



samk

Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

ROOPE ELO

Jäähdytys- ja kylmälaitteiden elinkaari

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2023

TIIVISTELMÄ

Elo, Roope: Jäähdytys- ja kylmälaitteiden elinkaari
Opinnäytetyö, AMK
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Syyskuu 2023
Sivumäärä: 43

Työssä tutkittiin jäähdytys- ja kylmälaitteistojen elinkaarta. Quant Finland Oy vastaa Boliden Harjavallan LVI-puolen kunnossapidosta ja työtä helpottamaan päivitettiin tässä työssä valmistunut elinkaarilistaus. Tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää laitteille korvausinvestoinnin aikataulu, jonka avulla voidaan tarkastella mitä koneita on tulevana vuosina menossa vaihtoon.

Työn seurauksena laitteet voidaan lisätä Bolidenin omaan kunnossapitojärjestelmään, mikä helpottaa kyseisen laitteen kustannusmäärittelyä jokaisella laitteella ollessa oma Maximon laitenumero. Laitteen korjaus- ja huoltokustannusten lisääntyessä merkittävästi voidaan todeta laitteen olevan tulossa elinkaarensa loppuun eli laite kannattaa uusia.

Työ aloitettiin kiertämällä jokainen rakennus läpi ja etsimällä jäähdytyslaitteet kyseisistä rakennuksista, jonka jälkeen laitteiden tiedot syötettiin elinkaarilistaukseen. Elinkaarilistauksesta löytyviä tietoja ovat mm. valmistaja, malli, valmistusvuosi, käyttöönottovuosi, kylmä-aine, tekninen käyttöikä, sekä eri parametreihin perustuva laskennallinen korvausinvestoinnin aikataulu.

Tutkimusten perusteella todettiin laitteiden käyttöiän olevan n.20 vuotta, mutta sen käyttäminen suoraan on vaikeaa, koska siihen vaikuttaa laitteen sijainti alueella. Tämän vuoksi jokaiselle laitteelle määritettiin aluekerroin, jonka perusteella pystytään sovittamaan laitteen elinikää sen sijaintiin perustuen. Tutkimuksen perusteella ei kuitenkaan voida täysin luottaa annettuihin elinkaaren odottamiin, koska jokainen laite on yksilö ja elinikä vaihtelee eri laitteiden välillä eli luvut ovat vain suuntaa antavia.

Tutkimusten kautta havaittiin, että kaksi jäähdytyslaitetta oli tullut elinkaarensa päähän eli elinkaarisuunnittelun kannalta ne olisi jo pitänyt vaihtaa. Lisäksi viiden laitteen elinkaari tulee päätökseen seuraavan vuoden sisällä. Oli myös joitakin laitteita joiden elinkaarta ei pystytty erinäisten syiden vuoksi määrittelemään.

Tulevaisuudessa laitteiden dokumentointia on hyvä parantaa, sillä sen avulla pystytään helpottamaan työmäärää huomattavasti, jos tiedot otetaan ylös silloin kun ne ovat tarjolla.

Avainsanat: Kylmätekniikka, elinkaari, jäähdytyslaitteet, kylmäaine, kunnossapito, jäähdytystekniikka, Harjavallan Suurteollisuuspuisto, vedenjäähdytyskone

Abstract

Elo, Roope: Life cycle of cooling- and refrigeration equipment
Bachelor's thesis
Construction and Municipal Engineering
September 2023
Number of pages: 43

The work investigated the life cycle of cooling and refrigeration equipment. Quant Finland Oy is responsible for the maintenance of the HVAC systems of Boliden Harjavalta and to make the job easier, I made this life cycle inventory. The purpose of the study was to determine the replacement interval for the devices, which allows us to always review at the beginning of the year which machines are going to be replaced that year.

As a result of the work, the devices can be added to Boliden's own database, which makes it easier to determine the cost of device in question, as each device has its own Maximo device number. As the repair and maintenance costs of the device increase significantly, it can be concluded that the device is reaching the end of its life cycle, so the device should be replaced with a similar new device.

The work started by going through each building and looking for the cooling devices in those buildings, after that the information about devices was entered into the life cycle list. Information in life cycle list are for example manufacturer, model, year of manufacture, year of commissioning, refrigerant, technical service life and when the device will reach the end of its life cycle.

Based on the research, I found that the life of the equipment is 20 years, but using it in the conditions of the Boliden is impossible, because the air quality is different. That reason, a range coefficient was determined for each device, on the basis of which it is possible to match the device's lifetime from its actual lifetime under normal conditions to factory conditions. Based on the research, we can't fully rely on the life expectancy given, because each device is an individual and the life span varies between different devices, so the numbers are only indicative.

Through research, it was discovered that two cooling devices had reached the end of their life cycle, which means that their replacement is late. In addition, the life cycle of five devices will come to their end within next year. There were also some devices whose life cycle couldn't be defined for various reasons. In the future, it would be good to improve the documentation of the devices, because it will make the workload considerably easier, if the information is taken down when it is available.

Keywords: Refrigeration, life cycle, refrigerating equipment, refrigerant, maintenance, refrigeration engineering, water chiller

ALKUSANAT

Haluan kiittää Quant Finland Oy:ta ja Jani Ekmania loistavan aiheen tarjoamisesta minulle. Projektina työn kirjoittaminen oli mielenkiintoinen ja opettavainen, josta on hyötyä minulle varmasti myös tulevaisuudessa. Erityiset kiitokset myös Quantin puolesta työni ohjaajalle Anssi Näkille, sekä koulun puolesta Teppo Kiviojalle. Haluan kiittää myös jokaista muuta Quantin henkilökunnan jäsentä, joka työssä on toiminut auttavana kätenä.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TOIMEKSIANTAJA.....	8
2.1 Quant.....	8
2.2 Boliden	9
3 JÄÄHDYTYSLAITTEET.....	10
3.1 Kompressorijäähdytyslaitteen toiminta.....	11
3.2 Nykyiset jäähdytysjärjestelmät	13
3.3 Kylmäaineet	18
3.3.1 Yleistä kylmäaineista	18
3.3.2 Kylmäaineiden ongelmat	18
3.3.3 Alueella käytettävät kylmäaineet	19
3.4 Jäähdytyslaitteen komponentit	19
3.4.1 Kompressori	19
3.4.2 Lauhdutin.....	21
3.4.3 Paisuntaventtiili	22
3.4.4 Höyrystin	24
4 JÄÄHDYTYSLAITTEIDEN HUOLTO	26
5 ELINKAARI	28
5.1 Jäähdytyskoneen elinkaari	29
5.2 Suurteollisuuspuiston olosuhteiden vaikutukset todelliseen elinkaareen	30
5.3 Laitteen ja sen osien elinkaari	32
6 TUTKIMUSMENETELMÄT	34
7 TULOKSET	36
7.1 Vanhentuneet jäähdytyslaitteet	36
7.2 Vuoden sisällä vanhentuvat jäähdytyslaitteet	37
7.3 Tyyppikilvettömät jäähdytyslaitteet.....	37
7.4 Tulosten käyttäminen.....	39
8 POHDINTA	40
8.1 Luotettavuus ja virhetekijät	40
8.2 Opinnäytetyön tekeminen	40
8.3 Parannusehdotukset.....	41
LÄHTEET	42
LIITE 1.....	44

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Kylmätekniikka = Tekniikkaa, jonka avulla tavoitellaan ympäristöä kylmempiä lämpötila. Lämpötilat saadaan aikaan erilaisilla kylmäkoneilla.

Elinkaari = Tarkoittaa tuotteen eri vaiheiden aikaväliä valmistumisesta, tuotteen loppusijoitukseen.

Jäähdytyslaite = Laite, jolla pyritään viilentämään tilaa ylikuumenemiselta.

Kylmäaine = Synteettinen tai luonnon oma neste, jolla on alhainen kiehumispiste. Sen vuoksi sitä voidaan käyttää jäähdytystekniikassa.

Kunnossapito = Kokonaisuus, jolla pyritään huolehtimaan rakennuksen ja prosessien toimintakunnosta.

Vedenjäähdytyskone = Jäähdytyskone, jolla vettä viilennetään ja sitä voidaan jakaa esimerkiksi jäähdytyspatterille, jolloin ilmanvaihdossa ilma viilentyy ja näin ollen tuloilma jäähdyttää tilaa.

Kaappikone = Jäähdytyskone, joka jäähdyttää ilman ja puhaltaa sitä tilaan, jolloin tila jäähtyy.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöhön aloite tapahtui Quant Finland Oy:n Harjavallan yksiköstä, joka on osa Boliden Harjavalta Oy:n kunnossapitotiimiä. Bolidenin tiloissa sijaitsee useita eri jäähdytys- ja kylmälaitteita. Laitteista on olemassa LCM-listaus, mutta siitä puuttuu erittäin paljon tietoja tai tiedot ovat vanhentuneet.

Opinnäytetyön tarkoituksena on päivittää lista ajan tasalle, keräten laitteesta tarpeellista tietoa. Tarpeellista tietoa ovat laitteen ja lauhduttimen malli, valmistusvuosi, sekä käyttöönottovuosi. Tiedot tullaan keräämään laitteiden kyljissä olevista laitekilvistä. Lisäksi pyritään keräämään muitakin hyödyllisiä tietoja, jos niitä on saatavilla, kuten käytetty kylmäaine ja sen määrä.

Edellä mainittujen tietojen keräämisen jälkeen tarkoitus on muodostaa jokaiselle laitteelle elinkaari. Elinkaaren avulla voidaan tarkastella missä kunnossa laite on ja kuinka paljon sen suunniteltua elinkaarta on vielä jäljellä. Näin pystytään hyvissä ajoin jo ehdottamaan mitkä laitteet alkaisivat olla lähivuosina vaihtokunnossa niin, että asiakas osaa varautua niiden vaihtoon ja kustannuksiin.

Työtä on rajattu kahdella eri rajauksella. Työhön eivät kuulu ilmalämpöpumput, eivätkä alle 10 kW laitteet. Tarkasteltavia laitteita ovat jäähdytyskaappikoneet, tuloilmakoneiden jäähdytyslaitteet ja vedenjäähdytyskoneet. Tuloilmakoneiden jäähdytyspattereista puhutaan listauksessa koneikkoina. Laitemerkkejä alueella on useita erilaisia, mutta eniten käytettyjä ovat Chiller, Geodata, RC Group, Toshiba, Mitsubishi, Frigor Tec, Daikin, Airwell ja Hitachi.

2 TOIMEKSIANTAJA

2.1 Quant

Quant on toiminut jo yli 30 vuoden ajan kunnossapitopalveluiden tuottajana teollisuudessa maailmanlaajuisesti. Toimipaikkoja eri puolilla maailmaa löytyy 400 ja pääkonttori sijaitsee Ruotsin Tukholmassa. Työntekijöitä Quantin listoilta löytyy n. 3100 ja lisäksi se työllistää myös useita eri alihankkijoita. (Quant, 2023)

Quant Finland Oy:n pääkonttori sijaitsee Vantaalla ja kotipaikaksi on merkitty Helsinki. Yrityksen liikevaihto on ollut viime vuosina vahvassa nousussa. Vuonna 2020 liikevaihto tuplaantui yhden vuoden aikana 27,6 miljoonasta eurosta, 54,4 miljoonaan euroon. Vuoden 2021 tilinpäätöksessä liikevaihto näyttää lukemaa 52,2 miljoonaa euroa ja tilikauden tulos oli miinusmerkkinen sen ollessa -3,2 miljoonaa euroa. Quant Finland Oy on perustettu vuonna 2013 ja sen yhtiömuotona toimii osakeyhtiö. Vuoden 2021 tilikaudella Quant Finland Oy:n työntekijöiden määrä oli 476 ja niiden määrä edellisvuoteen verrattuna pienin muutamalla kymmenellä työntekijällä. (Finder, 2023)

Osana Bolidenin kunnossapitotiimiä Quant on ollut jo vuoden 2017 tammikuusta. Henkilökuntaa osana tiimiä on vajaa 30 henkilöä. Yksikkö on jaettu pienempiin osiin. Infra-tiimi vastaa rakennuspuolen ja junaradan kunnossapitotehtävistä, LVI-tiimi vastaa lämpö-, vesi- ja ilmanvaihtotehtävistä ja nosturi-tiimi nostureiden huollosta ja ylläpidosta. Lisäksi sopimukseen kuuluu pyörivien laitteiden kunnonvalvontaa ja kattilakolistajien huoltoon liittyviä tehtäviä.

2.2 Boliden

Boliden on yksi tehokkaimmista kuparin, sekä nikkelin tuottajista maailmassa. Harjavallassa sijaitseva tehdas on ollut sillä paikallaan jo vuodesta 1936 ja osaksi Bolidenia se siirtyi vuonna 2004. Henkilöstömäärä Bolidenilla oli vuonna 2022 547 henkilöä. (Boliden, 2023)

Kuparin ja nikkelin lisäksi Bolidenissa valmistuu kultaa ja hopeaa. Sivutuotteena valmistetaan myös rikkihappoa. Ympäristöystävällisyys näkyy isona osana Bolidenin toimintaa, koska rikkidioksidipäästöt yhtä nikkelitonna kohden ovat maailman pienimpiä, kun niitä verrataan muihin nikkelisulattoihin. Lisäksi raaka-aineina käytetään kierrätettyä metallia, sekä rikasteita. Rikasteet ovat lähtöisin Bolidenin omilta kaivoksilta sekä ulkopuolisilta kaivoksilta. Tuotantomääriä vuonna 2022 Bolidenilla on kuvattu eri tuotteiden osalta alla olevassa taulukossa (Taulukko 1). (Boliden, 2023)

Taulukko 1 Bolidenin tuotantomäärät Harjavallan Suurteollisuuspuistossa (Boliden, 2023)

Tuote	Määrä (kg)
Rikkihappo	715 000 000
Kupari	151 000 000
Nikkeli	19 000 000
Kulta	7 000
Hopea	83 000

3 JÄÄHDYTYSLAITTEET

Työhön sisältyviä jäähdytyslaitteita, joita alueella sijaitsee ovat vedenjäähdytyskoneet (kuva 1), kaappikoneet (kuva 2) ja IV-koneiden jäähdytyspatterit. Alueelta löytyy myös muutamia kohteita, joissa jäähdytys toimii vapaajäähdytyksellä eli aine käy vain jäähtymässä ulkoilmassa lauhduttimella ja palaa takaisin. Tällä tavalla säästetään energiaa, mutta jäähdytystarpeen ollessa suurimmillaan eli kesällä siitä ei ole hyötyä. Tämä tapahtuu siis ilman kylmäainetta.



Kuva 1 Clintin vedenjäähdytyskone. (Elo, 2023)



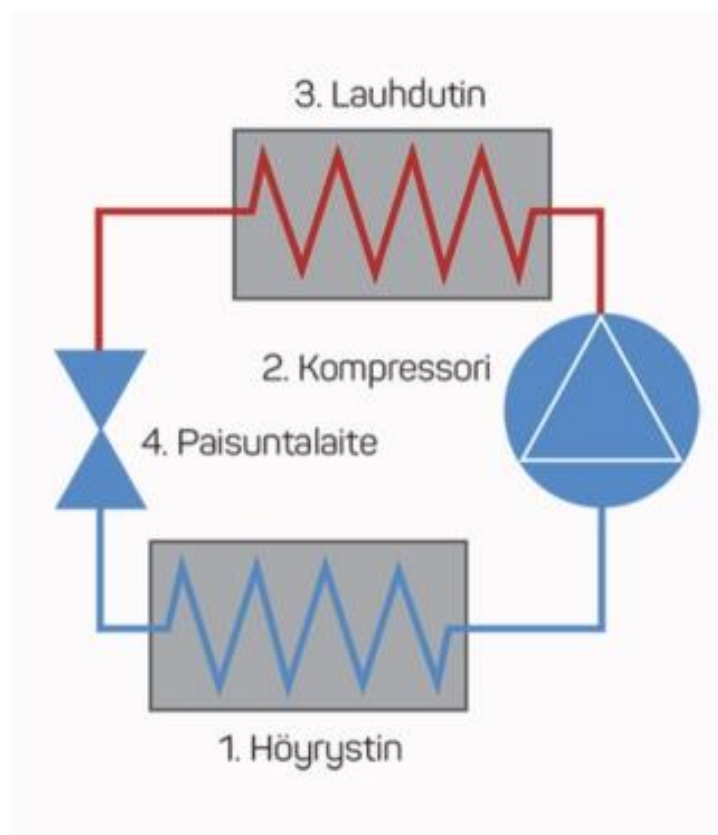
Kuva 2 Chillerin kaappijäähdytyskone. (Elo, 2023)

Jäähdytyslaitteet ovat erittäin tarpeellisia ja useissa tapauksissa jopa välttämättömiä, jotta lämpötilat saadaan tiloissa pidettyä alhaalla, eivätkä ne pääse nousemaan liian korkeiksi. Liian korkeat lämpötilat saattavat aiheuttaa vahinkoa laitteille, joita tiloissa on. Erityisen tärkeitä juuri Harjavallan Suurteollisuuspuistossa ovat sähkö- ja instrumenttitilat. Esimerkiksi sähkötiloissa taajuusmuuttajat ovat erittäin herkkiä kuumuudelle. Joissakin tapauksissa, kun jäähdytin on mennyt häiriölle on ollut huomattavissa, että tilan lämpötila nousee jo erittäin nopeasti yli 30 celsiusasteen.

3.1 Kompressorijäähdytyslaitteen toiminta

Kylmäprosessi perustuu aineen olomuodon muutokseen. Mahdollisia olomuotoja ovat kiinteä, nestemäinen ja kaasumainen. Veden käyttö

havainnollistavana esimerkkinä on helppoa, sillä vesi voi olla kiinteänä jäätä, nesteenä vettä ja höyrystyneenä vesihöyryä. Olomuodon muuttuessa myös sen molekyyli rakenne muuttuu, jolloin aineesta vapautuu tai aine sitoo energiaa itseensä. Aineen lauhtuessa lämpö määrää vapautuu yhtä suuri määrä kuin sen höyrystämiseen tarvitaan. Kompressorilla tapahtuvan jäähdytyksen toiminta on havainnollistettu yksinkertaiseen muotoon kuvassa 3, jossa on esillä pääosat eli höyrystin, kompressor, lauhdutin ja paisuntalaite. (Kylmaextra, 2020)



Kuva 3 Yksinkertaistettu jäähdytysjärjestelmän toiminta (Kylmaextra, 2020)

Kompressorilla tapahtuva jäähdytys on yleisin jäähdytysmuoto, jota käytetään tilojen jäähdytykseen. Kompressorilla tapahtuvissa jäähdytysmuodoissa jäähdyttäminen tapahtuu suljetussa piirissä, joka sisältää kylmäainetta. Kompressorilla vaikuttaa kylmäaineen paineeseen ja se suurentaa kylmäaineen painetta. Silloin kylmäaine lämpenee ja lopulta kaasuuntuu. Kaasu kulkeutuu lauhduttimen läpi, jolloin se jäähtyy ja palautuu takaisin nesteeksi. Neste virtaa paisuntaventtiilin lävitse, minkä takia sen paine laskee ja aine jäähtyy.

Jäähtymisen jälkeen sen matka jatkuu höyrystimelle, jossa aineen kylmyys siirtyy suoraan jäähdytysaineeseen, mikä voi olla joko vesi tai ilma. Tämän jälkeen vesi tai ilma liikkuu paikkaan, jossa jäähdytystä tarvitaan. (Swegon, 2023)

Järjestelmässä oleva lauhdutin voi sijaita joko ulkona tai sisällä. Yleisesti ottaen ne ovat kuitenkin ulkona. Tässä tapauksessa jäähdytys tapahtuu ulkoilmalla. Jäähdytys tapahtuu nestepiirin kautta, joka käy jäähtymässä ulkona, kun kyseessä on sisätiloissa oleva lauhdutin. Sähköenergialla, jota kompressori käyttää on siis tarkoitus siirtää huoneesta lämmin ilma pois huoneesta, kuten vaikka ulkoilmaan. Jos kyseessä olisi lämpöpumppu, jolla lämmitetään toimintaperiaate olisi muuten sama, mutta päinvastoin eli lämpö siirrettäisiin ulkoilmasta sisätiloihin. (Swegon, 2023)

3.2 Nykyiset jäähdytysjärjestelmät

Bolidenin rakennuksissa sijaitsevat jäähdytyslaitteet, kun ilmalämpöpumppuja ei oteta huomioon jakautuvat vedenjäähdytyskoneisiin, jäähdyttäviin kaappikoneisiin ja koneikkoihin. Jäähdytyslaitteiden tarkoituksena teollisessa käytössä on prosessin toimivuus ja sen toimintavarmuuden parantaminen. Koneikoissa kylmäaine siirtyy lauhduttimelta suoraan jäähdytyspatteriin, joka sijaitsee tuloilmakoneessa. Höyrystin sijaitsee tällöin jäähdytyspatterissa tai vaihtoehtoisesti kaikki osat ovat jo ulkoyksikössä. Näissä tapauksissa ei siis ole erikseen "sisäyksikköä". Laitteiden määrää on kuvattu taulukossa 2. Taulukosta voidaan havaita, että laitteiden lukumäärä yhteensä on 79.

Taulukko 2 Bolidenin jäähdytyskoneiden laitemäärät

Laite	Määrä
Vedenjäähdytyskoneet	27
Kaappikoneet	26
Koneikot	26

Laitteiden määrän ollessa suuri lukumäärältään voidaan todeta myös valmistajien määrän olevan erittäin iso ja alueelta löytyy useiden eri toimittajien toimittamia laitteita. Taulukossa 3 on listattu laitteiden valmistajia ja tuotteiden lukumäärää. Taulukossa ei ole huomioitu lauhduttimien valmistajia, koska useissa kohteissa lauhdutin on eri merkinen kuin sisäyksikkö. Tämän vuoksi koneikkoja ei ole listattu, koska niissä on ainoastaan lauhdutin ja jäähdytyspatteri. Lauhduttimien lukumäärää on kuvattu taulukossa 4.

Taulukko 3 Valmistajien lukumäärä

	Vedenjäähdytyskoneet	Kaappikoneet
Clint	8	0
RC Group	1	4
Chiller	3	1
Carrier	3	0
Mega kojeisto	1	0
Pemco	1	0
Acson	1	0
Trane	1	0
Hyfra	2	0
Montair	0	5
Tecnair	0	3
Airwell	0	3
Airblue	0	1
Stulz	0	1
Geodata	0	4
Uniflair	0	2
Daikin	4	0
Aermec	1	1
Mitsubishi	0	1
Rhoss	1	0

Lauhduttimien lukumäärä jäi laitemäärästä vajaaksi kahdeksan lauhduttimen verran, koska laitteista kolme oli vesilauhdutteisia ja viisi lauhdutinta sijaitsi paikassa, jonne ei ollut mahdollista kulkea. Vesilauhdutteisuudella tarkoitetaan, kun lauhdutus tehdään veteen, ilmaan lauhduttamisen sijaan. Lämmönsiirrin lauhdutuspuolella on erilainen, eikä toista puhallinta tarvita. Lauhdevesi kulkeutuu siis laitteelta lämmönsiirtimeen, jossa virtaa kylmempää vettä kuin lauhdevesi. Lämmönsiirtimessä lauhdeveden lämpö siirtyy kylmään veteen, minkä vuoksi lauhduttimelta laitteelle palaava vesi palaa kylmempänä. Toimintaperiaate vesilauhdutuksessa on täysin sama muilla tavoin ilmaan verrattuna. Haitaksi vesilauhdutuksessa nousee veden hinta, koska vesijohtovedelle kertyy hintaa verrattuna ilmaan lauhduttamisessa. Ilman saaminen on myös lauhduttimelle helpompaa kuin vesijohtoveden, joka vaatii putkituksen. Hyviä puolia vesilauhdutuksessa ovat laitteelle palaavan veden lämpötila, koska se palaa vedestä paljon kylmempänä takaisin verrattuna vaikka huoneilmaan. Vettä tarvitaan myös vähemmän verrattuna ilmaan, koska siinä on suurempi ominaislämpökapasiteetti. Muita hyviä puolia vesilauhdutteisessa laitteessa on sen hiljaisuus, toimintavarmuus ja hankinnan edullisuus. (Tynjälä, 2013)

Kuvassa 4 on kuva eräästä lauhdutinjärjestelmästä Suurteollisuuspuiston alueella. Kuvassa olevat lauhduttimet palvelevat rikkihappotehdas 5:n instrumenttitilan tiloja. Tiloissa sijaitsee 2 kaappikonetta, jotka pyrkivät viilentämään tilaa.



Kuva 4 Friga-Bohnin valmistamat lauhduttimet. (Elo, 2023)

Lauhduuttimien lukumäärää on kuvattu taulukossa 4, johon on listattu laitteiden valmistajat ja määrät. Suosituimmat laitteet alueella lauhduuttimissa ovat Ekocoil, Alfa Laval, RC Group, LU-VE Group ja Toshiba. Frigor Tecin valmistamia laitteita on myös 10 kappaletta ja niitä käytetään nostureissa ohjaamon ja sähkötilojen jäähdytykseen.

Taulukko 4 Lauhduttimien valmistajat

Lauhduttimen valmistaja	Lauhduttimien määrä
Ekocoil	6
Alfa Laval	12
Frigor tec	10
Toshiba	4
RC Group	4
Mitsubishi	2
Airwell	2
Clint	2
Carrier	2
Friga-Bohn	3
Pemco	1
Airblue	1
Danfoss	1
Stulz	1
Montair	1
Rhoss	2
Acson	1
Climaveneta	1
Chiller	2
LU-VE Group	4
Aermec	1
Gree	1
Panasonic	1
Hitachi	3
Uniflair	1
Daikin	1
Refteco	1

3.3 Kylmäaineet

Jäähdytyksessä käytetään kylmäainetta, joka kiertää laitteen putkistoissa siirtäen lämpöä lauhduttimelle ja tulemalla takaisin koneelle jäähtyneenä.

3.3.1 Yleistä kylmäaineista

Kylmäaineita ovat erilaiset luonnossa esiintyvät nesteet. Niitä voidaan tuottaa myös synteettisesti eli kahden tai useamman olemassa olevan aineen yhdisteellä, josta syntyy uusi aine. Kylmäaineiksi luokitellaan aineet, joiden kiehumispiste on matala. Niiden tarkoituksena on siirtää lämpöenergiaa. Tärkein ominaisuus kylmäaineissa on niiden olosuhdemuutokset, koska muuttuvat höyryksi alhaisissa lämpötiloissa, sekä ottavat lämpöä vastaan nestemäisessä olomuodossa. Jäähdyttäessä lämpö pyritään erottamaan huonetilasta, jota höyrystymisen keinoin jäähdytetään. Vapautunut lämpö pyritään siirtämään esimerkiksi ulkoilmaan. (Vaillant, 2022)

3.3.2 Kylmäaineiden ongelmat

Kylmäaineet ovat ongelmallisia erityisesti otsonikerrokselle, sillä vanhat kylmäaineet tuhoavat otsonikerrosta erittäin tehokkaasti. Myöhemmin asian tutkimisen jälkeen on klooripitoiset CFC- ja HCFC-kaasut kielletty, mutta esimerkiksi vielä 2010-luvun alussa R22 merkinen HCFC-kylmäaine oli käytetyin kylmäaine maailmassa. Uusia korvaavia aineita ovat HFC-kaasut, joita ovat esimerkiksi R134A, R407C, R404A ja R410A. Näiden ODP eli otsonikerrosta tuhoava vaikutus on nolla. (Kylmäaine.fi, 2023)

HFC-kaasuista halutaan kuitenkin päästä eroon ilmastonmuutospotentiaalin vuoksi. 2005 voimaan astuneessa Kioton ilmastopöytäkirjassa HFC-kaasut olivat merkittävimpien kasvihuonekaasujen listassa, joista halutaan luopua. Työtä korvaavan kaasun löytämiseksi tehdään jatkuvasti, mutta korvaavaa ainetta ei ole vielä löytynyt. Vuonna 2020 kiellettiin kaasujen käyttö, joissa on

yli 2500 GWP jäähdytyslaitteiden huollossa ja kunnossapidossa. Aineiden käyttö on kuitenkin sallittu vuoden 2029 loppuun asti, jos aine on regeneroitua eli uudenveroseksi kierrätettyä. (Kylmäaine.fi, 2023)

3.3.3 Alueella käytettävät kylmäaineet

Pienissä ilmalämpöpumpuissa käytettävät aineet alueella ovat pääasiassa R32 kylmäainetta. Isommissa jäähdytyslaitteissa, kuten kaappikoneissa ja vedenjäähdytyskoneissa käytetyt aineet ovat R410A-, R450A-, R134A-, R227ea- tai R407C-aineita. Taulukosta 5 huomataan, että R410A on ylivoimaisesti käytetyin kylmäaine alueella. R450A- ja R227ea-kylmäainetta esiintyy ainoastaan nostureiden jäähdytyskoneikoissa.

Taulukko 5 Kylmäaineet ja niiden määrä vedenjäähdytys- ja kaappikoneissa, sekä koneikoissa

Kylmäaine	Laitteiden määrä
R410A	56
R407C	10
R450A	8
R134A	3
R227ea	2

3.4 Jäähdytyslaitteen komponentit

Jäähdytyslaitteen tärkeimmät komponentit ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili, sekä höyrystin.

3.4.1 Kompressori

Kompressorin tehtävänä on korkeamman paineen tuottaminen aineelle puristamisen avulla, jonka se on ensin imenyt höyrystimeltä itseensä.

Kompressoreita on pääasiassa 3 erilaista eli mäntä-, kierukka- ja ruuvikompressoreja. (Siren, 2022, s. 29)

Mäntäkompressoreja käytetään useimmiten pienissä jäähdytystehoissa. Mäntäkompressorin huono puoli on sen kuluminen liikkuvien osien vuoksi, imu- ja paineventtiilien herkkyys kylmäaineen paineiskuille, sekä sen puristustilaan jäävä hyödytön tila. (Siren, 2022, s. 30)

Kierukkakompressorissa paine tehdään kahden kierukan avulla. Toinen kierukka kiertää toisen ympäri ja silloin kierukoiden väliin jää tila, joka pienenee ja aiheuttaa sen vuoksi kylmäaineelle paineen nousua. Kierukka kompressorista on saatu poistettua lähes kaikki mäntäkompressorin heikkoudet, koska niissä ei ole venttiileitä, eikä niihin jää hyödytöntä tilaa. Kierukkakompressorin on myös hiljaisempi ja tärinältään pienempi. Kierukkakompressorista käytetään myös nimeä scroll-kompressorin. (Siren, 2022, s. 31)

Ruuvikompressorissa paine tehdään ruuveilla joko yhdellä tai kahdella. Kahta ruuvia käytetään toki useammin. Tässä tapauksessa ruuvien väliin jäävä tila pienenee puristuksessa, eikä venttiileitä tarvita tai hyödytöntä tilaa jää. Ruuvikompressorit ovat usein tehokkaammissa laitteissa. Ruuvikompressorin voiteluun, tiivistämiseen ja kylmäaineen jäähdyttämiseen käytetään öljyä. Öljyn ansiosta ruuvikompressoreilla voidaan puristaa kovempiin paineisiin. Tärkeää on kuitenkin huolehtia öljyn jäähdyttämisestä ja talteenotosta puristuksen jälkeen. Kuvassa 5 on erilaisia kompressoreja. Vasemmalla hermeettinen, keskellä puolihhermeettinen ja oikealla avoin kompressorin. (Siren, 2022, s. 32)



Kuva 5 Erilaisia kompressoreja (Siren, 2022, s. 33)

3.4.2 Lauhdutin

Lauhduttimet ovat useimmiten ilmajäähdytteisiä, mutta on olemassa myös esimerkiksi vesijäähdytteisiä lauhduttimia. Ilmajäähdytteisessä tapauksessa lauhdutin sijoitetaan ulos. Sen rakenteeseen kuuluu putkisarja, joka pääsääntöisesti on kuparia. Siihen on myös yleisesti liitettyä lamelleja, jotka lisäävät jäähdytyspinta-alaa. Lamellit ovat pääasiassa alumiinia ja kokonaisuudessaan se on yleensä suojattu teräslevyillä. Jäähdytystehoa säädellään puhaltimien avulla. Vaihtoehtoina on käyttää niitä on/off-toiminnolla, jolloin jäähdytystehoa säännöstellään käynnistämällä ja sammuttelemalla puhaltimia tarpeen mukaan. Toinen vaihtoehto on säätää niiden pyörimisnopeutta. Pyörimisnopeuden säätäminen tapahtuu esimerkiksi taajuusmuuttajan avulla, jotka ovat Suurteollisuuspuistossakin yleisiä. Kuvassa 6 on nähtävillä yksi Suurteollisuuspuistossa sijaitseva ilmajäähdytteinen ulkoilmayksikkö. (Siren, 2022, s. 8)

Nestejäähdytteisissä laitteissa jäähdytys tapahtuu moniputkisiirtimessä tai levylämmönsiirtimessä. Tässä tapauksessa lauhdutus voidaan toteuttaa sisätiloissa ja lauhdutinjärjestelmä sijoitetaan yleensä mahdollisimman lähelle kompressorikoneikkoa. Kylmäaineen liitännät toteutetaan niin, että lauhduttimen yläosaan tulee tuloliitäntä ja alaosaan lähtöliitäntä. Neste, joka jäähdyttää kylmäainetta lämpenee lauhdutuksen aikana, jolloin se tarvitsee jäähdyttää esimerkiksi liuosjäähdyttimen avulla tai lämpö voidaan ottaa hyötykäyttöön esimerkiksi jonkin prosessin lämmittämisessä. (Siren, 2022, s. 9)



Kuva 6 Suurteollisuuspuistossa sijaitseva ilmajäähdytteinen ulkoyksikkö. (Elo, 2023)

3.4.3 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin tehtävänä prosessissa on pitää paine-eroa yllä lauhduttimen ja höyrystimen välillä, sekä annostella kylmäainetta höyrystimelle. Sen tavoite on ylläpitää kylmäainehöyryn tulistus asetusarvossa kylmäaineen määrää säännöstelemällä. Höyrystyminen tapahtuu nopeammin, kun ainetta tulee vähemmän ja samalla se tulistuu enemmän. Kylmäaineen määrää suurentaessa tapahtuu taas päinvastoin eli se pidentää höyrystymisaikaa ja näin ollen myös vähentää tulistuksen käytettävissä olevaa lämmönsiirtopinta-alaa. Tämän vuoksi tulistus vähenee. (Siren, 2022, s. 15)

Paisuntaventtiiliä voidaan ohjata pneumaattisella viestillä elimeltä, joka mittaa lämpötilaa. Tällöin puhutaan omavoimaisesta paisuntaventtiilistä. Sähkötoiminen paisuntaventtiili toimii säätö- ja automaatiojärjestelmän avulla. Paisuntaventtiili voidaan toteuttaa myös yksinkertaisesti kapillaariputken avulla. Se aiheuttaa pienen kokonsa avulla suuren painehäviön ja pitää näin paine-eroa yllä. Ongelmana siinä on kylmäaineen annostelu, koska kapillaariputki ei pysty annosteamaan kylmäainetta, vaan sen virtaus syntyy lauhduttimen ja höyrystimen paine-erosta. (Siren, 2022, s. 16)

Tavanomaisin valinta jäähdytysjärjestelmissä paisuntaventtiiliksi on omavoimainen termostaattinen paisuntaventtiili. Siinä kylmäainetytteen tuntoelin on kiinnitettynä höyrystimen jälkeiseen putkeen. Lämpötilan noustessa myös paine tuntoelimessä kasvaa ja tämän jälkeen siirtyy kapillaariputkessa venttiilin kalvolle, jolloin se avaa venttiiliä. Venttiilin avautumista säädetään ruuvilla, joka on vaikutuksessa vastajouseen. Tässä mallissa siihen liitetään myös putki, jonka avulla saadaan tuotua kyllästymispaine höyrystimeltä. Tämän avulla lämpötilan muutos ei vaikuta toimintaan paisuntaventtiilissä. Venttiili siis avautuu, kun tavoiteltu lämpötilaero on saavutettu. Kuvassa 7 voidaan nähdä erilaisia paisuntaventtiileitä. Vasemmalla pneumaattinen, keskellä sähkötoiminen ja oikealla pelkkä kapillaariputki. (Siren, 2022, s. 17)

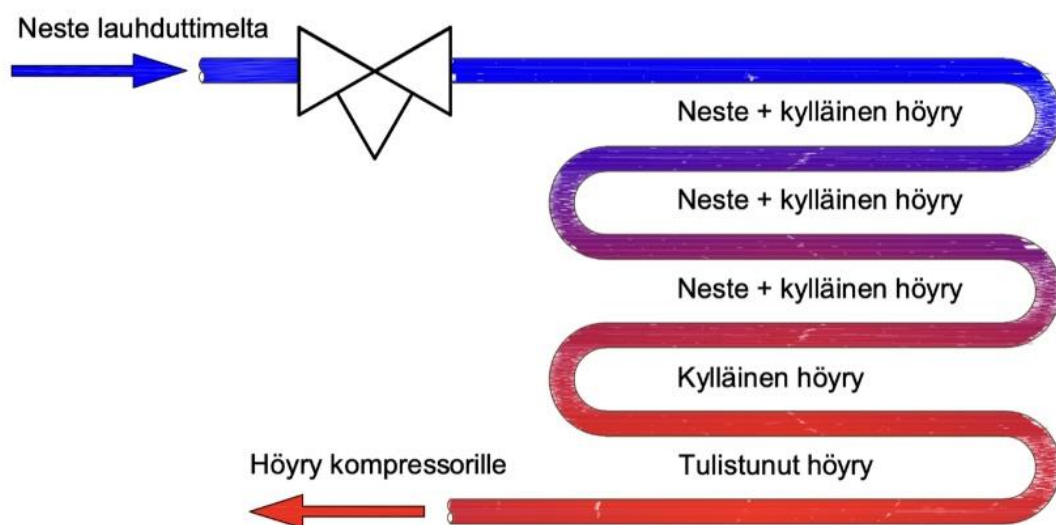


Kuva 7 Erilaisia paisuntaventtiilejä (Siren, 2022, s. 16)

3.4.4 Höyrystin

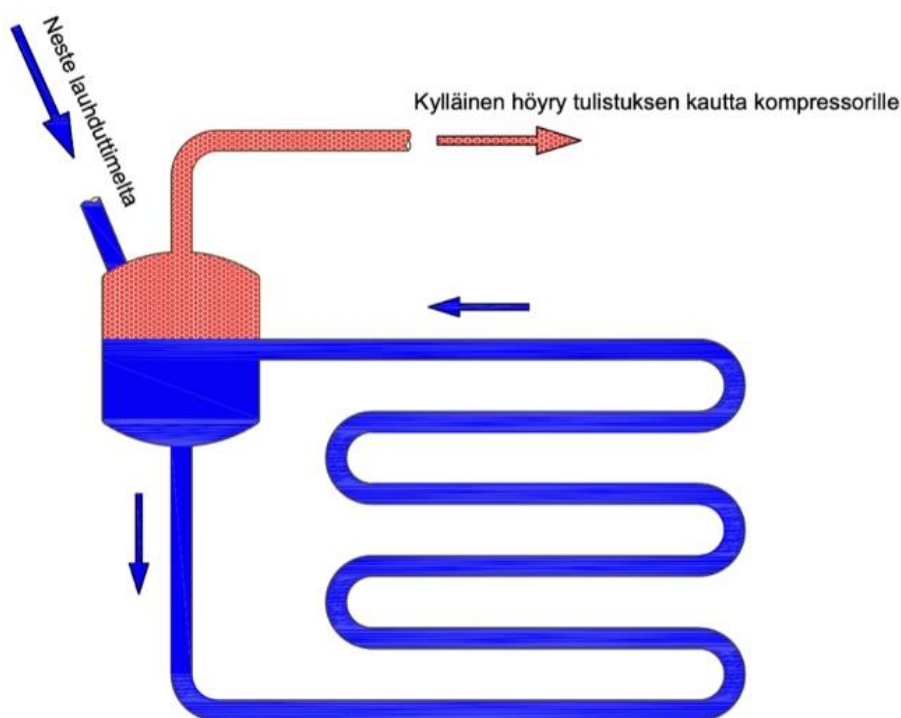
Höyrystimen tyyppiä ovat kuiva ja märkä. Kuivahöyrystyksessä venttiili annostelee kylmäainetta niin, että ensin se höyrystyy ja tämän jälkeen tulistuu. Alkupäässä höyrystintä kylmäaine on pääasiassa nesteenä. Höyrystimen läpi kuljettua aine on muuttunut pääosin kylläiseksi höyryksi ja nesteen osuus on pienentynyt. Lopputuotteena höyrystimeltä tulee tulistunutta höyryä. Lämpö siirtyy höyrystymisessä huomattavasti paremmin jäähdyttävästä tilasta kylmäaineeseen kuin tulistuksessa. Jäähdytystehon koko kapasiteetin käyttöönottoa varten höyrystymistä pitäisi jatkaa aivan loppuun asti, mutta sen jatkamiseksi kylmäainetta pitäisi olla nestemäisessä muodossa todella paljon, jotta se riittää höyrystämisen loppuun saakka. (Siren, 2022, s. 18)

Kuivahöyrystyksessä kylmäaine syötetään sisään höyrystimen yläosasta ja höyrystimessä tulistunut höyry poistuu höyrystimen alaosasta. Näin saavutetaan öljylle täysin esteetön kulku höyrystimen lävitse. Höyrystimessä on metallilamelleja, jotka muodostavat sen lämmönsiirtopinnan. Tilassa oleva ilma liikkuu pakotetusti tai painovoiman avulla lamellien välistä, jolloin siihen saadaan luovutettua lämpöä. Jos höyrystin sijaitsee pakkastiloissa on sen lamelliväliä suurennettava, koska muuten siihen kertyy huurretta juuri lamellien väliin. Kuvassa 8 on kuvattu kuivahöyrystyksen toimintaa ja kylmäaineen olomuodon muutoksia. (Siren, 2022, s. 20)



Kuva 8 Kuivahöyrystyksen toiminta (Siren, 2022, s. 19)

Märkähöyrystyksessä höyrystimelle annostellaan kylmäainetta niin paljon, että kylmäainetta on höyrystimen loppupäässäkin vielä nestemäisessä olomuodossa. Näin saadaan aikaan siis jo yllä mainittu suurin mahdollinen jäähdysteho. Tässä ongelmakohtaksi koituu tulistuksen puuttuminen. Kompressorilla saattaa saada vahinkoa, jos sinne kylmäainetta nestemuodossa. Tämän vuoksi höyrystynyt kylmäaine tulistetaan erillisellä lämmönsiirtimellä ennen sen saapumista kompressorille. Märkähöyrystyksessä käytössä ei ole paisuntaventtiiliä, vaan sen toimenkuvaa hoitaa uimuriventtiili. Se annostelee nestemäistä kylmäainetta höyrystimelle niin, että sitä on koko ajan asetetun määrän verran. Märkähöyrystyksen toimintaa on kuvattu kuvassa 9. (Siren, 2022, s. 21)



Kuva 9 Märkähöyrystyksen toiminta (Siren, 2022, s. 22)

Suorahöyrystysjärjestelmissä höyrystin on sijoitettu suoraan jäähdyttävään tilaan, kuten pakkasvarastoon. Silloin jäähdytystä tarvitseva ilma virtaa suoraan höyrystimen läpi. Tässä tapauksessa järjestelmän hinta on

edullinen, mutta jäähdytystehon määrittelemisen ja säätö on vaikeaa määrittellä tarkkaan. (Siren, 2022, s. 23)

4 JÄÄHDYTYSLAITTEIDEN HUOLTO

Jäähdytyslaitteiden elinkaaren pidentämisessä iso asia on laitteiden huolto. Laitteiden järjestelmällisellä ja korkealaatuisella huollolla sen elinikä voi nousta huomattavasti verrattuna, että laite jätettäisiin huoltamatta. Huollot vaikuttavat myös laitteiden toimintavarmuuteen. Laitteiden ollessa siis hyvin huollettuja tulee niihin huomattavasti vähemmän pikaisia korjaustarpeita ja näin ollen myös laitteiden hyöty saadaan käyttöön kokonaisuudessaan, eikä laite seiso paikallaan toimintakyvyttömänä. Varsinkin kriittisimmissä paikoissa, jotka vaativat jatkuvaa jäähdytystä huoltojen merkitys kasvaa. Laitteen ollessa vikatilassa ja korjauksen venyessä joudutaan tilalle hoitamaan väliaikaisia jäähdytysjärjestelmiä, jotka aiheuttavat jälleen lisäkustannuksia.

Suurteollisuuspuiston alueella jäähdytyslaitteet huolletaan vähintään kerran vuodessa. Huoltoja tehdessä on tärkeää turvallisuudesta huolehtiminen. Tärkeää on siis varmistaa laitteen sammuminen ja turvata, että laite ei pääse käynnistymään uudestaan huollon ollessa käynnissä. Huolloissa kylmälaitteen huoltaja tarkastaa kompressorin toimivuuden, laitteen säädöt ja yleisen laitteen toiminnan, ruiskutusventtiilin, höyrystimen, kiilahihnan tarvittaessa ja putkistovarusteet, kuten suodattimet. Suodattimet vaihdetaan jokaisen huollon yhteydessä. Lisäksi lauhdutin tarkastetaan ja sen lamellit puhdistetaan liasta ja pölystä, sekä mutatasu puhdistetaan. Erityisesti tehdasalueella lamellien puhdistaminen on erittäin tärkeätä, koska likaa ja saasteita alueella esiintyy runsaasti ja siksi lamellit ovat välillä erittäin huonossa kunnossa. Pidemmällä aikavälillä kuitenkin huoltoihin eivät enää riitä lamellien kuntoa

parantamaan, sillä lamellit hapertuvat ja lopulta rapistuvat palasiksi alueen happaman ilman vuoksi.

Laitteen kylmäaineen määrien seuraaminen on myös tärkeää. Tarkastamalla kylmäaineen määrät voidaan selvittää, onko kylmäaineputkistossa vuotoja. Kylmäaineputkiston vuotaessa kylmäainetta pääsee ympäristöön, mikä on ympäristölle erittäin huonoksi. Laitteen toimintavarmuus kärsii myös kylmäaineen määrän vähentyessä ja laite menee häiriölle herkästi. Quant dokumentoi jokaisen huoltotapahtuman jäähdytyslaitteissa kuvan 10 mukaisesti "Kylmälaitteen tarkastus ja huolto pöytäkirjaan".

Kylmälaitteen tarkastus ja huolto pöytäkirja

QUANT™

Valtioneuvoston asetus 452/2009

sivu 1 (1)

Asiakas / asiakas nro	Osoite (ja laskutusosoite jos eri)
Yhteyshenkilö / Puh	Työnumero

Laitteen tunnistus

Laitteen sijainti	Laitenumero / POS	Valmistaja	Malli	Sarjanumero	Valmistusvuosi
Kompressori					
Höyrystin					
Lauhdutin					
Paisuntaventtiili/suutin					
Öljynerotin					
Varaaja					

Tarkastusmittaukset:

LAITE	Kylmä teho:	Asetus arvo:
Kylmäaine:	Täytös /kg	<input type="checkbox"/> Tarkastettu <input type="checkbox"/> Lisätty <input type="checkbox"/> Vaihdettu
Öljy:	Täytös /kg	<input type="checkbox"/> Tarkastettu <input type="checkbox"/> Lisätty <input type="checkbox"/> Vaihdettu
KOMPRESSORI	Nim.virta	Mitattu virta
HÖYRYSTIN		
Lämmönsiirtoaine:		Lämpötila tuleva °C Lämpötila lähtevä °C
LAUHDUTIN		
Lämmönsiirtoaine:		Lämpötila tuleva °C Lämpötila lähtevä °C
Imupaine	bar	Lämpötila °C
Poistopaine	bar	Lämpötila °C
Nesteen lämpötilä	°C	
Kuumakaasun lämpötilä	°C	
Tulistus	°C	
Matalapaine katkaisu	bar	Matalapaine kytkentä bar
Korkeapaine katkaisu	bar	Korkeapaine kytkentä bar

Tarkastus ja puhdistuskohteet

	P=PUHDISTETTU K=KUNNOSSA E=EI KUNNOSSA V=VAIHDETTU					P=PUHDISTETTU K=KUNNOSSA E=EI KUNNOSSA V=VAIHDETTU			
	P	K	E	V		P	K	E	V
Putkisto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Säätimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lauhdutin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Suodattimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Höyrystin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eristykset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sulatus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kylmäainevuodot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kuivain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Öljyvuodot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kontaktorit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SÄHKÖTURVALLISUUS				
Nestelasi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Liitäntäkaapelin tarkastus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Paisuntaventtiili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ylivirtasuojien toiminnan tarkastus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Magneettiventtiili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Maadoituksen tarkastus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varoventtiili	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Suojajohdinpäiriin mittaust (< 0,3 Ω)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Olemme tarkastaneet ja huoltaneet kyseisen laitteiston ja todennet sen vastaavan valmistajan sille ilmoittamia suoritusarvoja ja -tarkkuuksia ja täyttävän sähköturvallisuusmääräykset.
Laitte on käyttökunnossa (Laitteen turvallinen käyttö ei vaadi välitöntä huoltoa, korjausta tai vaihtoa uuteen)

<input type="checkbox"/> Hyväksytty	<input type="checkbox"/> Ei hyväksytty		
Lisähuomioita			
Pvm	Tarkastaja	Pätevyysnro	Allekirjoitus
Päivämäärä			

© Quant Finland Oy / Lomakepohja Räikkälä 2020 / Versio 1.0

Kuva 10 Kylmälaitteen tarkastus ja huolto pöytäkirja. (Quant, 2023)

5 ELINKAARI

Elinkaaren pituuteen vaikuttavat paljon laitteen laatu eli kuinka hyvistä komponenteista se on tehty ja onko asennus ollut laadukas ja oikeaoppisesti

suoritettu. Elinkaaren määrittelemisen laitteelle on erittäin tärkeää, koska nykypäivänä isoja asioita tuotannossa ovat ympäristöystävällisyys ja kestävä kehitys. Laitteen elinkaaren pidentäminen mahdollisimman pitkäksi ja sen toiminnan varmistaminen on osa tätä prosessia, jotta voidaan turvata nykyiset olosuhteet myös tuleville sukupolville.

5.1 Jäähdytyskoneen elinkaari

Elinkaaren määrittelyssä pitää ottaa huomioon useita asioita ja järjestelmän kokonaisuutta ja sen aiheuttamia kustannuksia elinkaaren alusta, elinkaaren loppuun saakka. Jäähdytyskoneen kohdalla elinkaarikustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat asennuskustannukset, ylläpito- ja huoltokustannukset, korjauskustannukset ja purkukustannukset. Asennus-, ja purkukustannukset ovat pakollisia kustannuksia, jotka tulevat väkisinkin olemaan, kun laite halutaan käyttöön tai ottaa käytöstä pois. Ylläpito- ja huoltokustannuksien kohdalla niihin on järkevää investoida rahaa, koska ne antavat laitteelle lisää elinikää ja vähentävät mahdollisia korjauskustannuksia. Korjauskustannuksilta pyritään välttymään, mutta on hyvinkin todennäköistä, että laitetta joudutaan korjaamaan sen elinkaaren aikana. Sen sijaan korjauskustannuksien tarkkailu on erittäin tärkeää, koska korjauskustannusten noustessa ja korjausvälien tihentyessä kannattaa alkaa miettiä uuden laitteen asentamista jatkuvan korjaamisen sijaan.

Elinkaaren määrittelyssä otin yhteyttä toimittajaan, jolta sain arvioita heidän tuotteidensa elinkaareksi, mutta ongelmaksi muodostuu juuri tehdasalueen olosuhteet, jonka vuoksi tarkan eliniän määrittely on vaikeaa. Elinikää jäähdytyslaitteille kertyy keskimäärin noin 20 vuotta. Ensimmäinen puolikas elinkaaresta pitäisi mennä täysin ilman korjauskustannuksia, kun laitteet huolletaan sovitusti ajallaan. Elinkaaren toiselle puolikkaalla siirryessä laitteelle todennäköisesti ilmaantuu korjauskustannuksia, kun sen komponentit alkavat hajoamaan. Tyypillisimpiä komponentteja, jotka kärsivät ja ottavat hieman itseensä pidemmällä aikavälillä ovat kompressorit ja lauhdutinyksikkö

ulkoilmassa. Lisäksi ongelmia saattavat aiheuttaa pienemmät komponentit ja sähköviat.

5.2 Suurteollisuuspuiston olosuhteiden vaikutukset todelliseen elinkaareen

Valmistajien antamat elinkaaret pätevät normaaliolosuhteisiin, sekä testiolosuhteisiin. Tämän vuoksi niiden käyttäminen elinkaaren saamiseen Harjavallan Suurteollisuuspuistossa suoraan on täysin mahdotonta, koska olosuhteet ovat täysin erilaiset teollisissa olosuhteissa.

Valmistajien antamat elinkaarimallit on tarkoitus sovittaa siis suurteollisuuspuiston olosuhteisiin. Sovittaminen tapahtuu antamalla jokaiselle laitteelle erikseen numerointi sen olosuhteiden vaikutuksista kyseiseen laitteeseen. Numerointi tapahtuu asteikoilla 1-4. Asteikkoihin annetut vähennykset on katsottu laitteiden nykyisen kunnon perusteella verrattuna sen todelliseen ikään eli missä kunnossa laitteet olisivat sen ikäisinä normaaleissa olosuhteissa, sijainnin ja edellisten kokemusten perusteella eli kuinka kauan laite on pysynyt toimintakunnossa.

Pääasia laitteissa kärsivät lauhduttimen osat, jotka sijaitsevat ulkopuolella jäähdytyskohteesta, kuten vaikka ulkoilmassa tai tuotantotilan sisällä. Olosuhteiden vuoksi lamellit pääsevät hapertumaan ja niitä puhdistessa sen palaset vain tippuvat pois, mikä tekee sen puhdistamisesta loppujen lopuksi hyvin vaikeaa. Kuvassa 11 nähdään esimerkki tapauksesta, jossa ulkoilmayksikön lamellit ovat kärsineet pahoin ja sen huoltaminen, sekä puhdistaminen ovat hyvin vaikeaa ilman että vaurioittaa sitä.



Kuva 11 Olosuhteista kärsinyt ulkoilmayksikkö. (Elo, 2023)

Asteikolle 1 pääsevät laitteet ovat sellaisia, joihin kohdistuvat normaalit olosuhteet ja niiden elinkaareissa voidaan käyttää valmistajien antamia arvoja. Valmiiksi voidaankin todeta, että näitä laitteita ei ole kovinkaan montaa, vaan ainoastaan porttien ulkopuolella sijaitsevissa rakennuksissa, jotka kuuluvat kunnossapitoalueen piiriin. Lisäksi alueella sijaitsevat vesilauhdutteiset koneet

kuuluvat tähän asteikkoon, koska niillä ei ole ulkoyksikköä, joka sijaitisi vaikeissa olosuhteissa.

Asteikolla 2 ovat lievästi alueella vaikeille olosuhteille altistuvia kohteita. Näissä tilanteissa laitteet sijaitsevat porttien sisäpuolella, mutta hieman syrjässä tehtaista. Näissä tapauksissa oikea elinkaari lajitellaan 80% todellisesta valmistajan antamasta eliniän odotteesta.

Asteikolla 3 ollaan jo aivan tehtaiden lähellä ja altistumista olosuhteille tapahtuu jo hyvin paljon ja laitteiden kunnosta näkee, että ne ovat kärsineet ikäänsä nähden huomattavan paljon vaurioita. Elinikä näille laitteille määritellään 60% arvolla todellisesta iästä.

Asteikko 4 tarkoittaa, että laite sijaitsee aivan tehtaan ”ytimessä” ja se kärsii erittäin paljon olosuhteiden puolesta. Laitteiden huoltoväli on syytä pitää lyhyempänä ja näin varmistua, että näiden toimintavarmuus pysyy ennallaan. Lisäksi lähellä tuotantotilaa tai tuotantotiloissa sijaitsevat laitteet ovat erittäin kriittisiä ja niiden pitäisi toimia moitteettomasti, jotta tuotanto ei pääse kärsimään. Näiden laitteiden arvona käytetään 40% todellisesta valmistajan antamasta arvosta.

5.3 Laitteen ja sen osien elinkaari

Elinkaaren pituus riippuu paljon millaisella käytöllä laite on eli onko se jatkuvassa ympärivuorokautisessa käytössä vai rajoittuuko sen käyttö esimerkiksi vain kesä-aikaan. Suurteollisuuspuistossakin on laitteita, jotka vuorottelevat vuoron perään ja pidentävät näin elinkaaren pituutta. Erilaisissa pumpuissa vuorottelua vuoron perään käytetään alueella paljon.

Jäähdytyslaitteiden keskimääräinen käyttöikä on n. 15-20 vuotta. Sen eri osille, kuten lämmönsiirtimelle, lauhduttimelle, höyrystimelle, putkistoille ja säätölaitteille on määritelty keskiarvallisesti sama elinkaari eli 15-20 vuotta. On silti mahdollista, että jokin näistäkin osista vikaantuu ja tulee ennen arvioitua

käyttöikänsä elinkaaren loppuun. Kompressorille jatkuvassa käytössä elinikää voidaan luvata 10-15 vuotta, mutta jos käyttö on rajoittuvaa senkin pitäisi kestää koko laitteen elinikä. Kuvissa 11 ja 12 on kuvattu kylmäteknisten järjestelmien elinkaarta. (Rakennustieto, 2008, s. 26 ja 27)

Tunnus	Nimikkeen otsikko, määritelmä	Tyypillinen rakentamisaika ja muu tarkempi määrittely	Keskimääräinen tekninen käyttöikä		
			vuotta (R = rakennuksen ikä, J = järjestelmän ikä)		
			Rasitusluokka 1 vaikea	2 normaali	3 kevyt
G4530	Vedenjäähdytyskoneet (kierukkakompressorilla varustetut vedenjäähdytyskoneet, mäntäkompressorilla varustetut vedenjäähdytyskoneet, ruuvikompressorilla varustetut vedenjäähdytyskoneet, turbokompressorilla varustetut vedenjäähdytyskoneet, absorptiovedenjäähdytyskoneet, ulos asennettavat vedenjäähdytyskoneet)		15...20	20	20

Kuva 12 Vedenjäähdytyskoneen elinkaari (Rakennustieto, 2008, s. 27)

			Rasitusluokka 1 vaikea	2 normaali	3 kevyt	Tarkastusväli vuotta	Huoltoväli / kunnossapitojakso vuotta	
G3432	Ulkosäleiköt ja ulkoilmalaitteet		J	J	J			Jäätyminen, mekaaniset vauriot, ulkoiset olosuhteet
G35	Väestönsuojien ilmastointilaitteet (ilmanvaihtojärjestelmä, kanavisto, ulkoilmakanavat, jakokanavisto, ylipaineventtiilit, ylipainemittarit, normaaliajan ilmanvaihto, ilmanvaihtolaitteiston ja kanaviston korroosionesto ja pintakäsittely, väestönsuojan paloturvallisuus, palo-osastointi, savunpoisto)	J				Viranomaismääräysten mukaan	Viranomaismääräysten mukaan	Ks. kiinteistön pelastussuunnitelma
	Savunpoisto	J	J	J				Tilojen käyttötarkoituksen muutokset, paloluokan ja -osastoinnin muutokset
G37	Eritysjärjestelmät							
G4	Kylmätekniset järjestelmät (kylmäkoneistot, lämmönsiirtimet, lauhduttimet, höyrystimet, nestejäähdyttimet, levylämmönsiirtimet, välillisen järjestelmän jäähdytyspatterit, kylmälaitoksen putkistot, kylmäteknisen järjestelmän säätö)	Jatkuva ympäri-vuotinen käyttö		Kesäaikaan rajoittuva käyttö-aika	Vuotuinen käyttöaika lyhyt			Kylmäteknisellä järjestelmällä tarkoitetaan ilmanvaihdon ja tilojen jäähdytystä palvelevaa järjestelmää. Tässä ei käsitellä kylmä- ja pakastevarastojen jäähdytyslaitteita.
G4100	Kylmäkoneistot (kompressorit, kompressorikoneikko)		10...15	20	20			Kylmäainemääräykset voivat rajata käyttöikää. Automaattikka ratkaiseva.
G4120	Lämmönsiirtimet	Vapaaajähdytyksellä			20			
G4121	Lauhduttimet (ilmajähdytteinen lauhdutin, nestejäähdytteinen lauhdutin)		15...20	20	20		Puhtaanapito ja huolto	
G4122	Höyrystimet (ilmaa jäähdyttävät höyrystimet, nestettä jäähdyttävä höyrystin)		15...20	20	20		Puhtaanapito ja huolto	
G4123	Nestejäähdyttimet		15...20	20	20			
G4200	Kylmälaitoksen putkistot (suoran kylmäjärjestelmän putkistot, yksiasteinen suorahöyrystyslaitos, pumppukiertoinen kylmälaitos, kaksiasteinen kylmälaitos, kylmälaitoksen muut putket, välillisen jäähdytyksen putkistot, putkistovarusteet)		15...20	20	20			
G4400	Kylmäteknisen järjestelmän säätö (kompressorin säätö, höyrystimen säätö, lauhduttimen säätö, säätöpiirin varo- ja ilmoituslaitteet)		15...20	20	20			

Kuva 13 Kylmäteknisten järjestelmien elinkaari (Rakennustieto, 2008, s. 26)

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Työni oli tutkimuksellinen opinnäytetyö ja sen pääpaino on kehittää toimintaa yrityksen sisällä ja auttaa asiakasta parempaan kunnossapitoon LVI-laitteiden osalta. Työssä ratkaistiin ongelmaa, kuinka kauan laitteet kestävät juuri Harjavallan Suurteollisuuspuiston tehdasolosuhteissa. Lisäksi tuotettiin lista, jonka avulla voidaan pysyä ajan tasalla laitteiden iästä ja kunnosta.

Opinnäytetyöni tutkimusmenetelmä on laadullinen tutkimusmenetelmä, jota kutsutaan myös kvalitatiiviseksi. Tämä tutkimustapa pyrkii tarkastelemaan ja ymmärtämään paremmin ilmiötä eli lähinnä mistä siinä on kyse. Tämän kaltaista tutkimusta käytetään, kun ilmiötä ei vielä tunneta kovin hyvin tai siitä ei ole tietoa, teorioita, eikä tutkimusta. Ilmiön ymmärtämiseksi paremmin kehitetään teorioita, sekä oletuksia tavoista, joilla ilmiö toimii. Tässä tutkimuksessa vastataan lähinnä kysymyksiin miten, miksi ja millainen. Tavallisimpia aineistonkeruu menetelmiä ovat haastattelut, havainnointi, dokumentit ja kyselyt. (Proakatemia, 2019)

Tutkimuksessa käytettiin tiedonhankinnan menetelmänä tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksella tarkoitetaan tutkimustapaa, jolloin tutkimuksen kohteena on yksi tai muutama kohde. Mahdollisesti se voi olla myös kokonainen ilmiökokonaisuus. Tässä tutkimustavassa pyritään tuomaan yksityiskohtaista, sekä intensiivistä tietoa kohteesta. Tapaukset voivat olla hyvin erilaisia, mutta tapaus ymmärretään usein omaksi kokonaisuudekseen. Tapauksen ymmärtämiseksi, sekä syvällisen tutkimisen mahdollistamiseksi, se pyrkii hakemaan tietoa ilmiöstä siihen liittyvien mekanismien, dynamiikan, prosessien ja sisäisten lainalaisuuksien avulla. Tapaustutkimusta ei tule sekoittaa tutkimusmenetelmään, sillä se on tutkimustapa, jota voidaan kutsua myös tutkimusstrategiaksi. (Koppa, 2015)

Ensin laitteita tarkkailtiin yleiskunnollisesti kierroksilla, jolloin laitteet käytiin läpi. Yleiskuntoa oli helppo vertailla käyttöönottovuoden mukaan. Jossain paikassa 5 vuotta vanha laite saattoi olla kuin uusi, kun taas toisessa paikassa

laite oli kärsinyt jo todella paljon olosuhteiden ansiosta. Vanhojen laitteiden edellistä vaihtoväliä tutkimalla saatiin myös osviittaa, mihin kategoriaan laite kuuluu, kun määritettiin aluekertoimia.

Laitteiden kunnosta tietoa saatiin Chillerin edustajalta, joka arvioi heidän valmistamiensa jäähdytyslaitteiden elinkaareksi 20-25 vuotta. Listauksessa käytin elinkaariennusteena 20 vuoden elinikää. Lisäksi RT-kortistosta löytyneestä taulukosta saatiin elinkaaren odotteita, jotka antoivat elinkaaren arvioksi 15-20 vuoden eliniän.

7 TULOKSET

Työn tuloksena saatiin päivitettyä kylmälaitelista ajan tasalle. Vanhassa listassa oli vanhentuneita tietoja, sekä oli myös paljon laitteita, jotka löytyivät ”uusina” ja saatiin päivitettyä listalle. Laitteita alueelta löytyi yhteensä 75 kpl. Ne sijaitsivat todella laajalla alueella, joka hieman vaikeutti työtä ja aiheutti työlle lisätunteja.

Laitteista löytyi pääasiallisesti erittäin hyvin kaikki tiedot, mutta osasta ne puuttuivat. Puuttuvia tietoja esiintyi erityisesti lauhduttimien malleissa, mutta sisäyksiköiden laitekilvistä tiedot löytyivät erittäin hyvin. Laitteille määritettiin elinkaaren päättymisvuosi ja lisäksi listaan päivitettiin muitakin hyödyllisiä tietoja, joista on tulevaisuudessa todennäköisesti hyötyä.

Työn tuloksena syntyi listaus laitteista (Liite 1) ja niiden tiedoista, mutta lista jää salaiseksi eikä sitä julkaista tässä työssä ollenkaan.

7.1 Vanhentuneet jäähdytyslaitteet

Osassa jäähdytyslaitteita niiden elinikä oli jo laskelmien mukaan tullut päätökseen. Taulukkoon 6 on päivitetty jokainen laite listalta, joka on tullut elinkaarensa loppuun laskelmissa. Tilan i18 kaappikoneeseen on vaihdettu lauhdutin edellisenä vuonna, mutta sisäyksikkökin on ylittänyt jo elinkaarisuunnitelman mukaisen ajan, joten sen vaihtoon on hyvä alkaa valmistautumaan. Rakennuksen 307 vedenjäähdytyskoneen elinkaari on tullut myös päätökseen ja laitteen kuntokin on hieman huono, joten sen vaihto tulee varmasti ajankohtaiseksi pian.

Taulukko 6 Vanhentuneet jäähdytyskoneet

Laite ja sijainti	Laskelmien mukainen uusimisvuosi
Kaappikone i18 Tila	2020
Vedenjäähdytyskone RA307	2020

7.2 Vuoden sisällä vanhentuvat jäähdytyslaitteet

Vaikka laitteista isolla osalla oli elinkaarta jäljellä vielä useita vuosia, niin oli joukossa myös muutamia vuosina 2023 tai 2024 vaihdettavaksi tulevia laitteita. Taulukkoon 7 on listattu jokainen tulevan vuoden kuluessa elinkaarensa loppuun tuleva laite. 3.nosturissa sähkötilojen jäähdytyskoneet on juuri uusittu, mutta ohjaamon jäähdytyskoneet odottavat uusintaa ensi vuoden puolella. S03- tilan vedenjäähdytyskone ja i25-tilan kaappikone ovat myös tulossa elinkaarensa loppuun ensi vuonna. Rakennuksen 153 ILR2-tilan tuloilman jäähdytyspatterissa oleva koneikko pitäisi olla vielä vaihtovuorossa tämän vuoden puolella.

Taulukko 7 2023 tai 2024 vanhaksi menevät jäähdytyslaitteet

Laite ja sijainti	Laskelmien mukainen uusimisvuosi
Jäähdytyskone Ohjaamo A	2024
Jäähdytyskone Ohjaamo B	2024
Vedenjäähdytyskone S03 tila	2024
Kaappikone i25 tila	2024
RA153 ILR2 tuloilman jäähdytyskoneikko	2023

7.3 Tyyppikilvettömät jäähdytyslaitteet

Osasta laitteista puuttui tyyppikilpi, jolloin niiden elinkaaren arvioiminen on vaikeaa, koska alueen laitteista on hyvin vähän jäljellä kirjallisia asennuspöytäkirjoja pidemmiltä ajoilta. Osan laitteista lauhdutin sijaitti myös

paikassa, jonne ei ollut mahdollisuutta päästä. Sen vuoksi osan lauhduttimien elinkaarta oli mahdotonta lähteä määrittelemään. Myöskään sisäyksikön elinikää ei voitu käyttää määrittelevänä tekijänä, koska osaan laitteista oli vaihdettu pelkkä lauhdutin, eikä koko pakettia. Taulukkoon 8 on listattu laitteet joiden eliniässä oli epäselvyyksiä.

Taulukko 8 Laitteet, joiden asennusvuosi oli hieman epäselvä

Laite	Epäselvyys
RA018 ILR7 vedenjäähdytyskone	Laitteesta ei löytynyt ollenkaan tyypikilpeä, josta olisi voinut selvittää laitteen asennusvuotta tai edes valmistusvuotta.
RA018 S112B kaappikone	Lauhduksen tyypikilven näkeminen mahdotonta, koska sijaitti sen verran korkealla, eikä ollut mahdollisuutta mennä ilman nostinta.
RA152 ILR2 vedenjäähdytyskone	Lauhduksen sijainti paikassa, jonne kulkeminen ei ollut mahdollista.
RA152 ILR2 kaappikoneet	Kummankaan tilan kaappikoneiden lauhduksissa ei ollut muuta mainintaa kuin valmistaja ja malli.
RA119 Röntgenlaitteen vedenjäähdytyskone	Lauhduksessa ei ollut tyypikilvessä valmistusvuotta, eikä käyttöönottovuotta näkyvillä.
Rantavesipumppaamon ILR1 kaappikone	Lauhduksessa ei ollut tyypikilvessä valmistusvuotta, eikä käyttöönottovuotta näkyvillä.

7.4 Tulosten käyttäminen

Elinkaaren päättymistä ei ole kannattavaa tarkastella puhtaasti listan antamien vuosilukujen mukaan, koska on tärkeää myös seurata laitteen käyttöhistoriasta, miten se on toiminut. Jos laitteelle ei ole ollut tarvetta korjaustoimenpiteille ja se on toiminut moitteettomasti, niin vaihto ei välttämättä ole järkevää. Lisäksi tärkeää on tarkastella laitteen yleistä kuntoa eli onko se toimintakuntoisen näköinen. Jos esimerkiksi lauhduttimen lamellit ovat aivan silppuina, niin vaihto on ainoa oikea vaihtoehto.

8 POHDINTA

8.1 Luotettavuus ja virhetekijät

Tutkimuksessa tuloksia on saatu kiertämällä laitteita itse paikan päällä ja tulkiten niiden kuntoa valmistusvuoteen nähden. Tietoja on kerätty myös internetin eri lähteistä, sekä suullisesti eri henkilöiltä liittyen laitteiden toimintavarmuuteen ennen tutkimusta.

Virhemarginaalia voivat nostaa laitteiden suuri määrä, sekä puutteelliset tiedot laitteista. Laitteiden suuren määrän vuoksi, yhteen laitteeseen on mahdotonta käyttää kovinkaan paljon aikaa ja laitteen tutkimus saattaa jäädä joissakin kohteissa hieman tarvetta pienemmäksi. Puutteellisten tietojen vuoksi oli joistakin laitteista vaikea saada tehtyä selvitystä, mutta onneksi niitä laitteita ei ollut kovinkaan montaa.

8.2 Opinnäytetyön tekeminen

Opinnäytetyön tekeminen oli koko työn ajan mielekästä ja asioista tuli opittua paljon uutta työn edetessä. Tutustuminen jäähdytyslaitteisiin paremmin oli myös hyvä, koska koulun puolella niiden käsittelyyn ei ole ehditty käyttämään kovinkaan paljoa aikaa. Jäähdytyslaitteet olivat itselleni työn alkaessa siis hieman tuntemattomampaa aihepiiriä. Helpotusta ja vinkkejä työn tekemiseen kuitenkin tuli paljon yrityksen puolesta, joka helpotti työn tekemistä ja antoi myös uutta oppia jatkoon.

Opinnäytetyöni aikataulutukset sujui erittäin hyvin, sillä jokaiseen aikamääreeseen päästiin ja osaan jopa useita viikkoja etukäteen. Tämä oli positiivinen yllätys, koska aluksi ajattelin aikataulun olevan tiukka ja sen vuoksi luulin työmäärän tulevan todella isoksi. Kuitenkin työmäärä pysyi koko työn ajan sopivissa suhteissa ja työ saatiin etenemään hyvällä tahdilla eteenpäin.

Tulokset opinnäytetyössä hieman yllättivät, koska olin ajatellut vanhentuneita laitteita olevan enemmän kuin nyt olleet kaksi konetta. Tulevaisuuden kannalta laitteiden saaminen listaukseen on tärkeää ja nyt listauksen kautta voidaan nähdä monia hyödyllisiä tietoja, ilman että tarvitsee käydä kohteessa paikan päällä. Lisäksi nyt kun laitteet ovat tiedossa, ne voidaan syöttää Bolidenin Maximo-järjestelmään. Siellä laitteille saadaan tehtyä omat laitenumerot ja niin pystytään kohdistamaan korjauskustannukset, sekä muut huoltotoimenpiteet suoraan laitetta kohden. Näin toiminnasta saadaan organisoidumpaa ja systemaattisempaa. Mielestäni työ onnistui odotusten mukaisesti.

8.3 Parannusehdotukset

Työtä tehdessäni vastaan tuli muutamia mahdollisia parannuskohteita, joissa voitaisiin parantaa ja näin ollen helpottaa työmäärässä.

Tällä hetkellä asennuspöytäkirjoille ei ole selkeää varastointipaikkaa, ja niitä löytyikin työtä tehdessä vain muutamia kappaleita. Asentajan saadessa asennuksen loppuun olisi hyvä jokaisella kerralla palauttaa pöytäkirja esimiehelle, joka huolehtisi jokaisen pöytäkirjan omaan kansioonsa ja näin ollen se tulisi säilöön ja löytyisi myös jatkossa tietystä paikasta, kun tietoja tarvitaan. Kansioissa voisi olla erikseen vedenjäähdytyskoneet, kaappikoneet ja koneikot. Lisäksi alueen ilmalämpöpumpuista voisi tehdä vielä yhden oman kansionsa.

Lisäksi tekemääni listaukseen olisi hyvä päivittää aina uuden laitteen asennuksen jälkeen aina ajantasaiset tiedot laitteista, malleista ja muistakin tiedoista, jotta lista pysyy ajan tasalla ja paikkaansa pitävänä.

LÄHTEET

Boliden. (2023). Boliden Harjavalta. Haettu 12.5.2023 osoitteesta <https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-harjavalta>

Finder. (2023). Quant Finland Oy. Haettu 12.5.2023 osoitteesta <https://www.finder.fi/Hydrauliikka+ja+hydrauliset+laitteet/Quant+Finland+Oy/Vantaa/yhteystiedot/3018783>

Koppa. (2015). Tapaustutkimus. Haettu 28.8.2023 osoitteesta <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/tapaustutkimus>

Kylmäaine.fi. (2023). Kylmäaine.fi-tietoa kylmäaineista, talteenotosta, kylmäaineiden regeneroinnista ja kierrätyksestä. Haettu 26.5.2023 osoitteesta <https://www.kylmaaine.fi>

KylmäExtra. (2020). Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy. Haettu 18.5.2023 osoitteesta https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy

Proakatemia. (2019). Soluessee: Tutkimuskysymysten luominen ja niiden oikeaoppinen analysointi. Haettu 28.8.2023 osoitteesta <https://esseepankki.proakatemia.fi/soluessee-tutkimuskysymysten-luominen-ja-niiden-oikeaoppinen-analysointi/>

Quant. (2023). Yksikön sisäiset tiedostot.

Quant. (2023). Yritys. Haettu 12.5.2023 osoitteesta <https://www.quantservice.com/fi/yritys/>

Rakennustieto (2008). Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. Haettu 28.7.2023 osoitteesta <https://kortistot-rakennustieto-fi.lillukka.samk.fi/resource/juha/content/3373#page=1>

Siren, P. (2022). Kylmätekniikka. Kylmälaitoksen komponentit. Moodle. s.8-33.

Swegon. (2023). Vapaa- vai kompressorijäähdytys. Haettu 18.5.2023 osoitteesta <https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/vapaaajaahdytys-vai-kompressorikylma>

Tynjälä, T. (2013). Vesilauhdutteinen siirrettävä ilmastointilaitte. (Kandidaatin työ, Lappeenrannan teknillinen yliopisto) LUTPub. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/93404/Kandi_Tero%20Viander.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Vaillant. (2022). Mikä on kylmäaine?
<https://www.vaillant.fi/asiakkaat/neuvoja-ja-tietoa/lammitys-sanasto/refrigerant-1925130.html>

HUOLTOTAULUKKO (EI JULKINEN)