali on 316L (1.4404) haponkestävä te-

räs, kestää Parkerin luettelon [3] mukaan jatkuvasti 490bar:ia, ja hetkellisesti 1590bar:ia, joten sillä on tarvittava paineenkesto.

### 7.3 Lisälaitteet

Suurta määrää lisälaitteita lämmittimeen ei tulisi, sillä siinä ei ole mitään mekaanisesti liikkuvia osia. Ainoaksi lisälaitteeksi voi laskea säiliöön tulevan 10 bar:in ylipaineventtiilin, joka estää liiallisen paineen muodostumisen säiliöön, mahdollisen korkeapaine putkistorikon sattuessa.

### 7.4 Lämmön johtuminen ja konvektio

Lämpö voi siirtyä spontaanisti (ilman ulkoista työtä) lämpimämmästä aineesta kylmempään kolmella prosessilla :

"Lämpö johtuu aineen läpi atomaaristen mekanismien vaikutuksesta. Kun fluidi (neste tai kaasu) liikkuu, se kuljettaa mukanaan lämpöä lämpimämmästä paikasta kylmempään. Tämä on lämmön konvektiota. Lämpöliikkeessä oleva aine lähettää eli emittoi sähkömagneettista säteilyä, lämpösäteilyä. Koska kuumempi aine säteilee tehokkaammin, lämpöä siirtyy lämpösäteilyn ansiosta lämpimämmästä aineesta kylmempään." [4, s.136]

#### Konvektio

Konvektio on lämmön siirtymistä virtaavan fluidin ( nesteen tai kaasun ) mukana. Koska konvektio riippuu fluidin virtauskentästä ja lämmön siirtymisistä fluidissa ja fluidista kiinteisiin pintoihin, sen mallintaminen on hyvin vaikeaa.

Kiinteän pinnan lähellä olevassa rajakerroksessa fluidi on verraten liikkumaton ja lämpötila muuttuu fluidin sisuksen lämpötilasta kiinteän aineen pinnan lämpötilaan.

Rajakerroksen paksuus ja konvektio rajakerroksen läpi riippuu fluidin virtausnopeuksista. Tehokas konvektio esiintyy, jos tuuletin, pumppu tai muu ulkoinen tekijä aikaansaa fluidin virtailut. Tällaisissa tapauksissa konvektiota kutsutaan pakotetuksi. Jos ulkoisia virtauksen synnyttäjiä ei ole, lämpötilaerojen aikaan-

saamat tiheyserot aiheuttavat hitaita fluidin virtauksia, jolloin puhutaan vapaasta konvektiosta.

Lämpövirran tiheys fluidista kiinteään pintaan tai kiinteästä pinnasta fluidiin on verrannollinen kiinteän pinnan ja fluidin sisustan lämpötilaeroon.

$$q = \alpha |T_p - T_\infty| \quad (1)$$

Tässä kaavassa  $\alpha$  on lämmönsiirtymiskerroin, jonka yksikkö on  $W/(K / m^2)$ . Se riippuu olosuhteista hyvin monimutkaisella tavalla.

Muun muassa seuraavat tekijät vaikuttavat lämmönsiirtymiskertoimen arvoon:

- Rajapinnan muoto ja laatu
- Rajapinnan asento gravitaatiokehässä
- Fluidin tiheys, viskositeetti, ominaislämpökapasiteetti ja lämmönjohtavuus
- Virtauksen nopeus [4, s.142-143]

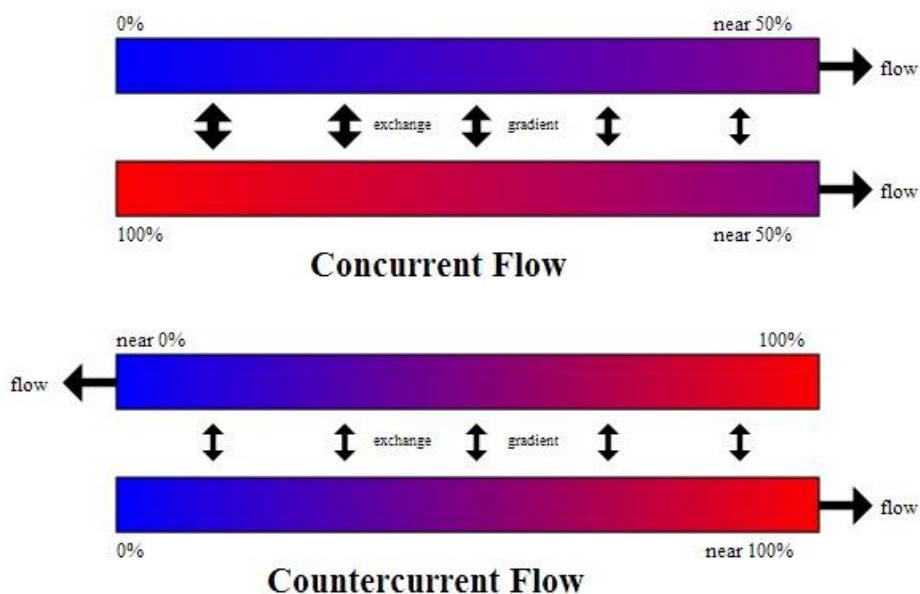
<b>Prosessi</b>	<b><math>\alpha</math> <math>W K^{-1} m^{-2}</math></b>
<b>Vapaa konvektio</b>	<b>5 - 25</b>
<b>Pakotettu konvektio</b>	
<b>Kaasut</b>	<b>25 - 250</b>
<b>Nesteet</b>	<b>50 - 20 000</b>

Kuva 1. Lämmönsiirtymiskertoimen vaihtelualueita [4, s.143]

## 7.5 Vastavirtaisuus

Eräänä tärkeänä suunnittelun kohtana on huomioida nesteiden vastavirtaisuuden tärkeys. Vastavirtaisuus vaikuttaa huomattavasti lämmönsiirron tehokkuuteen, ja sen myötä taloudellisuuteen ja vaadittavaan lämmönsiirtopinta-alaan. Suunnitelmissa olevassa kierukkalämmönvaihtimessa vastavirtaisuus ei ole niin kriittinen suuren säiliön vuoksi, kuin esimerkiksi kaksoisputkilämmönvaihtimessa olisi, mutta se on hyvä ottaa huomioon tässäkin.

Vastavirtauksen etuna toimii suurempi lämpötilaero nesteiden välillä koko lämmönsiirtymisprosessin aikana, joka tarkoittaa parempaa lämmönsiirtymistä. Seuraavassa kuvassa näkyy karrikoidusti lämmönsiirtymisprosentti myötä- ja vastavirtauksessa.



Kuva 2. Myötä- ja vastavirtauksien lämmönsiirtyminen [5]

Tästä voidaan päätellä että myötävirtauksen käyttäminen lämmönvaihtimessa olisi järkevää vain, jos lämmönsiirtymän ei tarvitse olla suuri. Vastavirtauksessa lämmitettävän nesteen lämpötila saadaan melkein jopa lämmittävän nesteen tasolle.

## 7.6 Kustannuslaskelmat

Taulukkoon 1 on selvitetty tarvittavien materiaalien hinnat. Hinnat on saatu tarvikkeita ja materiaaleja myyvien liikkeiden tarjouksien perusteella.

Taulukko 1. Materiaalit &amp; hinnat

<b><u>Osa</u></b>	<b><u>Materiaali</u></b>	<b><u>Mitat</u></b>	<b><u>Hinta ALV</u></b> <b><u>0%</u></b>	<b><u>Tarve</u></b>	<b><u>Hinta</u></b>
Putkipääty	HST	219,1x3	39,4€/kpl	1 kpl	<b>39,40€</b>
Ulkoputki	HST	219,1x2	53,9€/m	0,71 m	<b>38,30€</b>
Keskiputki	HST	114,3x2	24,6€/m	0,8 m	<b>19,70€</b>
Kierukan putki	HST	12x2	7,7€/m	18 m	<b>138,60€</b>
Palloventtiili	Messinki	DN15	10€/kpl	1 kpl	<b>10,00€</b>
Muhvi	HST	DN15	1,9€/kpl	1 kpl	<b>1,90€</b>
Muhvi	HST	DN20	5,1€/kpl	2 kpl	<b>10,20€</b>
Eriste	Alumiinipintainen villa	50mm	8€/ m <sup>2</sup>	0,5 m <sup>2</sup>	<b>4,00€</b>
Jalat	HST	Kulma 50x50x5	26€/m	1 m	<b>26,00€</b>
Jalan latta	HST	Latta 10x100	60€/m	0,3 m	<b>18,00€</b>
Umpilaippa	HST	DN200	192,7€/kpl	1 kpl	<b>192,70€</b>
Kauluslaippa	HST	DN200	146,9€/kpl	1 kpl	<b>146,90€</b>
Helmiliitin suora	HST	12 S	12,5€/kpl	6 kpl	<b>75,00€</b>
Helmiliitin kulma	HST	12 S	17,5€/kpl	3 kpl	<b>52,50€</b>
Helmiliitin 1/2"	HST	1/2" -> 12 S	17€/kpl	2 kpl	<b>34,00€</b>
Höyryletku	Kumi	37mm	25€/m	10 m	<b>250,00€</b>
Liittimet	Messinki	1"	30€/kpl	10 kpl	<b>300,00€</b>
Hanat 3-tie	Messinki	1"	60€/kpl	2 kpl	<b>120,00€</b>

(jatkuu)



Taulukko 1. (jatkuu)

<u>Osa</u>	<u>Materiaali</u>	<u>Mitat</u>	<u>Hinta ALV</u> <u>0%</u>	<u>Tarve</u>	<u>Hinta</u>
Ylipaineventtiili	Messinki	DN15	5,3€/kpl	1 kpl	<b>5,30€</b>
Tiiviste	Klinger c-4324	0,16 m <sup>2</sup>	80€/m <sup>2</sup>	1 kpl	<b>12,80€</b>
Kiinnitystarvikkeet	HST	M20	12€/setti	8 kpl	<b>96,00€</b>
<b><u>Yhteensä</u></b>					<b>1591,30 €</b>

*Valmistus*

Valmistuskustannuksia on hankala arvioida, sillä laite olisi tarkoitus valmistaa itse. Valmistukseen menisi noin kolme päivää, tuntihinta olisi noin 35 € ja erilliset hitsausmateriaalit yms. kulut ovat juuri mitättömät eli työlle tulisi hintaa noin 840 €. Laitteistokustannuksia ei ole laskettu sillä kaikki tarvittavat koneet ovat jo valmiina yrityksellä.

*Asennus*

Lämmönvaihdin asennettaisiin itse. Tunteina työssä menisi puolikas työpäivä ja tuntihinta sama 35 €. Asennukselle tulisi hintaa n.140 €

**Kustannukset yhteensä**

Laitteelle tulisi hintaa noin 2571,3 € yhteensä, joka koostuu seuraavista:

Materiaalit	1591,30 €
Valmistus	840,00 €
Asennus	140,00 €
<b><u>Yhteensä</u></b>	<b><u>2571,30 €</u></b>

## 5. TARJOUSPYYNNÖN TEKEMINEN

Lämmönvaihtimesta tehtiin heti projektin alkuun myös tarjouspyynnöt eri yrityksille, jotka lämmönvaihtimia joko valmistavat tai toimittavat valmistajilta. Tarjouspyyntö lähetettiin yhteensä 9 eri yritykseen, joista kuusi vastasi. Vastanneista kuudesta yrityksestä vain yksi teki tarjouksen valmistaa pyytämämme lämmönvaihdin. Muilla toimittajilla ei joko ollut valmista tuotetta valikoimassa tai lämmönvaihtimen valmistaminen ei olisi onnistunut.

Tarjous tuli niin, että ensimmäisen laitteen saisi 23 500 eurolla, ja seuraavat 19 000 eurolla. Myöhemmin yritys oli laskenut tarjouksensa hintaa jopa 4 750 €/kpl asti, jos laitteita tilaisi kerralla 6 kpl.

Tarjous sisältäisi seuraavat osiot:

- lämpötekniinen mitoitus
- painehäviö
- lujuuslaskenta
- rakennesuunnittelu
- rakennesuunnittelun hyväksyntä
- valmistus ilmoitetun laitoksen valvonnassa
- painekoe 787 bar
- CE-merkintä

Ainoa tarjous, joka saatiin lämmönvaihtimen valmistamisesta, oli huomattavasti arvokkaampi kuin arvioitu omavalmisteen tekeminen, joten päätettiin rakentaa ensimmäinen versio itse.

## 6. LÄMMÖNVAIHTIMEN VALMISTUS

Kierukkalämmönvaihtimen rakenne valittiin sen korkean paineenkeston ja lämmönsiirto pinta-alan lisäämisen yksinkertaisuuden vuoksi.

Suunnitellun kierukkalämmönvaihtimen valmistaminen ei käytännössä ole kovin haastava työ, mutta erilaisia työkaluja on valmistettava ennen kuin työssä pääsee etenemään. Kierukka on tarkoitus valmistaa sorvissa pienellä kierrosnopeudella ja suurella syötöllä, joka mahdollistaa tasaisen nousun kierukkaan. Nousuksi kierukkaan valittiin 24mm, jotta yhden kierroksen jälkeen putken välissä olisi 12mm väliä. Laskelmien mukaan kierukkaan tarvittu putkipituus on n. 10metriä, eli kaksi 6m putkesta tehtyä kierukkaa riittäisi, mutta lämmönsiirtymisen varmistamiseksi lämmönvaihtimeen laitetaan kolme putkea eli 18 metriä.

### 9.1 Työkalujen valmistus

Että kierukan saisi tehtyä, täytyy siihen tehdä erilliset työkalut, joihin kuuluu putki, jonka ympärille kierukka väännetään, ja ohjain, joka ohjaa taitettavan putken. Materiaalit, joita käytettiin työkalujen valmistukseen, löytyi valmiiksi toimeksiantajalta, joten niitä ei tarvinnut erikseen lähteä ostamaan.

#### 9.1.1 Kierukan aihio

Putkena, jonka ympärille kierukka väännetään, toimii 160 mm:n teräspankki, jonka läpi kulkee 40mm:n putki, joka on kiinnitetty suuremman putken päihin sorvatuilla 2:lla laipalla ja kaikki on liitetty toisiinsa mag-hitsaamalla. 40mm:n putken toiseen päähän on sorvattu ja kiinnitetty hitsaamalla tulppa jossa on pieni keskireikä, jonka avulla kiinnitys sorviin voidaan toteuttaa leuoilla ja kärkipylkällä kappaleen vääntymisen minimoimiseksi.

Putkeen täytyi myös tehdä erillinen kiinnitysmekanismi, jonka avulla väännettävä putki pysyy aihion ympärillä paikallaan. Siinä M12-mutteri on hitsattu putkeen, johon kiinnitetään 2-hampainen kiinnitysleuka. (Kuva 3)



Kuva 3. Kierukan valmistustyökalu.

#### 9.1.2 Putken ohjain

Putken ohjaimeksi valmistettiin ensin v-tyylinen ohjain erilaisista ylijäämäpalloista. Ohjain toimi hyvin, mutta uraan tulevan kovan paineen ja kitkan vuoksi väännettävään putkeen jäi naarmuja ja pieniä murusia normaalia terästä, jotka heikentävät putken paineenkestoa ja korroosionkestoa. Kitkaa koetettiin vähentää eri menetelmillä, kuten esimerkiksi teflon-teipillä ja uran öljyämällä, mutta paine rikkoi teipin, jolloin naarmuja pääsi taas syntymään, kun taas öljyäminen ei tuottanut tarvittavaa kitkan alenemista.

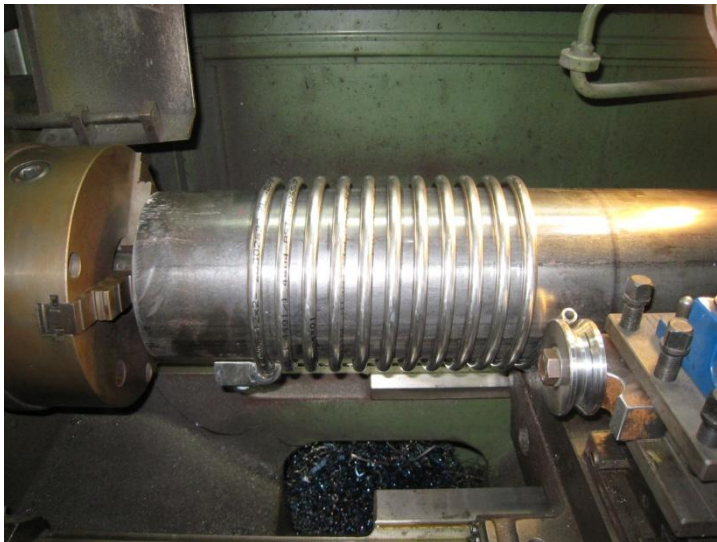
Toiseksi versioksi päätettiin nähdä enemmän vaivaa ja rakentaa laakeroitu ohjainrulla. Laakeri otettiin hammasrattaasta, ja ohjain sorvattiin juuri halutun muotoiseksi. Tämä versio toimi erittäin hyvin eikä aiheuttanut haitallisia naarmuja kierukkaan. (Kuva 4)



Kuva 4. Kierukan valmistustyökalu

## 9.2 Kierukan vääntäminen

Kierukan vääntämiseen käytettiin käytössä olevaa manuaalisorvia. Tässä vaiheessa tarvittiin 2 henkilöä, joista toinen käytti konetta ja toinen piti väännettävää putkea paikallaan. Yhdellä kertaa kierrettiin aina 6 metriä pitkä putki, jonka sai myöhemmin muokattua tarvittavaan tarkoitukseen. (Kuva 5)



Kuva 5. Kierukan valmistamista

### 9.3 Säiliön kasaan hitsaaminen

Ennen hitsausta piti valmistella säiliön osat. Tähän liittyi materiaalien sahausta oikeisiin mittoihin ja reikien/kierteiden tekemistä. Kanteen tehtiin 3 kpl ½":n kierkeitä, säiliön kylkeen tehtiin kahdelle 1" vesikierron muhville reiät, putkipäättyyn 20mm reikä ½":n muhvia varten ja jalkojen teräkset sahattiin oikeaan mittaan. Säiliö hitsattiin puikkohitsillä kasaan, mahdollisimman vahvojen saumojen aikaansaamiseksi. Kappaleen hitsauksen ja jäähtymisen jälkeen hitsausseamat peitattiin hapolla ulkonäön kohentamiseksi ja korroosionsuojauksen parantamiseksi. (Kuva 6)



Kuva 6. Säiliö ja keskiputki hitsattuna sekä peitattuna

### 9.4 Kierukan helmiliitinten kiristäminen

Jotta kierukan jatkoissa käytettävissä helmiliitoksissa olevat liitokset olisivat mahdollisimman pitäviä, täytyi helmet kiristää ensin ruuvipenkissä putkeen kiinni. Näin säästyttiin myös hankalilta työvaiheilta, joita olisi tullut mikäli liittimiä olisi yrittänyt kiristää kahdella lenkkiavaimella vapaalla kädellä. (Kuva 7)



Kuva 7. Kierukan helmiliittimet kiristettynä

### 9.5 Lämmönvaihtimen kasaus ja eristäminen

Lämmönvaihdinta kootessa ja eristäessä täytyi ottaa huomioon vesikierron ja fluidin liittimien asento toisiinsa nähden siitä syystä että lämmönvaihdin saataisiin asennettua paikalleen mahdollisimman siististi.

Kannen ja kauluslaipan väliin laitettiin Klingerin valmistama tiiviste, joka kestää niin vettä, öljyä kuin monia muita kemikaaleja. 1/2 tuuman kierteiden väliin laiteaan PTFE kierreteippiä tiiviyden varmistamiseksi. Säiliön kylki eristettiin alumiinipintaisella villalla, jotta lämpöhukka pienenisi ja kuumia osia ei olisi niin paljoa esillä turvallisuuden vuoksi.



Kuva 8. Lämmönvaihdin valmis kasausta varten



Kuva 9. Lämmönvaihdin kasattuna ja eristettynä



## 7. LAITTEEN ASENNUS JA KÄYTTÖ

Uutta lämmönvaihdinta asentaessa täytyi ensin ottaa vanha järjestelmä pois käytöstä. Se ei ollut suuri projekti, sillä täytyi irrottaa vain temperointiyksikön jäähdytysletkut, temperoinnin virtajohto ja fluidin putkisto, joka oli toteutettu helmiliitoksilla.

Uuden lämmönvaihtimen asennus onnistui ongelmitta, kun oli tarvittavat liittimet ja tiivistysmateriaalit valmiina. Säiliössä ei ole erillistä ilmaushanaa, vaan säiliön ilmaaminen tapahtuu varoventtiilin kautta.

Laitteen käyttöönotto on erittäin yksinkertainen. Käyttöönotossa avataan 2 lämmitettävän fluidin hanaa, joilla saa kierron toimimaan lämmönvaihtimen kautta, suljetaan yksi hana, joka toimii lämmönvaihtimen ollessa ohitettuna, ja vaihdetaan lämmittävän nesteen kierrosta kahden 3-tie venttiilin asento toiseen.



Kuva 10. Lämmönvaihdin toiminnassa

## 8. YHTEENVETO

Lopputyön aiheena oli suunnitella ja valmistaa korkeapaineinen lämmönvaihdin. Työ onnistui hyvin, vaikka aikaa työhön menikin suunniteltua enemmän. Laitteen suunnitteluun, laskelmien tekoon ja tarvittavien tietojen hankkimisessa meni ajallisesti eniten, mutta kun nämä olivat tiedossa, ei itse laitteen valmistamisessa kulunut pitkää aikaa. Mahdollisten seuraavien laitteiden ja mahdollisesti eri lämmityskapasiteeteiltaan tehtävien lämmönvaihdinten valmistus on nyt myös huomattavasti nopeampaa, koska on tarvittavat tiedot ja kaavat jo tiedossa.

Lämmönvaihdin suunniteltiin, laskettiin ja valmistettiin kaksinkertaiselle kapasiteetille, joka on nyt tällä hetkellä käytössä. Tarkkaa mittaustulosta lämmitetyn fluidin lämpötilasta ei ole, mutta putken ulkopinnasta mitattuna SKF:n lämpökynnällä sisään tuleva lämpötila on noin 20 °C ja ulostuleva noin 62 °C. Lämmittäväällä vedellä sisään tuleva lämpötila on noin 65 °C, joten lämmönvaihtimen hyötysuhde on erittäin hyvä.

Lopputuloksena lämmönvaihtimen hyötysuhde on jopa parempi kuin oli odotettu. Energiatehokkuus on paljon parempi kuin edellisessä järjestelmässä, joka johtuu erillisen lämmittimen puutteesta, eli sähkönkulutuksen nollaantumisesta.

## LÄHTEET

- [1] [www-dokumentti], Finnfoam konserni, viitattu 8.10.2013  
<http://www.finnfoam.fi/info/finnfoam-oy/>
- [2] [www-dokumentti], Finnfoam konserni, viitattu 8.10.2013  
<http://www.finnfoam.fi/info/finnfoam-oy/ymparisto/>
- [3] [www-dokumentti], Parker konserni, viitattu 18.9.2013  
[http://www.parkerhannifin.ru/upload/iblock/edd/tubes\\_tfde.pdf](http://www.parkerhannifin.ru/upload/iblock/edd/tubes_tfde.pdf)
- [4] Simo Hemilä & Juha Utriainen, Lämpöoppi 1991, Gummerus kirjapaino Jyväskylä, 2 painos
- [5] [www-dokumentti], [http://en.wikipedia.org/wiki/Heat\\_exchanger](http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_exchanger) 12.10.2013

## KAAVAT

Veden lämpövirta tulee sisään tulevan ja ulos lähtevän veden lämpötilaerosta, joka lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q = V_{\text{vesi}} * \rho_a * c_a * \Delta\vartheta_1 \quad (2)$$

Jossa	Q	veden lämpövirta	3491 W
	$V_{\text{vesi}}$	veden tilavuusvirta	0,000278 m <sup>3</sup> /s
	$\rho_a$	veden tiheys	1000 kg/m <sup>3</sup>
	$c_a$	veden ominaislämpökapasiteetti	4186 J/(kg*K)
	$\Delta\vartheta_1$	lämpötilamuutos	3 °C

Lämpövirran määrän vaikutus lämmitettävään nesteeseen:

$$\Delta\vartheta_2 = \frac{Q}{V_2 * \rho_i * c_2}$$

Jossa	Q	veden lämpövirta	3491W
	$V_2$	nesteen tilavuusvirta	3,75e-05 m <sup>3</sup> /s
	$\rho_i$	nesteen tiheys	900 kg/m <sup>3</sup>
	$c_2$	ominaislämpökapasiteetti	2400 J/(kg*K)
	$\Delta\vartheta_2$	Lämpötilamuutos	43,1 °C

Lämmitettävän nesteen loppulämpötila:

$$\vartheta''_2 = \Delta\vartheta_2 + \vartheta'_2$$

Jossa	$\Delta\vartheta_2$	lämpötilamuutos	43,1 °C
	$\vartheta'_2$	alkulämpö	20 °C
	$\vartheta''_2$	lämmitetty neste	63,1 °C

Keskimääräinen lämpötilaero:

$$\Delta\vartheta_{gr} = \vartheta'_1 - \vartheta''_2$$

$$\Delta\vartheta_{kl} = \vartheta''_1 - \vartheta'_2$$

$$\Delta\vartheta_m = \frac{\Delta\vartheta_{gr} - \Delta\vartheta_{kl}}{\ln \frac{\Delta\vartheta_{gr}}{\Delta\vartheta_{kl}}}$$

Joissa	$\Delta\vartheta_{gr}$	lämpötilaero 1	1,89 K
	$\Delta\vartheta_{kl}$	lämpötilaero 2	42 K
	$\vartheta'_1$	lämmittävä vesi sisään	65 °C
	$\vartheta''_2$	lämmitetty neste ulos	63,1 °C
	$\vartheta''_1$	lämmittävä vesi ulos	62 °C
	$\vartheta'_2$	lämmitettävä neste sisään	20 °C
	$\Delta\vartheta_m$	keskimääräinen lämpötilaero	12,95 K

Reynoldsin luvun laskeminen lämmittävälle ja lämmitettävälle nesteelle:

$$Re = \frac{dV\rho_i}{\mu}$$

Jossa	$Re_i$	lämmitettävän reynolds	35121 (turbulenttinen)
	$Re_a$	lämmittävän reynolds	3420 (laminaarinen)
	$d_i$	putken halkaisija	0,008m
	$V_i$	virtausnopeus, neste	0,8 m/s
	$\rho_i$	tiheys	900 kg/m <sup>3</sup>
	$\mu_i$	dynaaminen viskositeetti	1,64e-04 Pa*s
	$d_a$	putken halkaisija	0,19m
	$V_a$	virtausnopeus, vesi	0,009 m/s
	$\rho_a$	tiheys	1000 kg/m <sup>3</sup>
	$\mu_a$	dynaaminen viskositeetti	5,0e-04 Pa*s

Prandtl:n luvun laskeminen lämmittävälle ja lämmitettävälle nesteelle:

$$Pr = \frac{c_1 * \mu}{\lambda}$$

Jossa	$Pr_i$	prandtl luku neste	3,578
	$Pr_a$	prandtl luku vesi	4,186
	$c_i$	ominaislämpökapasiteetti, neste	2400 J/(kg*K)
	$\mu_i$	viskositeetti	1,64 e-04 Pa*s
	$\lambda_i$	lämmönjohtavuus	0,11 W/(K*m)
	$c_a$	ominaislämpökapasiteetti, vesi	4186 J/(kg*K)

$\mu_a$	viskositeetti	6,0 e-04 Pa*s
$\lambda_a$	lämmönjohtavuus	0,6 W/(K*m)

Nusselt:n luvun laskeminen lämmitettävälle ja lämmitettävälle nesteelle, jonka kaavoihin vaikuttaa Reynoldsin ja Prandtin lukujen korrelaatio :

$$Nu_i = 0,026 * Re^{0,8} * Pr^{0,33} * \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14} \text{ (turbulenttiselle reynolds:in luvulle)}$$

$$Nu_a = 1,86 * (Re * Pr * D/L)^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14} \text{ (laminaariselle reynolds:in luvulle)}$$

Jossa	$Nu_i$	lämmitettävän nesteen nusselt	190
	$Nu_a$	lämmitettävän veden nusselt	25,8
	$Re_i$	lämmitettävän reynolds	35121 (turbulenttinen)
	$Re_a$	lämmitettävän reynolds	3420 (laminaarinen)
	$Pr_i$	prandtl luku neste	3,578
	$\mu_i$	nesteen viskositeetti	1,64e-4 Pa*s
	$\mu_s$	viskositeetti seinämän lämpötilassa	8,0e-5 Pa*s
	$Pr_a$	prandtl luku vesi	4,186
	$\mu_a$	veden viskositeetti	5,50e-4
	$\mu_{aS}$	viskositeetti seinämän vieressä	8,00e-4
	D	putken halkaisija	0,213m
	L	putken pituus	0,71m

Lämmönsiirtokerroimet  $\alpha_i$  &  $\alpha_a$  lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\alpha = Nu * \frac{\lambda}{x}$$

Jossa	$\alpha_i$	lämmönsiirtokerroin sisä	2606 W/(K*m <sup>2</sup> )
	$\alpha_a$	lämmönsiirtokerroin ulko	1394 W/(K*m <sup>2</sup> )
	$Nu_i$	lämmittävän nesteen nusselt	190
	$\lambda_i$	nesteen lämmönjohtavuus	0,11 W/(K*m)
	$x_i$	putken sisähalkaisija	0,008m
	$Nu_a$	lämmittävän veden nusselt	25,8
	$\lambda_a$	veden lämmönjohtavuus	0,6 W/(K*m)
	$x_a$	putken ulkohalkaisija	0,012 m

Putken pinta-alojen laskeminen:

$$A = \pi * D * L$$

Jossa	$A_a$	putken ulkopinta-ala	0,0376 m <sup>2</sup>
	$A_i$	putken sisäpinta-ala	0,0251 m <sup>2</sup>
	$D_a$	ulkohalkaisija	0,012 m
	$L_a$	putken pituus	1m
	$D_i$	sisähalkaisija	0,008m
	$L_i$	putken pituus	1m



Pinta-alan keskiarvon laskeminen:

$$A_m = \frac{A_a - A_i}{\ln \frac{A_a}{A_i}}$$

Jossa	$A_m$	keskimääräinen pinta-ala	0,0309 m <sup>2</sup>
	$A_a$	putken ulkopinta-ala	0,0376 m <sup>2</sup>
	$A_i$	putken sisäpinta-ala	0,0251 m <sup>2</sup>

Lämmönläpäisykerroin  $k_a$  lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$k_a = \frac{1}{\frac{1}{a_i} * \frac{A_a}{A_i} + \frac{s}{\lambda} * \frac{A_a}{A_m} + \frac{1}{a_a}}$$

Jossa	$k_a$	lämmönläpäisykerroin	725 W/(K*m <sup>2</sup> )
	$a_i$	lämmönsiirtokerroin sisä	2606 W/(K*m <sup>2</sup> )
	$a_a$	lämmönsiirtokerroin ulko	1394 W/(K*m <sup>2</sup> )
	$A_a$	1m putken ulkopinta-ala	0,0376 m <sup>2</sup>
	$A_i$	1m putken sisäpinta-ala	0,0251 m <sup>2</sup>
	$A_m$	putken keskimääräinen pinta-ala	0,0309 m <sup>2</sup>
	$s$	putken seinämän paksuus	0,002 m
	$\lambda$	putken lämmönjohtavuus	28 W/(K*m)

Lämmönsiirtopinta-alan laskeminen:

$$A = \frac{Q}{k_a * \Delta T_m}$$

Jossa	A	tarvittava pinta-ala	0,372 m <sup>2</sup>
	Q	veden luovuttama lämpövirta	3491,1 W
	k <sub>a</sub>	lämmönläpäisykerroin	725 W/(K*m <sup>2</sup> )
	ΔT <sub>m</sub>	keskimääräinen lämpötilaero	12,95 K

Kierukan pituuden laskeminen:

$$L = \frac{A}{A_a}$$

Jossa	L	kierukan pituus	9,86 m
	A	tarvittava pinta-ala	0,372 m <sup>2</sup>
	A <sub>a</sub>	1m putken pinta-ala	0,0376 m <sup>2</sup>