



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jaakko Kärki

Jäähdytysvesilaitoksen energiatehokkuus ja kunnossapito

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

26.4.2019

Tekijä Otsikko	Jaakko Kärki Jäähdytysvesilaitoksen energiatehokkuus ja kunnossapito
Sivumäärä Aika	38 sivua + 1 liitettä 26.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	Ryhmäpäällikkö Mika Uussilta Työsuunnittelija Markku Helminen Lehtori Juha Kotamies
<p>Insinööriyössä perehdyttiin Neste Oyj:n tuotantolaitoksilla käytettävään omaisuudenhallintaa -toimintakehykseen ja sen yhteydessä toteutettaviin kunnossapitotoimintoihin ja sen lajeihin. Lisäksi työssä perehdyttiin Nesteen Porvoon jalostamon jäähdytysvesilaitos 1:n laitteistoon sekä nykyisiin jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollon toimenpiteisiin. Tämän pohjalta työhön kuului myös laatia jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollolle työmääritysdokumentti, jonka olennainen sisältö ja luomisprosessi työssä kuvaillaan.</p> <p>Työssä käsiteltiin jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollon olennaisimman kunnossapitostrategisen syyn eli lämmönvaihtimien likaantumisen vaikutusta lämmönsiirtotehoon vuosihuollon yhteydessä suoritettujen tehomittauksien avulla. Työssä analysoitiin mittaustulosten pohjalta nykyisillä puhdistusmenetelmillä saavutettavia tuloksia ja näiden pohjalta arvioitiin myös likaantumisen vaikutusta jäähdytysvesilaitoksen putkilämmönvaihtimien vaippapuolella, joiden puhdistustyöt eivät kuulu nykyiseen vuosihuolto-ohjelmaan.</p> <p>Insinööriyössä tehtyjen selvitysten pohjalta listattiin jäähdytysvesilaitokselle ja sen vuosihuollolle potentiaalisia kehitysehdotuksia. Kehitysehdotuksiksi listattiin putkilämmönvaihtimien vaipan puolen puhdistustyöt, levylämmönvaihtimien kierrätyspesu, twisted tube -putkisarja vaihtoehtona perinteiselle putkisarjalle sekä työturvallisuutta ja työn tehokkuutta edistävät putkilämmönvaihtimien päätykammioiden työskentelytilan muutostyöt. Insinööriyössä käsitellyt kehitysehdotuksia voidaan edelleen hyödyntää mahdollisissa jatkoselvityksissä.</p>	
Avainsanat	kunnossapito, lämmönsiirto, lämmönvaihdin, energiatehokkuus

Author Title Number of Pages Date	Jaakko Kärki Energy Efficiency and The Maintenance Operations of A Sea Water Cooling Unit 38 pages + 1 appendices 26 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental engineering
Professional Major	
Instructors	Mika Uussilta, Team manager Markku Helminen, Work planner Juha Kotamies, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis project was to explore the asset management framework and the maintenance operations and types used at the Neste Corporation's production facilities. In addition, the project included familiarization with Neste's Porvoo refinery's equipment of the Cooling Water Plant 1 and its existing annual maintenance operations. On the basis of this, a job definition document for the cooling plant's annual service was prepared; the essential content and the creation process of this document are described in the thesis.</p> <p>The project covered the most important maintenance operations, strategical reason of the cooling water plant's annual maintenance, i.e. the effect of the heat exchanger fouling on the heat transfer efficiency by means of heat transfer power measurements performed during the annual maintenance. On the basis of the measurement results, the results of the current cleaning methods were analyzed and the effect of fouling on the shell side of the cooling water plant's pipe heat exchangers, whose shell side cleaning work is not included in the current annual maintenance program, was also analyzed.</p> <p>Based on the studies conducted in the thesis, potential development proposals were listed for the cooling water plant and its annual maintenance. The development proposals that were listed were the cleaning operations on the shell side of the shell and tube heat exchangers, the use of a Cleaning in Place (CIP) method for the plate heat exchangers, twisted tube -tube bundles as an alternative for the traditional tube bundles and improvement of the working space of the end chambers of the shell and tube heat exchangers to promote occupational safety and work efficiency. The thesis deals with the development proposals that can be further utilized in further studies.</p>	
Keywords	maintenance, heat transfer, heat exchanger, energy efficiency

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Neste Oyj	2
2.1	Porvoon jalostamo	2
2.2	OmaisuuDENhallintayksikkö	3
3	Kunnossapito	3
3.1	Kunnossapidon tavoitteet	3
3.2	Kunnossapitolajit	4
3.2.1	Korjaava kunnossapito	5
3.2.2	Huolto	5
3.2.3	Ehkäisevä kunnossapito	6
4	Asset management eli omaisuudenhallinta	7
4.1	OmaisuuDENhallinta	7
4.2	OmaisuuDENhallintajärjestelmä	7
4.3	Asset Management lähestymistapana kunnossapitostrategian valitsemiseksi	8
5	Jäähdytysvesilaitos 1	9
5.1	Jäähdytysvesilaitoksen toimintakuvaus	9
5.2	Jäähdytysvesikierrot	10
5.3	Lämmönvaihtimet	11
5.3.1	Lämmönsiirto	11
5.3.2	Putkilämmönvaihtimet	13
5.3.3	Levyllämmönvaihtimet	14
5.3.4	Lämmönvaihtimien likaantuminen	15
5.3.5	Puhdistuksen vaikutus lämmönsiirtoon	17
5.4	Jäähdytysvesilaitoksen laitteiden kriittisyysluokittelu	20
6	Jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuolto	21
6.1	Vuosihuollon tarkoitus	21

6.2	Vuosihuollon ajankohta	21
6.3	Vuosihuollossa suoritettavat toimenpiteet	23
6.3.1	Putkilämmönvaihtimen huolto ja puhdistus	23
6.3.2	Levylämmönvaihtimien huolto ja puhdistus	26
7	Jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollon työmäärittely	28
8	Kehitysehdotukset jäähdytysvesilaitokselle ja sen vuosihuollolle	30
8.1	Putkilämmönvaihtimien vaippapuolen pesu	30
8.1.1	Jäähdytysvesikiertojen optimointiprojekti	30
8.1.2	Vaippapuolen pesun toteutusehdotukset	31
8.2	Twisted tube -putkisarjat	32
8.3	Levylämmönvaihtimien kierrätyspesu	34
8.4	Putkilämmönvaihtimien päätykammioiden työskentelytila	37
9	Yhteenveto ja päätelmät	38
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollon työmäärittely (vain työn tilaajan käyttöön)	

Lyhenteet

ISCC	<i>International Sustainability & Carbon Certification.</i> Kansainvälinen kestävyys- ja hiilisertifiointi.
EPA	<i>Environmental Protection Agency.</i> Yhdysvaltain ympäristönsuojeluviranomainen.
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i> Kansainvälinen standardisointiorganisaatio.
OP	<i>Oil Products.</i> Öljytuotteet.
JVL1	Jäähdytysvesilaitos 1
PSK	Prosessiteollisuuden standardisointikeskus
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance.</i> Luotettavuuskeskeinen kunnossapito.
TPM	<i>Total Productive Maintenance.</i> Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ tehtiin Neste Oyj:n Porvoon jalostamolle. Työn tavoitteena oli luoda Porvoon jalostamon jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollon työmääritysdokumentti sekä kartoittaa vuosihuollossa suoritettaville toimenpiteille potentiaalisia vaihtoehtoisia toteutustapoja vuosihuollolla saavutettavan työn tuloksen, laadun ja tehokkuuden kehittämiseksi.

Tarve jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuoltoa koskevalle työmääritysdokumentille oli ajankohtainen, sillä vuosihuollon suorittaminen juuri kyseisen tuotantoyksikön kohdalla koettiin vaativan tarkempaa ohjeistusta. Työmääritysdokumenttia laatiessa tarkoituksena oli täsmentää ohjeistusta jalostamolla suoritettavassa kunnossapitotoiminnassa muun muassa korostuvaa elinkaariajattelua huomioiden.

Työmääritysdokumentin laatimisen lisäksi insinööri työn tavoitteena oli kartoittaa ja listata jäähdytysvesilaitos 1:n ja sen vuosihuollon kehityskohteita laitteiston elinkaaren jatkamiseksi sekä laitteiston jäähdytystehoa heikentävien tekijöiden vaikutusten minimoimiseksi. Insinööri työssä perehdytään Porvoon jalostamon jäähdytysvesilaitos 1:llä käytettävään laitteistoon ja niiden huoltotoimenpiteisiin sekä huoltotoimenpiteiden pääasialliseen aiheuttajaan eli likaantumiseen ja sen vaikutuksiin laitteiston energiatehokkuuteen.

2 Neste Oyj

Neste Oyj:n kolme pääliiketoiminta-aluetta ovat uusituvat tuotteet, öljytuotteet sekä markkinointi ja palvelut (Marketing & Services). Neste valmistaa kaikkia tärkeimpiä öljytuotteita ja on maailman johtava uusiutuvan dieselin toimittaja. Tämän lisäksi Nesteellä on Itämeren alueella yli 1 000 aseman jakeluverkosto. Neste Oyj:n palveluksessa työskentelee noin 5 000 työntekijää ympäri maailmaa 13 eri valtion alueilla sijaitsevissa toimipisteissä. Neste tavoittelee johtavaa asemaa Itämeren kotimarkkina-alueensa polttoaineratkaisujen tarjoajana sekä kasvua uusiutuviin raaka-aineisiin perustuvilla globaaleilla markkinoilla. [1.]

Neste Oyj:llä on tuotantoa Suomessa, Alankomaissa, Singaporessa sekä lisäksi Neste omistaa osan perusöljyä tuottavasta laitoksesta Bahrainissa. Suomen tuotantolaitokset, jotka sijaitsevat Porvoossa ja Naantalissa, muodostavat yhdessä yhden tuotantokokonaisuuden. Uusituvat tuotteet valmistetaan Porvoon, Singaporen ja Rotterdamin tuotantolaitoksilla ja erilaiset raakaöljypohjaiset tuotteet tuotetaan Porvoossa ja Naantalissa. [1.]

Tuotannossaan Neste pyrkii ensisijaisesti minimoimaan ympäristölle aiheutuvan kuormituksen. Kaikilla uusiutuvien tuotteiden jalostamoille on myönnetty ISCC-sertifikaatti tai Yhdysvaltain ympäristöviranomaisen EPA:n hyväksyntä. Tämän lisäksi Porvoon, Naantalalin, Rotterdamin ja Singaporen jalostamoille on myönnetty ISO-14001-ympäristösertifikaatti. [1.]

2.1 Porvoon jalostamo

Porvoon jalostamo sijaitsee Porvoon Kilpilahden teollisuusalueella noin 15 km:n etäisyydellä Porvoon keskustasta. Öljytuotteiden kulutuksen kasvettua Suomessa syntyi tarve toiselle jalostamolle, joka käynnistyi Kilpilahdessa vuonna 1965. Nykyisessä muodossaan Porvoon jalostamo koostuu 4 tuotantolinjasta, joiden raakaöljyn jalostuskapasiteetti on yhteensä n. 10,5 miljoonaa tonnia vuodessa. Jalostamon kokonaistuotantokapasiteetti on yhteensä n. 13,5 miljoonaa tonnia vuodessa, kun mukaan lasketaan raakaöljyn lisäksi myös muut syöttöaineet. [1.]

2.2 Omaisuudenhallintayksikkö

Porvoon jalostamon omaisuudenhallintayksikkö kuuluu Nesteen öljynjalostamisesta Suomessa vastaavaan tuotanto (OP Production) -organisaatioon. Kunnossapidon tarkoituksena on varmistaa tuotantoprosessien tavoiteasetannan mukainen käytettävyyden mahdollisimman kustannustehokkaasti minimoiden suunnittelematon tuotantotappiot. Kunnossapidon toimenkuvaan kuuluu myös jalostamon laitteiden elinkaarenhallinta sekä suorituskyvyn optimointi. [2; 3.]

Omaisuudenhallintayksikön alaisuuteen kuuluvat kunnossapitotoiminnot on Porvoon jalostamolla jaettu sekä tuotantolinjoittain että ammattialoittain. Jokaisella tuotantolinjalla kunnossapito-osastoon kuuluvat seuraavat ammattialat: sähkö, automaatio, pyörivät laitteet (Kone) sekä kiinteät laitteet eli mekaaninen kunnossapito.

3 Kunnossapito

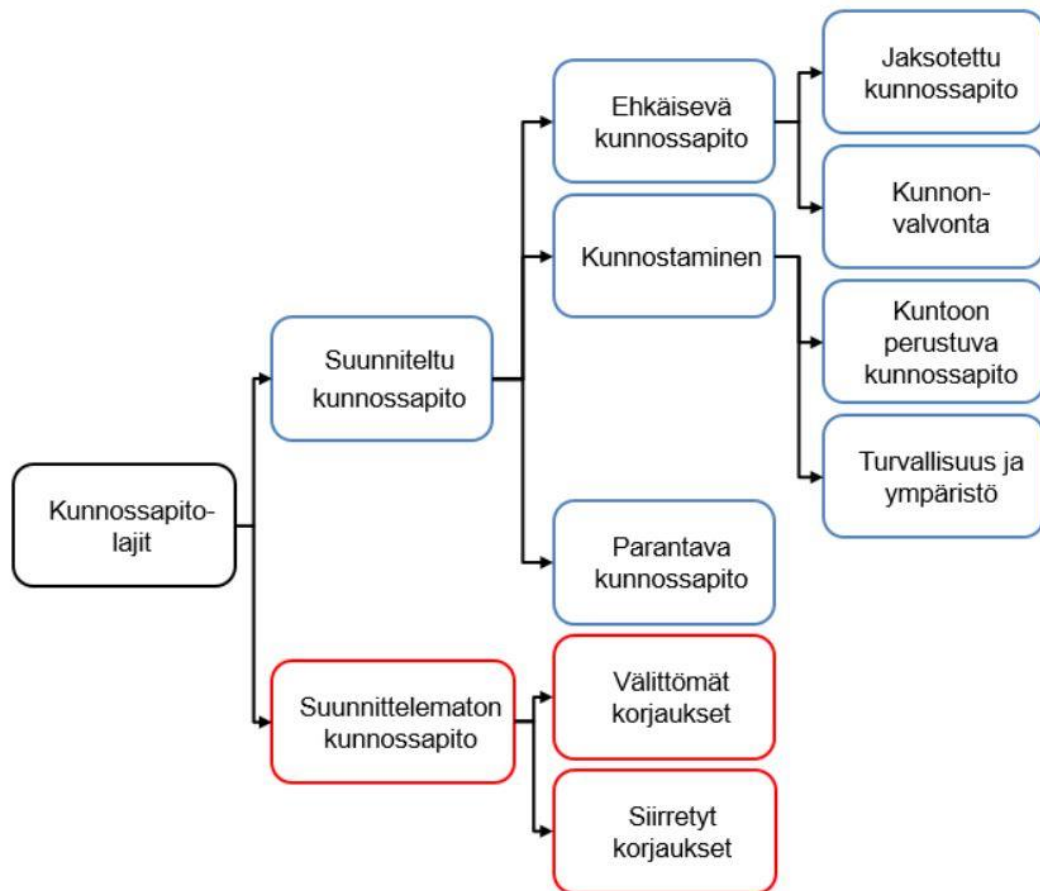
3.1 Kunnossapidon tavoitteet

Markkinataloudessa toimivat yritykset pyrkivät toiminnassaan taloudelliseen kannattavuuteen, mikä puolestaan asettaa yrityksiä varten joukon vaatimuksia. Yritykset tuottavat hyödykkeitä, jotka ovat joko tavaroita, palveluita tai näiden yhdistelmiä. Näiden kyseisten hyödykkeiden tuottamisen mahdollistamiseksi yritykset tarvitsevat käyttöomaisuutta, joka määritellään yrityksiä varten käyttöön määritellyksi omaisuudeksi. Tällaiseksi omaisuudeksi määritellään mm. rakennukset, maa-alueet, koneet ja kalusto, sekä osakkeet ja osuudet. [4, s. 12.]

Jotta liiketoiminta olisi tuloksellista, käyttöomaisuuden tulee olla oikein mitoitettua sekä sen käyttö olla optimaalista ja hallittua. Mitoituksella ja käytön optimoinnilla tarkoitetaan käyttöomaisuuden eli muun muassa koneiden ja laitteiden mahdollisimman tehokasta käyttöä investoinnin mahdollisimman suuren tuoton saavuttamiseksi. Hallittavuudella taas tarkoitetaan toiminnan luotettavuutta. [4, s. 12.]

3.2 Kunnossapitolajit

PSK 7501 -standardi jakaa kunnossapitolajit sen mukaan, ovatko kunnossapitotoimenpiteet suunniteltuja. Suunnitellun kunnossapidon tapauksessa toimenpiteet suoritetaan joko suunnitellusti tuotantoyksikön käynnin tai kunnossapitoseisokin aikana. Suunnittelematon kunnossapito eli toisin sanoen häiriökorjaukset suoritetaan häiriöseisokin (tuotantokatkos) aikana. Häiriöseisokin yhteyteen voidaan myös liittää suunniteltua kunnossapitoa. [4, s. 47–48; 5.] Kunnossapitolajien jako on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kunnossapitolajit. [2.]

Jokapäiväisessä kunnossapitotoiminnassa on tunnistettavissa kuitenkin viisi päälajia:

- huolto
- ehkäisevä kunnossapito
- korjaava kunnossapito
- parantava kunnossapito
- vikojen ja vikaantumisen selvittäminen [4, s. 49].

3.2.1 Korjaava kunnossapito

Korjaavan kunnossapidon menetelmillä palautetaan vikaantunut osa tai komponentti käyttökuntoiseksi. Yksittäiselle komponentille tai osalle kohdistuneiden korjaavan kunnossapidon toimenpiteiden välisten ajanjaksojen avulla voidaan määrittää tämän elin-aika. Korjaava kunnossapito voi olla joko suunnittelematonta (häiriökorjaus) tai suunniteltua (kunnostus). Korjaavaan kunnossapidon toimenpiteisiin kuuluvat vian määrittäminen, tunnistaminen ja paikallistaminen, pysyvä tai väliaikainen korjaus sekä toimintakunnon palauttaminen. [4, s. 49.]

3.2.2 Huolto

Huolto käsittää kunnossapidolliset toimenpiteet, joilla joko ylläpidetään huollettavan kohteen käyttöominaisuuksia, palautetaan heikentynyt toimintakyky tai ehkäistään mahdollisten vaurioiden muodostuminen. Jaksotettua huoltoa toteutetaan ennalta määritetyin aikavälein, missä vaikuttavina tekijöinä ovat muun muassa käyttöaika tai käyttömäärä, käytön rasittavuus sekä toimintaolosuhteet. Jaksotettuun huoltoon kuuluvat seuraavat toimenpiteet:

- toimintaedellytysten vaaliminen (käytön suorittama kunnossapito)
- puhdistus
- voitelu
- huoltaminen
- kalibrointi
- kuluvien osien vaihtaminen
- toimintakyvyn palauttaminen. [4, s. 50.]

3.2.3 Ehkäisevä kunnossapito

Huollettavan kohteen suorituskyvyn tai sen parametrien seuranta on olennaisessa roolissa ehkäisevässä kunnossapidossa. Ehkäisevällä kunnossapidolla pyritään vähentämään kohteen vikaantumisen todennäköisyyttä tai toimintakyvyn heikkenemistä. Ehkäisevä kunnossapito voi olla säännöllistä (aikataulutettua tai jatkuvaa) tai sitä toteutetaan tarvittaessa. Ehkäisevän kunnossapidon toimenpiteiden toteutuksen suunnittelu ja aikatauttaminen voidaan toteuttaa hyödyntäen seurannan tuloksia. Ehkäiseväksi kunnossapidoksi voidaan käsittää seuraavat toimenpiteet:

- tarkastaminen
- kunnonvalvonta
- määräystenmukaisuuden toteaminen
- testaaminen ja/tai toimintakunnon toteaminen
- käynninvalvonta
- vikaantumistietojen analysointi. [4, s.50.]

4 Asset management eli omaisuudenhallinta

4.1 Omaisuudenhallinta

Omaisuudenhallinta on ISO 55000 -standardissa määritelty organisaation johtamismalli. Organisaatio tarvitsee omaisuutta saavuttaakseen markkinataloudelliset tavoitteensa. Omaisuudella tarkoitetaan kohteita, asioita tai kokonaisuuksia, joilla on arvoa organisaatiolle. Omaisuuden laatuun sekä sen hallintamenetelmiin vaikuttavat muun muassa organisaation ominaisuudet ja tarkoitus, toimintaympäristö, taloudelliset rajoitteet ja viranomaisten vaatimukset sekä organisaation ja sen sidosryhmien tarpeet ja odotukset. Edellä mainitut tekijät tulee huomioida luodessa, toteuttaessa, ylläpitäessä sekä jatkuvasti parantaessa omaisuudenhallintaa. Organisaation omaisuuden tehokas ohjaus ja hallinnointi ovat merkittävässä roolissa, jotta omaisuuden arvo kyetään hyödyntämään hallitun riskien ja mahdollisuuksien. Tämän toteutuessa riskien, kustannusten ja toiminnan tason haluttu tasapaino voidaan saavuttaa. [6.]

ISO 55000 -standardissa määritellyn omaisuudenhallinnan keinoin organisaation tavoitteet muunnetaan omaisuutta koskeviksi päätöksiksi, suunnitelmiksi ja toiminnoiksi riskiperusteista toimintamallia hyödyntäen. Omaisuudenhallinnan avulla organisaatio voi hyödyntää omaisuuden arvon saavuttaessaan tavoitteensa. Omaisuudenhallinnalla saavutettavia hyötyjä asetetuista tavoitteista riippuen voivat olla esimerkiksi parempi taloudellinen suorituskyky, hallinnassa olevat riskit, kestävä kehityksen edistäminen organisaatiossa sekä parempi tehokkuus ja vaikuttavuus. [6.]

4.2 Omaisuudenhallintajärjestelmä

Omaisuudenhallintajärjestelmää käytetään omaisuudenhallintatoimintojen johtamiseen, koordinointiin ja hallintaan organisaation sisällä. Omaisuudenhallintajärjestelmä koostuu toisiinsa liittyvistä tai vaikuttavista organisaation osatekijöistä, joiden tarkoituksena on laatia omaisuudenhallintapolitiikka ja asettaa tavoitteet omaisuudenhallinnalle sekä luoda prosessit asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Omaisuudenhallintajärjestelmä tarjoaa järjestelmällisen lähestymistavan omaisuuteen kohdistuvien toimenpiteiden kehittämiseen, koordinointiin ja ohjaukseen organisaatiossa elinjakson eri vaiheissa. [6.]

4.3 Asset Management lähestymistapana kunnossapitostrategian valitsemiseksi

Asset Management eli omaisuudenhallinta -toimintamallissa tavoitetilana on suunnitella tuotantovälineiden toiminta tuotantolaitoksilla siten, että liiketoiminnalliset tavoitteet olisivat saavutettavissa mahdollisimman alhaisilla kustannuksilla. Kyseisen tavoitteen saavuttamiseksi tulee yrityksen kaikkien kunnossapidon osa-alueiden toimia moitteetta. Näitä kyseisiä osa-alueita ovat muun muassa operatiivisen työskentelyn ja ehkäisevän kunnossapidon hallinta, yrityksen eri osastojen kuten käytön ja kunnossapidon välinen saumaton yhteistyö sekä käyttöomaisuuden luotettavuus. [4, s. 93.]

Omaisuudenhallintamenetelmän voidaan käsittää olevan yhdistelmä muun muassa RCM (Reliability Centered Maintenance)- ja TPM (Total Productive Maintenance)-menetelmistä. Näistä toimintakehyksistä RCM-menetelmää käytettäessä kunnossapitoon suhtaudutaan luotettavuuskeskeisesti laatien oikea kunnossapitosuunnitelma kurinalaisella strategioiden ja menetelmien analysointityökalulla. TPM-toimintakehyksessä taas tavoitellaan kunnossapidon kokonaisvaltaista tuottavuutta organisaation kaikkien jäsenten osallistumisella, aktiivisuudella, jatkuvuudella ja parantamisella. [4, s. 85, 94.]

5 Jäähdytysvesilaitos 1

5.1 Jäähdytysvesilaitoksen toimintakuvaus



Kuva 2. Jäähdytysvesilaitos 1.

Kuvassa 2 kokonaisuudessaan nähtävä jäähdytysvesilaitos 1 (JVL1) tuottaa jäähdytystehoa tuotantolinjoille 1, 2 ja 4. Jäähdyttävänä komponenttina toimii merivesi, jolla jäähdytetään prosessin jäähdytysvetenä käytettävää käyttötarkoitukseen soveltuvaksi käsiteltyä makeaa raakavettä. Merivesi johdetaan jäähdytysvesilaitokselle merivesitunnelia pitkin merivesialtaaseen, mistä merivesi pumpataan edelleen lämmönvaihtimille. Ennen pumppuja merivesi suodatetaan karkeasti ketjukorisuotimilla, joilla ehkäistään liian suurien kappaleiden päätyminen jäähdytysprosessiin. Jäähdytysprosessissa lämpöä vastaanottanut merivesi johdetaan edelleen aaltoilutilaan, mistä se johdetaan edelleen tunnelia pitkin takaisin mereen. [7.]

5.2 Jäähdytysvesikierrat

JVL 1:n makean veden jäähdytysvesikierrat ovat jaettu neljään eri jäähdytysvesikiertoon kolmelle eri tuotantolinjalle ja edelleen niiden alueilla sijaitseville yksiköille. Eri jäähdytysvesikiertoihin liitetyt tuotantoyksiköt poikkeavat toisistaan jäähdytyskapasiteettitarpeeltaan, minkä mukaan kuhunkin jäähdytysvesikiertoihin on liitetty mitoitettu määrä jäähdytystehoa tuottavia lämmönvaihtimia. Jokainen jäähdytysvesikierto on varustettu kahdennetulla jäähdytysvesikiertopumpulla. Taulukossa 1 on esitetty jäähdytysvesikiertojen suunnitteluarvoja. [8.]

Taulukko 1. Porvoon jalostamon tuotantolinjojen 1, 2 ja 4 jäähdytysvesikiertojen suunnitteluarvot ja ensisijaiset laitteet [8].

Jäähdytysvesikierto	Jäähdytysveden kulutus (m ³ /h)	Jäähdytysteho (MW)	Putkilämmönvaihtimet (kpl)	Levylämmönvaihtimet (kpl)
TL 1	5141	130,4	5	1
TL 2-1	8117	179,2	9	0
TL 2-2	6551	101,4	0	9
TL 4	8400	181,9	11	0
Yhteensä	28 209	592,9	25	10

5.3 Lämmönvaihtimet

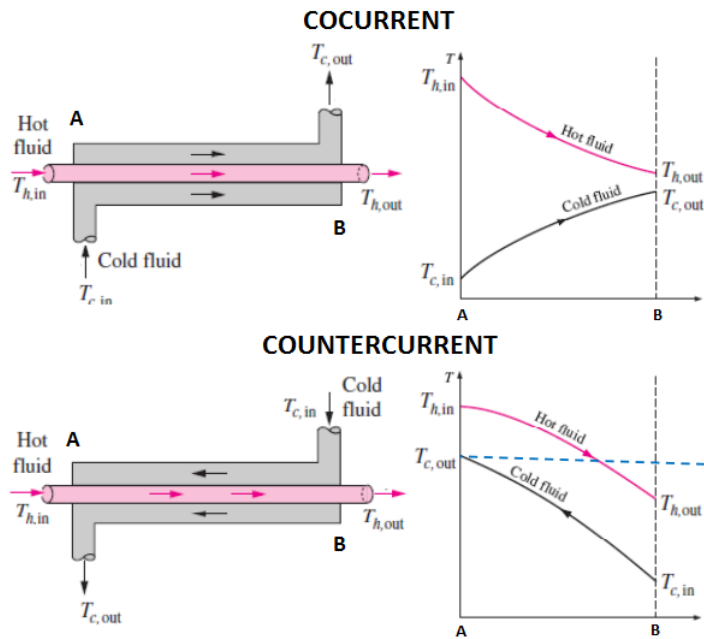
5.3.1 Lämmönsiirto

Lämmönvaihtimessa siirtyvää lämpömäärää kuvaa seuraava kaava:

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T = U_s A_s \Delta T_m = U \Delta T_m = \frac{\Delta T}{R}, \quad (1)$$

jossa	\dot{Q}	on lämmönsiirron teho [kW]
	\dot{m}	on massavirta [kg/s]
	c_p	on virtaavan aineen ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]
	ΔT	on virtaavan aineen lämpötilamuutos [K]
	U_s	on pinta-alaan suhteutettu kokonaislämmönsiirtokerroin [W/m ² K]
	A_s	on lämmönsiirtopinta-ala [m ²]
	ΔT_m	on logaritminen lämpötilaero [K]
	U	on kokonaislämmönsiirtokerroin [W/K]
	R	on olosuhteiden (lika, virtaavan aineen ominaisuudet) aiheuttama lämpövastus [K/W].

Kokonaislämmönsiirtokerroin U sekä pinta-alaan suhteutettu kokonaislämmönsiirtokerroin U_s kuvaavat lämmönvaihtimen ominaisuuksien määrittämää lämmönsiirtokykyä. Kokonaislämmönsiirtokertoimien määrittämiseksi tarvitaan lämmönsiirtoon osallistuvien aineiden lämpötilaeroa, joka vaihtelee lämmönvaihtimen eri osissa. Analysoitaessa lämmönsiirtoa kokonaislämmönsiirtokertoimilla soveltuvan tuloksen saamiseksi tulee määrittää logaritminen lämpötilaero ΔT_m . Logaritmista lämpötilaeroa määritettäessä tulee huomioida tarkasteltavan lämmönvaihtimen rakenne sen virtaussuunnan osalta (ks. kuva 3).



Kuva 3. Myötä- ja vastavirtavaihtimien virtauksien lämpötilaerot [9].

Logaritminen lämpötilaero voidaan esittää vasta- ja myötävirtavaihtimille seuraavalla kaavalla:

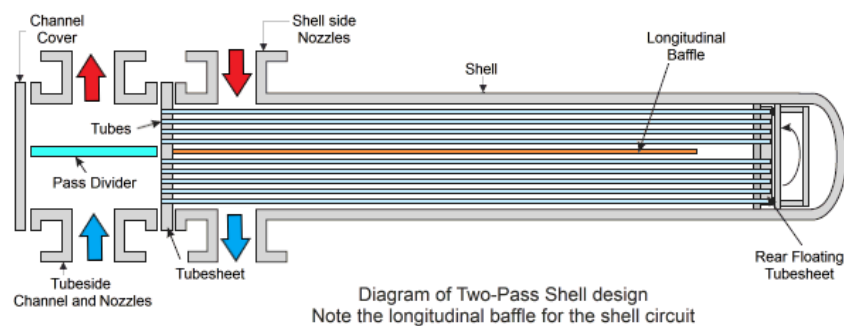
(2)

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}},$$

jossa ΔT_1 on virtaavien aineiden lämpötilaero lämmönvaihtimessa ja vastaavasti ΔT_2 loppupäässä. Esimerkiksi myötävirtavaihtimen alkupään lämpötilaero saadaan kaavalla $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,in}$, missä $T_{h,in}$ on lämpimämmän aineen lämpötila vaihtimen alkupäässä ja vastaavasti $T_{c,in}$ kylmemmän. [10; 11, s. 633.]

5.3.2 Putkilämmönvaihtimet

JVL1:n kolmella eri jäähdytysvesikierrolla käytetään AET-tyyppin pystyasentoon asennettuja putkilämmönvaihtimia [12]. Kyseisessä putkilämmönvaihdintyyppissä putkisarja on irtotettavissa lämmönvaihtimen vaipasta nostamalla. Lämmönvaihtimien putkipuolella virtaa jäähdyttävänä komponenttina käytettävä merivesi ja vaippapuolella virtaa prosessin jäähdytysvetenä käytettävä makea vesi. Lämmönvaihtimien putkisarjat sisältävät 2 640 putkea, joiden yhteenlaskettu tilavuus on 4,1 m³. Putkien materiaali on CuNi10Fe1Mn -nikkelikupari, joka soveltuu hyvin meriveden korroosiota aiheuttaviin olosuhteisiin. Putkien seinämävahvuus on vain 1 mm, mikä tekee putkista alttiita meriveden virtauksen ja epäpuhtauksien aiheuttamalle eroosiolle sekä värinälle, joita ehkäistään virtauksien oikealla mitoittamisella. Lämmönvaihtimien vaippapuolen tilavuus on 6,2 m³. [7.]



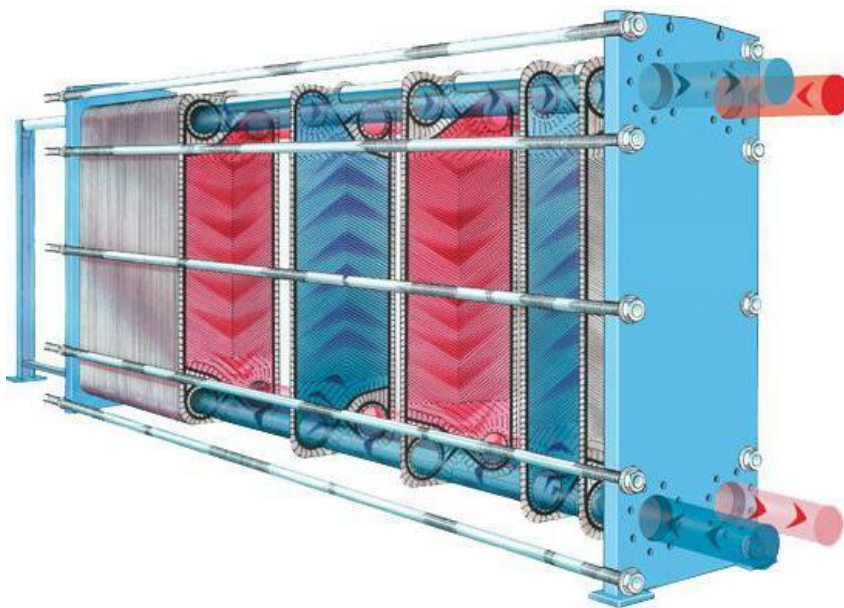
Kuva 4. Toimintaperiaatekuva jäähdytysvesilaitoksen putkilämmönvaihdinta vastaavasta lämmönvaihtimesta [12].

Normaalissa käyttötilanteessa JVL 1:n puhdistetulle putkilämmönvaihtimelle mitattiin jäähdytystehoksi 13 792 kW [13]. Putkien sisäpuolinen lämmönsiirtopinta-ala on yhteensä 650 m² ja ulkopuolinen 736 m². Logaritminen keskimääräinen lämmönsiirtopinta-ala A_s on siten kaavaa 2 soveltaen 691,6 m². Logaritminen keskimääräinen lämpötilaero kyseisen mittausajankohdan olosuhteiden vallitessa vastavirtavaihtimelle kaavalla 2 laskettuna on 14,72 °C (K). Kyseisen putkilämmönvaihtimen pinta-alaan suhteutettu lämmönsiirtokerroin U_s saadaan kaavasta 1:

$$U_{s,j} = \frac{\dot{Q}}{A_s \Delta T_m} = \frac{13\,792\,000\text{ W}}{691,6\text{ m}^2 \times 14,72\text{ K}} = 1354,77 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

5.3.3 Levylämmönvaihtimet

Levylämmönvaihtimet ovat moderni ratkaisu lämmönsiirrossa. Levylämmönvaihtimen rakenne koostuu sarjasta aallotettuja levyjä, jotka erottavat lämpöä luovuttavan ja lämpöä vastaanottavan aineen toisistaan. Kuvassa 5 havainnollistettu levyvaihtimen rakenne, jossa kylmemmän virtauksen molemmilla puolilla virtaa levyillä erotettu lämpimämpi virtaus, mahdollistaa tehokkaan lämmönsiirtymisen. Levylämmönvaihtimien rakenne mahdollistaa myös suuren lämmönsiirtopinta-alan mahduttamisen pieneen tilaan sekä niiden lämmönsiirtokapasiteettia voidaan helposti kasvattaa lämmönsiirtolevyjä lisäämällä. Levylämmönvaihtimet soveltuvat hyvin lämpöä siirrettäessä nesteiden välillä, kun nesteiden paineet ovat lähellä toisiaan. [11, s. 632.]



Kuva 5. Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate [14].

JVL1:n jäähdytysvesilaitteiston varustukseen kuuluu 10 kpl levylämmönvaihtimia. Näistä 9 kpl on liitetty TL2-2-jäähdytysvesikierron piiriin sekä 1 kpl TL-1-jäähdytysvesikiertoon. Vastaavasti kuin putkilämmönvaihtimilla, prosessin jäähdytysvettä jäähdytetään lämmönvaihtimissa merivedellä. Sekä meriveden että prosessin jäähdytysveden virtausmäärän mitoitusarvoksi on ilmoitettu 1 200 m³/h.

Lämmönvaihtimien levyjen valmistusmateriaalina on käytetty joko titaania tai ruostumaton A254 SMO -terästä. Näistä materiaaleista esimerkkinä 254 SMO -teräs on runsas-seosteinen ruostumaton teräs, joka on kehitetty erityisesti merivesiolosuhteisiin ja jolla on muun muassa korkea vastustuskyky jännityskorroosion aiheuttamille murtumille. Lämmönvaihtimiin on asennettu laiteyksilöstä riippuen noin 430 levyä, joiden yhteenlaskettu lämmönsiirtopinta-ala on noin 780 m². Valmistajan lupaama jäähdytysteho 16 467 kW lämmönsiirtokertoimen ollessa puhtaalle vaihtimelle 4 472 W/m²K. Lämmönsiirtokerroin on siten yli 3 kertaa enemmän kuin jäähdytysvesilaitoksella käytetyillä putkilämmönvaihtimilla. [15.]

5.3.4 Lämmönvaihtimien likaantuminen

Lämmönsiirtopintojen likaantumisen aiheuttama energiatehokkuuden heikkeneminen näkyy yrityksen liiketoiminnassa lisääntyneinä energiakustannuksina. Likaantumista aiheutuu jäähdytysvetenä käytettävän meriveden sisältämien pieneliöiden (esim. levien ja bakteerien) kertyminen lämmönsiirtopinnoille. Öljynjalostukselle tyypillisiä epäpuhtauksien aiheuttajia ovat muun muassa erotusprosesseissa syntyvät poltettavaksi kelpaavat sivutuotteet (esim. asfalteeni) ja raakaöljyn sisältämät epäpuhtaudet. [10.]

Likaantumisisesta johtuva lämmönsiirtopintojen lämmönsiirtokertoimen heikkeneminen edellyttää lisjäähdytystä, jota mahdollisesti kompensoidaan jäähdyttävien komponenttien virtausnopeuksien nostamisella, mikä puolestaan kasvattaa energiakustannuksia. Virtausnopeuksien kasvaessa painehäviöiden aiheuttama pumppaustehoon tarvittava energiamäärä kasvaa eksponentiaalisesti. Likaantuminen jo itsessään kasvattaa painehäviöitä virtauskanavien poikkipinta-alan pienenemisen aiheuttaman virtausvastuksen vuoksi. Painehäviön vaatima pumppausteho voidaan laskea kaavalla:

(3)

$$P = \frac{\dot{m}\Delta p}{\rho\eta},$$

jossa	P	on pumppaamiseen vaadittava teho (esim. sähkö) [W]
	\dot{m}	on virtaavaan aineen massavirta [kg/s]
	Δp	on painehäviö [Pa]
	ρ	on virtaavan aineen tiheys [kg/m ³]
	η	on pumppauksen kokonaishyötysuhde. [10.]

Lämmönsiirtopinnoille kertyvä lika heikentää kokonaislämmönsiirtokerrointa ja lämpötehoa. Kokonaislämmönsiirtotehon kaavan $\dot{Q} = \dot{m}c_p\Delta T = U_s A_s \Delta T_m$ kokonaislämmönsiirtokerroimelle U_s voidaan edelleen johtaa lauseke:

(4)

$$\frac{1}{U_s} = \frac{1}{\alpha_s} + R_{f,s} + \frac{r_s \ln\left(\frac{r_u}{r_s}\right)}{\lambda} + \frac{A_s}{A_u} \left(R_{f,u} + \frac{1}{\alpha_u} \right) = R_{tot},$$

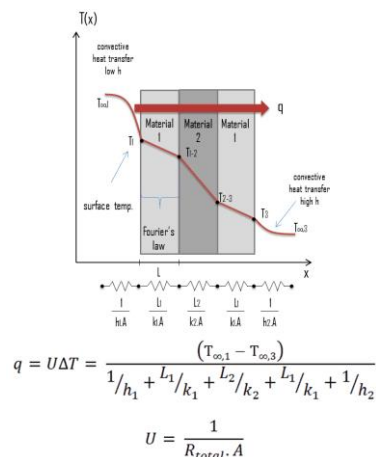
jossa	α_s	on putken sisäpuolinen lämmönsiirtokerroin [W/m ² K]
	$R_{f,s}$	on putken sisäpinnan likavastus [m ² K/W]
	r_s	on putken sisäsäde [m]
	r_u	on putken ulkosäde [m]
	λ	on putken materiaalin lämmönjohtavuus [W/mK]
	A_s	on putken sisäpinnan pinta-ala [m ²]
	A_u	on putken ulkopinnan pinta-ala [m ²]
	$R_{f,u}$	on ulkopinnan likavastus [m ² K/W]
	α_u	on putken ulkopuolinen lämmönsiirtokerroin [W/m ² K]
	R_{tot}	on kokonaislämpövastus [m ² K/W].

Kuvassa 6 on havainnollistettu kokonaislämpövastuksen muodostumista lämmön johtuessa useamman materiaalikerroksen lävitse. Likakerroksen aiheuttama lämpövastus voidaan määrittellä lausekkeella:

(5)

$$R = \frac{\delta}{\lambda},$$

jossa	δ	on likakerroksen paksuus [m]
	λ	on likakerroksen lämmönjohtavuus [W/mK]. [10; 11, s. 633.]



Kuva 6. Kokonaislämpövastuksen muodostuminen lämmön johtuessa materiaalien läpi [16].

5.3.5 Puhdistuksen vaikutus lämmönsiirtoon

Vuoden 2018 vuosihuollon yhteydessä mitattiin puhdistustöiden vaikutusta putkilämmönvaihtimien lämmönsiirtotehoon. Mittaus suoritettiin lämmönvaihtimen prosessin jäähdytysveden puoleiselle kierrolle, joka kulkee lämmönvaihtimen vaippapuolella. Mittaukset tehtiin ennen ja jälkeen vuosihuollon yhteydessä tehtäviä lämmönvaihtimien putkisarjojen merivesikierron putkien puhdistustöitä. [13.]

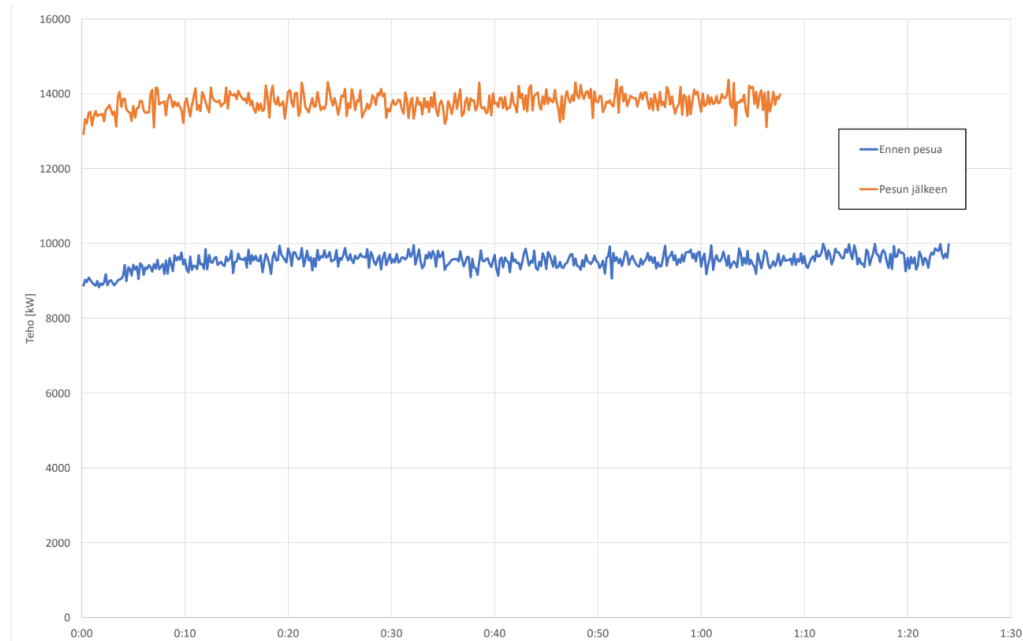
Lämmönvaihtimen tehomittaukset toteutettiin kannettavalla ultraäänimittarilla. Ultraäänimittarin mittaus perustuu putken pintaan kiinnitettävän anturiparin välillä kulkevan ultraäänisignaalin kulku aikaeroon myötä- ja vastavirtaan kulkiessa, ja tästä mittari laskee virtausnopeuden. Mitatun virtausnopeuden, putken dimensioiden ja virtaavan aineen ominaisuuksien pohjalta lasketaan massavirta, mistä edelleen lämpötila-anturien mittauksen lämpötilaeron pohjalta johdetaan lämmönsiirtoteho. Virhemarginaaliksi virtauksen mittauslaitteelle valmistaja ilmoittaa 0,5 %. Tehomittauksen tarkkuuden laitevalmistaja arvioi olevan 3 %. [13.]

Kyseisessä mittauksessa ultraäänilähtetimen sijoituspaikka ei vastannut täysin luotettavan mittaustuloksen suosituksia. Sijoituspaikka on nähtävissä kuvassa 7. Mittauskohdan virtauksen tulisi olla mahdollisimman häiriötöntä. Jatkuva mittaustulos kuitenkin saavutettiin, vaikka mittauskohta ei sijainnutkaan suositeltavan etäisyyden päässä häiriötekijöistä. Tästä huolimatta mittaustulosta voidaan kuitenkin pitää luotettavana. [13.]



Kuva 7. Tehomittauksen laitteisto asennettuna mittauskohteeseen.

Kuvassa 2 nähtävien suoritettujen mittauksien tuloksena saatiin jäähdytysvesikierron veden jäähtymisen tulokseksi ennen pesua 12,6 °C ja pesun jälkeen 17,5 °C. Ennen pesua jäähdytysteho oli ollut keskimäärin 9 572 kW ja pesun jälkeen 13 792 kW. Mitattu tehon nousu oli siis 4 220 kW eli 44,1 %. [13.]



Kuva 8. Mitattu jäähdytysteho ajan funktiona ennen ja jälkeen puhdistusta [13].

Kokonaislämmönsiirtokertoimeksi lämmönvaihtimelle ennen puhdistamista voidaan mitaustulosten perusteella määrittää kaavaa 1 käyttäen $U_{s,e} = 918,40 \frac{W}{m^2K}$ ja edelleen kokonaislämpövastukseksi $\frac{1}{U_{s,e}} = R_e = 0,00109 \frac{m^2K}{W}$. Lämpövastukseksi puhdistamisen jälkeen saadaan $\frac{1}{U_{s,j}} = R_j = 0,00074 \frac{m^2K}{W}$. Näiden erotuksesta voidaan laskea likakerrostmän muodostama lämpövastus $R_l = R_e - R_j = 0,00109 \frac{m^2K}{W} - 0,00074 \frac{m^2K}{W} = 0,00035 \frac{m^2K}{W}$ olettaen, että muita olosuhteiden muutoksia ei huomioida.

Kyseisen lämmönvaihtimen tapauksessa lika putkien sisäpinnoilla koostuu meriveden epäpuhtauksista. Mikäli likakerrostuma olisi koostunut raskaista parafiineistä, joita putkien ulkopinnoilta vuoden 2017 vuosihuollon yhteydessä otettu näyte sisälsi, voidaan parafiinin lämmönjohtavuuden ollessa $\lambda_p = 0,25 \text{ W/mK}$ laskea likakerrostuman keskimääräinen paksuus $\delta = R_l \times \lambda_p = \frac{0,00035 \text{ m}^2 \text{ K}}{\text{W}} \times \frac{0,25 \text{ W}}{\text{mK}} = 0,09 \text{ mm}$ [17]. Näin voidaan siis havaita, että jo ohut likakerrostuma voi vaikuttaa merkittävästi lämmönsiirtotehoon ja edelleen energiakustannuksiin.

Mittaustuloksessa tulee huomioida myös muut lämmönsiirtotehoon vaikuttavat tekijät. Puhdistuksen jälkeisessä mittauksessa lämmönvaihtimen jäähdytysvesikierron virtaus oli 3,6 % suurempi virtauksen ollessa 679 m³/h. Ennen puhdistusta virtaus oli 655 m³/h. Tämän lisäksi lämmönvaihtimen puhdistuksen jälkeisessä mittauksessa jäähdytettävän jäähdytysvesikierron tulolämpötila oli 3,2 °C korkeampi veden lämpötilan ollessa ennen puhdistusta 34,1 °C ja puhdistuksen jälkeen 37,3 °C. Jalostamon prosessivalvontajärjestelmästä saatavan mittausdatan perusteella meriveden tulolämpötila oli pesua edeltävänä mittausajankohtana 9,1 °C ja pesun jälkeisenä mittausajankohtana 9,9 °C. Tällä lämpötilaerolla on jo vaikutusta, mutta lämmönsiirron kannalta meriveden ollessa lämpimämpää pesun jälkeisenä mittausajankohtana on sen vaikutus lähinnä lämmönsiirtoa heikentävä. [13.]

Olosuhteiden muutosten vuoksi jäähdytysveden tulolämpötilan ja virtauksen sekä meriveden tulolämpötilan osalta mittaukset eivät siis ole suoraan verrattavissa. Olosuhteiden muutokset ovat kuitenkin niin pieniä, että suurin osa tehon noususta on selvää seurausta lämmönvaihtimen puhdistumisesta. Olosuhteet huomioon ottaen voidaan arvioida lämmönvaihtimen pesun nostaneen lämmönsiirron tehoa 35–40 %. [13.]

5.4 Jäähdytysvesilaitoksen laitteiden kriittisyysluokittelu

Porvoon jalostamon laitteille on toteutettu luotettavuuskeskeisen toiminnan menetelmiä mukaileva kriittisyysluokittelu. Kriittisyysluokittelulla laitteet on jaettu kolmeen eri kriittisyysluokkaan (kriittinen, tärkeä, normaali) perustuen laitteen merkitykseen prosessissa. Kriittisyysluokan määrittämisessä keskeisin tekijä on luokiteltavan laitteen merkitys yksikön tuotannolle. Luokittelun ensisijainen tavoite on tunnistaa riskitekijät häiriöttömälle käynnille, ja tämän pohjalta toimintoja ohjataan näiden laitteiden pariin. [18.]

Nesteen jalostamoilla kriittisyysluokittelu on toteutettu PSK 6800 -standardiin pohjautuen, minkä menetelmiä on edelleen muunnettu soveltumaan paremmin öljynjalostamon ominaispiirteisiin. Standardin mukaisen kriittisyysluokittelun merkittävimpänä etuna on tulosten vertailukelpoisuus. PSK 6800 -standardin mukaisessa kriittisyysluokittelussa laitteet jaotellaan eri kriittisyysluokkiin todennäköisimmän vian, vian toistumistiheyden ja vian aiheuttamien riskien perusteella. Tämän pohjalta jokaiselle luokitellulle laitteelle voidaan muodostaa kriittisyysindeksi, jonka suuruus määrittää laitteen kriittisyyden. Laitteet järjestetään kriittisyysindeksin mukaiseen järjestykseen, jota hyödynnetään ennakkohuollon toimenpiteitä ja resursseja kohdennettaessa. Taulukossa 2 on esitetty jäähdytysvesilaitos 1:n laitteiston kriittisyysluokittelut. [18.]

Taulukko 2. Jäähdytysvesilaitos 1:n laitteiden kriittisyysluokittelu.

Laiteryhmä	Kriittisyysindeksi	Kriittisyys
Putkilämmönvaihtimet	400	T = Tärkeä
Makeavesipumput	500	T = Tärkeä
Levylämmönvaihtimet	800	K = Kriittinen
Merivesipumput	700 - 1100	K = Kriittinen

Kriittisyysluokituksen tuloksia hyödynnetään luotettavuuskeskeisen kunnossapidon (RCM) mukaisesti. Kriittisyysluokittelun seuraava vaihe on vika- ja vaikutusanalyysi, joka toteutetaan ensisijaisesti kriittisiksi luokitelluille laitteille. Analyysiä voidaan myös hyödyntää määrittäessä tehtäviä alemman kriittisyysluokan laitteille. Vika- ja vaikutusanalyysin pohjalta laitteille pyritään määrittämään parhaat mahdolliset toimenpiteet ennakkohuollon, komponenttiusintojen tai valvonnan lisäämisen avulla. [18.]

6 Jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuolto

6.1 Vuosihuollon tarkoitus

Jäähdytysvesilaitoksen vuosihuolto sisältää merivesivaihtimien huoltotyöt, joista on vastuussa Porvoon jalostamon TL1:n mekaaninen kunnossapito. Jäähdytysvesilaitoksen kunnossapitostrateginen syy sen toteuttamiselle vuosittain jaksotettuna huoltona on pääasiassa meriveden sisältämien epäpuhtauksien aiheuttama lämmönvaihtimien likaantuminen, joka edelleen vaikuttaa lämmönvaihtimien lämmönsiirtokykyyn. Vuosihuollon aikana kaikki jäähdytysvesilaitoksen lämmönvaihtimet puhdistetaan, tarkastetaan ja huolletaan sekä tarvittaessa tehdään putkistokorjauksia.

6.2 Vuosihuollon ajankohta

JVL1:n vuosihuolto aloitetaan keväisin maaliskuun ja huhtikuun vaihteessa heti ilman lämpötilan noustessa tarpeeksi olosuhteiden ollessa tällöin huoltotoimenpiteille suotuisat. Huoltotoimenpiteet on aloitettava mahdollisimman ajoissa keväällä, jotta huolto- ja puhdistustyöt ennätetään suorittaa riittävälle määrälle lämmönvaihtimia jäähdytysvesilaitoksen jäähdytystehon riittävyden takaamiseksi meriveden lämmitessä lähestyttäessä syksyä. Meriveden lämpötilan kehitys vuositasona on esitetty kuvassa 9. Vuosihuollon huoltotoimenpiteiden oikein aikataulutaminen on ensisijaisen tärkeää, sillä väärin aikataulutettu vuosihuolto voi johtaa tuotantotappioihin jäähdytystehon riittämättömyyden vuoksi, jolloin jalostamon tuotantoyksiköiden syöttöä joudutaan vähentämään.

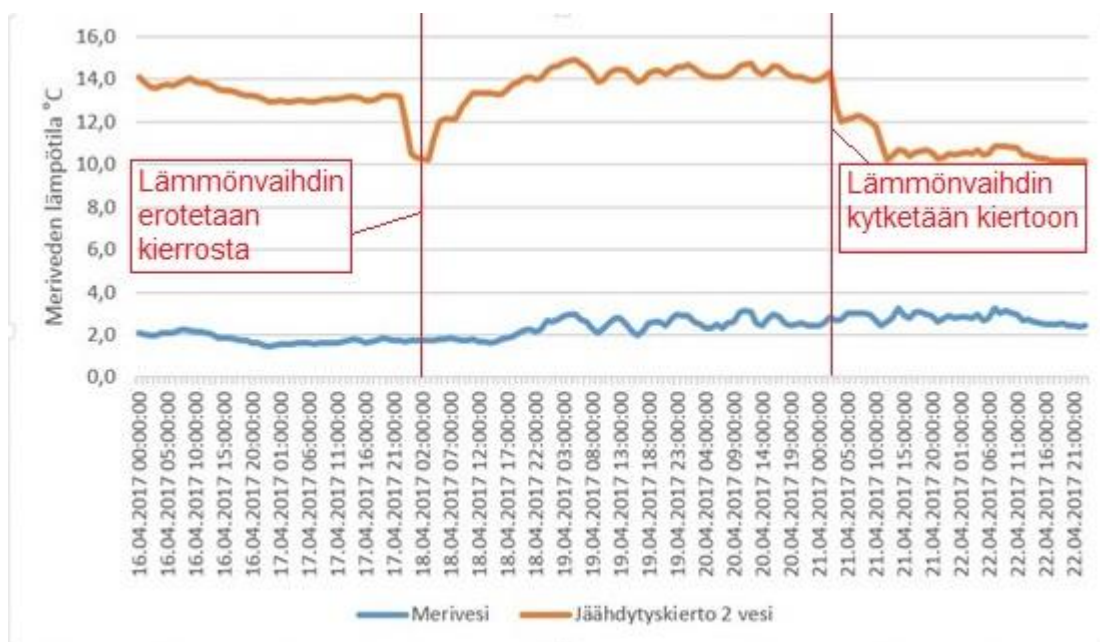


Kuva 9. Meriveden lämpötilä päiväkeskiarvona vuonna 2018.

Huoltotoimenpiteiden suorittamisen ajaksi lämmönvaihtimet tulee erottaa prosessista. Lämmönvaihtimet erotetaan sulkemalla ja lukitsemalla sekä jäähdytys- että merivesikiertojen venttiilit operointivirheiden välttämiseksi. Jäähdytystehokapasiteetin ylläpitämiseksi lämmönvaihtimia voidaan erottaa prosessista rajoitettu määrä. Käytännössä on, että yksi lämmönvaihdin voidaan erottaa huoltoa varten yhden jäähdytysvesikierron piiristä.

Yhden lämmönvaihtimen erottamisen aiheuttamaa jäähdystehokapasiteetin vähene- mistä voidaan kompensoida erottamattomien lämmönvaihtimien merivesivirtausta kas- vattamalla laitekohtaiset rajoitukset huomioon ottaen. Esimerkiksi putkilämmönvaihti- mien merivesivirtausta voidaan kasvattaa maksimissaan 3 m:iin/s saakka, jotta ehkäis- tään mahdollinen putkien värähtely ja virtauksen aiheuttama eroosio. [7.]

Kuvassa 10 nähdään seurantadataa 6 vuorokauden ajalta yhden jäähdytysvesikierron sekä meriveden lämpötilojen kehityksestä. Kyseisellä ajanjaksolla on havaittavissa läm- mönvaihtimen jäähdytysvesikierron irrottamisen ja kytkennän vaikutus jäähdytysve- sikieron lämpötilaan, johon vaikuttavat muun muassa käytettävissä oleva jäähdytyska- pasiteetti sekä prosessiolosuhteet.



Kuva 10. Levylämmönvaihtimen huollon aikaisen jäähdytysvesikierrosta irrottamisen vaikutus jäähdytysvesikierron lämpötilaan.

6.3 Vuosihuollossa suoritettavat toimenpiteet

6.3.1 Putkilämmönvaihtimen huolto ja puhdistus

Lämmönvaihtimen erottamisen jälkeen lämmönvaihtimet tyhjenetään sekä merivedestä että prosessin jäähdytysvedestä. Tämän jälkeen lämmönvaihtimet avataan irrottamalla vaihtimen jako- ja päätykammiot, joiden siirtämisessä hyödynnetään jäähdytysvesilaitoksen yhteyteen asennettua siltanosturia.

Putkisarjojen putket puhdistetaan korkeapaineisella vedellä. Puhdistukseen käytettävän veden paineistukseen käytetään siirrettävää korkeapainepumppua, joka kykenee tuottamaan 570 baarin paineen veden tuoton ollessa 90 l/min. Aluksi mahdolliset putkien mahdolliset tukkeumat paikannetaan, minkä jälkeen jokainen putki puhdistetaan paineletkuun kiinnitetyllä paineluokitellulla pesukangella, jonka päähän on kiinnitetty pyörivä 1000 baarin suutin. Puhdistuksen jälkeen putkille suoritetaan loppuhuuhdeltu.

Korkeapaineisen veden kanssa työskenneltäessä on kiinnitettävä erityistä huomiota turvallisuuteen, ja työntekijöiden tulee käyttää työskentelyyn soveltuvaa suojavarustusta. Alue, jolla korkeapainevesitöitä tehdään, tulee rajata hyvin ulkopuolisten alueelle pääsemisen estämiseksi.

Putkien puhdistamisen jälkeen putkisarja suoritetaan painekoe vuotavien putkien paikallistamiseksi. Painekoetta varten putkilämmönvaihtimen vaippaan kiinnitetään koeponnistusrenkaat, joilla vaihtimen vaippapuoli tiivistetään. Vaihtimen vaippapuoli täytetään makeavesikierron vedellä ja koeponnistus toteutetaan makeavesikierron omalla paineella. Koeponnistuksessa havaitut mahdolliset vuotavat putket tulpataan messinkitulilla. Putkia voidaan tulpata maksimissaan 10 % putkien kokonaisputkimäärästä, minkä jälkeen putkisarja tulee vaihtaa uuteen. Kuvassa 11 nähdään putkilämmönvaihdin ilman jakokammiota tarkastustöiden aikana.



Kuva 11. Putkilämmönvaihtimesta jakokammio irrotettuna tarkastuksien ja tulppaustöiden vuoksi.

Putkilämmönvaihtimien pääty- ja jakokammiot on pinnoitettu niiden korroosiokestävyyden parantamiseksi. Jako- ja päätykammiot puhdistetaan painepesurilla pinnoitteen kunnon tarkastusta varten. Mikäli jako- ja päätykammioiden kunnossa havaitaan puutteita esimerkiksi pinnoitteessa, lämmönvaihtimeen vaihdetaan kunnostettu kammiot ja viallinen toimitetaan kunnostettavaksi. Kuvassa 12 nähdään jakokammio irrotettuna pinnoitteen tarkastustöiden aikana.



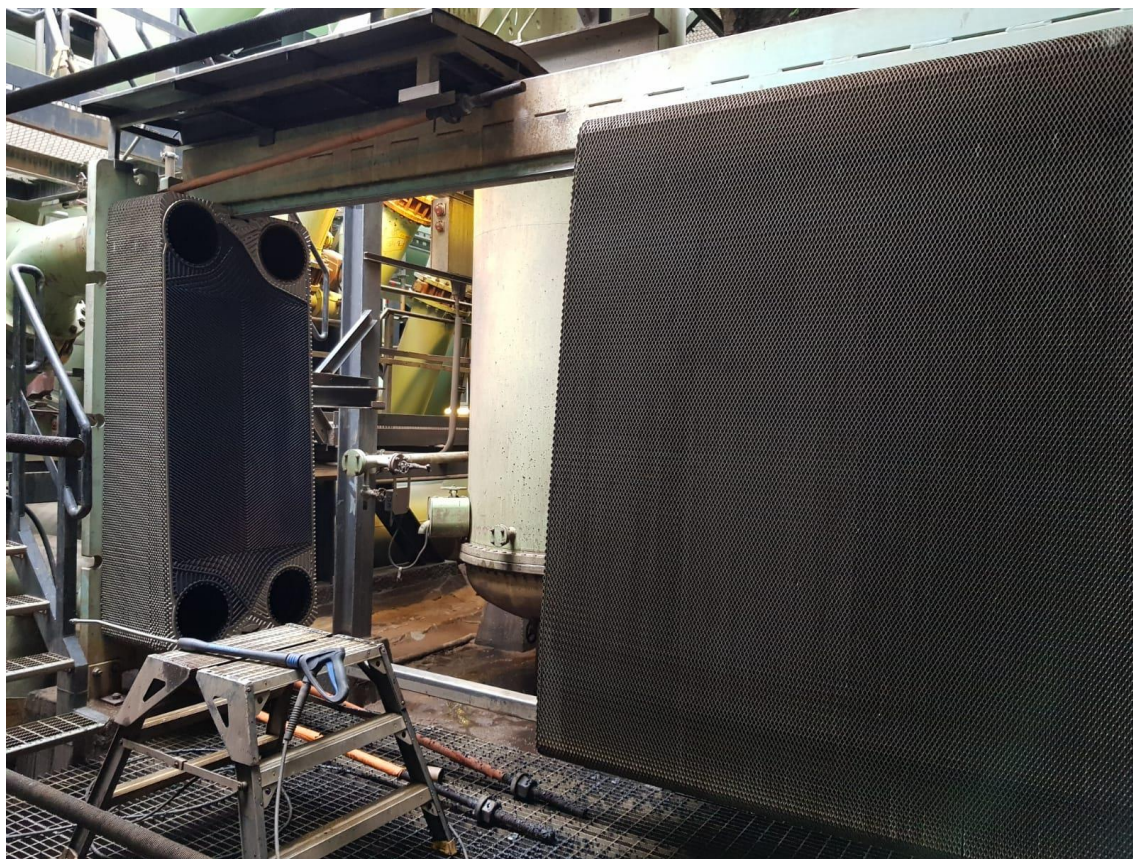
Kuva 12. Jakokammion tarkastuksessa tarkastetaan pinnoitteen kunto.

Lämmönvaihdin suljetaan, kun kaikki vaadittavat huolto- ja puhdistustoimenpiteet sekä tarkastukset on suoritettu. Jako- ja päätykammioiden asentamisen yhteydessä kaikkien tiivistepintojen tiivisteet uusitaan. Lämmönvaihtimen sulkemisen jälkeen tuotannon henkilökunta täyttää ja ilmaa lämmönvaihtimen sekä merivesi- että prosessin jäähdytysvesipuolelta sekä kytkee lämmönvaihtimen taas prosessiin. Normaalisti huoltoon liittyvien toimenpiteiden suorittamisessa yhden putkilämmönvaihtimen osalta vaihtimen erottamisesta sen kytkemiseen kestää noin 6 vuorokautta.

6.3.2 Levylämmönvaihtimien huolto ja puhdistus

Vastaavasti, kuten putkilämmönvaihtimet, voidaan levyvaihtimet erottaa yhdestä jäähdytysvesikierrosta yksi vaihdin kerrallaan vuosihuollon huoltotoimenpiteitä varten. Tuotannon henkilökunta tyhjentää ja erottaa vaihtimet sulkemalla ja lukitsemalla jäähdytysvesikiertojen venttiilit operointivirheen välttämiseksi.

Vaihtimet avataan ja levitetään lämmönsiirtolevyjen puhdistusta ja tarkastusta varten. Levyihin kertynyt lika puhdistetaan painepesurilla. Puhdistetuista levyistä näin ollen mahdolliset vauriot ovat helpommin havaittavissa ja mahdolliset vialliset levyt vaihdetaan uusiin. Levyvaihtimissa tiivistys on olennaisessa osassa, joten tiivisteiden kunto tulee myös tarkistaa ja tarvittaessa kunnostaa tai uusia. Kuvassa 13 nähdään levylämmönvaihdin avattuna puhdistustöiden aikana.



Kuva 13. Levylämmönvaihdin avattuna.

Jäähdytysvesilaitoksen levyvaihtimissa käytetään kahta eri levytyyppiä, jotka soveltuvat tietyille laiteyksilöille. Porvoon jalostamon jäähdytysvesilaitoksen levyvaihtimille on hankittu varaosalevysarjat molemmille levymalleille. Näitä varaosalevysarjoja hyödynnetään vuosihuollon yhteydessä vaihtamalla levysarjat laiteyksilöiden kunnossapitohistoriaan sekä kunnossapitotarpeeseen perustuen.

Kun vaadittavat huoltotoimenpiteet on suoritettu, vaihdin suljetaan kiristämällä levysarja ennalta määritettyyn kiristysmittaan. Tämän jälkeen tuotanto kytkee taas vaihtimen jäähdytysvesikiertoon ja käyttöönoton yhteydessä samalla seurataan mahdollisia vuotoja.

Jäähdytysvesilaitoksen levylämmönvaihtimille suoritetaan vuosihuollon aikana kaksi huoltokierrosta meriveden epäpuhtauksien aiheuttaman likaantumisen ollessa runsaimmillaan kesän kuukausien aikana. Normaalisti levylämmönvaihtimien huoltotoimenpiteet kestävät noin 4 vuorokautta.

7 Jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollon työmääritys

Työmääritys on dokumentti, joka sisältää tarkan ja yksiselitteisen määritelmän suoritettavasta työstä. Työmääritys voi laajuudessaan koskea vain yhtä työvaiheen vaiheistusta tai laajimmillaan kokonaisvaltaisesti yksittäisen ammattialan toimenpiteitä. Työmääritys voi olla liitteenä yksittäistä työtä koskevassa sopimuksessa, tai se voi olla erikseen toimeksi annettava työ. Työmääritysdokumenttia käytetään yleensä välineenä osoittaa palveluntoimittajalle esimerkiksi työtä tilattaessa olennaiset tiedot ja vaatimukset työn suorittamiseksi. Työmääritys sisältää muun muassa seuraavat tiedot:

- määrittelyn kohteena oleva työ tai työvaihe
- työmäärityksen voimassaoloalue
- työhön osallistuvien osapuolien vastuurajat
- työssä noudatettavat säädökset ja spesifikaatiot
- suoritettavan työn vaiheistaminen ja niiden tarkka kuvaus
- työn valmistumisen tai loppuun saattamisen edellytykset ja vaatimukset. [19.]

Jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollolle koettiin tarpeelliseksi luoda työmääritysdokumentti, sillä kyseistä työkokonaisuutta koskevaa dokumenttia ei ollut vielä olemassa. Yleisesti lämmönvaihdintöille Porvoon jalostamon alueella on olemassa työmääritys, jota on käytetty perustana jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollolle. Jäähdytysvesilaitoksen vuosihuolto on toimenpiteenä kuitenkin laajahko toistuva kokonaisuus, jonka suorittaminen on edellytys jalostamon tuotannon häiriöttömälle toiminnalle.

Yleisimmin työmääritysdokumenttia käytetään tiedonjakovälineenä työn tilaajan ja työn suorittavan palveluntoimittajan välillä. Tällöin työmääritysdokumentin roolina on muodostaa selkeä kuva toteutettavasta työstä esimerkiksi työhön vaadittavien resurssien mittaamiseksi.

Jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollon työmääritystä tehtäessä haluttiin siihen sisällyttää myös työn tilaajan, tässä tapauksessa Nesteen henkilökunnan tekemiä toimenpiteitä laajemmin muun muassa työn suunnittelun osalta. Tällä haluttiin varmistaa vuosihuollon suorittamiseen vaadittavan olennaisen tiedon helppo saatavuus, mikä toteutettiin tiivistämällä olennainen tieto yhteen dokumenttiin. Näin ollen tieto on helposti saatavilla esi-

merkiksi vuosihuollon parissa työskentelevän henkilöstön vaihtuessa. Työmäärittelydokumenttia päivitettiin myös sisällöltään kattamaan yksiselitteisesti kyseisen tuotantoyksikön eli jäähdytysvesilaitoksen toimenpiteitä esimerkiksi levylämmönvaihtimien viimeaikaisten huoltotoimenpiteiden muutosten osalta.

8 Kehitysehdotukset jäähdytysvesilaitokselle ja sen vuosihuollolle

8.1 Putkilämmönvaihtimien vaippapuolen pesu

Kesällä 2017 vuosihuollon yhteydessä havaittiin merkittävää likaantumista putkilämmönvaihtimien vaippapuolen makeavesikierron puolella. Havaittu lika oli öljymäistä kerrostumaa putkisarjojen lämmönsiirtopinnoilla. Likakerrostumasta otettiin näyte laboratoriotutkimuksia varten kahdesta eri jäähdytysvesikierron piiriin kytketystä lämmönvaihtimesta. Laboratoriokokeiden tulosten perusteella todettiin näytteiden sisältävän raskaita parafiinisiä ja aromaattisia hiilivetyjä sekä hapettumia. Kyseisten näytteiden perusteella voitiin siis todeta, että niiden sisältö viittaa kyseisten jäähdytysvesikiertojen jäähdytyksen kohteena oleviin prosessivirtoihin. [17.]

Putkilämmönvaihtimien lämmönsiirtoelementin putkien seinämävahvuus on 1 mm ja putkien materiaali on CuNi10Fe1Mn -kuparinikkeliä, jonka lämmönjohtavuudeksi ilmoitetaan 50 W/mK 20 °C:n lämpötilassa [20]. Likakerrostuman koostumuksen perusteella lämmönjohtavuudeksi voidaan arvioida parafiinin lämmönjohtavuus, jonka on ilmoitettu 25 °C:n lämpötilassa olevan 0,25 W/mK [21]. Parafiinisistä hiilivedyistä koostuvan putkien päälle kertyneen lian lämmönjohtavuuden ollessa noin 200 kertaa heikompi verrattaessa putkimateriaalin lämmönjohtavuuteen voidaan päätellä, että jo pienikin kerros likakerrostumaa aiheuttaa merkittävän vaikutuksen lämmönsiirrolle.

8.1.1 Jäähdytysvesikiertojen optimointiprojekti

Kesän 2017 aikana jäähdytyskapasiteetin riittävyys aiheutti haasteita eri tuotantolinjoilla. Tämän pohjalta toteutettiin jäähdytysvesikiertojen optimointiprojekti, joka toteutettiin simuloimalla jäähdytysvesiverkkojen käyttötilanteita. Optimointiprojektilla saavutettiin tulosta, ja jo kesällä 2018 toteutetuilla toimenpiteillä jäähdytyskapasiteetti olikin optimaalisemmin hyödynnettävissä. Kuitenkin optimointiprojektin loppuraportissa mainitaan, että putkilämmönvaihtimien vaippapuolen likaantumiselle tulisi selvittää soveltuvia menetelmiä siitä aiheutuvan jäähdytystehon heikkenemisen minimoimiseksi. [22.]

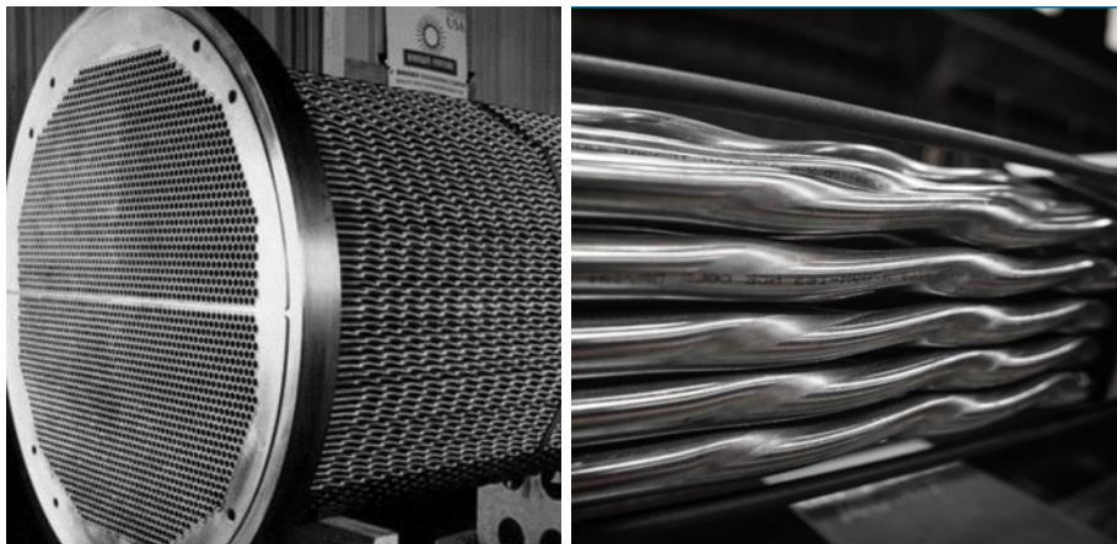
8.1.2 Vaippapuolen pesun toteutusehdotukset

Yksi vaihtoehto vähentää lämmönsiirtopintojen likaantumista makeavesikierron puolella olisi liittää vaipan puolen pesut vuosihuollon yhteyteen. Optimaalisin tilanne olisi, jos vaipan puolen pesu olisi mahdollista suorittaa kohteessa irrottamatta putkisarjaa. Tämä olisi toteutettavissa kierrätyspesumenetelmällä. Kierrätyspesun mahdollistaminen irrottamatta putkisarjaa vaatisi muutostyön, jossa putkilämmönvaihtimien vaippaan asennettaisiin yhteet kierrätyspesuvedelle. Jäähdytysvesilaitoksen vaihtimien vaippoja ei ole tällä hetkellä ole varustettu kierrätyspesuun vaadittavilla yhteillä. Vaihtimille on olemassa koeponnistusvaippoja, jotka on varustettu kyseisillä pesuyhteillä. Koeponnistusvaippojen avulla on mahdollista kokeilla kierrätyspesun soveltuvuutta jäähdytysvesilaitoksen putkilämmönvaihtimille. Mikäli kierrätyspesumenetelmä osoittautuisi soveltuvaksi, vaippoihin vaadittavat muutostyöt olisi mahdollista toteuttaa esimerkiksi suurseisokkien tai vuosihuoltojen yhteydessä.

Toinen vaihtoehto lämmönsiirtoelementtien pesulle makeavesikierron puolelta on pestä putkisarjat irrottamalla putkisarjat pesua varten. Tällöin putkisarjat tulisi kuljettaa jalostamon pesupaikalle tai tulisi järjestää jäähdytysvesilaitoksen yhteyteen kiinteä pesupaikka esimerkiksi vuosihuollon ajaksi. Tämä vaihtoehto lisää kuitenkin työkuormaa sekä turvallisuuden kannalta riskitekijöitä muun muassa kuljetuksen ja nostotöiden osalta.

8.2 Twisted tube -putkisarjat

Vaihtoehtona nykyisille perinteisille putkilämmönvaihtimille olisi korvata perinteiset putkisarjat twisted tube -putkisarjoilla. Twisted tube -putkisarjat poikkeavat perinteisistä putkisarjamalleista niiden kierteisellä putkigeometriallaan, joka valmistajan mukaan mahdollistaa rakenteen, jossa välilevyjä ei tarvita laisinkaan. Välilevytön rakenne vähentää levyvaihtimen sisäisten virtauksien aiheuttamaa painehäviötä. [23.]

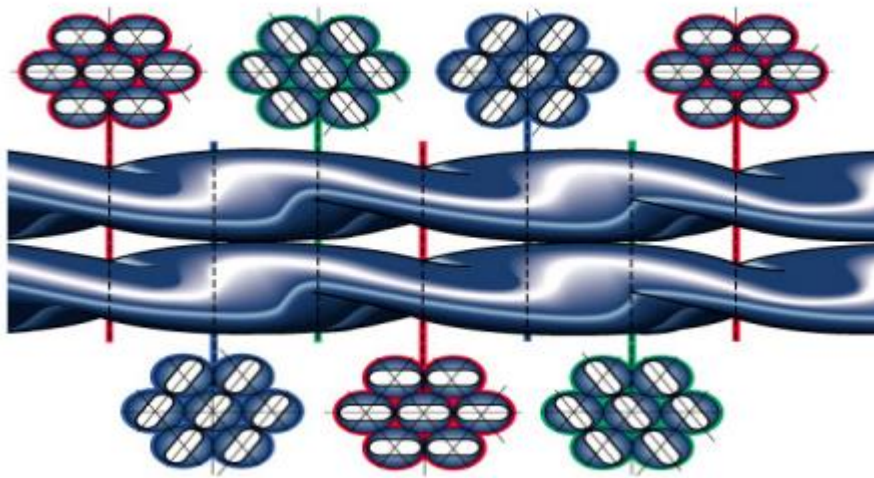


Kuva 14. Twisted tube -lämmönvaihdin [23].

Välilevyttömän rakenteen mahdollistama pituus suunnasta poikkeamaton virtaus sekä twisted tube -putkisarjojen usean kiinnityskohdan kannakointirakenne voi valmistajan mukaan vähentää virtauksen aiheuttamia putkien vaurioita. Putkisarjan putkien sekä niiden asennusgeometrian ansiosta lämmönsiirtopinta-alaa voidaan kasvattaa verrattaessa vastaavan kokoiseen perinteiseen putkilämmönvaihtimeen valmistajan mukaan jopa 40 %. Valmistajan mukaan välilevytön rakenne sekä putkigeometrian aiheuttama pyörteinen virtaus vähentää myös likaantumista. [23.]

Nykyisiä putkisarjoja joudutaan vaihtamaan ajoittain aina vuosihuoltojen yhteydessä. Kunnossapitohistoriasta kerätyn datan perusteella vuodesta 1997 saakka on jäähdytysvesilaitoksen vuosihuollon yhteydessä vaihdettu 25 putkisarjaa eli keskimäärin kerran yhtä lämmönvaihdinta kohden. Keskimääräinen kustannusarvio nykyisille käytössä ole-

ville putkisarjoille on noin 130 000 €/kpl. Investointina twisted tube -putkisarja on kustannuksiltaan noin kaksinkertainen perinteiseen putkisarjaan verrattuna. Voi olla, että tulevaisuudessa jäähdytyskapasiteettia tarvitaan lisää, mikäli esimerkiksi jalostamon alueelle rakennetaan uusia tuotantoyksiköitä. Jäähdytystehokapasiteetti on jo nyt aiheuttanut tuotannolle rajoitteita viime vuosina. Valmistajan vaihtimille lupaamien ominaisuuksien perusteella olisi mahdollista kasvattaa jäähdytyskapasiteettia twisted tube -putkisarjat asentamalla jo olemassa olevaan jäähdytysvesilaitoksen infraan eli jo käytössä olevien putkisarjojen vaippoihin. Olisikin syytä harkita twisted tube -putkisarjamallia esimerkiksi aluksi vain yhden putkisarjan investoinnilla, jolloin käyttökokemukseen perustuen voitaisiin harkita investoinnin kannattavuutta.



Kuva 15. Twisted tube -putkigeometria [23].

8.3 Levylämmönvaihtimien kierrätyspesu

Tällä hetkellä jäähdytysvesilaitoksen levylämmönvaihtimet puhdistetaan mekaanisesti painepesurilla avaten ja sulkien lämmönvaihtimet jopa kaksi kertaa vuosihuollon aikana. Jatkuva avaaminen ja sulkeminen kuluttaa vaihtimien rakenteita sekä muun muassa erityisesti rasittaa levyjen tiivisteitä. Myös vaihtimen avaaminen ja sulkeminen ovat mahdollisesti karsittavia työvaiheita vaihtimien vuosihuollosta, mikäli vaihtimien puhdistaminen toteutettaisiin kierrätyspesulla.

Kierrätyspesu voidaan käsittää CIP (Cleaning in Place) -menetelmänä, jossa puhdistustyö suoritetaan puhdistamalla puhdistuksen kohde avaamatta kohdetta, jolloin säästetään osien ylimääräiseltä kuluttamiselta sekä asennustöistä aiheutuvista työtunneista. Kierrätyspuhdistus toteutetaan kytkemällä kierrätyspesulaitteisto puhdistettavaan kohteeseen, jossa kierrätyspuhdistuslaitteistolla kierrätetään kierrätyspesunestettä. [24.]

Erään palveluntoimittajan referenssissä oli esimerkkitapaus onnistuneesta kierrätyspesutuloksesta Porvoon jalostamon jäähdytysvesilaitoksen levylämmönvaihtimia vastaaville levylämmönvaihtimille. Kyseisten vaihtimien yhden lämmönvaihtimen mitoitustehoksi oli ilmoitettu 15 MW. Kyseisissä lämmönvaihtimissa käytettiin titaania 0,7 mm:n paksuisia levyjä, joita oli asennettuna 549 kpl/vaihdin. Vaihtimien lämmönsiirtopinta-ala oli 1 510 m²/vaihdin sekä nestetilavuus oli 2,3 m³. [25.]

Vastaavasti kuin jäähdytysvesilaitoksella meriveden mukana kulkeutuvat epäpuhtaudet aiheuttivat siirtimien likaantumisen. Kyseisten vaihtimien mitoitusvirtauksiksi oli ilmoitettu 1 289 m³/h 1,7 baarin painehäviöllä todellisten virtauksien ollessa ennen pesua 480–700 m³/h 2,6 baarin painehäviöllä. Vaihtimille oli aikaisemmin tehty kierrätyspesuja sitruunahappo ja lipeäpohjaisilla pesuaineilla, joilla oli saavutettu kohtalaisia tuloksia virtauksien kasvaessa 500 m³/h:stä 700 m³/h:iin. [25.]

Esimerkkitapauksessa pestiin 5 kpl lämmönvaihtimia 5 työpäivän aikana annettaessa pesunesteiden vaikuttaa vaihtimissa myös öiden yli. Pesunesteenä käytettiin sekä emäksistä että happopohjaisia pesunestettä. Pesutöiden suorittamiseen käytettiin kahta pesulaitteistoa (ks. kuva 16). Pesussa käytettiin lämmintä kaukolämpövedtä vaihtimien molempien kiertojen puolilla. Jokaisen pesuvaiheen jälkeen pesuneste otettiin talteen kontteihin ja vaihtimet huuhdeltiin voimakkaasti kohteessa sijaitsevilla pumpuilla. [25.]



Kuva 16. Kierrätyspesulaitteisto [25].

Esimerkkitapauksessa saavutettiin huomattavia tuloksia (ks. kuva 17), joista parhaat tulokset saavutettiin emäs-happo-emäspesulla, jossa molemmat nesteet olivat vaihtimessa yhden yön. [25.]



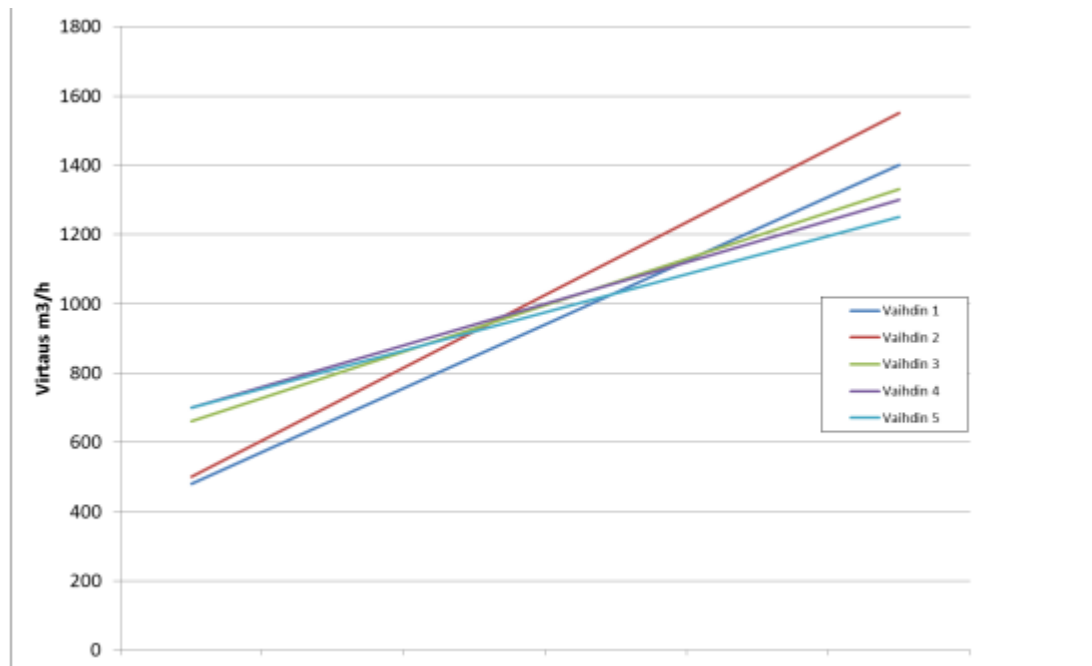
Ennen pesua



Pesun jälkeen

Kuva 17. Kierrätyspesulla saavutettu pesutulos [25].

Vaihtimien virtaukset kasvoivat pesusekvenssien eroavaisuuksista riippuen 79–210 %. Kuvassa 18 voidaan havaita vaihdinkohtainen virtauksen muutos kierrätyspesulla toteutetun puhdistamisen vaikutuksesta. [25.]



Kuva 18. Kierrätyspesujen vaikutus vaihtimien virtauksiin [25].

Kierrätyspesu on toteutettavissa jo olemassa olevalla jäähdytysvesilaitos 1:n varustuksella muun muassa kierrätyspesuun vaadittavien yhteiden osalta lämmönvaihtimissa. Kierrätyspesua olisi syytä kokeilla tulevien vuosihuoltojen aikana, esimerkiksi vain osalle vaihtimista. Vuosihuollossa suoritetaan vaihtimille nykyäänkin 2 puhdistuskierrosta, joten esimerkiksi puhdistettaessa ensimmäisen kierroksen aikana osa vaihtimista kierrätyspesulla voidaan toisella puhdistuskierroksella vaihdin avata puhdistusta varten puhdistustuloksen varmistamiseksi. Kierrätyspesulla levyvaihtimien puhdistustyöt olisi mahdollista toteuttaa nopeammin kuin nykyisellä menetelmällä samalla kuluttamatta vaihtimien osia. Kierrätyspesulla puhdistustyöt kestäisivät arviolta 1–2 vrk, kun taas nykyisellä menetelmällä toimenpiteiden kesto on noin 4 vrk vaihdinta kohden.

8.4 Putkilämmönvaihtimien päätykammioiden työskentelytila

Vuosihuollon yhteydessä asentajia haastatellessa vuosihuollon kehitysehdotukseksi esille nousi putkilämmönvaihtimien alapäässä sijaitsevien päätykammioiden huoltotilan parantaminen. Nykyisellä menetelmällä päätykammioita vaihdettaessa vuosihuollon yhteydessä joudutaan raskaita päätykammioita siirtämään ahtaissa tiloissa käyttäen apuvälineenä nostotaljoja. Myös päätykammioita jäähdytysvesilaitoksen pohjalta nostettaessa nykyisten hoitotasojen rakenne aiheuttaa nostotöille haasteita.

Kehitysehdotuksena nykyisille rakenteille ja menetelmille olisivat esimerkiksi ylimääräisten hoitotasojen poistaminen sekä työskentelytilan korottaminen ja varustaminen kiskollisella kuljetusvaunulla päätykammioiden kuljettamiseksi. Kyseiset muutostyöt olisi mahdollista suorittaa normaalikäynnin aikana, jolloin jäähdytysvesilaitoksella ei olisi käynnissä muita töitä. Näin kyseisen työkohteen työturvallisuus ja työn suorittamisen tehokkuus paranisivat.

9 Yhteenveto ja päätelmät

Tässä insinööriyössä tutkittiin ja perehdyttiin Nesteen jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollon toimenpiteisiin ja etsittiin vaihtoehtoisia toteutustapoja vuosihuollolla saavutettavan tuloksen ja laadun kehittämiseksi. Työhön kuului myös laatia vuosihuollosta työmäärittelydokumentti, joka sisältää tarkan ja yksiselitteisen määritelmän suoritettavasta työstä. Työmäärittelyn avulla osoitetaan palveluntoimittajalle esimerkiksi työtä tilattaessa olennaiset tiedot ja vaatimukset työn suorittamiseksi.

Työmäärittelydokumentti jäähdytysvesilaitos 1:n vuosihuollolle laadittiin tavanomaista työmäärittelydokumenttia laajempaan versiona kattaen laajemmin palveluntoimittajien osuuden lisäksi myös Nesteen henkilökunnan osuutta vuosihuollon toteuttamisessa muun muassa työn suunnittelun osalta. Näin ollen kaikkia vuosihuoltoon osallistuvia osapuolia koskeva olennainen tieto on tiivistettynä yhteen kokonaisuuteen.

Työssä perehdyttiin Jäähdytysvesilaitos 1:llä käytettävien laitteiden rakenteeseen ja toimintaan ja pohdittiin kehityskohteita työtavoissa ja menetelmissä. Vuosihuoltojen yhteydessä toteutettujen mittauksien pohjalta kyettiin selvästi toteamaan likaantumisen sekä nykyisten puhdistustoimenpiteiden vaikutus lämmönvaihtimien lämmönsiirtotehoon. Tämän pohjalta pystyttiin myös arvioimaan putkilämmönvaihtimien likaantumisen vaikutusta niiden jäähdytysvesikierrossa vaippapuolella, jonka puhdistustyöt eivät kuulu nykyiseen vuosihuolto-ohjelmaan.

Insinööriyössä tehdyn selvitystyön jäähdytysvesilaitos 1:n laitteiston ja niille suoritettavan vuosihuollon osalta listattiin potentiaalisia kehitysehdotuksia vuosihuollossa suoritettavien toimenpiteiden ja jäähdytystehokapasiteetin parantamiseksi. Kehityskohteiksi selvityksien pohjalta listattiin putkilämmönvaihtimien vaipan puolen puhdistustyöt, twisted tube -putkisarjat, levylämmönvaihtimien kierrätyspesu sekä putkilämmönvaihtimien päätykammioiden työskentelytilojen parantaminen. Insinööriyössä esitettyjä kehitysehdotuksien kuvailuja voidaan edelleen hyödyntää mahdollisissa jatkoselvityksissä.

Lähteet

- 1 Tietoa meistä. 2018. Verkkoaineisto. Neste Oyj. <<https://www.neste.com/fi/konserni/tietoa-meista>>. Luettu 13.12.2018.
- 2 Pääkkönen, Jouni. Kunnossapidon työsuunnittelu ja aikataulutus. 2018. NMS-tietokannan verkkodokumentti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Oyj.
- 3 Salminen, Timo. Omaisuudenhallinta - Asset Management. 2018. NMS-tietokannan verkkodokumentti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Oyj.
- 4 Järviö, J., Piispa, T., Parantainen, T., Åström, T. 2011. Kunnossapito. Helsinki: KP Media Oy.
- 5 Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. 2010. Standardi. PSK Standardisointiyhdistys ry. <https://www.psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma75/PSK7501_2p.pdf>. Luettu 10.4.2019.
- 6 SFS-ISO 55000. Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. 2014. Standardi. Suomen Standardisointiliitto SFS ry.
- 7 Roukala, Veijo. 2008. Jäähdytysvesilaitoksen toimintaselostus. NMS-tietokannan verkkodokumentti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Oyj.
- 8 Jalostamoalueen jäähdytysvesikierto. Porvoon tuotantolaitokset. 2017. Putkisto-kaavio. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Jacobs Oy.
- 9 Nath, Sarang. 2014. Why is a counter flow heat exchanger better than a parallel flow heat exchanger? Verkkoaineisto. <<https://www.quora.com/Why-is-a-counter-flow-heat-exchanger-better-than-a-parallel-flow-heat-exchanger>>. 29.12.2014. Luettu 18.4.2019.
- 10 Energiatehokas Lämmönsiirto. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Services Oy. <https://www.motiva.fi/files/11106/Energiatehokas_lammonsiirto.pdf>. Luettu 17.12.2018.
- 11 Cengel Y. A., Ghajar A. J. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications 4th edition. 2011. McGraw-Hill.
- 12 TEMA Designations of Heat Exchangers. 2012. Verkkoaineisto. <<http://www.thermaltransfersystems.com/pdf/TEMA%20DESIGNATIONS%20OF%20HEAT%20EXCHANGERS.pdf>>. Luettu 8.4.2019.
- 13 Kirjavainen, Miika. 2018. Raportti Tehomittauksista. Mittausdataraportti. KL-Lämpö Oy. Luettu 12.2.2019.

- 14 Levylämmönvaihdin: Käyttöperiaate. Verkkoaineisto. 2018. <<https://fi.carolchanning.net/biznes/4491-teploobmennik-plastinchatyy-princip-raboty-teploobmenniki-plastinchatye-ustroystvo.html>>. Luettu 17.4.2019.
- 15 Levyvaihtimien laitetiedot. 1992. Laitetietodokumentti SMF-järjestelmässä. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Oyj.
- 16 Heat Exchanger – Heat Transfer Coefficient – U-Factor. 2016. Verkkoaineisto. <<https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/heat-transfer/heat-exchangers/heat-exchanger-heat-transfer-coefficient-u-factor/>>. Luettu 17.4.2019.
- 17 Pakkala, Miika. 2017. Näyteraportti. Yrityksen sisäinen dokumentti. Neste Oyj.
- 18 Heikkilä, Ville. Mekaanisien ja pyörivien laitteiden luotettavuuskeskeinen toiminta. 2018. NMS-tietokannan verkkodokumentti. Neste Oyj. Luettu 10.4.2019.
- 19 Suomi, Tommi. Massapantakorjaukset petrokemianalan kunnossapidossa. 2015. Opinnäytetyö. Theseus-tietokanta. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 20 DIN 2.0872 Material. 2017. Verkkoaineisto. Gasco Inc. <<https://www.gascoinc.co.in/din-2-0872-cuni-material-din-17664.html>>. Luettu 10.4.2019.
- 21 Thermal Conductivity of common Materials and Gases. 2014. Verkkoaineisto. Engineering ToolBox. <https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html>. Luettu 11.4.2019.
- 22 Furu, Tero. 2018. Energiätehokkuusasiantuntija. Neste Oyj. Suulliset tiedonannot 17.12.2018
- 23 TWISTED TUBE® Bundle Technology. 2018. Verkkoaineisto. Koch Heat Transfer Company. <<https://www.kochheattransfer.com/Products/TWISTED-TUBE%C2%AE-Technology>>. Luettu 18.12.2018.
- 24 Plate heat exchanger service equipment. 2019. Verkkoaineisto. Alfa Laval Nordic Oy. <<https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/huolto/huoltolaitteistot/>>. Luettu 23.4.2019.
- 25 Kirjavainen, Miika. 2018. Merivesilämmönsiirtimien kemiallinen puhdistus - Case Helen Oy / Salmisaaren jäähdytyskeskus. Esitedokumentti. KL-Lämpö Oy. Luettu 19.12.2019.