

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikka

Toukokuu 2024

Kaapo Kytölä

# CHR-lämmönvaihtimen vesitiivis rakenne

– yrityksessä Valmet Technologies Oy



Opinnäytetyö AMK | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Konetekniikka

Toukokuu 2024 | 26 sivua, 10 liitesivua

Kaapo Kytölä

## CHR-lämmönvaihtimen vesitiivis rakenne

- yrityksessä Valmet Technologies Oy

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Valmet Technologies Oy. Opinnäytetyön tavoitteena on syventää ymmärrystä CHR-lämmönvaihtimesta ja tunnistaa sen rakenteessa havaittuja vesivuotoja aiheuttavia tekijöitä. Tarkoituksena on myös tarjota ratkaisuja havaittuihin ongelmiin ja ehdotuksia mahdollisten parannusten tekemiseksi lämmönvaihtimen rakenteeseen. Näiden muutosten avulla pyritään vähentämään vesivuotojen mahdollisuutta sekä varmistamaan CHR-lämmönvaihtimien luotettava ja tehokas toiminta.

Vesivuotoja on todettu useiden tehtaiden CHR-lämmönvaihtimissa ja vuotojen sijainnit ovat olleet niissä vaihtelevia. Tunnistetut vesivuotoja aiheuttavat ongelmakohdat CHR-lämmönvaihtimessa ovat kulmasauma, sideputki, holkki, sidetanko ja kaksoishakasauma. Tunnistettujen ongelma-kohtien lisäksi CHR-lämmönvaihtimen virheellinen valmistus tai asennus voi aiheuttaa vesivuotoja lämmönvaihtimessa.

Ongelmakohtia on siis useita ja on todennäköistä, että vesivuoto aiheutuu monesta eri tekijästä. Ongelmakohtien kartoittamiseksi totesimme Valmet Technologies Oy:n asiantuntijoiden kanssa tarpeelliseksi laatia CHR-lämmönvaihtimelle tarkastuslistan, jota voidaan hyödyntää maailmanlaajuisesti eri paperi- ja kartonkitehtailla vesivuotojen dokumentointiin. Tarkastuslistan tarkoituksena on löytää CHR-lämmönvaihtimen vesivuotojen aiheuttaja ja mahdollistaa vesitiiviin lämmönvaihtimen kehittämisen tulevaisuudessa.

Asiasanat:

Valmet Technologies Oy, lämmön talteenotto, lämmöntalteenottotorni, lämmönvaihdin, vesivuoto

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Mechanical Engineering

May 2024 | 26 pages, 10 in appendices

Kaapo Kytölä

## CHR-heat exchanger's waterproof structure

- in Valmet Technologies Oyj

This thesis is commissioned by Valmet Technologies Oy. The objective of the thesis was to study the understanding of the CHR-heat exchanger and identify factors causing water leakage in its structure. The aim was to provide solutions to the identified problems and propose suggestions for potential improvements to the heat exchanger's structure. These changes were intended to reduce the possibility of water leakage and ensure reliable and efficient operation of CHR-heat exchangers.

Water leaks had been detected in the CHR-heat exchangers in several factories, with the locations of the leaks varying. The identified problematic areas causing water leaks in the CHR-heat exchanger included the corner seam, connection pipes, spacers, connection bars and exchanger plate seams. In addition to the identified problematic areas, incorrect manufacturing or installation of the CHR-heat exchanger can also cause water leaks.

Therefore, there are several problematic areas, and it is likely that water leakage is caused by many different factors. In order to identify the problematic areas, it was decided together with Valmet Technologie Oy's experts that it was necessary to develop a checklist for the CHR-heat exchanger. This checklist can be utilized globally in various paper and board mills to document water leaks. The purpose of the checklist is to identify the cause of water leaks in the CHR-heat exchanger and enable the development of a watertight heat exchanger in the future.

Keywords:

Valmet Technologies Oy, heat recovery, heat recovery tower, heat exchanger, water leakage

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet ja sanasto</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>7</b>
<b>2 Valmet Technologies Oy</b>	<b>8</b>
2.1 Historia	8
2.2 Valmet nyt	8
2.3 Kestävä kehitys	9
<b>3 Lämmön talteenotto</b>	<b>10</b>
3.1 Lämmön talteenotto	10
3.2 Lämmöntalteenottojärjestelmä	10
3.3 Lämmön talteenotto kartonki- ja paperikoneessa	10
3.3.1 Perinteinen lämmöntalteenottojärjestelmä	11
3.3.2 Kompakti lämmöntalteenottojärjestelmä	12
3.4 Pesuri ja pohja-allas	12
3.5 Lämmönvaihtimesta yleisesti	12
3.6 Ilma-ilma lämmönvaihdin	12
3.7 Ilma-vesi lämmönvaihdin	13
<b>4 CHR-lämmönvaihdin ja ongelmakohtien tunnistaminen</b>	<b>15</b>
4.1 CHR-lämmönvaihdin	15
4.1.1 Valmistus	16
4.2 Ongelmakohtien tunnistaminen	17
4.2.1 Kulmasauma	17
4.2.2 Sideputki	18
4.2.3 Holkki	19
4.2.4 Sidetanko	20
4.2.5 Kaksoishakasauma	21
4.3 Vesivuotojen ehkäiseminen	22
<b>5 Tarkastuslista</b>	<b>24</b>

5.1 Tarkastuslista	24
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>25</b>
<b>Lähteet</b>	<b>26</b>

## **Liitteet**

Liite 1. CHR-lämmönvaihtimen tarkastuslista. (Salassa pidettävä, ei julkaistu)

## **Kuvat**

Kuva 1.Valmet Oy Sustainability360°-ohjelma. (Valmet 2023d)	9
Kuva 2 Lämmöntalteenottotorni (Valmet Oy 2024)	11
Kuva 3. Ilma-ilma levylämmönvaihdin (Turgut 2015).	13
Kuva 4. Ilma-vesi lämmönvaihdin (Valmet Oy 2023).	14
Kuva 5. CHR-lämmönvaihdin (Valmet Oy 2023).	16
Kuva 6. Havainnollistava kuva kulmatiivisteestä.	18
Kuva 7. Ehdotus uudesta kulmatiivisteestä.	18
Kuva 8. Kyljessä kuusi sideputkea. (Kuva: Olli Huhtala)	19
Kuva 9. Holkki. (Kuva: Olli Huhtala)	20
Kuva 10. Keskellä pystysuora sidetanko (Kuva: Olli Huhtala)	21
Kuva 11. CHR-lämmönvaihtimen kaksoishakasauma (Kuva: Olli Huhtala)	22

## Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Lyhenne	Lyhenteen selitys
CHR	Conventional heat recovery
EMEA	Eurooppa, Lähi-itä ja Afrikka
mm	Millimetri
MW	Megawatti
Pa	Pascal
Sustainability360°	Valmet Technologies Oy:n liiketoiminnan ohjelma

# 1 Johdanto

Lämmön talteenotto on olennainen osa monien teollisten prosessien energiatehokkuutta ja ympäristöystävällisyyttä. Erityisesti paperi- ja kartonkitekiteollisuudessa lämmön talteenottojärjestelmät ovat keskeisiä komponentteja prosessien tehokkaassa toiminnassa. Paperi- ja kartonkitekiteollisuudessa lämmön talteenotto tapahtuu lämmön talteenottotornissa, joka poistaa kuumaa ilmaa paperi- ja kartonkikoneen kuivauspuolelta ja hyödyntää sitä esimerkiksi konehuoneen ilmanvaihtoilman lämmittämiseen. Uuden ilman lämmittäminen tapahtuu puolestaan CHR-lämmönvaihtimessa, joka on olennainen osa lämmön talteenottotornia.

Valmet Technologies Oy on yksi johtavista paperi- ja kartonkitekiteollisuuden toimijoista, joka tarjoaa innovatiivisia ratkaisuja sekä laitteita paperi- ja kartonkitekiteollisuuden tarpeisiin. Valmet Technologies Oy on havainnut useissa projekteissa vesivuotoja sekä CHR-lämmönvaihtimen rakenteen ulkopuolella että tuloilmapuolella. Nämä havainnot viittaavat tarpeeseen tarkastella lämmönvaihtimen valmistusta, asentamista ja muita mahdollisia vikoja, jotta vesivuotoja aiheuttava tekijä saataisiin selville.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on syventää ymmärrystä CHR-lämmönvaihtimesta sekä kartoittaa niissä havaittuja mahdollisia vesivuotoja aiheuttavia ongelmakohtia. Opinnäytetyössä keskitytään erityisesti CHR-lämmönvaihtimen rakenteeseen, kuten esimerkiksi kulmasaumoihin, sideputkiin, holkkeihin, sidetankoihin ja kaksoishakasaumaan sekä niihin liittyviin potentiaalsiin ongelmiin. Tavoitteena on tunnistaa näiden osien mahdolliset puutteet tai viat, jotka voisivat johtaa vesivuotoihin CHR-lämmönvaihtimissa. Opinnäytetyössä esitellään aluksi Valmet Technologies Oy:n ja CHR-lämmönvaihtimen yleisiä ominaisuuksia sekä lämmön talteenoton merkitystä teollisuudessa. Tämän jälkeen keskitytään CHR-lämmönvaihtimen rakenteeseen ja toimintaan, jonka jälkeen käsitellään havaittuja ongelmakohtia sekä mahdollisia ratkaisuja ongelmiin.

## 2 Valmet Technologies Oy

### 2.1 Historia

Valmet Technologies Oy on suomalainen yritys, joka on saanut alkunsa yli 200 vuotta sitten. Vuonna 1951 Suomen valtion omistamista metallitehtaista syntyi tänä päivänä tunnettu Valmet Oy. Paperikoneiden valmistuksen Valmet aloitti Rautpohjassa ja sai toimittettua ensimmäisen koneen vuonna 1953. Kymmenen vuotta myöhemmin Valmet oli saanut kansainvälisesti merkittävän jalanjäljen markkinoilla toimittaessaan koneita maailman johtaviin paperiteollisuusmaihin.

1990-luvulla Valmet luopui laivanrakennuksen, traktorien ja hissien valmistuksesta ja alkoi keskittymään entistä enemmän paperikoneiden valmistukseen. Vuonna 1997 Valmetin Järvenpään yksikkö ansaitsi presidentti Martti Ahtisaarelta Suomen laatupalkinnon. (Valmet 2023a)

### 2.2 Valmet nyt

Valmetin pääkonttori sijaitsee Espoossa ja heillä on yli 19 000 työntekijää ympäri maailmaa. Liikevaihto vuonna 2022 oli noin 5,1 miljardia euroa. Valmetin liiketoiminta jakautuu viidelle eri maantieteelliselle alueelle, jotka ovat: Etelä-Amerikka, Pohjois-Amerikka, EMEA, Aasia sekä Tyynenmeren alue. Valmet on vahvasti juurtunut markkinoiden kärkeen ja heillä on vahva markkina-asema seuraavalla viidellä liiketoimintalinjallaan: (Valmet 2023b)

#### 1. Virtauksensäätö

- Valmet toimittaa virtauksensäätöpalveluita ja -ratkaisuja, auttaa kehittämään prosessien suorituskykyä ja pitää huolen turvallisista materiaaliavirroista.

#### 2. Palvelu

- Valmet tuottaa monipuolisia ja räätälöityjä palveluratkaisuja, jotka parantavat prosessien suorituskykyä ja luotettavuutta kaikissa elinkaaren vaiheissa.

#### 3. Sellu ja energia

- Valmet tarjoaa teknologiaratkaisuja energian, sellun ja biomassan jalostukseen.

#### 4. Automaatiojärjestelmät

- Valmet tarjoaa automaatioratkaisuja yksittäisistä mittauksista kokonaiseen prosessiautomaatiojärjestelmiin.

#### 5. Paperit

- Valmet suorittaa koneuudistuksia, sekä toimittaa pehmopaperin, kartongin ja paperin prosessikomponenteista kokonaiseen tuotantolinjoihin.

## 2.3 Kestävä kehitys

Valmetin kaikkien toimintojen keskiössä on kestävä kehitys, jonka perustan luovat heidän toimintaohjeensa ja sitä koskevat globaalisti hyväksytyt aloitteet. Heidän missiona on tarjota teknologioita, joiden avulla asiakkaat voivat tuottaa kestäviä tuotteita uusiutuvista raaka-aineista. Valmet on esimerkiksi valmistanut uudenlaisia biomassan muunnosteknologioita, joiden avulla on mahdollista tuottaa biopohjaisia lopputuotteita, kuten polttoainetta. (Valmet 2023c)

Valmetilla on myös Sustainability360° -ohjelma (Kuva 1), jonka tavoitteena on tarkastella ja parantaa kokonaisvaltaisesti heidän liiketoimintaansa. Ohjelma sisältää yhdeksän tärkeää teemaa, jotka ovat jaettu kolmeen osaan: Hallinto, ympäristö ja yhteiskunta. Jokaiselle teemalle on annettu konkreettiset tavoitteet ja suunnitelmat, jotka sisältyvät vuosisuunnitteluprosessiin. (Valmet 2023d)



Kuva 1. Valmet Oy Sustainability360°-ohjelma. (Valmet 2023d)

## 3 Lämmön talteenotto

### 3.1 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenotto on keskeinen tekijä energiatehokkuudessa ja vakaiden kuivausolosuhteiden luomisessa. Se tarjoaa myös erinomaisia mahdollisuuksia kustannusten alentamiseen ja kannattavuuden lisäämiseen. OptiAir Recovery on osa Valmetin OptiAir-perhettä, joka on suunniteltu takaamaan optimaaliset kuivausolosuhteet sekä optimaalisen työympäristön paperi- ja kartonkikoneille.

Lämmön talteenoton pääasiallinen tarkoitus on korvata ensisijainen energia prosessista talteen otetulla lämmöllä taloudellisesti kannattavalla tavalla. Kokonaislämmön talteenotto modernissa paperi- tai kartonkikoneessa voi olla yli 50 MW, joka vastaa 86 tonnia höyryä tunnissa. Koska energiavirrat ovat merkittäviä, on tärkeää hyödyntää tämä energia tehokkaasti. Talteenotettua lämpöä voidaan käyttää esimerkiksi kuivausosaston syöttöilman, makean veden ja konehuoneen ilmanvaihtoilman lämmittämiseen. (Valmet 2023e)

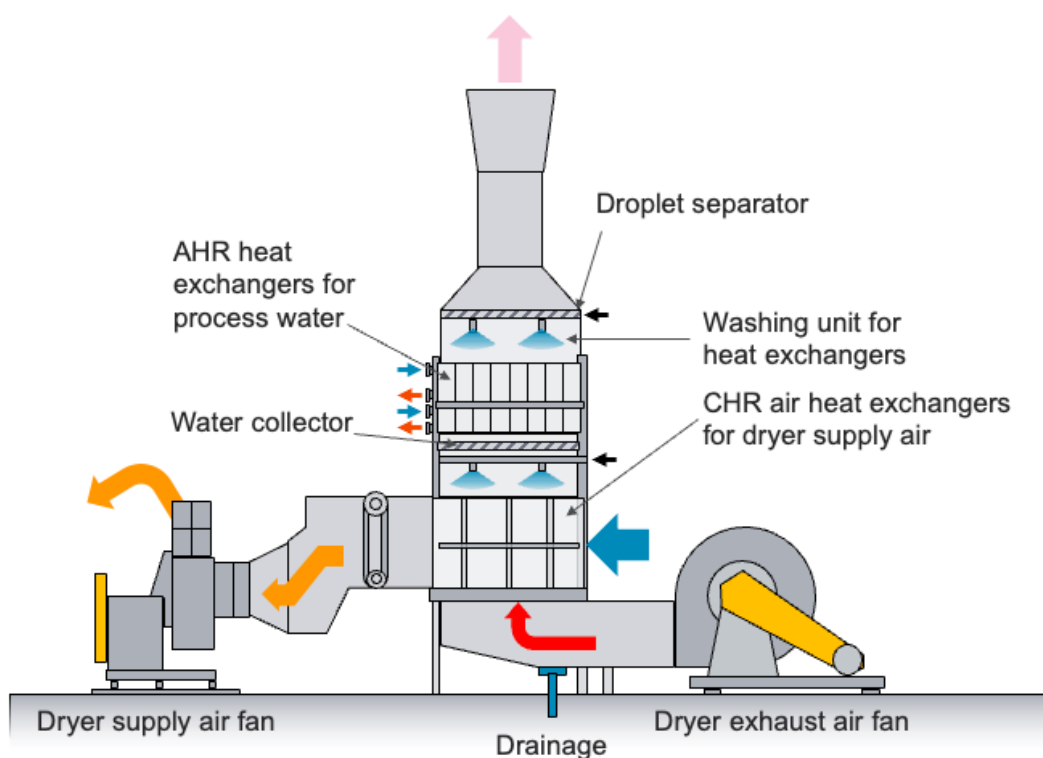
### 3.2 Lämmöntalteenottojärjestelmä

Lämmöntalteenottojärjestelmä toimii kahden lämpötilaltaan erilaisen lähteen välillä vähentääkseen rakennusten lämmitys- ja jäähdytystarpeita, mikä on taloudellisesti kannattavaa. Järjestelmä on suunniteltu syöttämään ilmastoitua ilmaa haluttuun tilaan. Se pitää rakennuksen täysin ilmastoituna varmistaen optimaalisen mukavuuden talteenottamalla lämpöä poistetusta ilmasta. Toisin sanoen järjestelmä varmistaa, että toimistoissa, teollisuudessa ja kodeissa tuotettu lämpöenergia ei mene hukkaan, vaan säästää energiaa kierrättämällä sen. Useimmiten lämmöntalteenottojärjestelmä sijaitsee katolla ja poistaa kosteaa ilmaa sisätilasta. Sen sijaan, että järjestelmä vain korvaisi tunkkaisen ilman raikkaalla ilmalla, se ottaa talteen lämmön ja kuljettaa sen sitten suodatetun ulkoilman läpi. Ilmanvirrat eivät missään vaiheessa risteydy keskenään, sillä poistettu ja syötetty ilma eivät virtaa samassa tilassa. (Chahine n.d.)

### 3.3 Lämmön talteenotto kartonki- ja paperikoneessa

Kuivausosaston poistoilma johdetaan yleensä pois lämmöntalteenottolaitteiston kautta. Paperi- tai kartonkikoneen lämmöntalteenottojärjestelmä koostuu yleensä yhdestä neljään lämmöntalteenottotornia riippuen koneen koosta eli ilmamäärästä, joka on kuljetettava. Näissä torneissa on useita lämmöntalteenottoyksiköitä, joissa on puolestaan soveltuvat lämmönvaihtimet eri virtauksille. Useiden tornien hankinta kasvattaa investointikustannuksia, mutta niiden avulla poistoilmaa ja tuloilmaa ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja. Tämä mahdollistaa säästöjä kanavoinnissa, koska useissa tapauksissa kanavat ja tuulettimet aiheuttavat enemmän tilavaatimuksia kuin useammat pienemmät järjestelmät.

Useissa tapauksissa saman koneen lämmöntalteenottotornit ovat identtisiä. Yksittäiset tornit voivat kuitenkin olla hyvinkin erilaisia uudemmissa kuivausosastoissa, sillä niillä on useita ilmanvaihto- ja ajettavuuslaitteita, joissa lämmöntalteenottojärjestelmät on suunniteltu kattamaan monenlaisia lämmitystarpeita. (Karlsson 2010, 470)



Kuva 2. Lämmöntalteenottotorni (Valmet Oy 2024)

### 3.3.1 Perinteinen lämmöntalteenottojärjestelmä

Perinteinen lämmöntalteenottojärjestelmä oli yleinen aina 1970-luvulle asti, mutta on edelleen käytössä vanhemmissa koneissa. Perinteisissä lämmöntalteenottojärjestelmissä poistoilma syötetään yleensä ylöspäin. Ensimmäiseksi poistoilma kulkee ilma-ilma lämmönvaihtimen kautta huuvan syöttöilmaan, josta se siirtyy ilmasta-ilmaan lämmönvaihtimen kautta konehuoneen ilmanvaihtoon. Viimeisenä poistoilma kulkee tornin päällä olevaan pesuriin. Pesurissa lämmitetty ilma yleensä virtaa alhaalla olevien lämmönvaihtimien lämpöpinnoille ja huuhtelee pois epäpuhtaudet. Lämmön talteenoton jälkeen huuvan syöttöilma lämmitetään lopulliseen lämpötilaansa höyrykäämeissä. Tämän kaltainen lämmöntalteenottotorni vaatii huomattavasti tilaa, koska konehuoneen ilmanvaihtoilma on johdatettava eri käyttöpisteisiin rakennuksen kautta kulkevien reittien tai kanavien avulla. (Karlsson 2010, 470-471)

### 3.3.2 Kompakti lämmöntalteenottojärjestelmä

Nykyään yleisin lämmöntalteenottojärjestelmä on ilma-ilma ja ilma-vesi lämmönvaihtimien yhdistelmä (Kuva 2). Järjestelmän ensimmäisessä vaiheessa huuuvan syöttöilma lämmitetään ilma-ilma lämmönvaihtimessa. Tämän jälkeen poistoilma johdatetaan ilma-vesi lämmönvaihtimiin, joissa kiertovesi jaetaan konehuoneen ilmanvaihdon lämmitysyksiköihin. Hyvin suunnitellussa järjestelmässä prosessivesi voidaan lämmittää ilman ylimääräistä höyrylämmitystä ja konehuoneen ilmanvaihtoilma voidaan lämmittää melkein täysin talteenotetulla lämmöllä. (Karlsson 2010, 471)

### 3.4 Pesuri ja pohja-allas

Pesuri sijaitsee lämmöntalteenottotornissa CHR-lämmönvaihtimen yläpuolella. Pesurin tarkoitus on huuhdella veden avulla poistoilmassa kulkeutuva tärkkelys ja pitää CHR-lämmönvaihdin puhtaana. Pesurin toiminta-aika on yksi minuutti per tunti. Pesuvesi valuu CHR-lämmönvaihtimen alapuolella sijaitsevaan pohja-altaaseen. Pohja-altaan käyttötarkoitus on ohjata poistoilma CHR-lämmönvaihtimeeseen sekä kerätä viemäriin kulkeutuva pesuvesi.

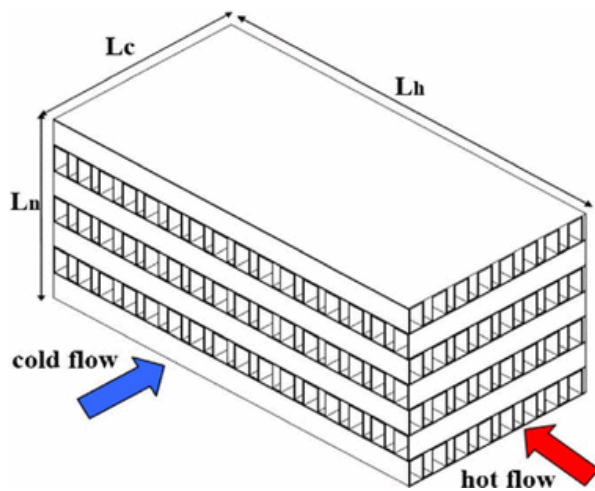
### 3.5 Lämmönvaihtimesta yleisesti

Lämmönvaihdin on keskeinen osa eri teollisuudenaloilla. Lämmönvaihtimissa kaksi tai useampi virtaus kohtaa suorassa tai epäsuorassa kontaktissa. Lämmönsiirto onnistuu, koska virtaukset ovat kohdatessaan eri lämpötiloissa. Lämmönvaihtimia sovelletaan esimerkiksi prosessi-, kemia-, elintarviketeollisuuksissa, ilmastointilaitteissa ja hukkalämmön talteenotossa. Lämmönvaihtimet voidaan jaotella virtauksen perusteella vastavirta-, ristivirta- ja myötävirtalämmönvaihtimiin, sekä rakenteen perusteella putki- ja levylämmönvaihtimiin. (Kakac ym, 2012, 1)

### 3.6 Ilma-ilma lämmönvaihdin

Ilma-ilma lämmönvaihtimessa (Kuva 3) kuuma ja kostea poistoilma lämmittää ilmapvirtaa, kuten kuivausosaston syöttöilmaa tai konehuoneen ilmanvaihtoilmaa. Lämmönsiirto tapahtuu lämpöpinnan läpi siten, etteivät nämä kaksi erillistä virtausta kosketa toisiaan. (Karlsson 2010, 467) Yleisimmät ilma-ilma lämmönvaihtimet ovat ristivirtalevy- ja ristivirtaputkilämmönvaihtimet.

- Ristivirtalevyilmönvaihtimessa on useita rinnakkaisia levyjä liitettyinä yhteen. Poistoilma kulkee yleensä pystysuoraan joka toisen välikönn läpi, jolloin kondensaatio ja puhdistusvesi pääsee vapaasti valumaan alaspäin. Syöttöilma puolestaan kulkee vaakasuuntaisten välikönn läpi.
- Ristivirtaputkilämmönvaihtimessa on useita rinnakkaisia putkia liitettyinä päätylevyihin. Poistoilma kulkee yleensä putkien läpi pystysuunnassa, kun taas syöttöilma virtaa putkien välissä suljetussa tilassa.



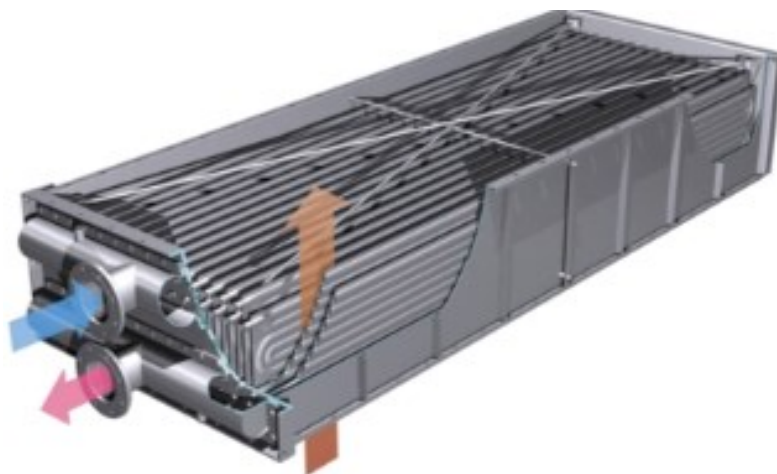
Kuva 3. Ilma-ilma levyilmönvaihdin (Turgut 2015).

### 3.7 Ilma-vesi lämmönvaihdin

Ilma-vesi lämmönvaihtimessa (Kuva 4) kuuma ja kostea poistoilma lämmittää vesivirran, jota käytetään kiertovetenä konehuoneen ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmässä. Tässäkin lämmönvaihtimessa lämmönsiirto tapahtuu lämmönsiirtopinnan kautta. Lämpö siirtyy pääasiassa kondensaatin kautta poistoilman puolella, kun taas konvektiivista lämpöä siirtyy veden puolella. (Karlsson 2010, 468) Yleisimmät ilma-vesi lämmönvaihtimet ovat modulaariset lämmönvaihtimet ja ristivirtaputkilämmönvaihtimet.

- Modulaariset lämmönvaihtimet koostuvat useista elementeistä, jotka ovat pinottu kehyksessä yhteen. Vesi virtaa elementtien läpi tietyssä kaavassa, ja kaikki elementit ovat yhteydessä toisiinsa syöttö- ja paluupäiden kautta. Elementtien välissä kulkee poistoilma. Ilma ja vesi virtaavat vastavirta ja ristivirta yhdistelmässä.

- Ristivirtaputkilämmönvaihtimissa on monia rinnakkaisia putkia, jotka on liitetty yhteen päätylevyillä. Poistoilma kulkee yleensä putkien läpi pystysuunnassa ja vesi virtaa putkien välissä suljetussa tilassa.



Kuva 4. Ilma-vesi lämmönvaihdin (Valmet Oy 2023).

## 4 CHR-lämmönvaihdin ja ongelmakohtien tunnistaminen

### 4.1 CHR-lämmönvaihdin

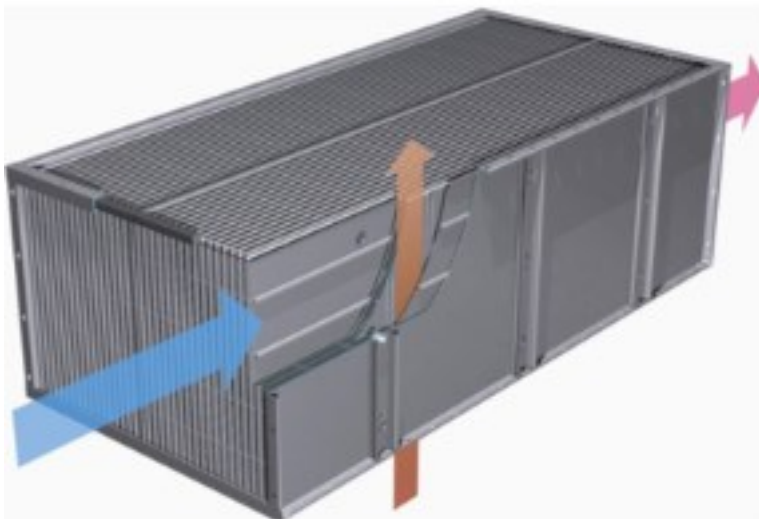
Valmetin CHR-lämmönvaihdin (Kuva 5) tulee sanoista conventional heat recovery. Se on ristivirtalevy -tyyppinen lämmönvaihdin, jota käytetään paperi- ja kartonkikoneissa, sekä sellun kuivainten lämmöntalteenottojärjestelmissä. (Valmet, powerpoint 2023)

Valmetin CHR lämmönvaihtimia on käytössä tuhansia ympäri maailmaa, mikä vakuuttaa laitteen pitkäaikaisesta toimivuudesta. Lämmönvaihtimen kennolevyt ovat suunniteltu siten, että siinä on suuri lämmönsiirtopinta-ala vähillä tilavaatimuksilla, sekä pienet painehäviöt. Lämmönvaihtimessa käytetään ruostumatonta terästä, joka on sopiva materiaali paperi- ja kartonkikoneiden olosuhteisiin. Teräksessä on helposti puhdistettava sileä pinta, joka vähentää kontaminaatoriskejä. (Valmet 2024a)

Valmetin CHR-lämmönvaihdin on monimutkainen kokonaisuus, joka koostuu useista eri osista. Lämmönsiirtopinta muodostuu kennolevyistä, jotka ovat olennainen osa lämmönsiirtoa. Nämä levyt tukeutuvat liitosputkiin, jotka pitävät kokonaisuuden koossa. Kennolevyjen välien mittojen säilyttämiseksi käytetään puolestaan holkkeja ja listoja. Lisäksi CHR-lämmönvaihtimessa on seinälevyt, jotka varmistavat rakenteen vakauden. Myös kulmatuet ja palkit tukevat rakennetta luoden kestävä ja tehokkaan lämmönvaihtojärjestelmän. CHR-lämmönvaihtimessa olevat kulmasaumamat varmistavat, että kennolevyt ovat tukevasti ja pitävät myös lämmönvaihtimen tiiviinä.

Kaikki edellä mainitut osat muodostavat yhdessä CHR-lämmönvaihtimen, joka tarjoaa paperi- ja kartonkikoneiden luotettavan suorituskyvyn. CHR-lämmönvaihdin koostuu pääasiassa näistä osista: (Valmet, powerpoint 2023)

- Kennolevyt
- Holkit
- Sideputket
- Listat
- Kulmaraudat
- Seinälevyt
- Tiivisteet
- Omegapalkit



Kuva 5. CHR-lämmönvaihdin (Valmet Oy 2023).

#### 4.1.1 Valmistus

Suurin osa lämmönvaihtimen valmistusajasta käytetään kennolevyjen valmistukseen, joita on yleensä noin sata yksittäisessä kennossa. Kennolevyjen määrä kuitenkin vaihtelee CHR-lämmönvaihtimen mitoituksen mukaan. Kennolevyt valmistetaan erityisellä valmistuslinjalla, joka alkaa kulmien poistolla, jossa jokaisesta kulmasta leikataan noin 40 mm x 45 mm kokoiset palat, mikä mahdollistaa reunojen särmäyksen. Seuraavana vaiheena kennolevyihin tehdään yhdeksän kauluksellista reikää, joiden määrä riippuu kennolevyjen koosta. Keskikokoisissa levyissä reikiä on yhdeksän kolmessa rivissä tasaisin välein. Kennolevyjä on kahta eri kokoa, minkä vuoksi myös särmäykseen tarvitaan kahta eri kokoista särmäysterää.

Kennolevyjen valmistuksen jälkeen siirrytään varustelu- ja kokoonpanovaiheeseen, jossa seinälevyt leikataan, kantataan ja niihin hitsataan jäykistävät omegapalkit. Seinälevy asetetaan pukkien päälle ja kennolevyt pinotaan seinälevyn päälle. Jokaisen kennolevyn reiän kohdalle asetetaan määrämittainen holkki ja listat asetetaan omille paikoilleen. Kun kaikki kennolevyt on pinottu, asennetaan toinen seinälevy pinon päälle, ja sideputket ujutetaan reikiin ja holkkien läpi. Seuraavaksi kennolevyparit saumataan yhteen erikoistyökalulla, joka on kehitetty ohutlevyjen yhdistämiseen. Viimeisenä tiivisteet asetetaan kulmiin ja kulmaraudat hitsataan tiivisteiden taakse. (Korhonen 2011, 14)

## 4.2 Ongelmakohtien tunnistaminen

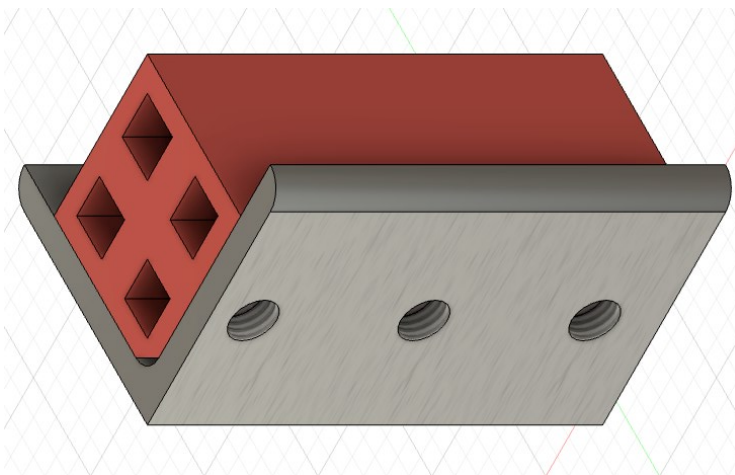
Opinnäytetyön tavoitteena on syventää ymmärrystä CHR-lämmönvaihtimesta ja kartoittaa mahdollisia vesivuotoja aiheuttavia ongelmakohtia. Valmet Oy on saanut valokuvia eri projekteista, joissa vesivuotoja on havaittu CHR-laitteiston tuloilma- ja ulkopuolella. Lämmöntalteenottotornit ovat nykypäivänä ylipaineisia, minkä johdosta vesivuodot ovat lisääntyneet, sillä paine pyrkii työntämään vettä mahdollisista raoista ulos. Lisäksi CHR-lämmönvaihtimelle on suoritettu vesivuototestauksia ja valmistusvaiheessa on ilmennyt ongelmia saumojen laadun kanssa. Vesi, joka vuotaa CHR-lämmönvaihtimesta, on pesuvettä, joka on peräisin sen yläpuolella sijaitsevasta pesurista. Vesivuodot eivät ole ainoastaan esteettisesti epämiellyttäviä sen vuoksi, että poistoilmassa kulkee epäpuhtauksia, vaan liukas maa voi myös aiheuttaa työtaturmia.

### 4.2.1 Kulmasauma

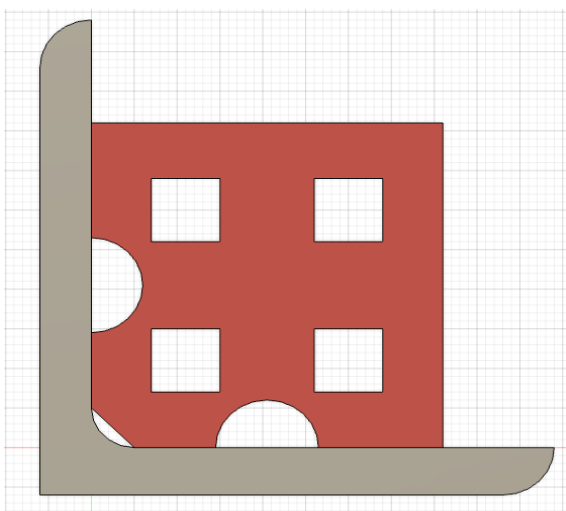
CHR-lämmönvaihtimen silikonikulmasaumamat (Kuva 6) sijaitsevat päädyissä neljässä kulmassa ja kiinnittyvät kulmatankoihin. Nämä saumat tiivistävät lämmönsiirtopintaa, joka koostuu ohutlevyistä. Sen lisäksi, että kulmasaumamat ovat erittäin tärkeä osa ilmanvaihtimen vesitiiveyttä, ne myös estävät poisto- ja korvausilman sekoittumasta keskenään.

Lämmönvaihdin asennetaan pulteilla kiinni ilmanvaihtokanavaan. Asennettaessa pultit kiristetään kulmatankoihin kahdesta suunnasta. Yksi mahdollinen vesivuodon aiheuttava tekijä syntyy siitä, että pultteja kiristetään liikaa. Tämä johtaa siihen, että pultit työntyvät kulmasaumaan liian pitkälle ja taivuttaa saumaa irti kulmatangosta, mikä mahdollistaa veden pääsyn tiivisteeseen ja tangon välille. Kuumuuden, kosteuden ja ajan seurauksena aiheutuu myös sauman katkeamista ja halkeamista pulttien ympärille. Kulmasauman ja kulmatangon välillä olevat työntymiset ja halkeamat saumoissa mahdollistavat veden tunkeutumisen sauman alle ja ulos ilmanvaihtimen ulkopuolelle.

Ratkaisuna kulmasaumaongelmaan ehdotan sauman rakenteen muokkaamista (Kuva 7). Kulmasaumaan lisättäisiin lovi pulttien kohdalle, joka estäisi pulttien liiallisen työntymisen saumaan. Tämä muutos olisi myös yksinkertainen toteuttaa valmistusvaiheessa, sillä kulmasauman valmistusta varten tarvitsisi ainoastaan vaihtaa uusi muotti lovien tekoa varten. Nykyisessä kulmasauman kulmassa (kuva 6) on jätetty lovi kulmasauman asennuksen helpottamiseksi. Tämä kuitenkin mahdollistaa veden kulkeutumisen avonaiseen kulmaan ja sitä kautta myös lämmönvaihtimen ulkopuolelle, jos kulmasauma halkeilee pulttien kohdalta. Näin ollen valmistusvaiheessa olisi hyvä lisätä kulmaan tiivistettä, joka ainakin hidastaisi vesivuotojen ilmenemistä.



Kuva 6. Havainnollistava kuva kulmatiivisteestä.



Kuva 7. Ehdotus uudesta kulmatiivisteestä.

#### 4.2.2 Sideputki

Sideputket (Kuva 8) ovat putkia, jotka menevät CHR-lämmönvaihtimen ja sen kennolevyjen läpi horisontaalisesti. Yleensä CHR-lämmönvaihtimessa on yhdeksän sideputkea. Sideputkien käyttötarkoitus on tukea lämmönvaihtimen rakennetta, sekä kannatella kennolevyjä, jotta ne eivät pääsisi roikkumaan. Sideputket kiristetään lämmönvaihtimeen kiinni mutterilla pitääkseen CHR-lämmönvaihtimen rakenteen tukevana. Mahdollinen vesivuotoa aiheuttava tekijä voi liittyä esimerkiksi siihen, että mutteri löystyy kuljetuksen tai laitteen käytön aikana aiheutuvasta tärinästä. Mutterin löystyminen puolestaan johtaa siihen, että seinälevyn ja mutterin välille kasvaa rako, joka mahdollistaa veden vuotamisen mutterin takaa.



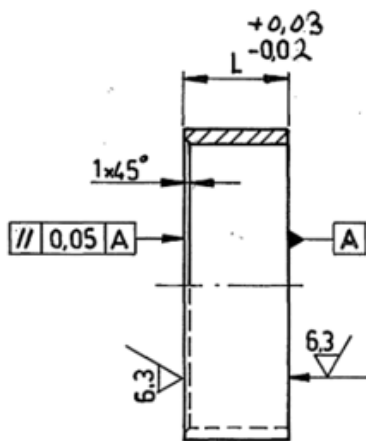
Kuva 8. Kyljessä kuusi sideputkea. (Kuva: Olli Huhtala)

#### 4.2.3 Holkki

Teräsholkit (Kuva 9) asennetaan valmistusvaiheessa kennolevyjen välille ja niissä sijaitsevien reikien päälle, josta sideputket työnnetään lävitse. Holkkien tehtävänä on estää pesuveden pääsemistä tuloilmapuolelle tiivistämällä sideputken ja kennolevyn välejä. Kuten mainittiin kappaleessa 4.2.2, kuljetuksen tai laitteen tärinä sattaa löysyttää sideputkien muttereita. Muttereiden löystyminen puolestaan aiheuttaa sen, että myös holkit pääsevät kennolevyjen välissä vapautumaan ja sitä myötä menettämään käyttötarkoitustaan.

Tiiveyteen vaikuttavia tekijöitä ovat myös holkkien pituus ja pinnanlaatu. Koska CHR-lämmönvaihtimessa on useita holkkeja, on hyvin todennäköistä, että niiden pituudet keskenään saattavat vaihdella. Vaihtelevan kokoiset holkit kennolevyjen välissä voi heikentää holkkien tiivistyskykyä, sillä tällöin kennolevyjen välille jää rakoja, joista vesi pääsee vuotamaan.

Vaihtelevien kokoisten holkkien lisäksi toinen mahdollinen ongelmakohta saattaa liittyä siihen, että holkkien ja kennolevyjen välillä ei ole erillistä tiivistystä, vaan teräspinnat ovat toisiaan vastakkain. Myös tämä voi mahdollistaa veden pääsyn kennolevyjen sisälle ja sitä pitkin lämmönvaihtimen ulkopuolelle. Vuodon ehkäisemiseksi olisi tarpeen pohtia, tulisiko holkkien ja kennolevyjen välille lisätä erillistä tiivistettä, joka estäisi veden kulkeutumisen kennolevyjen sisälle. Tiivisteiden lisääminen voisi samalla myös ehkäistä vaihtelevien kokoisten holkkien aiheuttamaa ongelmaa ja vuotoa.

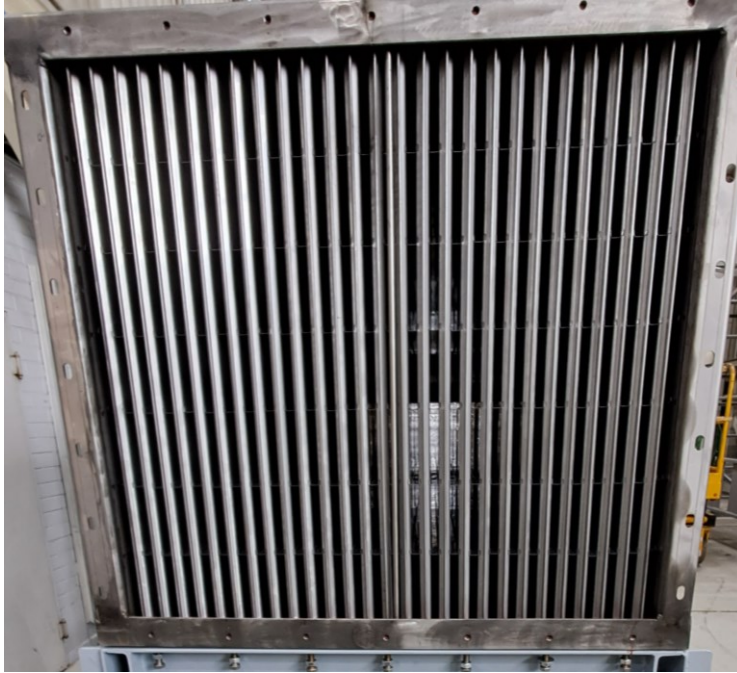


Kuva 9. Holkki. (Kuva: Olli Huhtala)

#### 4.2.4 Sidetanko

CHR-lämmönvaihtimessa on yhteensä neljä 10mm sidetankoa (Kuva 10), joista kaksi on poistoilmapuolella vaakasuorassa ja kaksi tuloilmapuolella pystysuorassa. Sidetankojen rooli on pitää lämmönvaihtimen rakennetta tukevana. Jotta sidetangot saadaan asennettua, täytyy kulmasaumaan tehdä 11mm reiät, jonka läpi tangot upotetaan kulmatankoon. Tämän jälkeen sidetangot asetetaan reikiin ja hitsataan kiinni kulmatankoon.

Reiän poraaminen kulmasaumaan sidetankojen asennusta varten aiheuttaa jo itsessään ongelmakohdan CHR-lämmönvaihtimen vesitiiveyteen, sillä tiivisteen ja sidetangon väliin jää 1mm rako. Rakoon kulkeutuu sidetankoa pitkin vettä, joka kulkeutuu sieltä kulmatiivisteen alle ja sitä kautta myös lämmönvaihtimen ulkopuolelle. Valmetilla on huomioitu reikien poraamisesta aiheutuva haitta CHR-lämmönvaihtimen vesitiiveyteen liittyen ja ehdotettu ratkaisuksi ongelmaan sidetangon nostamista kulmaraudan korkeudelle siten, että se hitsataan kiinni kulmarautaan. Tällöin kulmasaumaan ei tarvitse porata lainkaan reikiä ja sidetangon aiheuttama haitta vesitiiveydelle poistuu.



Kuva 10. Keskellä pystysuora sidetanko (Kuva: Olli Huhtala)

#### 4.2.5 Kaksoishakasauma

CHR-lämmönvaihtimen kennolevyt liitetään yhteen kaksoishakasaumalla (Kuva 11). Kaksoishakasauma tehdään manuaalisesti siihen tarkoitetulla saumauskoneella. Kaksoishakasauman tarkoituksena on tiivistää kennolevyt, jotta niistä ei pääsisi vuotamaan ilmaa tai nestettä ulos. CHR-lämmönvaihtimen asennusvaiheessa kennolevyt uppoavat kulmatiivisteeseen. Mikäli kennolevyt eivät uppoudu tiivisteeseen tasaisesti, saattaa se aiheuttaa muutoksia CHR-lämmönvaihtimen rakenteessa, mikä puolestaan lisää vuotojen mahdollisuutta.

Toinen mahdollinen vuotojen aiheuttaja on huonosti onnistunut saumaus. Kun saumaus tehdään manuaalisesti, lisääntyy myös virheiden mahdollisuus. Esimerkiksi silloin, jos saumakone ei ole oikeassa asetuksessa, ei saumasta välttämättä tule tarpeeksi tiivistä. Mikäli sauma ei ole tiivis, poistoilma pääsee kulkeutumaan tuloilmapuolelle, mikä puolestaan heikentää lämmönvaihtimen toiminnan tehokkuutta. Lisäksi se voi aiheuttaa veden kulkeutumisen tuloilmapuolelle. Kennolevyt ovat merkittävä tekijä lämmönsiirrossa, ja vuotoriskien minimoimiseksi tulee kennojen valmistusvaiheessa varmistua huolellisesta saumauksesta.



Kuva 11. CHR-lämmönvaihtimen kaksoishakasauma (Kuva: Olli Huhtala)

#### 4.3 Vesivuotojen ehkäiseminen

Alla listattuna mahdollisia keinoja ennaltaehkäistä CHR-lämmönvaihtimen vesivuotojen ilmenemistä:

- **Tiivisteiden tarkistus:** Varmista, että kulmasaumamat ovat ehjät ja kunnolla paikoillaan. Tiivisteet kulumat ajan myötä, joten niiden säännöllinen tarkistaminen ja tarvittaessa vaihtaminen voivat auttaa vesivuotojen ehkäisyssä.
- **Asennuksen tarkastus:** Varmista, että CHR-lämmönvaihdin ja erityisesti kappaleessa 4.2 mainitut osat, ovat asennettu oikein ja että kaikki liitokset ovat tiiviitä. Asennuksessa aiheutuneet virheet vaikuttavat suurella todennäköisyydellä CHR-lämmönvaihtimen vesitiiveyteen.
- **Painetestausta:** Painetestissä CHR-lämmönvaihtimen tuloilmapuolen päädyt suljetaan levyllä. Tämän jälkeen lämmönvaihtimen sisälle valutetaan 200 mm vettä, joka vastaa 2000 Pa paine-eroa. Jos viiden minuutin tarkastelun jälkeen lämmönvaihtimesta ei ole vuotanut vettä, voidaan todeta, että lämmönvaihdin on valmistettu oikein. Suoritettava painetestausta voisi auttaa havaitsemaan mahdolliset vuodot ja varmistamaan vesitiiveyden. Tätä kautta olisi mahdollista myös varmistaa, että vuodot eivät johdu valmistuksesta.

- Huolto- ja tarkastusohjelma: CHR-lämmönvaihtimella tulisi olla säännöllinen huolto- ja tarkastusohjelma. Tällä tavoin voitaisiin havaita mahdolliset vuodot tai muut ongelmat varhaisessa vaiheessa ja korjata ne ennen pahenemista. Tämän lisäksi pystyttäisiin tilastoimaan, mitkä ovat yleisimmät vuoto- ja ongelmakohdat ja tätä kautta tarkastelemaan tarkemmin CHR-lämmönvaihtimen vesitiiveyden kehityskohtia.

## 5 Tarkastuslista

### 5.1 Tarkastuslista

Valmet Oy:n työntekijöiden kanssa totesimme tarpeelliseksi laatia tarkastuslistan (Liite 1) CHR-lämmönvaihtimelle, jota voidaan hyödyntää maailmanlaajuisesti eri paperi- ja kartonkitehtailla vesivuotojen dokumentointiin. Tarkastuslistan avulla lämmöntalteenottotornista vähemmän kokenutkin henkilö voisi suorittaa tarkistuskäynnin, mikä mahdollistaisi nopeamman reagoinnin mahdollisiin ongelmiin ja tehostaisi samalla myös resurssien käyttöä.

Tarkastuslista lähetetään tehtaalle CHR-lämmönvaihtimen vesivuotojen paikantamiseksi. Tarkastuslistaan on listattu CHR-lämmönvaihtimen mahdolliset vuotokohtien aiheuttajat, mikä helpottaa vuotokohtien paikantamista ja niiden aiheuttajan tunnistamista. Tarkastuslistaan dokumentoidaan havainnot kirjallisesti ja lisätään niitä tukevat valokuvat vuotokohdista. Näin varmistetaan, että dokumentaatio on kattavaa ja helposti ymmärrettävää. Lisäksi tarkastuslistaan kirjataan viallisen lämmöntalteenottotornin numero sen identifioimista varten.

Säännöllinen dokumentointi tarkastuslistaan mahdollistaa vuotojen ennakoimisen ja yleisimpien ongelmakohtien tarkastelun. Tarkastuslista tarjoaa myös yksinkertaisen menetelmän tiedon keräämiselle useilta tehtailta, mikä puolestaan helpottaa vesivuotojen aiheuttajien kartoittamista. Näin asiakkaiden ongelmiin voitaisiin reagoida nopeammin ja entistä tehokkaammin. Tarkastuslistan lopullinen tavoite on löytää CHR-lämmönvaihtimen vesivuotojen aiheuttaja ja mahdollistaa vesitiiviin lämmönvaihtimen kehittämisen tulevaisuudessa.

## 6 Yhteenveto

CHR-lämmönvaihdin on keskeinen osa lämmöntalteenottotornia paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Valmet Technologies Oy:lla on havaittu useissa projekteissa vesivuotoja CHR-lämmönvaihtimissa, mikä on aiheuttanut tarpeen tarkastella lämmönvaihtimen valmistusta, asentamista ja muita mahdollisia vikoja vesivuotojen syiden selvittämiseksi. CHR-lämmönvaihtimessa esiintyvien ngelmakohtien tunnistaminen auttaa parantamaan lämmönvaihtimen vesitiiviyttä ja varmistamaan niiden luotettavan toiminnan. Vesivuotojen syiden selvittämisestä on tehnyt haastavaa se, että vuotoja on ilmennyt monissa eri CHR-lämmönvaihtimen kohdissa. Valmetin CHR-lämmönvaihtimia on käytössä laajalti ympäri maailmaa, mikä tekee myös ongelmakohtien kartoittamisesta haastavaa.

Merkittävimmät ongelmakohdat liittyvät CHR-lämmönvaihtimen kulmasaumoihin, sideputkiin, holkkeihin, sidetankoihin ja kaksoishakasaumaan, jotka voivat johtaa vesivuotoihin. Osaan vesivuotoja aiheuttavista ongelmatekijöistä voidaan vaikuttaa jo CHR-lämmönvaihtimen valmistusvaiheessa. Nykyisen mallin valmistuksessa on tärkeää varmistua etenkin kaksoishakasauman tiiveydestä, sideputken mutterin kireydestä ja holkkien tasapituisuudesta. Kaikkiin ongelmatekijöihin ei kuitenkaan ole mahdollista vaikuttaa CHR-lämmönvaihtimen valmistusvaiheessa, vaan myös asennuksessa voi tapahtua huolimattomuusvirheitä, jotka johtavat vesivuotoihin. Asennusvaiheessa suurin riski liittyy siihen, kun CHR-lämmönvaihdin asennetaan muttereilla lämmöntalteenottotorniin. Mikäli asennuksessa käytetään liian pitkiä muttereita tai niitä kiristetään liikaa, ne porautuvat CHR-lämmönvaihtimen kulmasaumoihin ja aiheuttavat vuotoriskin.

Koska ongelmakohtia on useita, olemme yhdessä Valmet Technologies Oy:n työntekijöiden kanssa todenneet tarpeelliseksi kehittää tarkastuslistan ongelmakohtien kartoittamiseksi ja korjaamiseksi. Tarkastuslistan avulla voidaan seurata vesivuotojen yhteneviä tekijöitä ja näin myös löytää lopullinen ratkaisu vesivuotojen ehkäisimiseksi. Tarkastuslista annetaan paperi- ja kartonkitehtaiden henkilöstölle, joka sen avulla pystyy tarkistamaan tiedossa olevat ongelmakohdat ja dokumentoimaan havaintonsa ylös säännöllisesti.

## Lähteet

- Valmet 2023a. Valmet yrityksenä. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/historia2/>
- Valmet 2023b. Valmet lyhyesti. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/?language=fi>
- Valmet 2023c. Kestävä kehitys Valmetissa. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/kestava-kehitys/kestava-kehitys-valmetissa/>
- Valmet 2023d. Kestävän kehityksen ohjelma. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/kestava-kehitys/kestava-kehitys-valmetissa/kestavan-kehityksen-ohjelma/>
- Valmet 2023e. OptiAir Recovery. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.valmet.com/board-and-paper/board-and-paper-machines/process-ventilation/optiair-recovery/>
- Valmet 2024f. Solution Finder. Valmet Oy kotisivut. Viitattu 9.1.2024  
<https://valmet.my.site.com/solutionfinder/product-form?productFormId=a015800000AoV2wAAF>
- Valmet 2024g. Heat recovery. Valmet Oy sisäinen tietokanta. Viitattu 17.3.2024
- Chahine, A n.d. How heat recovery systems work. Architecture lab. Viitattu 6.12.2023  
<https://www.architecturelab.net/how-heat-recovery-systems-work/>
- Karlsson, M. 2010. Papermaking science and technology. Papermaking Part 2, Drying., Toinen painos. Paperi ja Puu Oy.
- Kakaç, S.; Pramuanjaroenkij, A & Liu, H. 2012. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design., Kolmas painos. Boca Raton: CRC Press.
- Turgut, O. E. 2015. Hybrid Chaotic Quantum Behaved Particle Swarm Optimization Algorithm for Thermal Design of Plate Fin Heat Exchangers. Viitattu 11.3.2024  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-cross-flow-plate-and-fin-heat-exchanger-10\\_fig1\\_279238795](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-cross-flow-plate-and-fin-heat-exchanger-10_fig1_279238795)
- Korhonen, J. 2011. Levylämmönvaihtimen konstruktion kehitys. Opinnäytetyö (AMK). Kone- ja tuotantotekniikka. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.