

Marko Roponen

Jäähdytysjärjestelmän toiminnan varmentaminen poikkeustilanteissa



Insinööri (AMK)

Kone-
ja tuotantotekniikka

Kevät 2016



KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tekijä: Roponen Marko

Työn nimi: Jäähdytysjärjestelmän toiminnan varmentaminen poikkeustilanteissa

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

Asiasanat: riskianalyysi, vika- ja vaikutusanalyysi, VVA

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli riskiarvioida Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n tuotannon jäähdytysvesijärjestelmä, etsiä ja pohtia järjestelmän toiminnan varmentavia tekijöitä sekä pohtia jäähdytysveteen sitoutuneen energian hyödyntämistä kiinteistön lämmitykseen.

Riskiarvioinnissa käytettiin jo aiemmin yrityksessä hyväksi havaittua vika- ja vaikutusanalyysiä (VVA), joka soveltuu hyvin toimintojen ja toimilaitteiden riskiarviointiin. Riskiarvioinnissa tuli työn aikana esiin järjestelmän huollon puutteita sekä niin sanottua hiljaista tietoa jokaiselta kunnossapitoasentajalta sekä kunnossapitoinsinöörille että muille kunnossapitoasentajille. Riskiarvioinnin perusteella jäähdytysvesijärjestelmän uusiminen hiiliteräsputkistosta komposiittirakenteeseen sai paljon kannustavia huomioita ja putkiston uusimisille koettiin järkevät taloudelliset ja toiminnan parantavat perusteet. Insinööriyön aikana myös korjattiin jäähdytysvesiputkistoa siten, että korroosion vaikutuksesta rikkoutunut putken osa vaihdettiin komposiittiputkeen. Lisäksi jäähdytysvesiputkistoon suunniteltiin putkistoa yksinkertaistava ja korroosiota aiheuttavien materiaalien vähentävä toimenpide joulukuussa 2015.

Insinööriyössä tehdyn selvityksen perusteella jäähdytysveteen sitoutunutta energiaa on mahdollista hyödyntää kiinteistön lämmityksessä, siten että jäähdytysvesiputkistossa kiertävä vesi johdetaan lämmönvaihtimen läpi, josta saadaan maalämpöpumpun avulla lämpöenergia lattialämmityksen käyttöön. Tämä vaatii kuitenkin investointeja maalämpöpumpun, lämmönvaihtimen ja tehtävän putkistomuutostyön osalta.

ABSTRACT

Author: Roponen Marko

Title of the Publication: Ensuring cooling operation

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: risk analysis, failure mode and effective analysis (FMEA)

The subject of this thesis was to analyze the risks of a cooling system by Sartorius Biohit Liquid Handling Co. The objective was also to seek and solve ways to improve activities on production and to think over the use of heat energy from cooling water to heat up the Sartorius property.

A method called failure mode and effective analysis (FMEA) which was commonly used and proven efficient at evaluating the production in Sartorius company was used in analyzing the risks. Risk assessment revealed some lack of maintenance. At meetings so called quiet information was received from every maintenance worker for other maintenance workers and maintenance engineer. The renewal of the cooling operation system from iron-based pipe to composite structure was given supportive attention to, and the renewal of piping could be economically reasonable to improve operation. During the thesis the cooling system was repaired so that a part of the pipe damaged by corrosion was replaced by a composite structure. Furthermore, a cooling system was designed to simplify the piping and reduce material causing corrosion in Sartorius in December 2015.

According to the thesis it is possible use the heat energy in cooling water to warm up property of Sartorius so that the water in a cooling system is running through a heat exchanger which gives heat energy to the underfloor heating using a geothermal heat pump. However, this requires investments in a geothermal pump, heat exchanger and pipe modification labor.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
1.1 Sartorius Biohit Liquid Handling Oy.....	1
1.2 Työn tausta ja tavoite	2
2 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI (VVA, P-FMEA)	4
3 JÄÄHDYTYSVESIKIERTO.....	6
4 RISKIANALYYSI	9
5 TOIMINTAVARMUUDEN PARANTAMINEN.....	12
5.1 Korjaava toimenpide	12
5.2 Ennakoiva / parantava toimenpide	13
6 LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN.....	16
7 YHTEENVETO.....	19
LÄHDELUETTELO.....	22
LIITTEET	

1 JOHDANTO

1.1 Sartorius Biohit Liquid Handling Oy

Biohitin juuret ovat suomalaisen professori Osmo Suovaniemen 1970-luvulla perustamissa yrityksissä, jotka kehittivät ensimmäiset yksi- ja monikanavaiset, eri tilavuuksille säädettävät tarkkuuspipetit ja vertikaalifotometriaan perustuvat instrumentit [1.]

Vuonna 1988 Suovaniemi perusti Biohit Oy:n, joka kehitti maailman ensimmäiset ergonomisesti muotoillut ja turvalliset yksi- ja monikanavaiset elektroniset nesteannostelijat. Vuonna 1990 yritys aloitti nesteannostelijoiden osien ruiskupuristuksen ja kokoamisen Kajaanissa. Vuonna 2011 Biohitin nesteannosteluliiketoiminta siirtyi yritysoston myötä osaksi Sartoriusta [1.]

Sartorius Biohit Liquid Handling Oy on globaaleilla markkinoilla toimiva yritys, joka kehittää, valmistaa ja myy nesteannostelutuotteita, kuten pipettejä ja pipetinkärkiä. Yritys on osa Sartoriuksen Lab Products & Services -yksikköä. Sartorius on johtava kansainvälinen laboratorio- ja prosessiteknologiaa tarjoava yritys, jonka ydinliiketoimintaa ja -osaamisalueita ovat bioteknologia ja mekatroniikka [2.]

Sartorius Biohitin kehittämiä ja valmistamia, tarkkoja ja turvallisia nesteannostelutuotteita käytetään maailmanlaajuisesti tutkimuslaitosten ja yliopistojen sekä terveydenhuollon ja teollisuuden laboratorioissa. Suurin osa markkinoilla olevista elektronisista pipeteistä on Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n kehittämiä [2.]

Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:lla on toimipisteet Helsingissä, Kajaanissa ja Kiinan Suzhoussa. Näistä Kajaanin tehdas tuottaa yrityksen pipettikärkiä ruiskuteknikalla sekä kokoaa elektronisia pipettejä. Helsingissä valmistetaan pipettien muoviosia. Lisäksi Helsingissä sijaitsee yrityksen tuotekehitysosasto.

1.2 Työn tausta ja tavoite

Sartorius Biohit Liquid Handling Oy Kajaanin tehtaalla on tuotannon käytössä useita muoviruiskuvalukoneita, ja käydessään nämä koneet tuottavat runsaasti lämpöä. Ruiskuvalukoneiden muottien ja muoviruiskutusyksiköiden jäähdytys on toteutettu jäähdytysvesikierrolla, johon kuuluu sähkötoimisten temperointilaitteiden ja erilaisten automatisoitujen toimilaitteiden lisäksi 2000 litran jäähdytysvesisäiliö. Vesi jäähdytetään kompressorin ja rakennuksen katolla sijaitsevan lauhduttimen avulla. Jäähdytysvesikiertoa valvotaan eValvomo-kiinteistönvalvontaohjelmalla. Samasta ohjelmasta voidaan säätää osittain jäähdytysvesikierron automatiikkaa. Tarvittaessa eValvomo-ohjelma antaa hälytyksen automatiikasta poikkeavasta toiminnasta järjestelmässä.

Kajaanin tehdasrakennus on rakennettu vuonna 2000, ja silloin jäähdytysvesiputkisto on tehty ”mustasta raudasta” eli helposti korroosiolle alttiista hiiliteräksestä. Koska putkiston materiaali on korroosiolle helposti altistuva, on tämä aiheuttanut vesikierron likaantumisen putkiston sisällä. Irtonaisen korroosiomateriaalin poistamiseksi vesikierrosta on suodattimien vaihtoväliä pienennetty. Putkistojen ulkopinnat on putkien ja osan laippaliitoksien osalta suojattu Armaflex-solukumieristeellä. Tämän eristeen osittain huono kiinnitys putkistoon on osaltaan aiheuttanut kosteuden jäädessä eristeen ja putken väliin jäähdytysjärjestelmän putkiston ja liitoksien ulkopinnoilla ruosteen epämiellyttävää esiintymistä ja laitteiden ympäristön likaantumista.

Järjestelmän toiminta- ja huoltovarmuutta on parannettu vuosien varrella kahdentamalla kriittisiä pumppuja sekä varaamalla varapumppuja jäähdytysvesikiertojärjestelmän läheisyyteen, jolloin mahdollisen pumppurikon sattuessa on pumppu uusittavissa nopeasti ja kierto saadaan nopeasti jälleen käyntiin. Jäähdytysvesikiertoa ei kuitenkaan ole riskiarvioitu koskaan aiemmin. Tämän opinnäytetyön aiheen tekijä sai Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n kunnossapitoinsinööri Vesa Virtaselta työharjoittelun aikana. Opinnäytetyön tavoite oli arvioida jäähdytysvesikierron riskikohdat sekä etsiä turvaavia ja korvaavia toimenpiteitä näiden riskien minimoimiseksi ja toiminnan varmentamiseksi. Joulukuussa 2015

jäähdytysvesijärjestelmään tehtiin yksi korjaava ja yksi ennaltaehkäisevä toimenpide, jotka kuvataan tässä opinnäytetyössä.

Tässä opinnäytetyössä esitellään lisäksi suunnitelmaa järjestelmän kuormituksen pienentämiseksi. Tämän voisi toteuttaa hyödyntämällä jäähdytysvesikierron sisältämää lämpöenergiaa kiinteistön lämmitykseen vesikiertoisen lattialämmityksen kautta asentamalla järjestelmän rinnalle lämpöpumpun ja lämmönvaihtimen. Tämä toisi yritykselle säästöjä vähäisemmän kaukolämmön kulutuksen kautta. Samalla jäähdytysvesikierron toimintavarmuutta parannettaisiin, kun lämpöenergiaa saataisiin vedestä pois mahdollisen kompressorin tai lauhdutinrikon sattuessa.

2 VIKA- JA VAIKUTUSANALYYSI (VVA, P-FMEA)

Standardi SFS 5438 määrittelee vika- ja vaikutusanalyysin seuraavasti: ”Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) on toimintavarmuuden analysointimenetelmä, joka on tarkoitettu sellaisten vikojen tunnistamiseen, joiden seurauksilla on merkittävä vaikutus tarkasteltavan järjestelmän suorituskykyyn.” [3.]

Vian seurausten vakavuutta kuvataan kriittisyydellä. Kriittisyys ilmoitetaan luokilla tai tasoilla, jotka kuvaavat järjestelmän suorituskyvyn menetyksestä aiheutuvan vaaran suuruutta ja vahinkoja [3.]

Vika ja vaikutusanalyysi soveltuu hyvin materiaali- ja laitevिकojen tarkasteluun, jonka takia tämä analysointimenetelmä valittiin jäähdytysjärjestelmän toimintakyvyn tarkasteluun. Tämän analyysin avulla saadaan tunnistettua vikoja sekä tiloja, joilla on esiintyessään merkittäviä seurauksia. Samoin VVA:n avulla voidaan määrittää vaihtoehtoisten materiaalien valintaa.

VVA on erityisen tehokas, kun sitä sovelletaan osiin, jotka aiheuttavat koko järjestelmän vikaantumisen. Kuitenkin VVA voi olla hyvin vaikea ja työläs suorittaa monimutkaisissa järjestelmissä, joilla on useita toimintoja ja jotka koostuvat useista komponenteista. Tämä johtuu siitä, että huomioon otettavaa järjestelmän yksityiskohtaista tietoa on niin suuri määrä [3.]

Laitteen käyttö- ja kunnossapitohenkilökunta on yleensä paras tietolähde VVA-analyysia tehtäessä. He työskentelevät laitteen kanssa päivittäin, tietävät miten se toimii, mitä vikoja siihen voi tulla, mitä seurauksia vioilla on ja mitä vikojen korjaamiseksi tai ennaltaehkäisemiseksi pitää tehdä. Laitteen käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan tuleekin olla kiinteästi mukana VVA-analyysia tehtäessä [4.]

Tässä työssä rajattiin jäähdytysvesijärjestelmän automatiikan toimintahäiriö yksittäiseksi viaksi juuri suuren vikaantumistapojen määrän vuoksi. Pääajatus analyysillä oli määrittää rakenteiden ja materiaalien ongelmat enemmän kuin automatiikan tuomat vikatilat.

On kuitenkin tärkeää, että järjestelmän kaikki mahdolliset vioittumistavat luetteloidaan, koska VVA perustuu pääasiallisesti niihin. Joitakin ”yhteisvikoja” voi esiintyä, jotka aiheuttavat järjestelmän vikaantumisen siten, että useat järjestelmän komponentit ovat vialla samanaikaisesti yhteisestä syystä, kuten suunnitteluvirheen, inhimillisen virheen ym. takia. Tarkasti ottaen yhteisvikoja ehkäisevien toimenpiteiden tutkiminen ei kuulu VVA:han[3.]

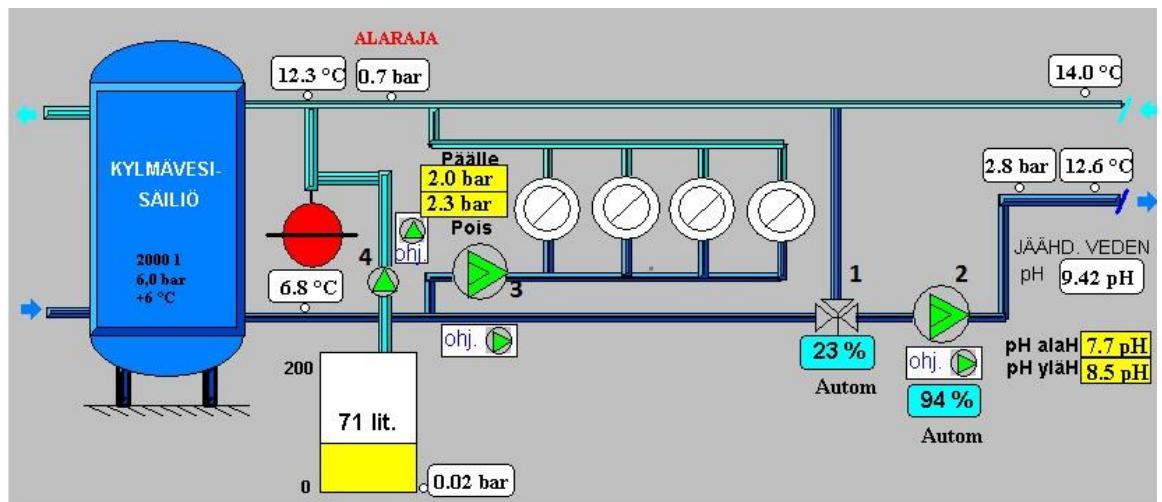
SFS 5438 sisältää hyödyllisen lomakkeen (liite 1), jolla VVA voidaan dokumentoida. Lomakkeella kerätään seuraavaa tietoa:

- a) tutkittavan järjestelmän osan nimi (esim. laite)
- b) järjestelmän osan tehtävä
- c) järjestelmän osan tunnus
- d) vioittumistavat
- e) vian aiheuttaja (vioittumissyyt)
- f) vian vaikutukset
- g) vian havaitsemistavat
- h) kvalitatiivinen arvio vian merkittävydestä ja vaihtoehtoiset varokeinot
- i) huomautukset

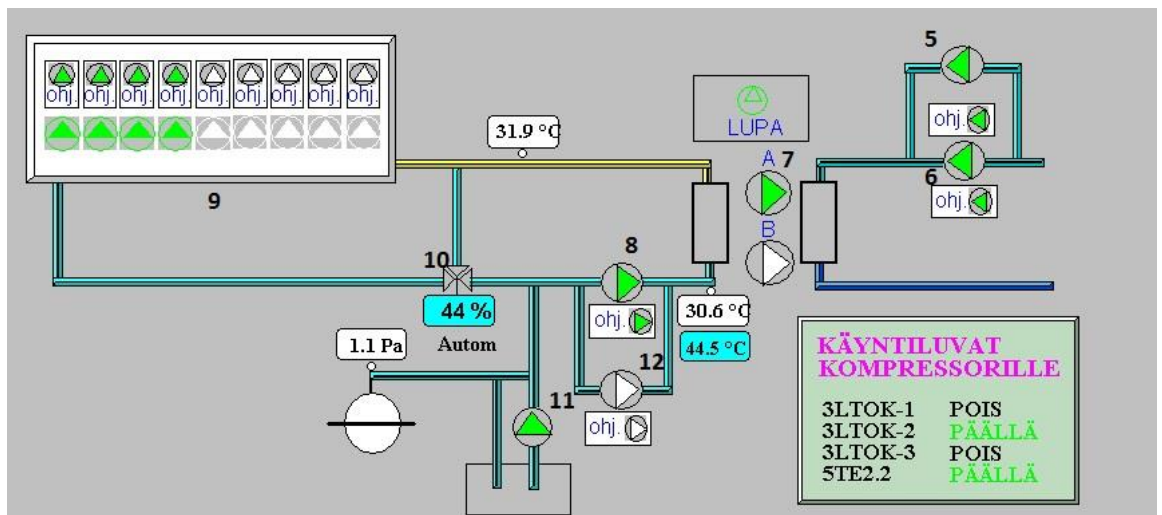
Vika- ja vaikutusanalyysi voidaan tehdä itsenäisesti, tai se voidaan sisällyttää suurempaan tutkimukseen raportoinnin osalta. Molemmissa sekä yhteenveto että analyysin yksityiskohdat sisältyvät raportointiin.

3 JÄÄHDYTYSVESIKIERTO

Jäähdytysvesikierto on Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n kiinteistössä pääpiirteittäin jaettu kahteen osaan, jäähdytysverkostoon (kuva 1) ja lauhdutinkiertoon (kuva 2). Näitä erillisiä osia käytetään vain valvottaessa järjestelmän toimintaa eValvomo-ohjelmalla, ja yleensä käsitelläänkin kokonaisuutena koko jäähdytysvesikiertoa.



Kuva 1. eValvomon kuva jäähdytyskierrosta



Kuva 2. eValvomon kuva lauhdutinpiiristä

Jäähdytysvesikierto koostuu yhteensä kuudesta pumpusta, joista kaksi on kytketty rinnakkain kriittisiin kohtiin toisen pumpun kanssa mahdollisen pumppu-

vian korjaamisen helpottamiseksi. Lisäksi järjestelmään kuuluu kolmitieventtiilejä, kompressori (kuva 3), 2000 litran jäähdytysvesisäiliö (kuva 4) ja rakennuksen katolla sijaitseva lauhdutin. Järjestelmään kuuluu myös huomattava määrä antureita sekä sähköisesti järjestelmän vesikiertoa mittaava ph-mittari.



Kuva 3. Jäähdytysvesikompressori



Kuva 4. Jäähdytysvesisäiliö

Jäähdytysvesikierron kolmitieventtiilit säätelevät pumppujen kanssa kierron nopeutta jäähdytystarpeen mukaan. Tuotannossa lämpöä aiheuttavia ruiskuvalukoneita käytetään tarpeen mukaan ja entalpiataso, eli jäähdytysveteen sitoutuneen (lämpö-) energian määrä, kierrossa vaihtelee huomattavasti tuotannosta riippuen. Tämä kolmitieventtiilien säätö tapahtuu automaattisesti järjestelmään asetettujen arvojen mukaan. Järjestelmää valvotaan internetpohjaisella eValvo-mo-ohjelmalla, josta näkyvät asetetut sekä senhetkiset säätöarvot.

Rakennuksen katolla sijaitseva lauhdutin jäähdyttää vettä, joka kiertää jäähdytysvesikierrossa. Lauhduttimeen kuuluu sähkötoimisia puhaltimia, joita ohjataan automatiikalla päälle tai pois tarpeen mukaan.

Jäähdytysvesikiertoon kuuluu toimilaitteiden lisäksi huomattava määrä suodattimia. Suodattimia sijaitsee kierrossa sekä suuressa pääsuodatinpanoksessa että jokaisen yksittäisen ruiskuvalukoneen jäähdytysvesikierron syötössä. Pääsuodatinpanos (kuva 5) sijaitsee ilmanvaihtokonehuoneessa yhdessä muiden jäähdytysvesikierron komponenttien kanssa. Suurin osa suodattimista on suodatusteholtaan 10 µm, eli ne poistavat kaiken tuota suuremman epäpuhtauden vesikierrosta ja suodattavat näin tarpeeksi hyvin kierron sisäistä vettä. Kuitenkin kierrossa oleva vesi sisältää tällä hetkellä niin paljon epäpuhtauksia, jotka irtoavat putkistosta kierron sisältä, että suodattimien vaihtotiheyttä on jouduttu nostamaan. Esimerkiksi kierron pääsuodatinpanoksen seitsemän suodatinta vaihdetaan nykyään kahden viikon välein normaalin kuukauden vaihtovälin sijaan.



Kuva 5. Pääsuodatinpanos

4 RISKIANALYYSI

Riskien arvioimiseksi suoritettiin vika- ja vaikutusanalyysi, jonka vuoksi pidettiin palavereja, joihin osallistui kunnossapitoinsinööri sekä kolmesta neljään kunnossapitoasentajaa. Usean kunnossapitoasentajan läsnäolo tuki tiedon saattamista analyysiin. Palavereita pidettiin useita, koska erilaisia arviointikohteita kertyi lähes kaksisataaviisikymmentä ja jokainen arvioitava kohde aiheutti keskustelua. Yhteensä palavereihin kului aikaa kymmenisen tuntia. Tekijä kutsui riskianalyysipalaverin koolle Sartoriuksen neuvotteluhuoneeseen, jossa riskianalyysin kohdat pystyi heijastamaan videotykillä tietokoneelta seinälle. Keskustelemalla arviointikohteille annettiin erillisten taulukoiden (liitteet 2 - 4) mukaan arviot riskin vakavuudesta, esiintyvyydestä ja havaittavuudesta. Näille annettiin numeroarvo väliltä yhdestä kymmeneen siten, että arvo yksi oli vähiten vakava, harvinaisin tai havaittavin mahdollinen tapahtuma ja vastaavasti lukuarvo kymmenen oli vakava, usein esiintyvä tai todella huonosti havaittava tapahtuma. Näiden perusteella lopuksi määriteltiin vioittumistavan riskitaso taulukosta arvosanalla 1 - 4 (liite 5). Riskitason määrittelee esiintyvyyden ja vakavuuden välinen suhde. Riskitaso määrittää riskit välille merkityksetön (arvo 1), jossa systeemi vaurioituu mutta sen toimintakyky säilyy ja uhkaa terveydelle ei ole, tai katastrofiin (arvo 4), jossa systeemin toimintakyky menetetään tai on henkilövahinkoja. Yleisesti mielipiteet riskien arvioista olivat yhteneväisiä ja mahdolliset mielipide-erot olivat helposti ratkaistavissa ja perusteltavissa. Jokaisen palaverin aikana tai jälkeen kirjattiin arviot ja esiin tulleet havainnot sekä suositellut toimenpiteet riskianalyysiin. Dokumentoinnin riskiarvioinnista hoiti tämän opinnäytetyön tekijä.

Riskianalyysiä varten kaikki jäähdytysvesikierron komponentit, pumput ja kolmitieventtiilit luetteloitiin Excel-ohjelman taulukkoon (kuva 6). Lisäksi analyysissä arvioitiin putket, liitokset ja suodattimet omina komponentteina. Jokaiselle komponentille arvioitiin ja luetteloitiin erilaisia virhetilanteita, ja jokaiselle virhetilanteelle arvioitiin erilaiset syyt, jotka voivat tilanteen aiheuttaa. Lisäksi arvioitiin virhetilanteen aiheuttamat paikalliset seurausvaikutukset sekä vaikutukset koko järjestelmälle.

P.FMEA NRD: 001/2015		Jäähdytysprosessit / jäähdytysvesikierto			Revisio:	1														
Prosessivaihe / Laite	Toiminto / Tehtävä	Virtemoodi	Palkalliset seurausvaikutukset	Seurausvaikutukset koko prosessille / järjestelmälle	Vakavuus (Sev) 1..10	Virheen syntyminen	Esiintyvyys (Occ) 1..10	Hykyinen ohjauksen valvonta	Havaittavuus (Det) 1..10	Riskiluku RPN < 50	Riskitaso (L..IV)	Suositellut toimenpiteet	Vastuunhenkilö ja tavoiteajam	Suositellut toimenpiteet	Vakavuus (Sev) 1..10	Esiintyvyys (Occ) 1..10	Havaittavuus (Det) 1..10	Riskiluku RPN < 50	Riskitaso (L..IV)	
2																				
3																				
4																				
5																				
6																				
7																				
8																				
9																				
10																				
11																				
12																				
13																				
14																				
15																				
16	Komponentit	Säätää muovin jäähdytyspiirroksen ja sähkösuojauksen																		
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29																				

Kuva 6. Ote riskianalyysitaulukosta Excel-ohjelmassa

Palaverien aikana saatiin esiin paljon hiljaista tietoa asentajilta kunnossapitoinsinööreille ja yhdessä saatiin pohdittua myös tarvittavia toimenpiteitä toimintavarmuuden varmistamiseksi tulevaisuutta silmällä pitäen. Nämä kirjattiin suositeltuna toimenpiteinä riskiarviointiin ja tulisi kirjata myös huoltoaikataulukjärjestelmään.

Riskianalyysiin kuuluu riskiluvun määrittäminen, jossa vakavuudelle, esiintymistiheydelle ja havaittavuudelle annetut lukuarvot kerrotaan yhteen. Tästä saatu tulo on riskiluku (RPN). Ennen vika- ja vaikutusanalyysin tekemistä ei tällä kertaa arvioitu arvoa, jolle riskiluku voi maksimissaan kasvaa, vaan päätettiin vasta analyysin jälkeen puuttua riskeihin, joiden riskiluku kasvaa suurimmaksi.

Riskianalyysissä suurin riskitaso tuli esiin mahdollisen kompressorin jäähdytysainevuodon yhteydessä. Kuitenkin itse riskiluku jäi suhteellisen pieneksi verrattuna riskitasoon, jopa alle sataan, suurimman riskiluvun ollessa 144. Tässä tapauksessa riskitasoa kasvattaa kompressorilaitteiston sisällä oleva haitallinen jäähdytinaine R 134A, joka voi äkillisesti vuotaessaan aiheuttaa terveydellisiä riskejä, jopa varoittamattoman tajunnan menetyksen. Henkilövahinkojen vaara nostaa riskitason luokkaan 4, joka on katastrofin arvoinen tässä tehdyssä riskianalyysissä. Tällaisen vuodon esiintymistiheys on kuitenkin todella vähäinen.

Suurimmat riskiluvut tulivat yleisesti esiin jokaisen toimilaitteen kohdalla automaation toimimattomuuden osalta. Automaatio jätettiin kuitenkin käsittelemättä riskianalyyssissä sen tarkemmin, vaan todettiin ja arvioitiin yleisesti automaation kaikki mahdolliset aiheutuvat virhetilanteet. Automaation käsitteleminen tarkemmin riskianalyyssissä olisi tuottanut vikamahdollisuuksia lukemattoman määrän ja työn huomattavan laajenemisen. Automaation yksityiskohtainen tarkastelu olisi vienyt riskianalyyssin liian kauaksi jäähdytysvesijärjestelmästä, keskittyen liiaksi taloautomaatioon. Automaation tarkempi analyysi voisi löytää tarkemmin virhetilanteet aiheuttavat toiminnot.

Vika- ja vaikutusanalyyssiä tehtäessä suureen osaan tulivat kunnossapitoasentajien tekemät asennus- ja huoltotyöt. Huoltotöiden yhteydessä järjestelmään saattoi tulla välittömiä vikoja väärän materiaalin tai vääränlaisen asennuksen takia (esim. liian tiukka kiristys tai o-rengastiivisteiden väärä koko tai huono asento). Toisin nämä vikatilanteet tulivat myös hyvin nopeasti tai välittömästi esille. Asennus- ja huoltotyön osaaminen ja huolellisuus ovat merkittävässä asemassa näissä tilanteissa.

Riskiarvio jäähdytysjärjestelmästä on muuttuva tilanne, johon vaikuttavat erilaiset järjestelmän muutos- ja korjaustyöt. Tehtyyn riskiarviotaulukkoon tuleekin tulevaisuudessa kirjata tehdyt toimenpiteet, jonka jälkeen riskiarvio tulee tehdä uudelleen ja arvioida jäähdytysjärjestelmän toimintavarmuutta. Siksi olisikin tärkeää, että riskiarviota pidettäisiin ajan tasalla ja suositeltuihin toimenpiteisiin kirjattaisiin tavoitepäivämäärät ja vastuuhenkilöt. Tällä tavalla riskiarvio olisi käytettävissä tarvittaessa aina ja välittömästi.

5 TOIMINTAVARMUUDEN PARANTAMINEN

Riskianalyysissä esiin tulleita virhetilanteeseen johtavia syitä ruvettiin harventamaan ja estämään jo analyysia tehtäessä ja heti sen valmistuttua. Jäähdytysvesijärjestelmän toimintavarmuutta on aiemmin korjaustoimien yhteydessä parannettu, mutta nyt parannuksia alettiin tehdä puhtaasti ennakoivana toimenpiteenä. Jo pidemmän aikaa yrityksessä on ollut puheenaiheena ja tavoitteena vaihtaa olemassa oleva putkisto hiiliteräksestä esimerkiksi komposiittiin, jolloin korroosiomateriaali vähenisi putkiston sisällä vesikierrossa. Samalla putkistoa voisi yksinkertaistaa ja korroosio putkiston ja liittimien ulkopinnoilla saataisiin pois.

5.1 Korjaava toimenpide

Korjaavan kunnossapidon keinoin vikaantuvaksi todettu osa tai komponentti palautetaan käyttökuntoon (korjataan). Korjaava kunnossapito voi olla joko häiriökorjaus (suunnittelematon) tai kunnostus (suunniteltu) [5.]

Riskianalyysin aikana eräs jäähdytysvesiputkiston kohta alkoi tihkumaan vettä ulkopuolelle järjestelmästä ja putkistolle jouduttiin tekemään välitön korjaava toimenpide. Kohteena oli noin metrin pituinen pätkä putkistoa, jossa oli kuitenkin useita supistuskappaleita sekä venttiilejä. Itse putki oli ns. mustaa rautaa. Tarkkaa vuotokohtaa ja syytä ei saatu ensin ulkoisesti selville päällä olevasta Armaflex-eristeestä johtuen. Myöhempi tarkempi tarkastelu sisäisesti ja putkelle tehty halkaisu kuitenkin osoitti vuodon johtuneen galvaanisesta korroosiosta, joka oli tehnyt pistemäisen syöpymän erääseen putken mutkaan (kuva 7). Putken liittymä oli ruostumattomasta teräksestä tehdyn suodatinpätkän päällä. Näiden materiaalin elektrodipotentialinen arvo on toisistaan huomattavasti poikkeava ja aiheuttaa sähkökemiallisissa kosketuksissa toisiinsa olevassa parissa galvaanista korroosiota. Tällöin epäjalompi aines syöpyy, jalomman pysyessä ennallaan.



Kuva 7. Pistesyöpymä putkessa

Putken uusiminen hoidettiin tehtaan sisäisenä työnä, jossa kaksi kunnossapitoasentajaa korvasivat hiiliteräksestä tehdyn putken komposiitista valmistettuun putkeen sekä asensivat messinkiset liitokset korvattavaan osaan. Näin korroosiolle alttiita osia saatiin vähennettyä kyseisen putken osalta. Asennus oli helppo vähäisen uusittavan putken määrän ja helpon asennuspaikan suhteen.

5.2 Ennakoiva / parantava toimenpide

Kunnossapitoa voidaan tehdä ehkäisevän ja parantavan kunnossapidon keinoin. Tässä kunnossapitotehtävässä oli vaikea varsinaisesti määrittää, kumpaa laatua tehtävä todellisuudessa oli.

Ehkäisevän kunnossapidon keinoin seurataan kohteen suorituskykyä tai sen parametreja. Päämäärä on vähentää vikaantumisen todennäköisyyttä tai koneen / osan toimintakyvyn heikkenemistä [5.]

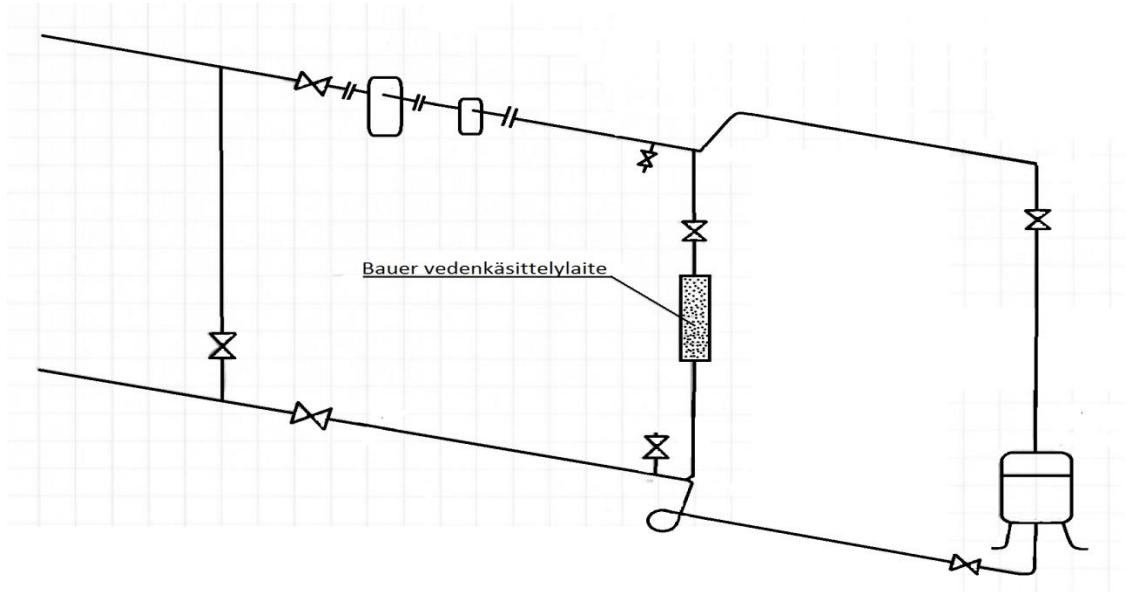
Parantava kunnossapito voidaan jakaa kolmeen pääryhmään. Ensimmäisessä pääryhmässä kohdetta muutetaan käyttämällä uudempia osia tai komponentteja kuin alkuperäiset, mutta kohteen suorituskykyä ei varsinaisesti muuteta. Toisen pääryhmän muodostavat erilaiset uudelleensuunnittelut ja korjaukset, joilla parannetaan koneen luotettavuutta. Kolmanteen pääryhmään kuuluvat moderni-

saatiot, joissa kohteen suorituskykyä muutetaan. Yleensä modernisaatiolla uudistetaan koneen ohella valmistusprosessi [5.]

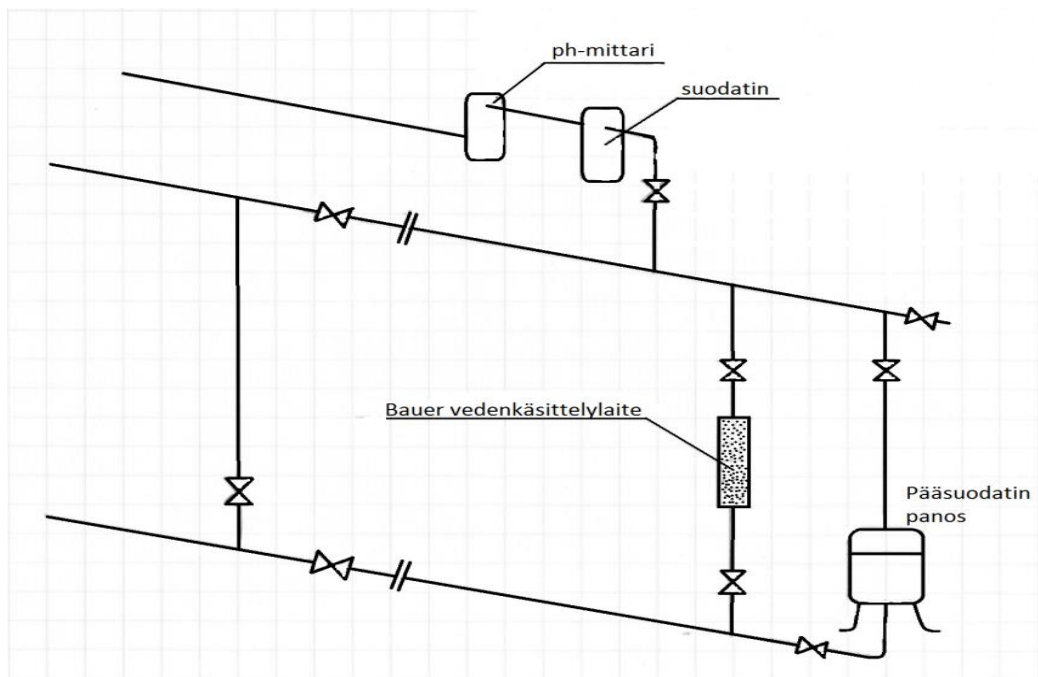
Kunnossapitotoimenpiteeseen liittyen suunniteltiin putkiston yksinkertaistaminen ja muuta putkistoa huomattavasti jalomman materiaalin poisto eräästä osasta putkistoa. Tällä osalla putkistoa sijaitsevat ruostumattomasta teräksestä tehdyt suodatinpatruunasäiliö sekä ns. mutataskut, joiden poisto katsottiin olevan aiheellista niiden aiheuttaessa galvaanista korroosiota sekä putkistoon että liitoksiin. Etenkin läheisten liitoksien kiinnityspultit olivat hapettuneet todennäköisesti juuri tämän vuoksi ja olivat korroosion peitossa pahasti. Lisäksi putkiston osalla on järjestelmälle turhia mutkia ja liitoksia.

Tekijä suunnitteli olemassa olevasta jäähdytysjärjestelmäputkesta luonnoksen (kuva 8) ja sen jälkeen uuden luonnoksen, jossa oli suunniteltu poistettava putken osuus sekä komponentit (kuva 9). Lisäksi suunnitelmaan lisättiin uusi parempi pH-mittarin paikka. Entinen sijoituspaikka oli huono, koska mittaria ei voinut luotettavasti käyttää lian kertymisen vuoksi. Tämän syyn takia mittarille lisättiin suunnitelmaan myös oma suodatin. Lisäksi putkistoon suunniteltiin uudet venttiilit, jotka helpottavat huoltotöitä. Suunnitelma luonnosteltiin käsin piirtäen paperille, sopivan putkistonsuunnitteluohjelmiston puutteen takia. Näiden karkeiden luonnoksien sekä pienen ohjauksen avulla kunnossapitohenkilöstö pystyy rakentamaan uuden putkistonosuuden järjestelmään.

Putken materiaaliksi suositeltiin käytettäväksi edelleen komposiittia sen korroosiosiedon ja keveyden takia. Myös komposiitin työstäminen on helppoa puristettavien liitosten takia, eikä teräsrakenteille tai -putkistoille tarvittavaa hitsausta voinut tiloissa käyttää ilman ulkopuolista työvoimaa. Tarvittaessa putkien liitoksiin tarvittavat työkalut olivat lainattavissa lyhytaikaisesti putken jälleenmyyjänä toimivalta paikalliselta yritykseltä. Komposiittiputken asennustyökalujen ostamista Sartoriukselle harkittiin mahdollistamaan tulevat asennus- ja huoltotyöt.



Kuva 8. Putkistoluonnos



Kuva 9. Putkistosuunnitelmaluonnos

6 LÄMPÖENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Yhtenä tämän insinööriyön tavoitteena oli pohtia jäähdytysvesikierrossa olevan lämpöenergian hyödyntämistä esimerkiksi kiinteistön lämmityksessä.

Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n kiinteistössä on vesikiertoisella lattialämmityksellä katettu 360 m² kolmella eri jakolinjastolla. Lattialämmityksessä kiertävä vesi lämmitetään tällä hetkellä kaukolämmöllä. Kiinteistön suunnittelupiirroksessa on käytetty arvoa 50 W/m², jolloin koko kiinteistön lattialämmityksen vaatima teho on maksimissaan 18000 wattia. Tämä tarvittava teho olisi helposti tuotettavissa myös lämpöpumpulla, jolloin tarvittava lämpöenergia otettaisiin jäähdytysvesikierrosta.

Lämpöpumppuja on kehitetty vuosia saaden niiden tehokkuutta nostettua. Kehityksen tuloksena nykyaikaisen keskikokoluokan lämpöpumpun tehokkuus on nykyisin erinomaisen hyvää luokkaa. Nykyaikaisten lämpöpumppujen hyötysuhde eli COP-arvo on 3,5 jopa 5,5, eli 1 kWh sähköä tuottaa 3,5 – 5,5 kWh lämpöä. Sama kehitystyö on saanut lämpöpumppujen rakenteelliset koot pysymään suhteellisen pieninä tehoon nähden, jolloin tarvittavan lämpöpumpun sijoittaminen Sartoriuksen ilmanvaihtohuoneeseen olisi mahdollista aivan jäähdytysvesi- ja lattialämmitysvesikierron jakotukkien läheisyyteen. Tällöin pitkiltä putkiston vedoilta ja rakenteiden muutoksilta vältyttäisiin. Jäähdytysvesikierron veden lämpöenergian taso on suuri verrattuna normaaliin nestekiertoon, jota maalämpöpumppu käyttää. Jäähdytysvesikierron lämpötila on paluukierrossa noin 14 celsiusastetta, normaalin maalämpöpumpun nestekierron ollessa vain 4 celsiusastetta. Tällöin lämpöpumppu käy hyvin optimaalisella tasolla ja hyötysuhde on tavanomaista korkeampi.

Lämpöpumpun kierto olisi mahdollista ja kannattaisi rakentaa nykyisen lämmityssysteemin rinnalle, jolloin voisi tarpeen mukaan valita, käytetäänkö kaukolämpöä vai hyödynnetäänkö jäähdytysvesikiertoon sitoutunutta ilmaista energiaa. Jäähdytysvesikierto tulisi kuitenkin pitää lattialämmityskierrosta erillään ja lämpöenergian voisi ottaa jäähdytysvedestä lämmönvaihtimen avulla lattialämmityksen käyttöön. Tällä tavalla molemmat vesikierrat pysyisivät ominaan ja mahdolli-

sen vikatilanteen tai vaurion sattuessa vesikierto olisi rajoitettavissa huoltotöiden helpottamiseksi. Vaihtoehtoina voisi pitää joko jäähdytysvesisäiliöön sisälle sijoitettavaa lämmönvaihdinpatteria tai aivan erilliseksi rakennettavaa kiertoa, jossa nykyisestä putkistosta johdettaisiin lämmin vesi kiertämään lämmönvaihtimen läpi.

Lämmönvaihdin on laitekomponentti, jolla siirretään lämpöenergiaa nesteestä toiseen. Nesteet eivät pääse sekoittumaan keskenään vaan virtaavat omissa kanavissaan ja lämpöenergia välittyy johtamalla lämmönvaihtimen rakenteen läpi nesteestä toiseen. Lämmönvaihtimia on monia erimallisia mm. lämpöputkia ja levylämmönsiirtimiä. Levylämmönsiirrin on näistä tehokkain siirtämään lämpöenergia jäähdytysvesikierrosta maalämpöpumpun nestekiertoon suuren lämmönsiirto pinta-alansa johdosta.

Otettaessa jäähdytysvesikierrosta lämpöenergiaa pois helpottuisi myös lauhdutintilalaitteiston toiminta madaltuneen entalpiatason ansiosta, jolloin energiaa säästyttyä myös tätä kautta vähentyneenä jäähdytysvesikierron tarpeena. Myös mahdollisen vikatilanteen sattuessa lauhdutinkierto voisi jäähdytysvesikierron toimintaa varmentaa ja varoaikaa pidentää, kun lämpöenergiaa saataisiin vaihtoehtoisella tavalla pois jäähdytysvesikierrosta.

Kustannukset tällaiselle järjestelmälle tulisivat lämpöpumpun ja lämmönvaihtimen hankinnasta sekä putkiston rakennus- ja muutostöistä. Kustannuksista suurin yksittäinen hankintakulu tulisi lämpöpumpun osalta. Järjestelmän muutostöiden tuomista säästöistä tehtiin teoreettinen laskelma muutoksien takaisinmaksuajasta.

Sartoriukselta saatujen tietojen mukaan tehdasrakennuksen kokonaistilavuus on 19600 m^3 , josta lattialämmitettyä tilavuutta on 1260 m^3 eli 6,4 prosenttia kokonaistilavuudesta. Kaukolämmön kulutus on ollut vuosina 2011 - 2015 keskimäärin 804,8 MWh. Kaukolämmön arvonlisäveroton hinta on ollut 41,94 €/MWh (lokakuu 2015). Sähkön keskihinta on 6,75 s/kWh sähköveroineen. Hinta on eri talvi- ja kesäpäivinä, laskelmassa on käytetty näiden keskiarvoa. Laskuissa ei ole huomioitu kaukolämmön tai sähkön perusmaksuja.

Lattialämmitteisen tilavuuden osuus kaukolämmön kokonaiskulutuksesta

$$804,8 \text{ MWh/v} * 6,4\% = 51,5 \text{ MWh/v}$$

Lattialämmitteisen tilavuuden kokonaisvuosikustannus

$$51,5 \text{ MWh} * 41,94 \text{ €/MWh} = 2160 \text{ €/v}$$

Oletetaan, että hankittavan maalämpöpumpun hyötysuhde eli COP-arvo on 5, eli 1 KWh sähköä tuottaa 5 KWh lämpöä lattialämmitykseen. Tällöin lattialämmitykseen tarvittava sähköenergian määrä on 20 % kaukolämmön määrästä.

$$51,5 \text{ MWh/v} * 20\% = 10,3 \text{ MWh/v}$$

Kokonaiskustannus lattialämmitykselle maalämpöpumpun avulla saadaan kertomalla tarvittava sähköenergia sähköenergian hinnalla

$$10,3 \text{ MWh/v} * 67,5 \text{ €/MWh} = 695 \text{ €/v}$$

Säästöä kaukolämmön kulutukseen verrattuna tulee maalämpöpumpun avulla

$$2160 \text{ €/v} - 695 \text{ €/v} = 1465 \text{ €/v}$$

Oletetaan, että lämpöpumpun hankintahinta on 10000 €, lämmönvaihtimen hinta 5000 € ja putkistomuutoksiin tarvittavan työn hinta 5000 €. Kokonaiskustannukset muutoksille ovat 20000 €.

Takaisinmaksuaika muutoksille kertyvillä säästöillä

$$20000 \text{ €} / 1291 \text{ €/v} = 13,7 \text{ vuotta.}$$

7 YHTEENVETO

Työ keskittyi arviointiin ja suunnitelmiin, joten tulokset järjestelmän toimintavarmuuden parantumisesta tulevat vasta myöhemmin kunnossapitotöiden seurauksena.

Sartorius Biohit Liquid Handling Oy:n kunnossapitohenkilöstö on hyvin koulutettua, osaavaa ja oma-aloitteista. Tämä mahdollistaa kunnossapitotehtävien laatimisen hyvin karkealla ohjeistuksella. Kunnossapito- ja erilaiset tilatut työtehtävät tehdään kiireellisyysjärjestyksessä, jolloin järjestelmien parantaville toimenpiteille jää myös sopivasti aikaa.

Opinnäytetyötä varten tutustuttiin läheisesti standardiin SFS 5438, joka määrittelee vika- ja vaikutusanalyysin ja sen tekemisen. Tätä standardin tarjoamaa analyysia käytettiin hyväksi arvioitaessa riskejä jäähdytysjärjestelmän toiminnassa.

Jäähdytysjärjestelmää varten tehdyssä riskiarvioinnissa tuli paljon esille asioita, joita ei ole huomioitu aiemmin kunnossapidossa. Järjestelmä on toiminut pääsääntöisesti hyvin, lukuun ottamatta muutamaa rikkoutumista pumpppujen tai venttiilien osalta. Nyt kuitenkin itse putkiston materiaali alkaa olemaan kulunutta ja järjestelmässä kiertävä korroosiomateriaali aiheuttaa ongelmia järjestelmän eri komponenteissa. Lisäksi riskiarvioinnissa tuli esille kunnossapitotehtäviä ja toimintoja, joita oli huomioitu käytön yhteydessä. Näistä mainittakoon asennuksiin liittyvät vinkit ja huomiot, joita jokainen kunnossapitoasentaja oli oppinut työurallaan. Nämä huomiot jakautuivat myös muille kunnossapitohenkilöille tiedoksi.

Jo riskiarviota tehtäessä tuli selväksi, että aiempien huoltotöiden yhteydessä oli erilaisia putkistoja muutettu komposiittirakenteeseen, ja se oli todettu hyväksi, helpoksi ja nopeasti rakennettavaksi ja lähes huoltovapaaksi. Näin ollen komposiittirakennetta suosittiin myös tässä riskiarvioinnissa rakenteiden parantamiseksi.

Riskiarviossa nousi esiin vaarallinen tilanne, joka voisi johtaa jopa henkilövahinkoihin kompressorijärjestelmästä vuotavan jäähdytysaineen takia. Todennäköisyys tällaiseen tapahtumaan on hyvin pieni mutta huomioitava. Siksi olisi suosi-

teltavaa asentaa ilmanvaihtohuoneeseen varoitusjärjestelmä, joka varoittaisi järjestelmän mahdollisesta vuodosta. Vuotava jäähdytysaine voi aiheuttaa jopa syvän tajuttomuuden aineelle altistuttaessa.

Todennäköisimmäksi toimintahäiriön syyksi todettiin automaation aiheuttama viikatilanne. Kuitenkin riskiarvioinnissa automaatio jätettiin tarkemmin arvioimatta ja arvioinnissa keskityttiin järjestelmän materiaaleihin ja toimilaitteiden kuten pumpujen ja venttiilien rakenteisiin.

Riskiarvioinnin lisäksi jäähdytysjärjestelmälle suunniteltiin toimenpide, jolla saataisiin järjestelmää yksinkertaistettua. Tämä suunnitelma tehtiin karkealla luonnostuksella, jonka perusteella kunnossapitohenkilöstö kyllä pystyisi työn tekemään. Työn tekeminen jätettiin odottamaan sopivaa hetkeä, jolloin se onnistuisi muilta kunnossapitotehtäviltä.

Opinnäytetyössä kuvattiin mahdollisuutta käyttää jäähdytysjärjestelmään sitoutunutta lämpöenergiaa hyödyksi kiinteistön lämmitykseen. Tätä kautta saataisiin säästöjä madaltuneina kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmäkustannuksina sekä hyödyttäisiin myös jäähdytysjärjestelmän parantuneella toimintavarmuudella häiriötilanteessa.

Teoreettisella tasolla laskettu lattialämmityksen muutostyön hinta on kertaluontoisena maksuna suurehko ja takaisinmaksu näille kustannuksille on pitkä. Kuitenkin huomioon tulee ottaa myös madaltuneet kustannukset jäähdytysjärjestelmän käyttökustannuksissa. Muutostyön jälkeen lattialämmityksestä koituvat kustannukset ovat huomattavasti pienempiä, jopa alle 25 prosenttia nykyisestä kustannuksesta. Käyttöikä maalämpöpumpuilla on 20 vuoden luokkaa jolloin ne tarvitsevat laitteiston uusimista. Lämmönvaihtimilla käyttöikä on kuitenkin oletettavasti huomattavasti pidempi. Mahdollisesti tulevaisuudessa lämpöpumppujen hinnat voivat madaltua ja hyötyarvot voivat ovat nykyistäkin parempia, jolloin järjestelmän muutostyö ja laitteiston hankinta on takaisinmaksuajan kannalta järkevämpi.

LÄHDELUETTELO

- [1] Biohit oy:n kotisivut <<http://www.biohit.com/fi/historia>> Luettu 2.12.2015
- [2] Biohit oy:n kotisivut < <http://www.biohit.com/fi/yritys> > Luettu 2.12.2015
- [3] SFS 5438. 1988. Järjestelmän luotettavuuden analysointimenetelmät. Viika- ja vaikutusanalyysi (VVA) Helsinki: Suomen standardisointiliitto SFS
- [4] Mikkonen & Kautto. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapitokäsikirja. Helsinki: KP-Media oy
- [5] Järviö, Piispa, Parantainen, Åström. 2007. Kunnossapito. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10. Helsinki: KP-Media oy

VAKAVUUS	KUVAUS	ASTE
EI VAIKUTUSTA	Ei asiakkaan havaitsemaa vaikutusta. Virheellä ei ole mitään vaikutusta tuotantolinjaan.	1
MITÄTÖN	Erittäin mitätön vaikutus tuotantolinjaan. Hyvin pieni osa tuotteesta täytyy korjata tuotantolinjalla. Vaikutuksen havaitsevat vain harvat tarkkaavaiset asiakkaat.	2
VÄHÄINEN	Vähäinen vaikutus tuotantolinjaan. Pieni osa (< 5%) tuotteista on korjattava tuotantolinjalla. Keskiertoasiakas havaitsee vaikutuksen.	3
VÄHEMMÄN OLEELLINEN	Hyvin vähän vaikutusta tuotantolinjaan. Tuotteita voi joutua valikoimaan ja kohtalainen osa (< 10 %) tuotteista on korjattava tuotantolinjalla. Suurin osa asiakkaista havaitsee vaikutuksen.	4
MELKO OLEELLINEN	Vähän vaikutusta tuotantolinjaan. Kohtalainen osa (< 15 %) tuotteista on korjattava tuotantolinjalla. Asiakkaat ovat jonkin verran tyytymättömiä.	5
OLEELLINEN	Kohtalainen vaikutus tuotantolinjaan. Kohtalainen osa (< 20 %) tuotteista on romutettava. Vaikutus on asiakkaille epämieluisa.	6
VAKAVA	Suuri vaikutus tuotantolinjaan. Osa (> 30 %) tuotteista on romutettava. Prosessi ehkä pysähtyy. Asiakkaat ovat tyytymättömiä.	7
ERITTÄIN VAKAVA	Suuri vaikutus tuotantolinjaan. Lähes 100 % tuotteista on romutettava. Prosessi on epäluotettava. Asiakkaat ovat erittäin tyytymättömiä.	8
KRIITTINEN / VAROITUS	Saattaa aiheuttaa vaaraa käyttäjälle tai laitteistolle. Vaikuttaa prosessin toiminnalliseen turvallisuuteen ja/tai tekee prosessista lakien tai asetusten vastaisen. Vika varoittaa esiintymisestään.	9
KRIITTINEN / EI VAROITUSTA	Saattaa aiheuttaa vaaraa käyttäjälle tai laitteistolle. Vaikuttaa prosessin toiminnalliseen turvallisuuteen ja/tai tekee prosessista lakien tai asetusten vastaisen. Vika ei varoita esiintymisestään.	10

ESIINTYMISTIHEYS	Cpk	KUVAUS	ASTE
< 1 / 1 500 000	1,67	Virhe on hyvin epätodennäköinen. Virheitä ei koskaan havaittu samantyyppisissä prosesseissa.	1
1 / 150 000	1,50	Harvoja virheitä. Yksittäiset virheet yhdistettävissä samantyyppisiin prosesseihin.	2
1 / 15 000	1,33		3
1 / 2 000	1,17	Satunnaisia, ajoittaisia virheitä. Virheet yhdistettävissä samantyyppisiin prosesseihin, mutta ei suuressa määrin.	4
1 / 400	1,00		5
1 / 80	0,83		6
1 / 20	0,67	Toistuvia virheitä. Samantyyppisissä prosesseissa on usein virheitä.	7
1 / 8	0,51		8
1 / 3	0,33	Prosessin virheet ovat melkein väistämättömiä.	9
> 1 / 2	< 0,33		10

HAVAITTAVUUS	KUVAUS	ASTE
TÄYSIN VARMA	Prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat täysin varmasti (99,99 %)	1
HYVIN VARMA	Erittäin suuri todennäköisyys (99,9 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat. Gage R&R < 5 % toleranssialueesta.	2
VARMA	Suuri todennäköisyys (99,7 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat.	3
KOHTALAISEN VARMA	Kohtalaisen suuri todennäköisyys (99 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat.	4
KOHTALAINEN	Normaali todennäköisyys (98 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat. Gage R&R > 10 % toleranssialueesta.	5
ALHAINEN	Pienuhkö todennäköisyys (97 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat.	6
HYVIN ALHAINEN	Pieni todennäköisyys (96 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat.	7
HEIKKO	Hyvin pieni todennäköisyys (95 %), että prosessin ohjaus / valvonta havaitsee mahdolliset viat.	8
HYVIN HEIKKO	Prosessin ohjaus / valvonta ei todennäköisesti (68 %) havaitse mahdollisia vikoja. Testaus on puutteellista.	9
OLEMATON	Prosessin ohjausta / valvontaa ei ole tai testausmenetelmä on epäluotettava.	10

		KRIITTISYYSVERKKO ELI RISKITASOESITYS										
E S I I N T Y Y S	10	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	
	9	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Taso IV		Red	Red	
	8	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Taso IV		Red	Red	
	7	Blue	Blue	Blue	Blue	Taso III		Yellow	Taso IV		Red	
	6	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Yellow	Taso IV		Red	
	5	Taso II		Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Taso IV		Red	
	4	Green	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Taso IV		Red	
	3	Green	Green	Green	Blue	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Taso IV		Red
	2	Taso I			Green	Blue	Blue	Yellow	Yellow	Taso IV		Red
	1	Green	Green	Green	Green	Green	Blue	Yellow	Yellow	Taso IV		Red
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
		VAKAVUUS										
Taso I	=	Merkityksetön. Systemi vaurioituu, mutta sen toimintakyky säilyy, ei uhkaa terveydelle.										
Taso II	=	Marginaalinen. Potentiaalinen uhka systeemin toimintakyvyn menetykselle ja/tai mahdollinen uhka terveydelle.										
Taso III	=	Kriittinen. Vakava uhka systeemin toimintakyvyn menetykselle ja/tai vakava uhka terveydelle.										
Taso IV	=	Katastrofi. Systeemin toimintakyky menetetään ja/tai henkilövahinkoja.										