

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TERRAFAMEN JÄÄHDYTYSVESIJÄRJESTELMÄN LÄMPÖTASETARKASTELU JA OPTIMOINTI

TEKIJÄ

Jaakko Poikkimäki

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Jaakko Poikkimäki			
Työn nimi Terrafamen jäähdytysjärjestelmän lämpöasetarkastelu ja optimointi			
Päiväys	20.12.2023	Sivumäärä/Liitteet	34/1
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Terrafame Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö toteutettiin kaivosyhtiö Terrafame Oy:n toimeksiantona. Työn tarkoituksena oli suorittaa lämpöasetarkastelua Terrafamen kaivosalueen metallien talteenoton laitoksilla ja löytää optimoitavia kohteita, joissa jäähdytysvesitorneille palaavan jäähdytysveden lämpötilaa olisi mahdollista kasvattaa. Korkeamman paluulämpötilan ansiosta raakaveden lämmitys ennen jäähdytysvesitorneja olisi tehokkaampaa ja jäähdytysvesitornien toiminta parempaa. Näiden lisäksi yhtenä tavoitteena oli täydentää olemassa olevaa tehdasstandardia jäähdytysvesijärjestelmään liittymisen osalta.</p> <p>Lämpöasetarkastelua tutkittiin Terrafamen Valmet DNA prosessinohjausjärjestelmällä, jolla saatiin tietoa virtausnopeuksista ja lämpötiloista. Tarkastelua suoritettiin prosessinohjausjärjestelmästä saatujen mitoitusarvojen kautta, joita verrattiin haluttuun tavoitetilään. Opinnäytetyössä apuna käytettiin laitevalmistajan tapaamisia, kirjallisuutta, aiheeseen liittyviä artikkeleita ja esihenkilöiden haastatteluja sekä prosessinohjausjärjestelmästä saatuja trendejä.</p> <p>Lämpöasetarkastelun tuloksena selkeitä optimoitavia kohteita olivat raffinaattisäiliön moottoreiden jäähdytys, paineilmaa tuottavien kompressorien jäähdytys kolmessa eri kohteessa, raudan saostuksen ja saostuksen jäähdytyskohteet. Optimoitavista kohteista annettiin arviot, mikä jäähdytysveden paluulämpötila jäähdytysvesitorneille voisi mahdollisesti olla kohteille suoritettujen toimenpiteiden jälkeen. Olemassa olevaan tehdasstandardiin luotiin ohjeistukset jäähdytysvesijärjestelmään liityttäessä. Näiden lisäksi ehdotettiin virtaus-, lämpötila- ja painemittausten lisäämisiä vuosihuollon yhteydessä etenkin jäähdytysveden paluulinjastoihin ja lämmönvaihtimelle tulevan sisäisen kierron osuuksille. Paluulinjastojen eristyksen osalta huollon tarpeellisuus tuli tarkastaa. Tässä opinnäytetyössä saatujen tuloksien perusteella tehtävät muutokset jäivät Terrafamen toimeksiannoiksi ja täten opinnäytetyön ulkopuolelle.</p>			
Avainsanat lämpöasetarkastelu, tehdasstandardi, optimointi			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Jaakko Poikkimäki	
Title of Thesis Heat Balance Review and Optimization of Terrafame's Cooling Water System	
Date December 20 th 2023	Pages/Appendices 34/1
Client Organisation /Partners Terrafame Ltd	
<p>Abstract</p> <p>This thesis was commissioned by the mining company Terrafame Ltd. The purpose of the work was to carry out heat balance review in Terrafame's metal recovery facilities and to find objects where the returning cooling water to the cooling water towers could be improved. With a higher temperature of the returning water the heating of the raw water before the cooling water towers would be more efficient and make the cooling water towers function better. In addition to these, one of the goals was to complement an existing factory standard with an additional instruction when entering the factory's cooling water system.</p> <p>Heat balance review was studied through Terrafame's Valmet DNA process control system which gave information about flow rates and temperatures. Review was performed through dimensioned values, the current situation and considering what the optimal target state should be. Meetings with manufacturers, literature, related articles, interviews of superiors and trends from the process control system.</p> <p>With the heat balance review the most optimizable objects were the cooling of the motors of the raffinate container, cooling of compressors producing compressed air in three locations and the cooling of iron precipitation and precipitation. Estimates were given of what the returning cooling water to the cooling water towers could possibly be after the steps towards optimization were taken. Instructions into the existing factory standard for joining the cooling water systems were drawn up. In addition, a suggestion to add flow, temperature, and pressure measurements especially to the returning cooling water, was given. The insulation of the returning water pipelines should also be inspected. The necessity of modifications based on the results of this thesis will be decided by the commissioner.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Heat balance review, factory standard, optimization</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	KÄSITTEET JA KÄYTETYT MERKIT	7
3	TERRAFAME.....	8
3.1	Yleistietoa Terrafamesta	8
3.2	Louhinta ja malminkäsittely	8
3.3	Metallien talteenotto	9
4	JÄÄHDYTYSVEDEN PROSESSIKUVAUS.....	10
4.1	Jäähdytyksen prosessi teollisuudessa	10
4.2	Lämmön siirtyminen.....	10
4.3	Yleistä lämmönvaihtimista	10
5	TERRAFAMEN JÄÄHDYTYSKIERTO	11
5.1	Terrafamen jäähdytysvesitornit.....	11
5.2	Terrafamen lämmönvaihtimet	12
6	LÄMPÖTASETARKASTELU.....	14
6.1	Tarkastelumenetelmät.....	14
6.2	Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmä	14
6.3	Jäähdytyskierron virtaukset ja lämpötilat	15
6.4	Raffinaattisäiliön pumppujen moottorien jäähdytys	17
6.4.1	Raffinaattisäiliön lämmönvaihtimille suoritettu laskenta iteroimalla.....	19
6.4.2	Jäähdytysveden ohjaus moottoreille ilman lämmönvaihtimia	21
6.5	Paineilman kompressorien jäähdytys	22
6.5.1	Lämmönsiirtopinta-ala kasvatus kompressorien lämmönvaihtimilla.....	23
6.6	Happilaitoksen paineilmakompressori	23
6.7	Suodatuksen kompressorien, raudan saostuksen ja saostuksen jäähdytys	23
6.8	Likaantumisen vaikutus lämmönvaihtimen tehoon	24
6.9	Putkistojen eristykset	26
7	TEHDASSTANDARDI	27
7.1	Eri standardityypit.....	27
7.2	Terrafamen tehdasstandardi jäähdytysvesijärjestelmään liityttäessä	27
8	LÄMPÖTASETARKASTELUN HAVAINNOT JA EHDOTUKSET TOIMENPITEILLE	29
8.1	Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmä	29

8.2	Jäähdytyskierron virtaukset ja lämpötilat	29
8.3	Raffinaattisäiliön moottorien jäähdytys	29
8.4	Neljän paineilmakompressorin jäähdytys	30
8.5	Suodatuksen kompressorien, raudan saostuksen ja saostuksen jäähdytys	30
8.6	Happilaitoksen paineilmakompressorin jäähdytys	30
8.7	Putkistojen eristykset	30
8.8	Tehdasstandardin päivitys jäähdytysjärjestelmään liityttäessä	30
8.9	Puhdistuksen merkitys lämmönvaihtimelle	31
8.10	Jatkotutkimukset.....	31
9	OPINNÄYTETYÖN MERKITYS.....	32
9.1	Jäähdytysjärjestelmään perehtyminen	32
	LÄHTEET	33

KUVALUETTELO

KUVA 1.	Primäärikasat (Terrafame 2023).....	8
KUVA 2.	Metallien talteenotto (Terrafame 2023)	9
KUVA 3.	Kuvaleike Wikipedia verkkosivulta. Jäähdytysvesitornin toimintaperiaate (Wikipedia 2012, CC BY-ND).....	11
KUVA 4.	Veden suihkutusta lämmönsiirtolamelleille (Terrafame 2022)	12
KUVA 5.	Levyllämmönvaihtimen toimintaperiaate (Wikipedia 2010, CC BY-ND)	12
KUVA 6.	Levyllämmönvaihtimen rakenne (Shah & Seculic 2003, 23).....	13
KUVA 7.	Jäähdytyskierto Terrafamen metallien talteenotossa (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)	15
KUVA 8.	Pumpun vesijäähdytteinen moottori (Poikkimäki 2023, CC BY-SA).....	18
KUVA 9.	Raffinaattipumppujen jäähdytysvedenkierto (Poikkimäki 2023, CC)	19
KUVA 10.	Raffinaattisäiliön moottorien jäähdytysveden kahdenkertainen lämmönvaihtimet (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)	20
KUVA 11.	Jäähdytysvedenkierto paineilman kompressoreilla (Poikkimäki 2023, CC BY-SA).....	22
KUVA 12.	Jäähdytysvedenkierto paineilman kompressorilla (Poikkimäki 2023, CC BY-SA).....	23
KUVA 13.	Likaantunut lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy (Terrafame 2023)	24
KUVA 14.	Puhdas lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy (Terrafame 2023)	25

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Terrafame Oy. Työn tarkoituksena on lämpöasetarkastelun avulla löytää mahdollisia optimoitavia kohteita jäähdytysvesijärjestelmistä Terrafamen tehdasalueen metallien talteenotosta ja täten antaa ehdotukset optimoinnin osalta. Tämän lisäksi täydennetään olemassa olevaa tehdasstandardia, jossa olisi ohjeistusta tilanteeseen, kun uusi laitos liittyy jäähdytysvesijärjestelmään.

Jäähdytysvesijärjestelmää on jo valmiiksi optimoitu Terrafamella siltä osin kuin sitä voi automaattiosäädöillä ja prosessin ohjauksella tehdä. Tarkoituksena on suorittaa lisää tarkastelua ja etsiä missä järjestelmissä mahdollisesti voitaisiin tehdä vielä parannusta. Jäähdytysvettä käyttävistä laitoksista etsitään yli viiden celsiusasteen lämpötilaeroja jäähdytettävästä kohteesta poistuvasta linjastosta ja lämmönvaihtimelta poistuvan jäähdytysvesilinjaston välillä. Tehdasstandardin täydennyksen avulla saadaan uudelle laitokselle luotua valmista ohjepohjaa, jotta jäähdytysvesijärjestelmä olisi mahdollisimman optimaalinen jo liittyessä.

Työ aloitetaan tutustumalla Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmään ja aikaisempiin tuloksiin. Lisäksi työssä käytetään hyödyksi kirjallisuutta, tapaamisia laitevalmistajan kanssa, Terrafamen omaa tietokantaa ja käyttöinsinöörin konsultointia sekä historiatrendejä prosessinohjausjärjestelmästä.

Terrafamen jäähdytysveden paluulämpötila on todettu liian alhaiseksi ja tehdasstandardista puuttuu ohjeistus jäähdytysvesijärjestelmään liittyessä. Työlle on todellinen tarve ja se liittyy jatkuvaan toiminnan- ja energiatehokkuuden parantamiseen tehdasalueella.

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan jäähdytysvesijärjestelmiä metallien talteenoton laitoksilla. Tehdasstandardin osalta ei ole tarkoitus tehdä uutta standardia, vaan päivitetään olemassa olevaan standardiin toimintaohjeita tilanteeseen, jossa liitytään jäähdytysvesijärjestelmään.

Tarkasteltavista jäähdytysvettä käyttävistä kohteista jätetään pois ne laitokset, jotka eivät ole käynnissä, mutta sisällytetään ne, joissa jäähdytysvesi kuitenkin kulkee, vaikka jäähdytettävä kohde ei olekaan käynnissä. Metallien talteenoton laitoksilla on käytössä muun muassa putkilämmönvaihtimia ja levylämmönvaihtimia. Tässä työssä tarkastellaan jälkimmäisiä.

Tarkasteltavista kompressoreista rajataan pois paineilman kompressorin sisällä tapahtuvan jäähdytyksen tarkastelu, koska se on jo Terrafamen ja kompressorien valmistajan kanssa aloitettu.

2 KÄSITTEET JA KÄYTETYT MERKIT

bioliuotus	metallien irrotus malmista mikrobien avulla
demivesi	puhdas, demineralisoitu vesi
happilaitoksen kompressori	paineilman tuotantoon käytettävä kompressori
hydrometallurgia	metallien valmistustekniikka
iterointi	Menetelmä, jossa laskutoimituksia toistetaan, tuottaen yhä tarkemman lopputuloksen, kunnes haluttu tarkkuus on saavutettu.
kahdennettu	samaa laitteistoa/instrumenttia löytyy kaksi kappaletta
kalkki	metallien talteenoton laitos
kompressorit 1–4	paineilman tuotantoon käytettävät kompressorit
metallien talteenottolaitos	Laitos, jossa bioliuotuksessa kierrätettävästä tuotantoliuoksesta erotetaan metallit, jotka saostetaan sulfideiksi.
PLS- liuos	bioliuotuksen tuoteluos
propyleeniglykoli	jäähdytinneste
raffinaattiliuos	metallien talteenoton jälkeinen liuos
raffinaattisäiliö	metallien talteenottolaitokselta bioliuotukseen palautettavan raffinaattiliuoksen säiliö
RaSa	raudan saostus
RV 1, 2 & 3	rikkivetylaitokset
saostus	metallien talteenoton laitos
suodatuksen kompressorit	paineilman tuotantoon käytettävät kompressorit
trendi	tietyltä ajanjaksolta saatava kuvaaja
Valmet DNA	prosessinohjausjärjestelmä
vety 1 & 2	vedyn tuotantolaitokset
Q	lämpöteho [kW]
m	virtaavan aineen massavirta [kg/s]
c_p	aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(kgK)]
ΔT	ainevirran tulo- ja menolämpötilojen erotus [K].

3 TERRAFAME

3.1 Yleistietoa Terrafamesta

Monimetalliyhtiö Terrafame Oy perustettiin vuonna 2015. Se tuottaa muun muassa nikkeliä, sinkkiä, kobolttia ja kuparia. Muita tuotteita ovat ammoniumsulfaatti sekä vuonna 2024 käynnistyvän uraanin talteenoton kautta luonnonuraani. (Terrafame Oy 2023.)

Terrafame jatkaa Talvivaara Kaivososakeyhtiö Oyj:n toimintaa, joka ajautui konkurssiin. Tuotantolaitoksen juuret juontavat kuitenkin vuoteen 1977, jolloin Geologian tutkimuskeskus löysi suuren malmiesiintymän, jota Outokumpu Oy alkoi tutkimaan 1980-luvulla. Yhtiön teollisuusalueella työskentelee noin 1 500 henkilöä, joista noin puolet on urakoitsijoita. Terrafamen liikevaihto oli vuonna 2022 noin 584 miljoonaa euroa. (Terrafame Oy 2023.)

3.2 Louhinta ja malminkäsittely

Terrafamen teollisuusalueella sijaitsevalla avolouhoksella on Euroopan suurimmat nikkelivarannot. Louhittu malmi sisältää sinkkiä 0,53 %, nikkeliä 0,26 %, kuparia 0,14 %, kobolttia 0,02 % ja uraania 0,0017 %. Malmin murskaamisen jälkeen se kasataan primäärikasoihin (kuva 1) noin 15 kuukaudeksi. Primäärikasoja kastellaan kiertoliuksella, josta osavirtauma johdetaan metallien talteenottolaitokselle metallisulfidien erottamista varten. Talteenottolaitoksen paluuliuos johdetaan takaisin kiertoliukseen. (Vihanto 2023.)



KUVA 1. Primäärikasat (Terrafame 2023)

Terrafamen kaivospiirin alueella on kaksi malmiesiintymää. Tällä hetkellä malmiä louhitaan Kuusilammen avolouhoksesta, mutta lisäksi alueella sijaitsevan Kolmisopen alueelle on kaavailtu avolouhosta. Kolmisopen avolouhoksen aloitusta suunnitellaan 2020-luvun loppupuolelle, joka edellyttää Kolmisoppi-järven osittaista kuivattamista (Terrafame Oy 2023).

3.3 Metallien talteenotto

Metallien talteenotossa (kuva 2) nikkeli, sinkki, kupari ja koboltti saostetaan hydrometallurgisella prosessilla liuotuskasoilta saatavasta PLS-liuoksesta, jolloin saadaan tuotetuksi sakkamaisia metallisulfideja. Nämä metallisulfidit ovat kaivoksen tuotantoprosessin lopputuotteita ja ne myydään asiakkaille jatkojalostettavaksi. (Vihanto 2023.)



KUVA 2. Metallien talteenotto (TerraFame 2023)

4 JÄÄHDYTYSVEDEN PROSESSIKUVAUS

4.1 Jäähdytyksen prosessi teollisuudessa

Teollisuuden laitteistot ja prosessit tuottavat suuria määriä lämpöä, joka on tarpeellista hajauttaa jatkuvasti, jotta toiminta voi jatkua tehokkaasti. Lämmönvaihtimien avulla voidaan siirtää lämpöenergiaa ainevirtojen välillä. Jäähdytysvettä kierrätetään tarvittaviin kohteisiin lämmönvaihtimien kautta. Lämpöä tuottava kohde luovuttaa sisäisessä kierrossaan olevan lämpöenergian lämmönvaihtimien kautta lämpimäksi paluuvodeksi jäähdytysvesitorneille ja vastaanottaa jäähdytysvesitorneilta tullutta kylmää jäähdytysvettä lämmönvaihtimen kautta takaisin sisäiseen kiertoon jäähdytettävälle kohteelle. Jäähdytysvesitorneille palaava lämmin vesi luovutetaan loppuvaiheessa ympäröivään ilmaan. (Cooling Tower Fundamentals, 2009.)

4.2 Lämmön siirtyminen

Lämpö voi siirtyä johtumalla, konvektiolla eli kulkeutumalla ja säteilyllä. Lämmön olemuksena on, että lämpötilaerot pyrkivät tasaantumaan virraten alemman lämpötilan suuntaan (Huhtinen, Kettunen, Nurminen & Pakkanen 2000, 204–206). Väliaine ja sen ominaisuudet, kuten ominaislämpökapasiteetti, massa ja lämpötila vaikuttavat siihen, kuinka paljon lämpöä siirtyy (Peda 2023).

4.3 Yleistä lämmönvaihtimista

Lämmönvaihtimia on toimintaperiaatteeltaan kolmea eri tyyppiä. Näistä tehokkain on vastavirtalämmönvaihdin, jossa aineet virtaava vastakkaisiin suuntiin. Myötavirtalämmönvaihtimessa aineet virtaavat samaan suuntaan ja ristivirtalämmönsiirtimessä kohtisuoraan toisiaan vastaan. (Huhtinen ym. 2000, 202.)

Lämmönvaihtimet siirtävät lämpöenergiaa eri lämpötiloissa olevien ainevirtojen välillä. Ainevirtoja voidaan tällä tavoin jäähdyttää, mutta tarvittaessa myös lämmittää. Tyypilliset käyttökohteet vaativat joko yhden tai useamman virran jäähdytystä tai lämmitystä ja haihduttamista tai kondensoitumista. Muissa käyttökohteissa voi olla tarkoitus myös sterilisoida tai pastöroida sekä ohjata prosessin virtoja. Tulistimet, jäähdyttimet, lauhduttimet, höyrystimet ja lämpöpatterit ovat esimerkkejä lämmönvaihtimista. (Shah & Sekulic 2003, 1.)

Lämmönsiirtopinnat erottavat ainevirrat mahdollistaen lämpöenergian vapautumisen kuumasta kylmään. Tällaisia lämmönvaihtimia kutsutaan rekuperaattoreiksi. Rekuperaattoreissa ainevirrat eivät sekoitu keskenään. Lämmönvaihtimet, joissa taas on ajoittaista lämmönvaihtoa ovat regeneraattoreita. (Shah & Sekulic 2003, 1–8.)

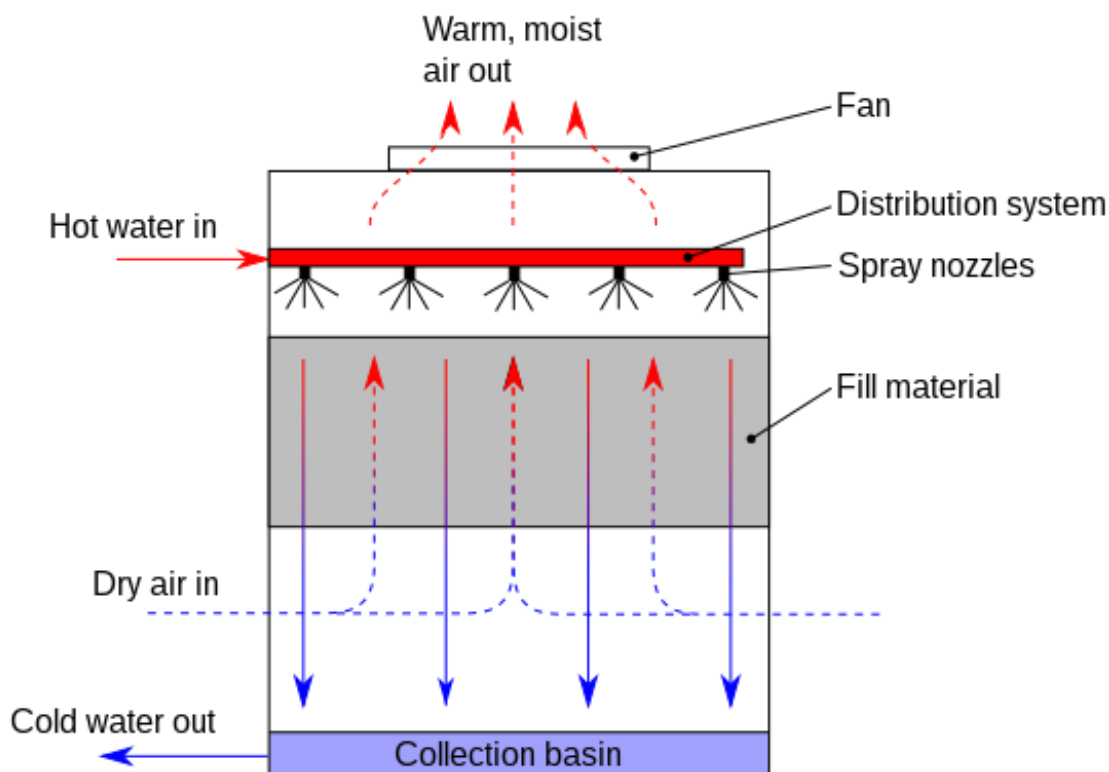
5 TERRAFAMEN JÄÄHDYTYSKIERTO

Terrafamella metallien talteenotossa jäähdytysjärjestelmän tarkoitus on poistaa prosesseissa syntynyt ylimääräinen lämpöenergia ja hyödyntää kertynyt lämpöenergia raakaveden lämmitykseen lämmönvaihtimilla ennen paluuta jäähdytysvesitorneille. Jäähdytysvesitorneilla lämpötila lasketaan halutuksi ja pumpataan takaisin kierto.

Jäähdytysvettä käytetään Terrafamen metallien talteenoton laitoksilla vetylaitos 1:ssä ja 2:ssa, rikki-vetylaitos 1–3:ssa, paineilmaa tuottavilla kompressoreilla kolmessa eri kohteessa, raffinaattisäiliöllä, kalkkilaitoksella, raudan saostuksessa ja saostuksessa. Näistä suurimpia jäähdytysveden kuluttajia ovat vetylaitokset ja saostus.

5.1 Terrafamen jäähdytysvesitornit

Terrafamen jäähdytysvesitornit ovat malliltaan avoimia märkiä jäähdytystorneja. Ne toimivat vastavirtauksella, jossa palaavaa lämmintä jäähdytysvettä suihkutetaan alaspäin ja luodaan tornin yläpäässä olevalla puhaltimella vetoa alhaalta ylös jäähdyttäen alaspäin suihkutettavaa vettä vastavirtauksella (kuva 3) Lämpötila lasketaan torneilla halutuksi ja pumpataan uudelleen kierto.



KUVA 3. Kuvaleike Wikipedia verkkosivulta. Jäähdytysvesitornin toimintaperiaate (Wikipedia 2012, CC BY-ND)

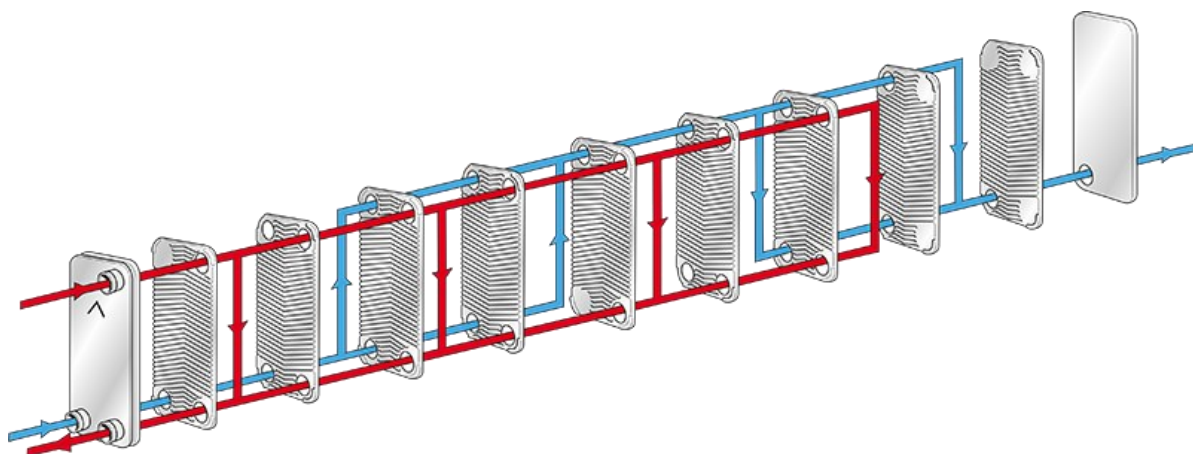
Terrafamen jäähdytystornien tärkeimpiä komponentteja ovat lämmönsiirtolamellit (kuva 4), joiden pinnassa vesi valuu alaspäin ja jäähdytysilma ylöspäin, jolloin vesi jäähtyy lähes ilman lämpötilaan höyrystymisen ja lämmönsiirron vaikutuksesta (Jussila 2022).



KUVA 4. Veden suihkutus lämmönsiirtolamelleille (Terrafame 2022)

5.2 Terrafamen lämmönvaihtimet

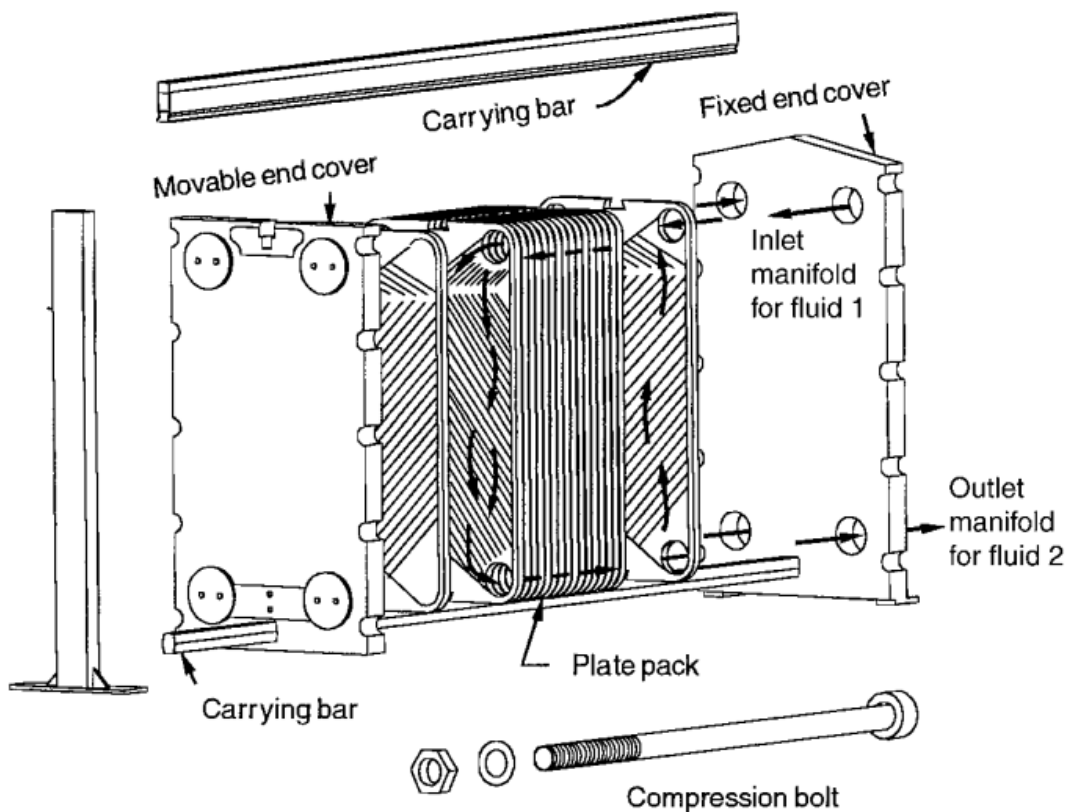
Terrafamen metallien talteenotossa on käytössä putkilämmönvaihtimia ja levylämmönvaihtimia. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin levylämmönvaihtinten toimintaa. Alla olevassa kuvassa (kuva 5) näkyy levylämmönvaihtimen toimintaperiaate.



KUVA 5. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate (Wikipedia 2010, CC BY-ND)

Yleisimpiä levylämmönvaihtimia ovat tiivisteelliset, hitsatut ja juotetut lämmönvaihtimet. Levylämmönvaihtimet koostuvat useista suorakulmaisista metallilevyistä, joiden keskellä kulkee virtauskanavat. Virtauskanavissa jäähdytettävästä kohteesta tulee levylämmönvaihtimelle kuumaa nestettä ylhäältä, virratessaan alas luovuttaa toisella puolella ylöspäin virtaavalle jäähdytysvedelle lämpöenergiaa ja palaa jäähdytettävälle kohteelle kylmempänä. Levyjen kehällä kulkee urat tiivisteitä varten, joten virtaukset eivät ole kosketuksissa toisiinsa. (Shah & Sekulic 2003, 22–23.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 6) nähdään levylämmönvaihtimen rakenne, jossa kiinteä kansi ja liikuttava päätykansi kiinnittyvät toisiinsa ruuveilla puristaen väliin jäävät lämmönvaihtolevyt, jotka ripustetaan ylemmstä kantotangosta ja asetetaan alemmalla kantotangolla oikeaan kohtaan. Tätä varten jokainen levy on uritettu keskikohdalta ylä- ja alapäästä. Kantotangot ovat pidempiä kuin puristuksissa olevat levyt, mikä mahdollistaa levyjen liikuttelun tarkastelua ja puhdistamista varten. (Shah & Sekulic 2003, 23.)



KUVA 6. Levylämmönvaihtimen rakenne (Shah & Seculic 2003, 23)

Virtauskanavat ovat kapeita, aaltomaisia ja mutkaisia parantaen lämmönsiirron nopeutta ja vähentäen likaantumisvastusta, lisäten leikkausjännitystä ja luoden turbulenssia. Aaltomaisuus lisää myös jäykkyyttä ja muodostaa halutun levyvälin. Levyjen välinen tiivistys koostuu tyypillisesti viiden millimetrin paksuisesta tiivisteestä puristuen noin 25 prosenttia kasaan, jolloin muodostuu tiivis liitos. (Shah & Sekulic 2003, 24–25.)

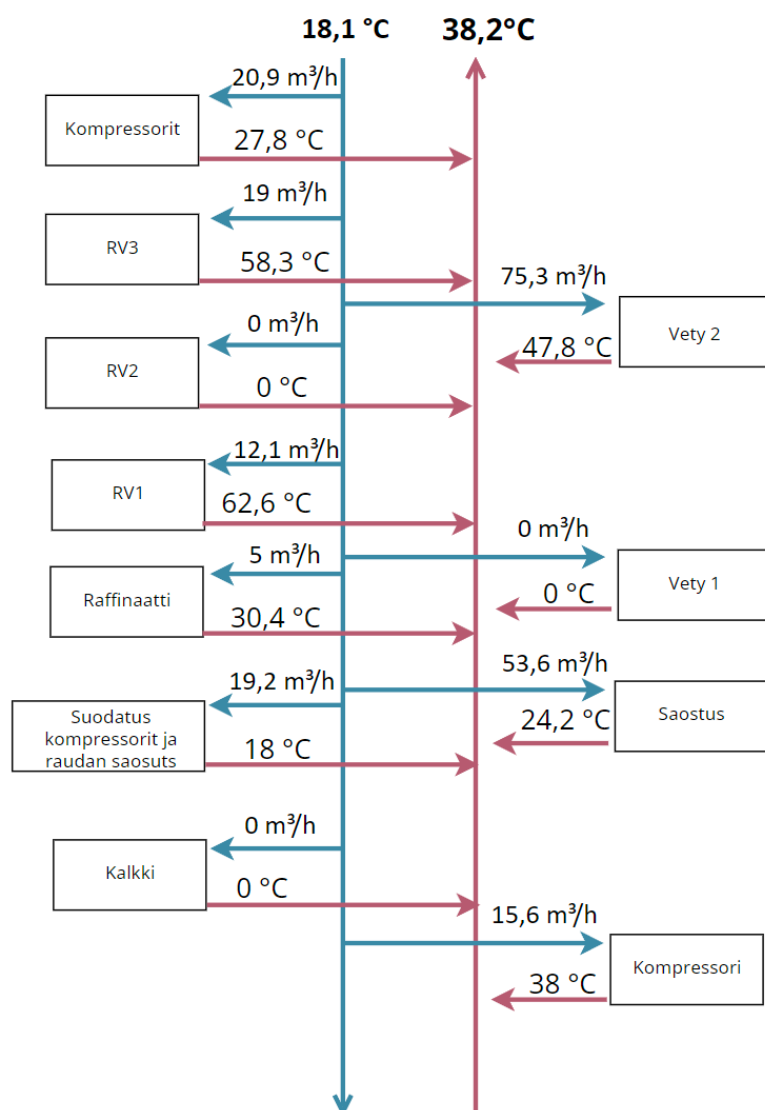
6 LÄMPÖTASETARKASTELU

6.1 Tarkastelumenetelmät

Opinnäytetyössä jäähdytysvedenkiertoa tarkasteltiin Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmän historiatrendien avulla sekä tarkastelemalla mikä on virtauksien ja lämpötilojen tämänhetkinen tilanne, miten ne on mitoitettu ja mikä pitäisi olla tavoitetilä. Lämpötiloja vertailtaessa pieni lämpötilaero jäähdytettävän kohteen ja kohteelta lähtevän jäähdytysveden välillä viittasi lämmönvaihtimen ja jäähdytysjärjestelmän hyvään toimintaan. Lähes viiden asteen erot näyttivät, että jäähdytysveden kiertoa kohteessa tulisi tarkastella. Koska kaikista kohteista ei ollut saatavilla virtaus- tai lämpötilatietoja, tasetarkastelun ajankohdaksi valittiin kohteissa käytäessä suoritettujen paikallismittausten ajankohta.

6.2 Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmä

Lämpötasetarkastelu aloitettiin tutustumalla jäähdytyskiertoon Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmässä. Alla olevassa kuvassa (kuva 7) on esitetty virtausnopeuksia sekä lähtevää kylmää jäähdytysvettä (sininen viiva) ja palaavaa lämmintä jäähdytysvettä (punainen viiva) metallien talteenoton jäähdytysvettä käyttävillä kohteilla.



KUVA 7. Jäähdytyskierto Terrafamen metallien talteenotossa (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)

Lämpötilamittauksia saatiin prosessinohjausjärjestelmästä, mutta kohteissa, joissa tietoja ei ollut saatavilla, suoritettiin paikallismittauksia. Virtausmittaus oli puutteellinen ainoastaan yhdessä kohteessa, jonka määrä saatiin, kun kokonaisvirtausmäärästä vähennettiin muut jäähdytysvettä käyttävät kohteet.

6.3 Jäähdytyskierron virtaukset ja lämpötilat

Jäähdytysveden kiertoa tarkasteltiin kokonaisuutena lähtevän virtausmäärän ja lämpötilan ja palaavan jäähdytysveden lämpötilojen osuuksilta. Jäähdytettävälle kohteille meni eri määriä jäähdytysvettä kahden isoimman vaatiessa yli puolet jäähdytysveden virtauksesta. Tarkastelussa seurattiin minkä suuruisia virtausmääriä kohteille menee ja minkälaista paluulämpötilaa sieltä saadaan.

Kaikissa kohteissa ei ollut tarvittavia lämpötilamittauksia, joten kenttäkierroksilla käytiin mittaamassa paikan päällä kohteista arvot. Jäähdytysveden tulon virtausmäärät puuttuivat tarkasteltavista kohteista ainoastaan raffinaattisäiliön moottorien jäähdytykseen menevästä linjastosta. Raffinaattisäiliön moottoreille menevän virtauksen suuruus saatiin vähennettäessä kokonaisvirtauksesta muut jäähdytysvettä käyttävät kohteet. Virtausmääriä ja jäähdytysveden paluulämpötilaa ei tarkasteltu laitosten osalta, jotka eivät olleet käynnissä, koska näiden laitosten lävitse ei virrannut jäähdytysvesi. Kohde, jonka lävitse jäähdytysvesi kulkeutui, vaikka kohde ei ollutkaan käynnissä, sisällytettiin tasetarkasteluun. Lämpötilojen mittaukset olivat puutteelliset raffinaattisäiliön, saostuksen ja raudan saostuksen ja suodatuksen kompressorien jäähdytysveden paluulinjoista. Muiden laitosten lämpötilat löytyivät laitoksien omilta prosessinohjausvälilehdiltä.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) on lämpötilojen paluulinjaston ja virtauksien menolinjaston mittaustulokset, jossa ylimpänä on kauimmainen jäähdytysvettä käyttävä kohde. Nykyhetken tilanteen lämpötiloihin on otettu paikallismittauksella arvot 05.12.2023 aikavälillä 10.00–12.00 lämpötilat niistä kohteista, joista sitä ei ollut saatavilla Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmästä. Keltaisella on korostettuna lämpötilat, jotka otettiin paikallismittauksella. Lämpötilojen lopullinen arvo on ennen raakaveden lämmönvaihtimia Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmästä saatu tieto.

TAULUKKO 1. Lämpötilat ja virtaukset 05.12.2023

Nykytilanne	Lämpötilat °C	Virtaus m ³ /h
Happilaitoksen kompressori	38,0	15,6
Rasa ja suodatuksen kompressorit	18,0	19,2
Saostus	24,2	53,6
Raffinaattisäiliö	32,0	5,0
RV1	62,6	12,1
Vety 2	47,8	75,3
RV3	58,3	19,0
Kompressorit 1–4	27,8	20,9
Yhteensä	38,2	220,7

Lämpötilojen tasaantuminen on keskiarvo sekoittuvista määristä (Peda 2023). Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) nähdään 05.12.2023 saatujen mittausten kautta laskennallinen keskiarvo jäähdytysveden paluulämpötilojen sekoittuvista määristä jäähdytysveteen yhdistyvillä haaroilla. Arvot on saatu paikallismittauksista ja Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmän virtausmittauksien avulla. Taulukossa on kaukaisin kohde ylimpänä. Tarkastelussa voidaan huomata, kuinka kaukaisimmalta lähtevältä kohteelta tuleva paluulinja jäähtyy seuraavassa haarassa yli kymmenen celsiusastetta sieltä tulevan kylmemmän virtauksen vuoksi. Taulukon kohteet 2–4 sekä 8. osoittautuivat ongelmallisimmiksi kohteiksi, joissa jäähdytysveden käytön optimointi olisi tarpeellista. Paluulämpötila kasvaa kohteiden 2–4 jälkeen seuraavassa haarassa noin kymmenen celsiusastetta.

TAULUKKO 2. Lämpötilojen tasaantuminen yhdistyvillä haaroilla

Lähtevät linjat	Lämpötilat °C	Virtaus m ³ /h
1. Happilaitoksen kompressori	38,0	15,6
2. Rasa ja suodatuksen kompressorit	26,9	34,8
3. Saostus	25,3	88,4
4. Raffinaattisäiliö	25,6	93,4
5. RV1	29,8	105,5
6. Vety 2	37,3	180,8
7. RV3	39,3	199,8
8. Kompressorit 1–4	38,2	220,7
Jäähdytysveden paluulämpötila	38,2	

Alla olevassa taulukossa (taulukko 3) on arvioitu, mikä jäähdytysveden paluulämpötila voisi olla, jos muutoksilla on saatu aikaan osassa optimoitavista kohteista kymmenen celsiusasteen ja osassa noin 20 celsiusasteen paluulämpötilan kasvatus.

TAULUKKO 3. Lämpötilojen tasaantuminen optimoinnin jälkeen

Lähtevät linjat	Lämpötilat °C	Virtaus m ³ /h
Happilaitoksen kompressori	38,0	15,6
Rasa ja suodatuksen kompressorit	41,9	34,8
Saostus	43,8	88,4
Raffinaatti	43,6	93,4
RV1	45,7	105,5
Vety 2	46,6	180,8
RV3	47,7	199,8
Kompressorit 1–4	46,8	220,7
Jäähdytysveden paluulämpötila	46,8	

Lämpötasetarkastelussa suoritettiin laskentaa myös, mitä virtausmäärät voisivat olla, kun kohteesta saadaan lämpimämpää paluuvettä. Korkeampi paluulämpötila olisi mahdollista saada virtauksia säätämällä, kuitenkin ylikuumentamatta jäähdytettävää kohdetta. Alla olevassa taulukossa (taulukko 4) nähdään, kuinka paljon kokonaisvirtauksen määrä laskisi, jos optimoitavista kohteista saataisiin

enemmän lämpöä talteen. Vasemmalla on arvioitu poistuvan jäähdytysveden lämpötilaa. Lämpötiloihin on annettu karkeat arvot, jotka voivat todellisuudessa olla korkeammat. Lämmönvaihtimen tehon kaavalla saatiin laskettua kohteesta saatavaa lämpötehoa. Kohteille suoritettiin iterointia, jossa vaihteluvälin arvoja sijoitetaan laskukaavaan yhä uudestaan, kunnes saadaan haluttu tulos eli tässä yhteydessä lämpötehon ollessa sama, saadaan virtausmäärä pienempänä. Lämpötehoa laskettiin kaavalla (Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva 2016).

$$Q = mc_p \Delta T \quad (1)$$

missä	Q	on lämpöteho [kW]
	m	on jommankumman virtaavan aineen massavirta [kg/s]
	c_p	on saman aineen ominaislämpökapasiteetti [J/(kgK)]
	ΔT	on saman ainevirran tulo- ja menolämpötilojen erotus [K].

TAULUKKO 4. Kokonaisvirtauksen muutos korkeammalla paluulämpötilalla

Lähtevät linjat	Lämpötilat °C	Virtaus m ³ /h
Happilaitoksen kompressori	40,0	11,63
Rasa ja suodatuksen kompressorit	43,1	4,9
Saostus	44,8	12,2
Raffinaatti	43,4	2,8
RV1	65,0	10,4
Vety 2	56,2	61,1
RV3	58,3	16,4
Kompressorit 1–4	48,0	10,3
Yhteensä	48,0	129,73

Taulukosta 4 voidaan todeta, että rajoittamalla jäähdytysveden virtauksia sekä suorittamalla koh-teissa optimointia, jossa kohteista saataisiin luovutettua paremmin lämpöä paluulinjastoon, on mah-dollista laskea kohteisiin menevän jäähdytysveden määrää ja saada sieltä korkeampaa jäähdytysve-den paluulämpötilaa.

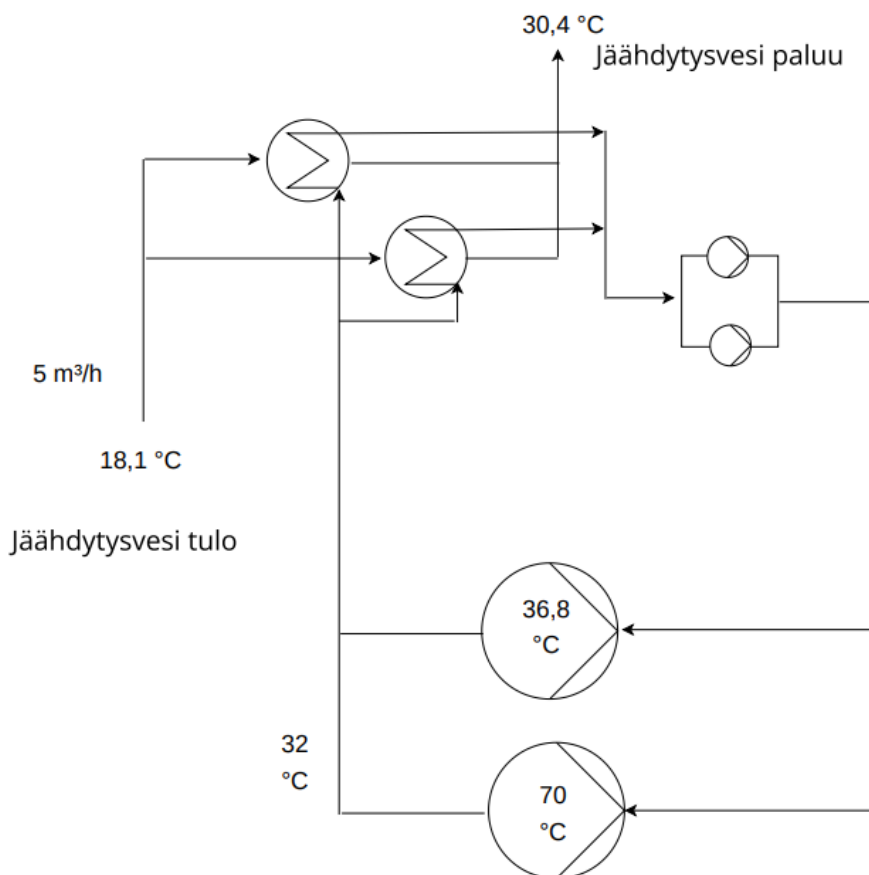
6.4 Raffinaattisäiliön pumppujen moottorien jäähdytys

Raffinaattisäiliön pumppujen moottorit olivat vesijäähdytteisiä. Alla olevassa kuvassa (kuva 8) näh-dään moottorille yhdistyvä sisäisen kierron jäähdytysvesilinjasto. Moottoreille menevien sisäisen kier-ron jäähdytysvesilinjastojen säätäminen tapahtui käsiventtiilein.



KUVA 8. Pumpun vesijäähdytteinen moottori (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)

Raffinaattisäiliön moottoreiden sisäisessä jäähdytysvedenkierrrossa havaittiin optimoitava kohde. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) nähdään jäähdytysvedenkierto raffinaattisäiliön pumppujen moottoreilla. Raffinaatin pumppaus oli kahdennettu eli vain toinen pumpuista oli aina ajolla. Sisäinen jäähdytysvedenkierto kulki molempien pumppujen moottorien kautta, vaikka toinen ei ollutkaan käytössä. Tämä aiheutti kylmemmän moottorin kautta tulevan jäähdytysveden virtauksen sekoittumisen käynnissä olevan moottorin jäähdytysveteen laskien lämmönvaihtimille tulevan jäähdytysveden lämpötilaa.



KUVA 9. Raffinaattipumppujen jäähdytysvedenkierto (Poikkimäki 2023, CC)

Käynnissä olevan moottorin lämpötila ja moottorilta poistuvan jäähdytysveden paluulämpötilassa oli suuret erot. Kohteessa suoritettun paikallismittauksen perusteella jäähdytettävältä moottorilta poistuva paluuvesi oli noin 35–38 astetta kylmempää kuin itse jäähdytettävä moottori.

6.4.1 Raffinaattisäiliön lämmönvaihtimille suoritettu laskenta iteroimalla

Raffinaattisäiliön moottorien jäähdytykselle suoritettiin lämpötehon laskenta nykyhetken tilanteesta, jolla saatiin selville lämmönvaihtimen tämänhetkinen teho. Koska lämmönvaihtimen teho on sama käyttäen joko sisäisen tai ulkoisen kierron arvoja (Alfa Laval 2020.), iteroimalla oli selkeää etsiä tavoiteltavia jäähdytysveden paluulämpötiloja. Iteroimalla nähtiin, kuinka paljon lämmönvaihtimien teho muuttuisi, kun lämmönvaihtimille palaava sisäisen kierron jäähdytysvesi olisi nykyhetkeä korkeampaa. Muuttuneen tehon kautta laskettiin, kuinka paljon jäähdytysveden paluulämpötilaa voisi mahdollisesti kasvaa. Alla olevassa kuvassa (kuva 10) näkyvät lämmönvaihtimet olivat kahdennettu ja niiden yhteinen teho oli 100 kW.



Kuva 10. Raffinaattisäiliön moottorien jäähdytysveden kahdenkertainen lämmönvaihtimet (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)

Koska lämpötilamittauksia ei ollut sisäisessä kierrossa, moottorilta poistuvalla lämpötilalla asetettiin paikallismittauksena saatu tulos. Jäähdytysveden virtauslämpötila lämmönvaihtimelta jäähdytettävälle kohteelle asetettiin kaksi astetta lämmönvaihtimelle tulevaa jäähdytysvettä korkeammaksi. Sisäisen kierron pumpuille annettiin arvoksi niiden maksimivirtausmäärä. Ulkoisen kierron virtauksen määrä saatiin vähentämällä kokonaisvirtauksesta muut jäähdytysvettä käyttävät kohteet.

Keskiarvot lämmönvaihtimen laskennassa käytetyille arvoille tehon laskentaan otettiin paikallismittauksessa suoritettujen tulokset 05.12.2023. Lämmönvaihtimen nykyhetken tehoa saatiin laskettua (kaava 1) kyseisen ajanjakson keskiarvoilla, jolloin virtaus m oli 0,84 kg/s kylmällä puolella ja 1,4 kg/s kuumalla puolella, $c_p = 4180 \text{ J/kgK}$, $\Delta T = 303,55 \text{ K} - 291,6 \text{ K}$. Tuloksena saatiin lämmönvaihtimen tehoksi $Q = 72 \text{ kW}$.

Seuraavaksi laskettiin iteroimalla arvo paluulämpötilalle, kun sisäisen kierron jäähdytysvesi ei kulkenut moottorin kautta, joka ei ollut käynnissä ja jäähdytettävältä moottorilta saataisiin korkeampaa paluulämpötilaa sisäiseen kiertoon. Moottorilta poistuvalla lämpötilalle asetettiin arvoksi 55 celsiusastetta moottorin lämpötilan ollessa 70 celsiusastetta.

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin $Q = 123 \text{ kW}$. Alla olevassa taulukossa (taulukko 5) on esitettyä laskennassa käytetyt arvot ja niiden tulokset.

TAULUKKO 5. Laskennassa käytetyt arvot

Nykyhetken teho			Iteroimalla laskettu teho		
Q	72	kW	Q	123	kW
m Sisäinen	0,84	kg/s	m Sisäinen	0,84	kg/s
m Ulkoinen	1,4	kg/s	m Ulkoinen	1,4	kg/s
C _p	4180	J/kgK	C _p	4180	J/kgK
T Kuuma	285,15	K	T Kuuma	308,15	K
T Kylmä	285,1	K	T Kylmä	293,8	K

Aikavälin tarkasteltu nykyhetken jäähdytysveden paluulämpötila oli 30,4 celsiusastetta. Iteroimalla saatu laskennallinen paluulämpötila oli 39,1 celsiusastetta. Laskennallisen lämpötehon kautta pystyttiin toteamaan, että lämmönvaihtimet olisivat alimitoitettuja, jos jäähdytettävästä kohteesta saataisiin siirrettyä enemmän lämpöä eikä jäähdytysvesi kulkeutuisi moottorin kautta, joka ei ollut käynnissä.

Paluulämpötila voitaisiin saada vieläkin korkeammaksi oikein mitoitetuilla levylämmönvaihtimilla, koska todellisuudessa lämpötilat jäähdytettävän kohteen ja poistuvan jäähdytysveden välillä voivat olla paljon lähempänä toisiaan.

6.4.2 Jäähdytysveden ohjaus moottoreille ilman lämmönvaihtimia

Moottorin jäähdytyksen tuottamaa tehoa on arvioitu seuraavassa taulukossa (taulukko 6) tilanteessa, jossa jäähdytysvesi ei kulkeutuisi moottoreille lämmönvaihtimien kautta sisäisessä kierrossa vaan suoraan jäähdytysvesilinjastosta. Taulukkoon on otettu arvioksi, että jäähdytettävältä moottorilta saataisiin siirrettyä 55 celsiusasteinen jäähdytysvesi paluulinjastoon.

TAULUKKO 6. Lämmönsiirron teho ilman lämmönvaihtimia

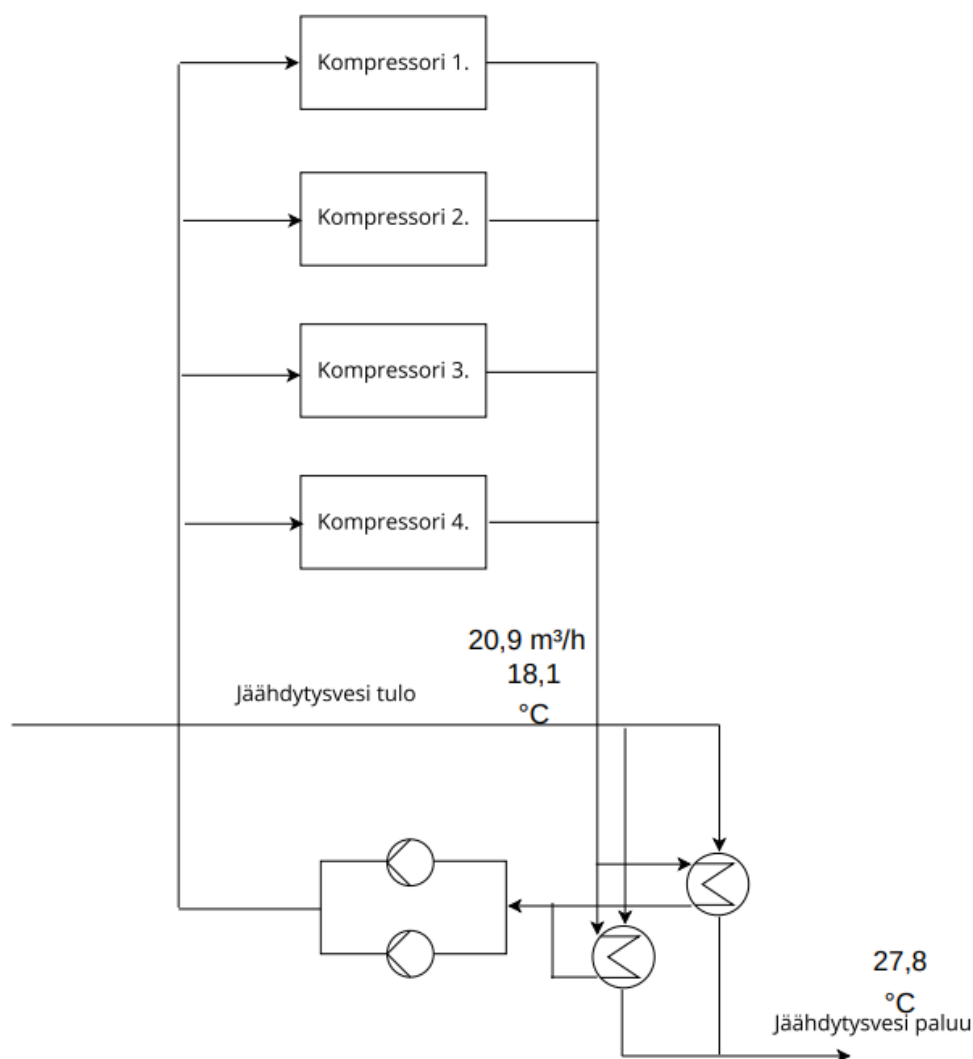
Siirretty lämpöteho		
Q	215,94	kW
m	1,4	kg/s
C _p	4180	J/kgK
ΔT Kuuma	328,15	K
ΔT Kylmä	291,25	K

Taulukosta voidaan huomata, että optimaalisessa tilanteessa siirrettyä lämpötehoa olisi saatavissa huomattavasti enemmän kuin mitä nykyhetken mitoituksella saadaan.

6.5 Paineilman kompressorien jäähdytys

Kompressoreja jäähdytettiin kolmessa eri kohteessa. Kauimmaisessa jäähdytysvettä käyttävässä kohteessa oli vain yksi kompressor ja lähimpänä jäähdytysvesitorneja niitä oli neljä. Suodatuksen kompressoreista jäähdytysvettä käytti kaksi ja ne käsitellään erikseen jäljempänä.

Kohteessa, jossa kompressoreja oli yhteensä neljä, kompressor 1:n läpi (kuva 11) virtasi aina jäähdytyskierto. Kohteessa olevien kolmen muun kompressorin jäähdytyskierto kytkeytyi automaattiventtiilien kautta päälle aina, kun kompressor oli päällä ja öljyn lämpötila antoi viitearvon jäähdytyksen tarpeesta.



KUVA 11. Jäähdytysvedenkierto paineilman kompressoreilla (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)

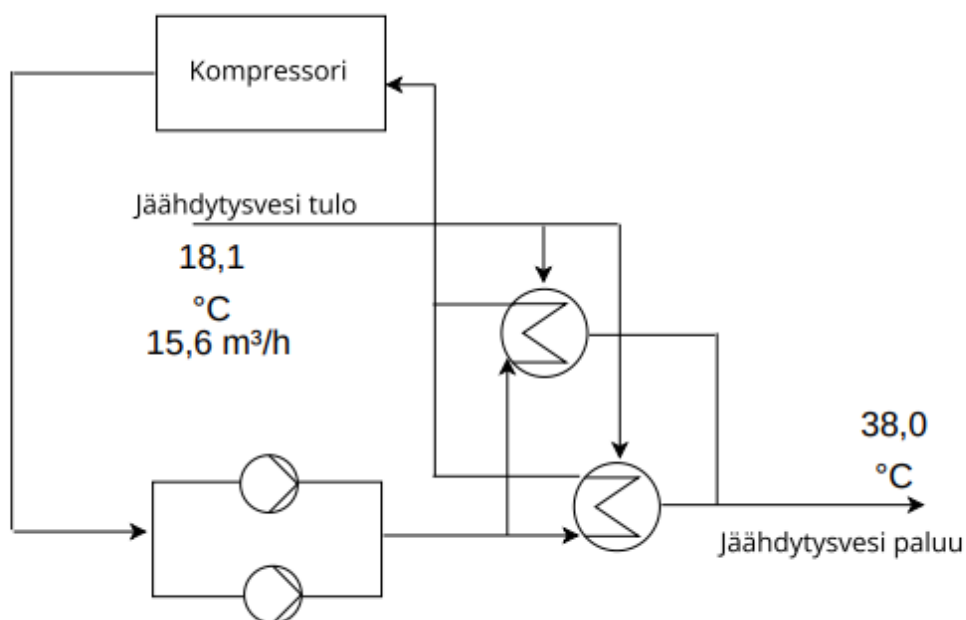
Kompressorien sisäisen kierron optimointi oli jo aloitettu Terrafamen ja laitevalmistajan kanssa, joten siihen ei tarkastelussa kiinnitetty huomiota. Kompressoreiden jäähdytysvedenkiertoa tarkasteltaessa havaittiin, että sisäinen jäähdytysvedenkierto kompressoreille toimi kuten se oli mitoitettu. Kompressoreille ei saanut mennä liian kuumaa jäähdytysvettä, koska kompressorin tehokkuus kärsisi ja energiaa tuhlataisiin. Sisäinen jäähdytysvesi ei saanut mennä myöskään liian kylmänä, koska tällöin oli kondensoitumisen vaara. (Atlas Copco 2023.)

6.5.1 Lämmönsiirtopinta-ala kasvatus kompressorien lämmönvaihtimilla

Kompressoreiden lämmönsiirtopinta-alan kasvattamista ei todettu tarpeelliseksi. Pinta-alan kasvattaminen johtaa pienempiin virtausmääriin, pienempään tehontuotantoon nykyvirtauksilla ja kiihdyttää likaantumista, kun lämmönsiirtopinta-alaa on enemmän (Shah & Sekulic 2003, 779–780). Paluulämpötilaan tuo varmasti lisävaikutusta, kun selvitystyö Terrafamen ja laitevalmistajan kanssa sisäisen kierron optimoinnista valmistuu.

6.6 Happilaitoksen paineilmakompressor

Paineilman kompressorin jäähdytyksessä kauimmaisella kohteella havaittiin optimoitavaa. Jäähdytetävän öljyn lämpötila oli noin 59 celsiusastetta (kuva 12), mutta jäähdytysveden paluulämpötila oli noin 38 celsiusastetta.



KUVA 12. Jäähdytysvedenkierto paineilman kompressorilla (Poikkimäki 2023, CC BY-SA)

Kohde oli nykymitoituksellaan optimaalisesti toimiva, eli kompressorille menevä jäähdytysvesi ohjautui automaattisesti öljyn lämpötilan mukaan.

6.7 Suodatuksen kompressorien, raudan saostuksen ja saostuksen jäähdytys

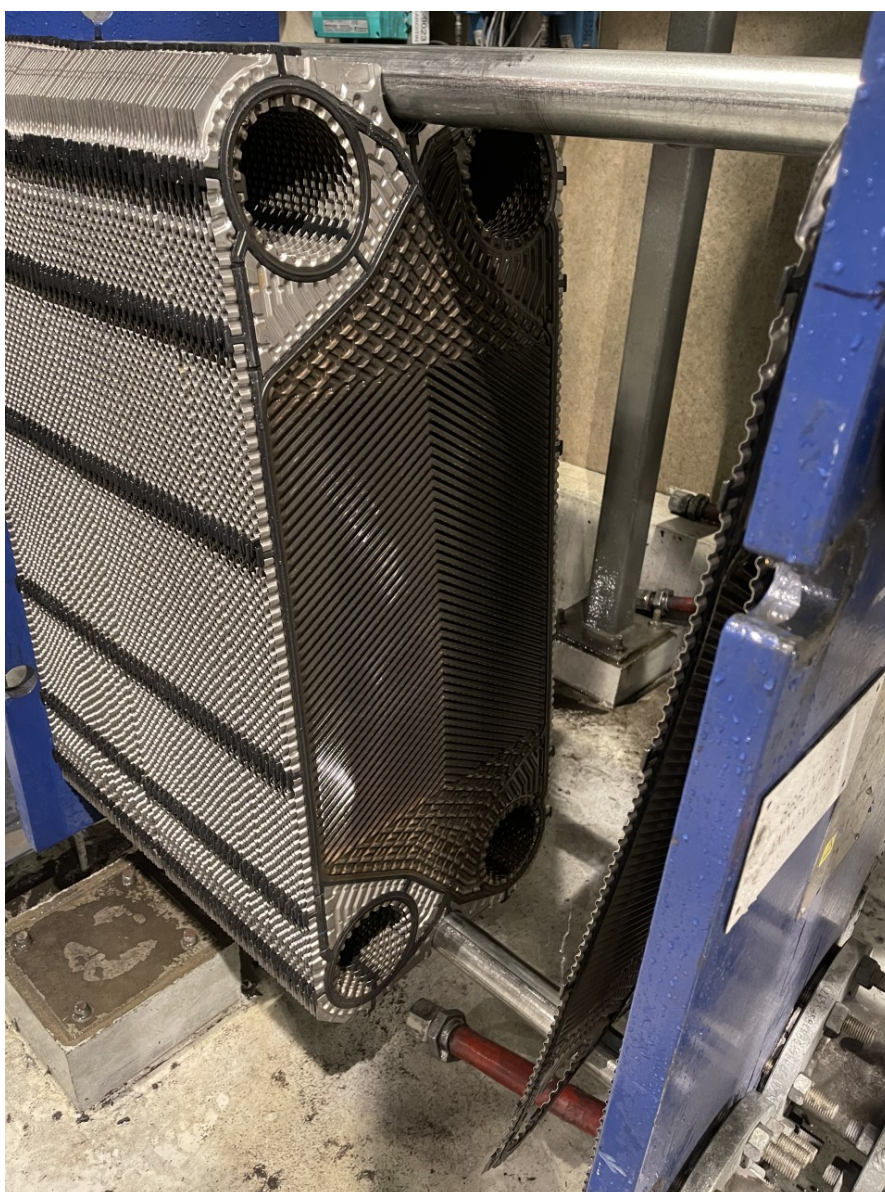
Tarkasteltaessa suodatuksen kompressorien jäähdytystä havaittiin, että jäähdytysvesi kulkeutui kompressorien kautta, vaikka ne eivät olleet käynnissä. Kompressoreilta tuleva jäähdytysveden paluulinjasto yhdistyi kylmänä raudan saostukselta palaavaan lämpimämpään jäähdytysveden paluulinjastoon. Kompressoreilta lähtenyt jäähdytysvesi oli lämpötilaltaan 18 celsiusasteista.

Sekä raudan saostuksessa että saostuksessa jäähdytysvettä käytettiin vaihdelaatikoiden jäähdytykseen. Jäähdytysvesi kulkeutui vaihdelaatikoille käsisäädettävien venttiilien kautta. Tällöin jäähdytys-

veden kulku oli kohteen lämpötilasta riippumatta auki koko ajan tai erikseen säädettävissä manuaalisesti. Saostuksen paluuveden lämpötila mitattiin paikallismittauksella paluulinjastosta, jossa lämpötila oli noin 24 celsiusastetta. Raudan saostuksen ja suodatuksen kompressorien paluulinjaston lämpötila oli paikallismittauksella 18 celsiusastetta.

6.8 Likaantumisen vaikutus lämmönvaihtimen tehoon

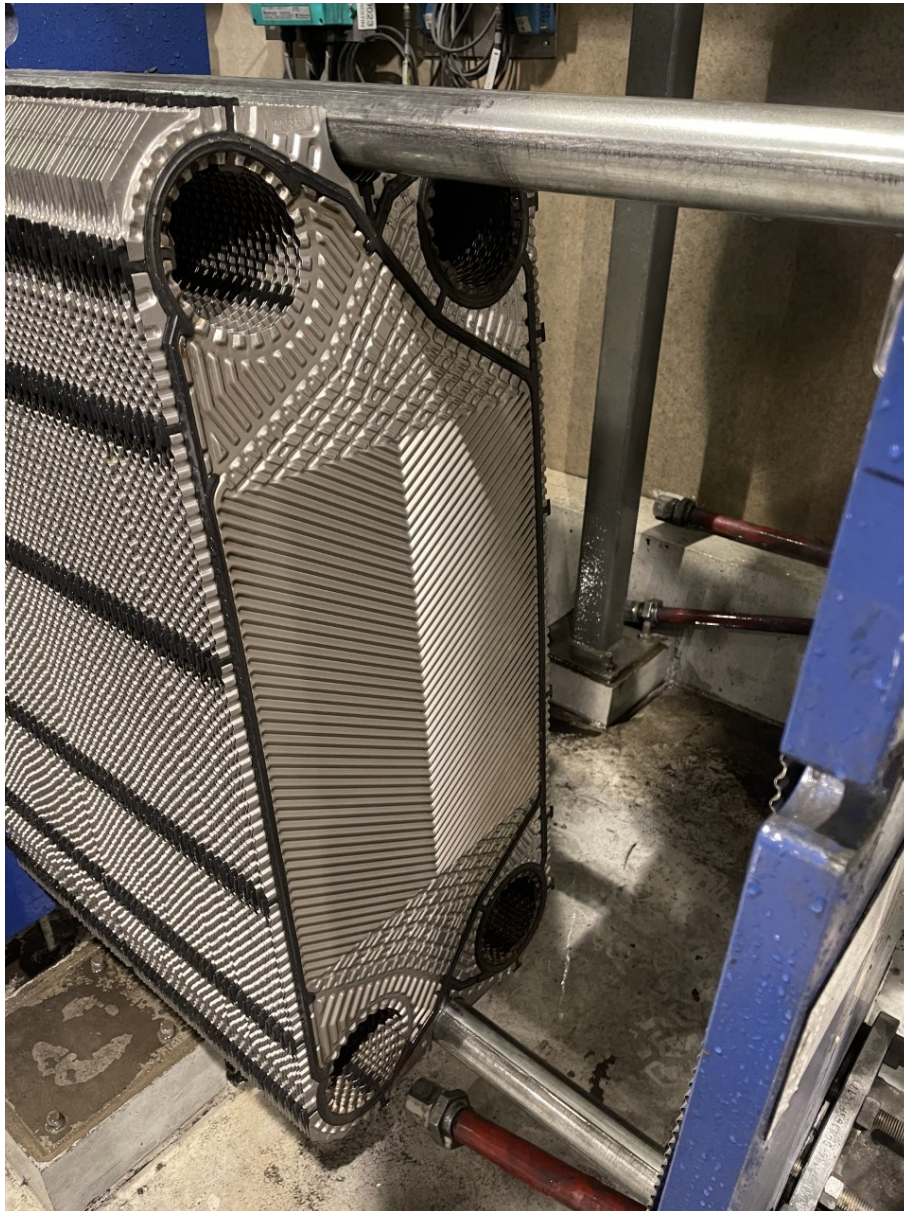
Lämmönvaihtimen likaantuminen on yksi energiakuluja lisäävä tekijä. On yleistä, että lämmönvaihtimet ylimitoitetaan mikä kasvattaa likaantumispinta-alaa. Lisääntyneen lian myötä lämmön siirtyminen heikkenee, painehäviöt kasvavat ja tarve nostaa virtauksia kasvaa, joka taas lisää energian kulutusta (Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva 2016). Alla olevassa kuvassa (kuva 13) nähdään likaantunut lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy jäähdytysvesitorneilta tulevalta ulkoisen kierron puolelta.



KUVA 13. Likaantunut lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy (Terrafame 2023)

Lämmönvaihtimen on mahdollista puhdistaa mekaanisin tai kemiallisin menetelmin. Mekaanisia menetelmiä ovat esimerkiksi painepesulla ja harjalla suoritettavat puhdistukset. Kemiallisia menetelmiä puolestaan ovat erilaiset lian hajotusaineet ja liuottimet (Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva

2016). Alla olevassa kuvassa (kuva 14) nähdään puhdas lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy sisäisen jäähdytysvesikierron puolelta.

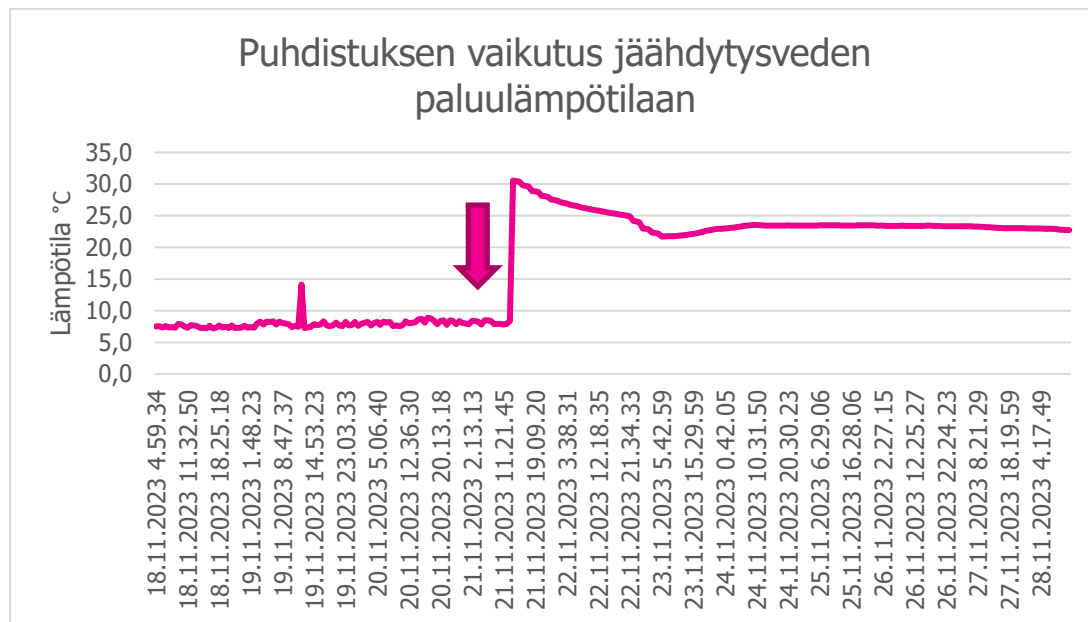


KUVA 14. Puhdas lämmönvaihtimen lämmönsiirtolevy (TerraFame 2023)

Likaantumiseen voidaan vaikuttaa sekä käytönaikaisilla toimenpiteillä, vuosihoitojen perusteellisilla puhdistamisilla ja oikeanlaisella suunnittelulla sekä ajotapojen muutoksilla. (Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva 2016).

Alla olevassa taulukossa (taulukko 7) nähdään puhdistamisen tuoma vaikutus jäähdytysveden paluulämpötilan nousuun yhdellä TerraFamen levylämmönvaihtimista. Puhdistamisen ajankohta on osoitettu punaisella nuolella.

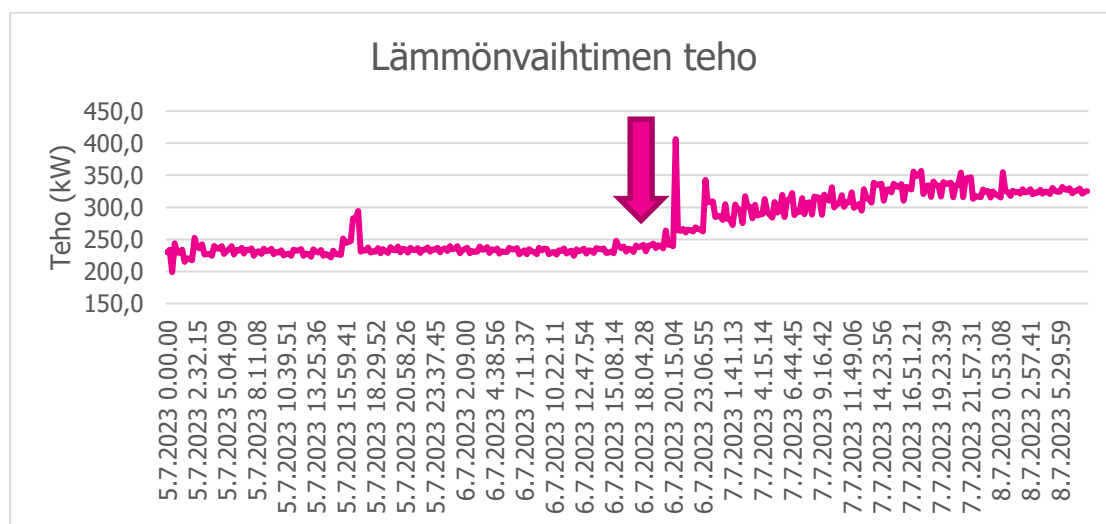
TAULUKKO 7. Puhdistuksen vaikutus lämpötilaan lämmönvaihtimen jälkeen



Puhdistamisen jälkeen tapahtunut lämmön nousu on noin viisitoista astetta. Tämä nostaa lämmönvaihtimen tehoa huomattavasti. Terrafamella lämmönvaihtimien puhdistamisia suoritetaan jaksotettujen ennakkohuoltojen mukaisesti.

Alla olevassa taulukossa (taulukko 8) on neljän kompressorin jäähdytyksessä käytetyn levylämmönvaihtimen tehonnousu puhdistuksen jälkeen. Punaisella merkityllä nuolella on kuvattuna puhdistamisen ajankohta.

TAULUKKO 8. Puhdistamisen vaikutus lämmönvaihtimen tehoon



6.9 Putkistojen eristykset

Kenttäkierroksella havaittiin, että ulkona kulkevat jäähdytysveden putkistojen eristyksien pellitykset rakoilivat. Sadevesi pääsi mahdollisesti kulkeutumaan eristykseen, joka jäähdytysveden putkistoissa oli kivivillaa, kastellen sen ja pakkasen tullessa jäädyttämään eristeen. Paluulinjaston optimaalisen toiminnan kannalta olisi tärkeää, että jäähdytysvesi ei pääsisi kylmentymään palatessaan jäähdytysvesitorneille.

7 TEHDASSTANDARDI

7.1 Eri standardityypit

Standardilla tarkoitetaan määritelmää siitä, miten jokin asia tulisi toteuttaa. Standardi on kirjallinen julkaisu, joka määrittää esimerkiksi palvelujen ominaisuuksia ja järjestelmien toimintaa. Yhteiset toimintatavat laaditaan standardeilla. Standardi asiakirjana sisältää suosituksia, ohjeita tai vaatimuksia tietyistä aiheista. Standardeilla annetaan yhteiset sopimukset, joilla lisätään yhteensopivuutta, sujuvuutta, laatua ja turvallisuutta (SFS 2023.)

Standardityypit auttavat ymmärtämään standardien moninaisuutta. Tuotteet, palvelut ja menetelmät pystytään määrittelemään standardeilla. Myös luonteen mukaan voidaan ryhmitellä standardeja. Tuotestandardit yksilöivät tuotteen tai tuoteryhmän vaatimuksia. Näihin kuuluu muun muassa yhteensopivuuden, mitoituksen, lajivalikoiman, ainekestävyyden, turvallisuuden, laadun tai rakenteen käsitteleminen (SFS 2023).

Standardia on helppo hahmottaa tuotetta kuvaavan standardin perusteella. Perusstandardit ovat hyvä esimerkki kuvaavasta standardista, joka sisältää mittayksiköitä, piirrosmerkkejä, tunnuksia, matemaattisia merkkejä ja sanastoja eri aloista. Nämä toimivat joko yksinään tai toisen standardin perustana antaen käyttäjälle perustietoa sovellettavaksi (SFS 2023).

Palvelustandardien tarkoituksena on määrittää vaatimukset, joita jonkin palvelun tulee täyttää, jotta toiminta on tarkoituksenmukaista. Näitä ovat esimerkiksi siivoukseen, kuljetukseen, tietoliikenteeseen ja tutkimuksiin liittyvät standardit (SFS 2023).

Menetelmästandardeihin kuuluvat mittaus-, testaus-, analyysi- ja työmenetelmiä sekä tuotteiden toimitusehtoja koskevat standardit. Menetelmästandardi voi sisältää esimerkiksi yksityiskohtia tuotantoprosessista tai vaikkapa jonkin tutkimusmenetelmän tekemisestä (SFS 2023).

Hallintajärjestelmästandardit ovat johtamisen standardeja eivätkä sisällä tarkkoja vaatimuksia, vaan tarjoavat viitekehyksiä johtamisjärjestelmille. Organisaatiot voivat päättää ottavatko käyttöönsä koko hallintajärjestelmän vai valitseeko vain osan järjestelmän standardeista. Esimerkiksi ympäristöjohtamisen standardisarja sisältää työkaluja ympäristöasioiden hallintaan ja ympäristösuojelun tason parantamiseen (SFS 2023).

7.2 Terrafamen tehdasstandardi jäähdytysvesijärjestelmään liittyttäessä

Opinnäytetyössä laadittavan ohjeistuksen tarkoituksena oli määrittää olennaisimmat asiat ja toimintaperiaatteet projektiohjeiden lisäksi, joita tulisi noudattaa Terrafame Oy:n toimeksiannosta tehtävässä suunnittelussa. Ohjeistus jäähdytysvesijärjestelmään liittymisestä liitettiin Terrafame Oy:n kaivosprojektin laitos- ja putkistosuunnittelun standardiluetteloon.

Olemassa olevaa tehdasstandardia päivitettiin jäähdytysvesijärjestelmän liittymisen osalta. Tämän takia ohjeistuksen lisäämisessä ei tarvinnut ottaa huomioon esimerkiksi putkistojen liitännöjä lämmönvaihtimille, vaan niistä oli olemassa jo oma ohjeistuksensa standardissa. Ohjeistuksen lisäämisessä otettiinkin huomioon mitä kriittisiä asioita tulisi tarkastella jäähdytysjärjestelmään liittyttäessä ja sitä suunniteltaessa.

Tehdasstandardin päivityksessä huomioon otettavista asioista olivat tärkeimpänä korkea paluulämpötila kohteesta ja riittävä määrä eri mittauksia. Erilaisia suunnitteluun viittaavia ja laitevalmistajien kanssa huomioon otettavia asioita olivat muun muassa lämmönvaihtimen oikeanlaisen mallin valinta käyttöpaikan ja ainevirran mukaan, kunnossapidon ja huollon sujuvuuden kannalta riittävä tila lämmönvaihtimelle, erilaisten mittauksien varmistus, jotta prosessin seuranta olisi selkeää sekä likaantumisen vaikutukset suorituskkyyn luoden säännöllisen kunnossapitosuunnitelman. Näiden lisäksi tehoon vaikuttavista tekijöistä tuli ottaa huomioon lämmönsiirtimen pinta-alaan, lämmönläpäisykertoimeen ja lämpötilaeroon liittyvät tekijät (Huhtinen ym. 2000, 201). Lämmönvaihtimen lämpöteknisen mitoitusta varten oli tiedettävä siirrettäviä lämpötehoja lämmitettävän tai jäähdytettävän ainevirran puolelta ja virtaavien aineiden lämpötiloja ennen ja jälkeen lämmönvaihdinta.

Koska kyseessä on Terrafamen sisäiseen käyttöön tarkoitettu, erillinen tehdasstandardin täydennys oli tässä työssä liitteenä (Liite 1).

8 LÄMPÖTASETARKASTELUN HAVAINNOT JA EHDOTUKSET TOIMENPITEILLE

8.1 Valmet DNA -prosessinohjausjärjestelmä

Prosessinohjausjärjestelmässä havaittiin puutteita virtausmäärien ja lämpötilojen näkyvyyden suhteen. Jäähdytysveden lämpötiloja ja virtausnopeuksia tulisi olla useammissa kohteissa näkyvillä, jotta prosessin tarkastelu olisi tehokkaampaa. Laajempien mittauksien avulla muutoksiin olisi helpompaa reagoida ja täten lämmönvaihtimien tehokkuuden parantuminen esimerkiksi optimaalisen puhdistusvälin löytämisellä helpottuisi.

8.2 Jäähdytyskierron virtaukset ja lämpötilat

Paluulämpötilan kannalta olennaisimmat kohteet, joissa toimenpiteillä saataisiin eniten vaikutusta, olivat kaikkien kompressorien, raudan saostuksen ja saostus ja raffinaattisäiliön moottoreiden jäähdytykset. Lämpötilojen tasaantumisen perusteella näistä kohteista tuli kylmintä palaavaa jäähdytysvettä. Virtaukset kaikilta tarkasteltavilta kohteiden saataisiin alhaisemmaksi, kun tarkastuksessa huomatuille kohteille, jotka eivät olleet käynnissä ja täten kylmiä, ei kulkeutuisi jäähdytysvettä. Tällöin myös paluulämpötila kasvaa, kun kylmä jäähdytysvesi ei yhdisty paluulinjastoon.

Huomattavin lämpötilan pudotus tapahtui kauimmaisen kohteen ja sitä seuraavan haaran välillä. Kauimmaisesta kohteesta tuleva jäähdytysvesi oli pudonnut yli kymmenen astetta seuraavaan haaraan liittyessä. Tämä kyseinen haara sisälsi paluuv veden myös kohteesta, joka ei ollut käynnissä, mutta johon kulkeutui jäähdytysvesi. Kohteissa, joissa automaattiset säätöventtiilit olivat puutteelliset, tulisi suorittaa tarkastusta, käykö kohteeseen omatoiminen termostaattiventtiili, joka säätyisi jäähdytettävän kohteen lämpötilan mukaisesti.

8.3 Raffinaattisäiliön moottorien jäähdytys

Jäähdytysvedenkierrossa raffinaattisäiliön moottorien jäähdytyksessä havaittiin optimoitavaa. Ongelmaksi osoittautui paluulämpötila sisäisessä jäähdytysveden kierrossa. Käynnissä olevalta moottorilta lähti 32 celsiusasteista jäähdytysvettä, kun itse jäähdytettävä kohde oli 70 celsiusasteinen. Laittevalmistajan kanssa tulisi tarkastella moottorin sisäistä lämmönvaihtoa, jotta selviäisi olisiko lämpöä mahdollista luovuttaa enemmän sisäisen kierron paluulinjastoon. Lisäksi sisäiseen kiertoon tulisi asentaa automaattisesti säätyvät venttiilit, jotta jäähdytysvesi ei kulkeutuisi moottorille, joka ei ollut käynnissä tai vaihtoehtoisesti sulkea nykytilanteen käsiventtiilit ja selvittää onko tällä vaikutusta lämmönvaihdolle.

Raffinaattisäiliön levylämmönvaihtimet olivat malliltaan juotettuja levylämmönvaihtimia, jotka ovat itsepuhdistuvia. Näin ollen ei tarvinnut ottaa huomioon levylämmönvaihtimien puhdistamisen kautta saavutettavaa tehonnousua. Iteroimalla suoritettulla laskennalla on pystytty karkeasti osoittamaan, että tämänhetkiset lämmönvaihtimet olisivat alimitoitettuja optimaalisessa tilanteessa, jossa kohteesta saataisiin enemmän lämpöä siirrettyä.

Tulevaisuudessa tulisi tarkastella laittevalmistajan kanssa mahdollista uudelleenmitoitusta kohteessa sekä tilannetta, jossa jäähdytysvesi kulkeutuisi suodaan jäähdytysvesitorneilta jäähdytettävälle moottorille ja sieltä takaisin paluulinjastoon ilman lämmönvaihtimia.

8.4 Neljän paineilmakompressorin jäähdytys

Kompressorien jäähdytyksestä ei löydetty selkeää optimointia. Sisäinen kierron toiminnan parantaminen oli tarkastelussa Terrafamen ja laitevalmistajan kanssa, joten tarkastelun valmistuessa olisi mahdollista saada parannuksia jäähdytysveden paluulämpötilaan tulevaisuudessa.

Kompressoreilta olisi voitu tarkastella lämpötilaeroa kompressorilta lähtevien linjojen ja jäähdytysvesitorneille palaavan linjaston välillä. Lämpötilaerojen tarkastelu osoittautui kuitenkin hankalaksi, koska neljältä kompressorilta ei voitu ottaa keskiarvoja yhden tai useamman kompressorin ollessa pois käytöstä, koska jäähdytysvesi ei kiertänyt kompressorin kautta ja raja-arvoa siitä, oliko kompressori käynnissä vai ei, ei saatu, mutta lämpötilamittaus antoi kuitenkin tiedon jatkuvana. Siksi lämpötilamittaus tulisi olla ennen lämmönvaihtimia, mutta kuitenkin kaikkien kompressoreilta lähtevien linjojen jälkeen. Lämpötilaerolla olisi voitu tarkastella lämmönvaihtimen tehon tilannetta tarkemmin puhdistuksen jälkeen. Lämmönvaihtimien puhdistuksen historiatietoja tarkastellessa huomattiin lämmönvaihtimen tehon kasvavan puhdistuksen jälkeen, mikä osoitti, että puhdistamisella on suuri merkitys lämmönvaihtimen toiminnalle.

Kompressorien lämmönvaihtimien lämmönsiirtopinta-alan kasvattaminen ei ollut suositeltavaa. Suurempi lämmönvaihtopinta-ala kiihdyttäisi likaantumista ja laskisi virtausnopeuksia.

8.5 Suodatuksen kompressorien, raudan saostuksen ja saostuksen jäähdytys

Suodatuksen kompressorien lävitse kulkeutui jäähdytysvesi silloinkin, kun ne eivät olleet käytössä. Automaattiventtiilien lisäys kompressoreille jäähdytysveden menolinjaan tai kokonaan linjan ohitus tarkoittaisi jäähdytysveden korkeampaa paluulämpötilaa, kun se ei kulkeutuisi kylmien kohteiden kautta.

Raudan saostuksen ja saostuksen vaihdelaatikoiden jäähdytyksen toiminta olisi tehokkaampaa, jos vaihdelaatikoihin asennettaisiin omatoimiset termostaattiventtiilit ohjautumaan vaihdelaatikon öljylämpötilan mukaisesti. Näin ollen vaihdelaatikoille kulkeutuisi jäähdytysvettä automaattisesti.

8.6 Happilaitoksen paineilmakompressorin jäähdytys

Koska kompressorin sisäisen kierron toiminta oli optimaalista, tulisi tässä kohteessa tarkastella laitevalmistajan kanssa, onko jäähdytettävästä kohteesta mahdollista saada siirrettyä lämpöä enemmän sisäisen kierron paluulinjastoon.

8.7 Putkistojen eristykset

Kenttäkierroksilla havaittujen putkistojen eristyksissä olisi suotavaa suorittaa parannuksia kohteissa, joissa eristekotelo on irrallaan, jolloin vesi pääsee eristeeseen ja täten jäätymään talvella. Tällaiset huollot olisivat suoritettavissa vuosihuoltojen yhteydessä.

8.8 Tehdasstandardin päivitys jäähdytysjärjestelmään liityttäessä

Tehdasstandardin osalta tehtiin lisäys jo olemassa olevaan tehdasstandardiin jäähdytysvesikierron osalta. Ohjeistuksen kriittisenä lähtökohtana oli, että lämpötilaero poistuvan veden ja jäähdytettävän aineen välillä olisi mahdollisimman pieni, jolloin yksittäinen jäähdytysveden haara toimisi hyvin. Ohjeistukseen lisättiin esimerkkikaaviot, mitä laitteita tuli ottaa huomioon optimaalisessa jäähdytysvettä

käytävässä kohteessa sekä sisäisen jäähdytysvedenkierron käytössä että kohteessa, jossa jäähdytysvesi ohjattaisiin suoraan jäähdytettävälle kohteelle.

Ohjeistuksia laitokselle tai prosessin osalle, joka liittyisi jäähdytysvesijärjestelmään tarkasteltiin Terrafamen halutun tavoitetilan kautta liityttäessä jäähdytysvesijärjestelmään. Koska haluttiin tehdä vain päivitys olemassa olevaan standardiin eikä luoda uutta, voisi jäähdytysvedenkierron ohjeistusta päivittää tulevaisuudessa tarkastellen myös mahdollisuutta erillisestä omasta jäähdytysveden tehdasstandardista.

8.9 Puhdistuksen merkitys lämmönvaihtimelle

Lämmönvaihtimen taloudelliselle toiminnalle on olennaista säännöllinen puhdistaminen. Historiatrendejä tarkastellessa huomattiin, että puhdistaminen oli joissakin kohteissa puutteellista. Puhdistamiset olivat jaksotettuja ennakko- ja kaikkien kohteiden ollessa kahdennettuja, puhdistaminen olisi mahdollista prosessin ollessa käynnissä. Puhdistamisen vaikutusta lämmönvaihtimen tehontuotantoon tulisi tarkastella tihentämällä jaksottaisia ennakko- ja kaikkien kohteiden ollessa kahdennettuja.

8.10 Jatkotutkimukset

Työn tarkoituksena oli suorittaa lämpöasetarkastelua Terrafamen metallien talteenoton jäähdytysvettä käyttävillä laitoksilla. Tasetarkastelusta löydettyille kohteille annettiin ehdotukset, millä tavoin voitaisiin parantaa jäähdytysveden paluulämpötilaa jäähdytysvesitorneille. Korkeammalla paluulämpötilalla mahdollistettaisiin raakaveden tehokkaampi lämmittäminen lämmönvaihtimilla ennen paluuta jäähdytysvesitorneja. Korkeammat paluulämpötilat vaikuttaisivat myös jäähdytysvesitornien parempaan toimintaan. Ehdotetut muutokset, jotka koskevat virtaus- ja lämpötilamittauksia ja toimenpidemuutoksia sekä tehdasstandardin ohjeistuksen lisäämistä olemassa olevaan tehdasstandardiin jäävät Terrafamen toimenpiteiksi ja tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

9 OPINNÄYTETYÖN MERKITYS

9.1 Jäähdytysjärjestelmään perehtyminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli löytää optimoitavia kohteita jäähdytysvesijärjestelmästä ja ehdottaa niille tehtävät toimenpiteet sekä määrittää tehdasstandardiin ohjeistuksia jäähdytysvesijärjestelmään liittyttäessä.

Tasetarkastelun tuloksena selkeitä optimoitavia kohteita löydettiin useampia. Näistä kohteista useimpiin voitaisiin tehdä optimointia välittömästi ja suorittaa jatkotutkimusta, miten optimoinnit vaikuttavat jäähdytysvesijärjestelmän toimintaan. Tämä opinnäytetyö auttoi ymmärtämään jäähdytysveden toimintaa sekä kasvatti ammatillista osaamista jäähdytysveden käytöstä eri prosesseissa. Tarkastelujen, kirjallisuuskatsauksien ja esihenkilöiden ja laitevalmistajien käymien tapaamisien avulla huomattiin, kuinka jäähdytysveden toiminnan kokonaiskuva alkoi hahmottumaan. Opinnäytetyön edetessä tiedon hakeminen ja ymmärrys mitä teoriaa hyödyntää opinnäytetyössä selkeytyivät. Jäähdytysveden järjestelmän toiminnan omaksuminen ja tieto siitä, mitä asioita pitää ottaa huomioon sekä suunnittelussa, että jäähdytysveden energiatehokkaassa toiminnassa tulevat hyödyntämään tulevaisuuden teollisuuden työtehtäviä. Tehdasstandardin päivityksen tarkastelu antoi näkemystä siitä, kuinka tärkeää huolellinen suunnittelu on, jotta jäähdytysvesijärjestelmän toiminta olisi optimaalista. Tehdasstandardiin saatiin luotua määritelmiä, jotka Terrafamalla halutaan ottaa huomioon.

Teollisuudessa on laajasti eri prosesseja, joiden ymmärtäminen vaatii syvää perehtymistä ja erikoisasantuntijoita. Tässä työssä perehdyttiin yhteen prosessin osaan. Tämä herätti kiinnostusta oppia lisää teollisuuden alan työtehtävistä; lisäksi tämä tulee palvelemaan jatkossa työtehtäviä teollisuuden parissa.

LÄHTEET

- Alfa Laval AB 2023. Verkkosivusto. https://rise.articulate.com/share/N3Ij8aCHRhDqW-gTbzP15WjK38FnsNsZ#/lessons/GwE2QlfpTsXhB_AtYjfhY5WffQe1W9WM. Viitattu 17.11.2023.
- Atlas Copco 2023. Öljyn jäähdytysjärjestelmä paineilmakompressor. Verkkosivusto. <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors/air-compressor-blog/new-vsd-air-compressor/smart-temperature-oil-cooling-system>. Viitattu 20.11.2023.
- Cooling Tower Fundamentals 2009. SPX Cooling Technologies, Inc. Pdf-tiedosto. <https://spxcooling.com/library/cooling-tower-fundamentals/>. Viitattu 17.11.2023.
- Energiatohokas lämmönsiirto 2016. Motiva Oy. Pdf-tiedosto. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatohokas_lammonsiirto_opas.pdf. Viitattu 17.11.2023.
- Huhtinen, Markku, Kettunen, Arto, Nurminen, Pasi & Pakkanen, Heikki 2000. Höyrykattilatekniikka. 5. uudistettu painos. Helsinki: Edita Oy.
- Jussila, Jukka-Pekka 2022. Jäähdytysjärjestelmän toimintakuvaus. Terrafame Oy. M-files. Tietokanta. Viitattu 9.10.2023.
- Jussila, Jukka-Pekka 2022. Jäähdytysjärjestelmän päälaitteet. Terrafame Oy. M-files. Tietokanta. Viitattu 9.10.2023.
- Peda.net julkaisuaika tuntematon. Lämmön siirtyminen. Verkojulkaisu. <https://peda.net/kotka/perusopetus/kotkansaaren-koulu/kt/oppiaineet/fysiikka/jannen-ryhmat/l%C3%A4mp%C3%B6/ls>. Viitattu 27.11.2023.
- Peda.net julkaisuaika tuntematon. Lämpö. Verkojulkaisu. <https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/fysiikka/8-luokka3/leijy/3-l%C3%A4mp%C3%B6>. Viitattu 28.11.2023.
- Poikkimäki, Jaakko 2023. Sisäisen kierron kahdennetut pumput. Valokuva. 16.10.2023. Kuopio: Jaakko Poikkimäen kokoelmat. Viitattu 17.11.2023.
- SFS RY 2023. Verkkosivusto. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>. Viitattu 5.11.2023.
- Shah, Ramesh K. & Sekulic, Dušan P 2003. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Yhdysvallat, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. <https://windyhm.files.wordpress.com/2008/11/fundamentals-of-heat-exchanger-design-0471321710.pdf>. Viitattu 23.11.2023.
- Terrafame Oy 2023. Yritysesittely. Verkkosivusto. <https://www.terrafame.fi/yritys.html>. Viitattu 7.10.2023.
- Terrafame Oy 2023. Terrafamen Kolmisoppi hanke. Verkkosivusto. <https://www.terrafame.fi/ajankohtaista/verkkouutiset/terrafamen-kolmisoppi-hanke-etenee-kaksivaiheisena.html>. Viitattu 7.10.2023.
- Terrafame 2023. Valmet DNA- prosessinohjausjärjestelmä. Viitattu 5.11.2023.
- Vihanto, Pentti 2023. Terrafame Oy. M-files. Tietokanta. Viitattu 9.10.2023.
- Wikipedia. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate 2023. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BF%D0%B0%D1%8F%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D1%96%D0%BD%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0.png. Viitattu 6.11.2023.
- Wikipedia. Jäähdytysvesitornin toimintaperiaate 2023. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Counter-flow_diagram.svg. Viitattu 7.11.2023.

LIITE 1 TERRAFAME:N TEHDASSTANDARDI

Liite on salattu.