



Antti Niemi-Nikkola

# Lämpöpumppulaitoksen mekaanisen kunnossapidon suunnitelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.10.2023

## Tiivistelmä

Tekijä:	Antti Niemi-Nikkola
Otsikko:	Lämpöpumppulaitoksen mekaanisen kunnossapidon suunnitelma
Sivumäärä:	35 sivua + 1 liite
Aika:	9.10.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Energiantuotantomenetelmät
Ohjaaja(t):	Lehtori Juha Kotamies Kunnossapitopäällikkö Ari Nieminen

---

Tämä insinöörityö käsittelee Enersense IN Oy:n kunnossapitämän kaukolämmitystä ja -jäähdytystä tuottavan lämpöpumppulaitoksen kunnossapitoa. Työn tavoitteena oli tuottaa kunnossapitosuunnitelma suunnittelijan työkaluksi.

Työn toteutus aloitettiin perehtymällä kunnossapitoon liittyvään kirjallisuuteen. Toinen oleellinen osa työn tekemistä oli lämpöpumppulaitokseen perehtyminen käytössä oleen kunnossapito- ja hankintajärjestelmän, laitospöytäkäytien sekä laitoksella työskentelevän henkilökunnan avulla.

Työn tuloksena valmistui kunnossapitosuunnitelma, joka toteutettiin Excel-taulukon muodossa. Se sisältää mm. yksilöivät tiedot kunnossapitokohteille, kriittisyysluokan sekä aikataulutetut kunnossapitotoimet. Kunnossapitosuunnitelmaan sisältyi myös laitevalmistajan tietoja helpottamaan varaosien hankintaa.

Kunnossapitosuunnitelma auttaa kunnossapitosuunnittelijaa tulevien kunnossapitotöiden ennakoinnissa ja aikataulutuksessa. Lisäksi kunnossapitosuunnitelma helpottaa oikeanlaisen kunnossapidon kohdentamista laitoksen eri osiin oikea-aikaisesti. Kunnossapitosuunnitelman mukaisen ennakoivan kunnossapidon seurauksena laitteet pysyvät toimintakuntoisina pidempään. Tämä vähentää vikaantumisia ja korjattavan kunnossapidon määrää. Seurauksena kunnossapidon resursseja voidaan käyttää tehokkaammin sekä saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä.

Avainsanat: kunnossapito, lämpöpumppu, kaukolämpö, kaukojäähdytys

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author(s): Antti Niemi-Nikkola  
Title: Plan for Mechanical Maintenance of a Heat Pump Plant  
Number of Pages: 35 pages + 1 appendix  
Date: 9 October 2023

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Specialisation option: Energy Production Methods  
Instructor(s): Juha Kotamies, Senior Lecturer  
Ari Nieminen, Maintenance Manager

---

The subject of this bachelor's thesis was maintenance of a heat pump plant that produces district heating and cooling. The maintenance of the plant is performed by Enersense Ltd, and the thesis was commissioned by them. The goal was to produce a maintenance plan which is used as tool by the maintenance planner.

Implementation of the thesis project started by familiarizing oneself with literature regarding maintenance in industrial plants. The second part of the project was to master the plant itself by a maintenance and procurement system, visiting the site and with the help of the people working there.

As a result of the thesis project a maintenance plan was completed in form of an Excel-file. It includes identifying information for subjects of maintenance, criticality class and scheduled maintenance tasks. The maintenance plan also includes manufacturer details to help procurement of spare parts.

The maintenance plan helps the maintenance planner to anticipate and schedule future maintenance needs. The maintenance plan also helps to allocate the right kind of maintenance to the right equipment at the right time. Consequently, the amount of corrective maintenance is reduced, maintenance recourses can be allocated more efficiently, and significant cost savings can be made.

Keywords: maintenance, heat pump, district heating, district cooling

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Viitekehys	2
2.1	Kaukolämmityksen historia Helsingissä	2
2.2	Nykypäivä	3
2.3	Lämpöpumpuilla tuotettu kaukolämmitys ja -jäähdytys	5
2.4	Enersense	6
3	Kunnossapito	6
3.1	Kunnossapidon tavoitteet	6
3.2	Ehkäisevä kunnossapito	7
3.3	Korjaava kunnossapito	8
3.4	Luotettavuuskeskeinen kunnossapito RCM	9
3.5	Kriittisyysluokittelu	10
4	Kaukolämpöä ja -kylmää tuottava lämpöpumpulaitos	12
4.1	Lämpöpumppu	12
4.2	Kylmäaineet	17
4.3	Jätevesi	18
5	Työn toteutus	20
5.1	Tiedonhaku ja työvälineet	20
5.2	Kunnossapitosuunnitelman laatiminen Exceliin	20
6	Tulokset	23
6.1	Kriittisyysluokittelu	23
6.2	Vuosihuolto	25
6.3	Lämpöpumppu	26
6.4	Lauhduttimen lämmin puoli	27
6.5	Höyrystimen kylmä puoli	27
6.6	Jätevesi	28
6.7	Voiteluhuolto	29
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34



# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty Enersenselle. Enersensen liiketoiminta-alue Smart Industry tarjoaa asiakkailleen mm. kunnossapitoon liittyviä palveluita. Työn tarkoituksena oli tehdä kunnossapitosuunnitelma laitokselle, joka tuottaa kaukolämpöä sekä -jäähdytystä lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumppujen merkitys kaukolämmön ja -jäähdytyksen tuotannossa kasvaa jatkuvasti. Tähän vaikuttavat mm. polttamalla tuotetun energian hinnan nousu verojen ja päästöoikeuksien hinnankorotusten myötä sekä muutokset asiakkaiden arvoissa. Lämpöpumppulaitosten kasvaneen roolin seurauksena myös hyvin suunnitellun ja onnistuneen kunnossapidon merkitys kasvaa.

Opinnäytetyönä tehty kunnossapitosuunnitelma rajattiin koskemaan vain mekaanista kunnossapitoa. Sähkö- ja automaatiopuolen kunnossapitoa ei tässä työssä käsitelty.

Valmistunutta kunnossapitosuunnitelmaa voidaan jatkossa käyttää kunnossapidon suunnittelussa sekä huoltovälien ja vikaantumisten seurannassa. Kunnossapitosuunnitelmasta löytyy lisäksi huoltoon pikaohjeita sekä tärkeimpiä kunnossapitoon liittyvien osien tietoja.

Työ etenee siten, että johdannon jälkeen käsitellään kaukolämpöä ja -jäähdytystä tuottavan lämpöpumppulaitoksen asemaa kaukolämmöntuotannossa muuttuvassa yhteiskunnassa. Lisäksi viitekehys sisältää esittelyn Enersensestä, jolle opinnäytetyö tehtiin. Kunnossapitoa käsittelevän teoriaosuuden jälkeen kerrotaan lämpöpumppulaitoksesta yleisellä tasolla ja lopuksi työn tekemisestä sekä tuloksista.

## 2 Viitekehys

### 2.1 Kaukolämmityksen historia Helsingissä

Kaukolämmön tuotanto alkoi Helsingissä blokkiasemista, joita oli vuonna 1902 liki kolmekymmentä. Blokkiasemia ei kuitenkaan voida pitää varsinaisina kaukolämmityslaitoksina, koska sähkölaitoksen höyryturbiinien ylijäämälämpö johdettiin vain oman tontin sisällä oleviin rakennuksiin. Suomen ensimmäinen alueellinen kaukolämpökeskus valmistui Helsingin Käpylään 1939, ja sen oli tarkoitus lämmittää vuoden 1940 olympialaisiin osallistuvien majoitustiloja. Kaukolämmön tulevaisuus aukesi 1953 valmistuneen kaukolämpötutkimuksen myötä, jossa tehtiin selväksi kaukolämmön edut suhteessa muihin lämmitysmuotoihin, sekä sähkön ja lämmön yhteistuotannolla saavutettava hyötysuhde. Lisäksi kaukolämmitys säästäisi työvoimassa, kun lämmityksestä ei tarvitsisi enää talokohtaisesti huolehtia. Kaukolämmityksen hyötyjä olivat myös parantunut paloturvallisuus, vapautunut tila kiinteistöistä ja piha-alueilta sekä savukaasujen ja noen väheneminen asuinalueilta. Tärkeintä oli kuitenkin energian hyötysuhteen parantaminen. Rakentamaton vesivoima oli käymässä vähiin, ja polttoaineiden hinnat sekä energiantarve olivat kasvussa. (Schönach 2008: 129–131.)

Kaukolämmityksen rakentaminen alkoi Salmisaaren voimalaitoksesta Etu-Töölöön. Etu-Töölö oli lähellä voimalaitosta, ja rakennuskannan iän takia lämmitysjärjestelmien uusiminen oli ajankohtaista. Sähkö- ja kaasulaitoksilla oli kilpailua kaupunkiin rakennettavista energiaratkaisuista. Sähkölaitoksen tarjoaman vaihtoehdon puolesta puhui vastapainevoimalaitoksella tuotetun sähkön ja kaukolämmön lyömätön hyötysuhde verrattuna kaasuun. Kaasulaitos yritti todistella paremmuuttaan vertaamalla itseään lauhdevoimalla tuotettuun sähköön. Kaukolämpöinfran hidas rakentuminen ja voimassa olevat säännökset kaasuliitännöihin liittyen mahdollistivat molempien laitosten rinnakkaiselon vielä pitkään. (Schönach 2008: 132–133.)

Kiinnostus kaukolämpöä kohtaan kuitenkin kasvoi, kun hinta luvattiin pitää matalana ja tulevaisuudessa laskea sitä entisestään. Kaukolämpöverkon investointikustannuksista huolimatta kaukolämmön myyminen oli myös energiayhtiöille hyvin kannattavaa. 1960- ja 1970-luvuilla rakennettiin paljon, eikä voimalaitosten lämmöntuotantokapasiteetti pysynyt rakentamisen perässä. Tämä ratkaistiin rakentamalla väliaikaisia lämpökeskuksia mm. Kallioon ja Vallilaan. Kaukolämpöverkon laajentamista jouduttiin siitä huolimatta rajoittamaan lämmöntuotantokapasiteetin jäädessä pieneksi kysynnän kasvaessa hurjasti. Samoihin aikoihin alkoi myös kaukolämmön ilmanlaatua parantavista vaikutuksista olla näyttöä ja monet vanhemmatkin talot haluttiin kaukolämmön piiriin viimeistään vanhan lämmityslaitteiston tullessa tiensä päähän. Toimivia ja jo olemassa olevia laitteita ei aina kannattanut lähteä korvaamaan kaukolämmöllä, sillä liittyminen ja siihen tarvittavat laitteistot ja kytkennät maksoivat. Asiakkaan näkökulmasta etuina nähtiin myös kaukolämmön tuomat ympäristövaikutukset. Kaukolämmön yleistymisen myötä monen asuinalueen paikallinen ilmansaastelähde poistui ja noen ja lentotuhkan määrä asuinalueilla väheni. Asukkaiden hengitysilma parani ja pihapiiri siistiyti. (Schönach 2008: 134–137.)

## 2.2 Nykypäivä

Kaukolämmityksellä on nykyisin vankka asema kiinteistöjen lämmitysmuotona. Suomessa asuvista ihmisistä 54 % asuu kaukolämmityksellä lämmitetyissä kodeissa. Helsingissä vastaava luku on Suomen korkein, 94 %. Kaukolämmitys on edelleen suosituin lämmitysmuoto myös uudisrakennuksissa. (Kaukolämpötilasto 2023.) Syinä kaukolämmityksen suosioon ovat sen tuomat hyödyt, kuten energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys sekä käyttövarmuus ja helppohoitaisuus.

Kaukolämmityksen tarvitseman lämpöenergian tuotannossa ollaan kuitenkin siirtymässä polttavista tuotantotavoista kohti muita vaihtoehtoja. Tämänhetkistä



kaukolämmityksen kehityssuuntaa ohjaa ilmastonmuutos ja siihen liittyvät hiilidioksidipäästö- ja hiilineutraaliustavoitteet. Marinin hallituksen vuonna 2022 julkaisemassa Ilmasto- ja energiastrategiassa Suomen hiilineutraaliustavoitteeksi on asetettu vuosi 2035. Hiilineutraalisuustavoitteen saavuttamisen jälkeen kehitystä on tarkoitus jatkaa siten, että Suomesta tulee hiilinegatiivinen. (Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia 2022: 12.)

Tavoitteiden saavuttamiseksi energiateollisuutta ohjataan kohti pienempiä hiilipäästöjä monin eri tavoin. Päästökauppa on voimakas ohjauskeino, joka vaikuttaa hiilidioksidipäästöjä tuottaviin laitoksiin. Vuoden 2023 alkupuoliskon keskimääräinen hiilidioksiditonnin päästöoikeuden hinta oli 86,81 €/t  $CO_2$ , kun se kaksi vuotta aiemmin 2021 oli vain noin puolet siitä 45,10 €/t  $CO_2$  (Päästöoikeuksien huutokauppa 2023). Päästökaupan lisäksi energiateollisuutta ohjataan verotusteknisin keinoin. Ilmasto- ja energiastrategiassa mainittavia keinoja, jotka vaikuttavat suoraan kaukolämmön tuotantomuotojen kannattavuuteen, ovat mm. fossiilisten polttoaineiden veronkorotukset, teollisuuden sähköveron alentaminen, verotuen alentaminen yhteistuotantolaitoksille ja kaukolämpöverkoon lämpöä tuottavien lämpöpumppulaitosten ja sähkökattiloiden siirtäminen alempaan veroluokkaan. Lisäksi turpeen käyttö energiantuotannossa sai omat säädöksensä. (Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia 2022: 62–64.)

Suorien taloudellisten kannustimien lisäksi myös imagolliset syyt ajavat energia-alan yhtiöitä kohti pienempiä ympäristövaikutuksia. Ilmastonmuutos huolettaa ihmisiä ja erityisesti nuoria. Sitran teettämässä kyselyssä 15–24 <-vuotiaista vastaajista ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen oli eniten valittu vastausvaihtoehto kysyttäessä asioita, joita haluaa nähdä tulevaisuudessa. (Tulevaisuusbarometri 2023.)

## 2.3 Lämpöpumpuilla tuotettu kaukolämmitys ja -jäähdytys

Polttamalla tuotettua kaukolämmitystä on viime vuosina korvattu enenevässä määrin erilaisilla lämpöpumpputeknisillä niin kotitalouksissa kuin kaupunkien kaukolämmityksen tuotannossakin. Lämpöpumppujen etuja ovat esimerkiksi päästöttömyys sekä mahdollisuus hyödyntää hukkalämpöjä lämmönlähteenä. Lämpöpumput soveltuvat ympärivuotiseen perustehon tuottamiseen kaukolämpöverkkoon.

Kaukolämmitystä tuottavaa lämpöpumppua voidaan käyttää myös kaukojäähdytykseen. Yhdistämällä kaukojäähdytys samaan prosessiin kaukolämmityksen kanssa investoinnin kannattavuus paranee merkittävästi. Haasteita kaukojäähdytykseen tuovat tehoon nähden suuret investoinnit verkon rakentamiseen sekä suuret kulutusvaihtelut vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan. (Koskelainen ym. 2006: 31, 539.)

Asiakkaan näkökulmasta kaukojäähdytys on verrattavissa kaukolämmitykseen. Se on helppoa ja vie pois tarpeen omilta jäähdytyksen tuotantolaitteilta. Omien jäähdytyslaitteiden puuttuminen vapauttaa tilat muuhun käyttöön, vähentää ääniä ja värinöitä sekä huollontarvetta. Kaukojäähdytys on myös ympäristöystävällinen ratkaisu. Kaukojäähdytyksen piirissä olevat kiinteistöt säästävät energiaa eivätkä vuoda kylmäaineita vikaantuessaan. Kaukojäähdytyksellä saadaan isoja energiakuormia pois esimerkiksi toimistorakennuksista tai datakeskusten koneista.

Kaukojäähdytystä voidaan tuottaa lämpöpumppujen lisäksi vapaajäähdytyksellä. Vapaajäähdytyksessä ylimääräinen lämpö siirretään lämmönvaihtimien avulla esimerkiksi meriveteen. Vapaajäähdytys edellyttää, että merivesi on tarpeeksi kylmää lämmön siirtymiseksi. Vapaajäähdytyksessä hukataan lämpöenergiaa, jolla voitaisiin lämpöpumpun avulla lämmittää kaukolämpövettä.

Lämpöpumput eivät tarvitse polttoaineita, eivätkä niitä rasita päästöistä syntyvät kustannukset. Lämmönlähteen lisäksi ne tarvitsevat toimiakseen vain sähköä. Suomen sähköntuotantokapasiteetti on kasvanut merkittävästi viime vuosina

valmistuneiden tuulivoimaloiden sekä Olkiluoto 3:n myötä. Tämän seurauksena lämpöpumpun tarvitseman sähkön hinta on ajoittain hyvin edullista, toisinaan lähellä nollaa. Sähkön alhainen hinta yhdistettynä kaukolämmön ja -jäähdytyksen samanaikaiseen tuotantoon tekee lämpöpumppuinvestoinnista nopeasti hyvin kannattavan.

## 2.4 Enersense

Enersense International Oyj on vihreän energian palveluita tarjoava energia-alan yhtiö. Enersense International Oyj on pörssilistattu yhtiö, jonka pääkonttori on Porissa. Yhtiön palveluksessa toimii Suomessa ja ulkomailla yhteensä noin 2 000 henkilöä. Yhtiö on jaettu liiketoiminta-alueittain neljään osaan, jotka ovat Power, Connectivity, Smart Industry ja International Operations. (Me olemme Enersense 2023.)

Enersensen liiketoimialueista Smart Industry, jolle tämä opinnäytetyö on tehty, auttaa Enersensen asiakkaiden tuotantolaitosten käyttövarmuuden parantamisessa ja kunnossapidon tehostamisessa (Smart Industry 2023). Enersense toimittaa käyttö- ja kunnossapitopalveluita mm. Helenille (Helenin kumppaniksi Enersensen ja Fimpec 2022).

## 3 Kunnossapito

### 3.1 Kunnossapidon tavoitteet

Kunnossapidon tavoitteena on korkea tuotannon kokonaistehokkuus ja hyvä käyttövarmuus. Tuotannon kokonaistehokkuus muodostuu käytettävyydestä, toiminta-asteesta sekä laatukertoimesta. Näistä käytettävyys on laitteen kyky

olla tilassa, jossa se kykenee suorittamaan vaaditun toiminnon tietyissä olosuhteissa ja tietynä aikana olettaen, että laitteen tarvitsemat ulkoiset resurssit ovat saatavilla. Toiminta-aste kuvaa, kuinka tehokasta tuotanto on ollut ja laatukeroin, miten suuri osa tuotteesta voidaan toimittaa markkinoille. (Järviö ym. 2007: 40–41.)

Hyvän kunnossapidon tunnistaa siitä, että suurin osa tehtävistä kunnossapitoista on tiedossa etukäteen. Näin kunnossapitoa voidaan suunnitella ja aikatauluttaa esimerkiksi kolme viikkoa eteenpäin. Tiedossa olevat ja tehtäväksi tulevat toimenpiteet voidaan tuona aikana suunnitella, tilata varaosat ja aikatauluttaa työt tuotannon kanssa. (Järviö ym. 2007: 73.)

Kunnossapidolla tavoitellaan maksimaalista käyttövarmuutta minimaalisin kustannuksin. Kaikki teollisuuden tuotantovälineet tarvitsevat toimiakseen korjauksia, huoltoa, varaosia ja voitelua. Kunnossapito on välttämätöntä toiminnan jatkuvuudelle. (Kivioja ym. 2007: 334.)

Kunnossapito voidaan jakaa monella tapaa. Pääjako tehdään sen mukaan, onko vika pysäyttänyt komponentin toiminnan. Ennen vikaantumista tehdään ehkäisevää kunnossapitoa. Vikaantumisen jälkeen ryhdytään korjaavaan kunnossapitoon. (Järviö ym. 2007: 47.)

### 3.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on kunnostamisen ja parantavan kunnossapidon kanssa osa suunniteltua kunnossapitoa. Suunniteltu kunnossapito säästää kustannuksissa, on tehokkaampaa ja aiheuttaa vähemmän tuotantotappioita kuin suunnittelematon kunnossapito. Hyvin suunniteltu kunnossapito voi olla 4–10 kertaa tehokkaampaa ja tuotannon katemenetykset kymmenesosan suunnittelemattomaan kunnossapitoon verrattuna.

Ehkäisevä kunnossapito jaetaan kuntoon perustuvaan ja jaksotettuun kunnossapitoon. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa seurataan kohteen suorituskykyä ja toimitaan havaintojen mukaan. Seuranta voidaan tehdä tarpeen mukaan jatkuvasti tai aikataulutetusti. Jaksotetussa kunnossapidossa koneen kunto ei vaikuta tehtäviin toimenpiteisiin. Tämä ehkäisevä kunnossapito perustuu kalenteriin tai käytön määrään. (Järviö ym. 2007: 47–48, 52.)

Ehkäisevä kunnossapito käsittää kolme säännöllisesti tehtävää toimenpidettä. Niistä ensimmäinen on vikaantumisen aiheuttavien syiden sekä olosuhteiden havainnointi ja tarkkailu. Toisena ovat kaikki toimet, joiden avulla kone pystyy toimimaan suunnitellulla tavalla. Näistä hyviä esimerkkejä ovat voiteluhuollot, kiristykset ja puhtaanapito. Kolmantena on alkaneen vikaantumisen havaitseminen ja korjaaminen ennen kuin vika pysäyttää koneen. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu myös ennustava kunnossapito. Siinä erilaisin suoriin tai epäsuoriin menetelmin pyritään selvittämään koneen kuntoa. Suorissa menetelmissä voidaan tutkia kulumisia tai värähtelyitä ja epäsuorissa esimerkiksi analysoida öljyä ja sen sisältämien metallipartikkelien määrää ja geometriaa. (Järviö ym. 2007: 72–73.)

### 3.3 Korjaava kunnossapito

Korjaavaa kunnossapitoa tehdään vikaantumisen tapahduttua eli silloin kun laite ei pysty suorittamaan siltä vaadittua toimintoa. Korjaavassa kunnossapidossa vikaantuneeksi todettu osa tai komponentti korjataan eli palautetaan käyttökuntoon. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan sen mukaan, onko kyseessä suunnittelematon häiriökorjaus vai suunniteltu kunnostus. Korjaava kunnossapito sisältää vian määrittämisen, tunnistamisen ja paikallistamisen, korjauksen ja väliaikaisen korjauksen sekä toimintakunnon palauttamisen. (Järviö ym. 2007: 48–49.)

Korjaava kunnossapito voidaan jakaa myös sen mukaan, onko kyseessä siirretty vai välitön kunnossapito. Siirretyssä kunnossapidossa kunnossapitotoimet

voidaan siirtää seuraavaan huoltoseisokkiin tai tehdä esimerkiksi silloin, kun laitoksen ajotilanne paremmin sallii. Välitön kunnossapito suoritetaan nimensä mukaisesti heti, kun vika on havaittu. Näin vältetään hyväksymättömiltä seurauksilta, joita vika aiheuttaa. (Järviö ym. 2007: 48–49.)

### 3.4 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito RCM

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM (Reliability Centered Maintenance) korostaa suunnittelun roolia kunnossapidettävyyden ja käyttövarmuuden hallinnassa. Sen avulla pyritään optimoimaan kunnossapitoprosessia. (Mikkonen 2009: 70–71.)

Luotettavuuskeskeisellä kunnossapidolla pyritään siihen, että kunnossapitoa tehdään mahdollisimman vähän vaarantamatta laitteen tai laitoksen toimintaa. Tämän taustalla on liiallinen ehkäisevä kunnossapito, jonka tekeminen perustuu mm. laitevalmistajien ohjeisiin. Luotettavuuskeskeisessä kunnossapidossa pyritään keskittymään systemaattisesti olennaiseen ja karsimaan turha pois. Kunnossapito priorisoidaan laitteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan. Näihin laitteisiin kohdennetaan kunnossapitoa oikein ja tehokkaasti. (Mikkonen 2009: 75.)

Turhia kunnossapitotoimia ovat esimerkiksi sähkökoneiden ja vaihdelaatikoiden avaaminen toimintakunnon havaitsemiseksi. Näiden toimintakunto voidaan selvittää laitteen käydessäkin. Vikaantumista voidaan onnistua tarpeettomilla purkamisilla jopa lisäämään. Oleellista on tuntea laitteet ja prosessit ja valita niille sopiva kunnossapitostrategia. (Järviö ym. 2007: 123.)

Luotettavuuskeskeisessä kunnossapidossa kunnossapitotoimet jaetaan ennakoihin ja reagoiviin kunnossapitotoimiin. Ennakoiviin kunnossapitotoimiin kuuluu vikaantumisen havaitseminen, jolloin vikaantuminen havaitaan ennen rikkoontumista, sekä vikaantumisen estäminen. Vikaantumisen estämiseksi voidaan tehdä jaksotettua kunnostamista tai jaksotettua uusimista. (Järviö ym. 2007: 48.)

RCM-prosessi on yksityiskohtainen ja perusteellinen. Systemaattisen kunnossapidon välineenä se on toimiva ja tehokas. Se on prosessina kuitenkin pitkä ja raskas. Prosessi koostuu seitsemästä vaiheesta, joista viisi ensimmäistä ovat varsin kattavia laitteiden toimintoihin ja vikaantumisiin liittyviä selvityksiä ja määrittämiä. Vasta kahdessa viimeisessä kohdassa päästään suunnittelemaan kunnossapitoon ennakoivia ja korjaavia toimia. Tämän tekeminen koko laitekannalle, varsinkin vanhemmilla laitoksilla, on hankaluutensa vuoksi johtanut siihen, että vuosien varrella on kehitetty erilaisia kevennettyjä tapoja helpottamaan RCM-ajatuksen käyttöön ottamista. Kriittisyyskartoitus on paljon käytetty menetelmä nopeuttamaan RCM-analyysiä. Kriittisyyskartoituksen tai -luokittelun jälkeen tarkka RCM-prosessi voidaan tehdä valitun kriittisyystason ylittävillä laitteilla. (Mikkonen 2009: 77–78.)

### 3.5 Kriittisyysluokittelu

PSK-standardin 6800 mukaan kriittisyys on ominaisuus, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Riskit voivat liittyä aineellisiin vahinkoihin tai henkilövahinkoihin, tuotannon menetyksiin tai muihin ei hyväksyttäviin seurauksiin. Kriittisyysluokan määrittämiseksi on olemassa kaava, jolla lasketaan kriittisyysindeksi K ottamalla huomioon laitteen vikaväli sekä turvallisuus- ja ympäristövaikutukset, tuotannon menetykset sekä lopputuotteen laatu- ja korjauskustannukset. (Mikkonen 2009: 148.)

Kriittisyysluokittelumalli (kuva 1) on käytössä Enersensen kunnossapitämille Helenin lämpölaitoksille ja se on luotu PSK-standardien pohjalta (Mäki 2023). Käytössä olevassa kriittisyysluokittelussa laitoksen eri komponenteille annetaan kriittisyysluokka kirjaimilla A–D sen mukaan, kuinka tärkeitä ne ovat laitoksen toiminnan kannalta. Lisäksi on käytössä kirjain N, jolla merkitään laitteet, joiden kriittisyysluokkaa ei ole vielä määritetty. (Ylläpito - Laitteet koulutusmateriaali 2023.)

	Kuvaus	Selitys
A	Kriittinen	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voivat aiheuttaa turvallisuusriskin tai merkittävän ympäristö-/taloudellisen riskin, tai niiden toimintahäiriöstä tai konerikosta voi aiheutua koko laitoksen seisokki (tuotanto seis).
B	Tärkeä	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voivat aiheuttaa osittaisen tuotantoprosessin (esim. kattilan) seisokin johtuen niiden toiminta häiriöstä tai konerikosta sekä pidempään kestävästä häiriöstä aiheuttaa koko tuotantolinjan seisokin tai aiheuttaa ympäristöriskin. Tämä koskee myös varalaitteita sekä varajärjestelmiä, jotka voivat vähentää tuotantomäärää tai huonontaa laatua.
C	Korvattavissa	Laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voidaan korvata varayksiköllä tai toisella tuotantolinjalla ilman tuotanto- tai laatutappioita.
D	Ei kriittinen	Laitteet, järjestelmät ja komponentit mitkä eivät aiheuta ongelmia tuotantoon. Yleisesti apulaitteistot ja -välineet kuuluvat tähän luokkaan.
N	Ei määritelty	Laitteen kriittisyyttä ei ole vielä määritetty.

Kuva 1. Kriittisyysluokittelu selityksineen (Ylläpito - Laitteet koulutusmateriaali 2023)

Kriittisyysluokittelun tavoitteena on olla osaltaan pitämässä seisokkiajat lyhyinä. Kriittisimmiksi luokitelluille laitteille on oltava korvaava laite tai tarvittavat varaosat valmiina varastossa. Lisäksi nämä laitteet ovat usein myös kahdennettuja. Kahdentamalla esimerkiksi voiteluöljysuodattimet tai laitoksen tarvitsemaa paineilmaa tuottavat kompressorit saadaan suhteellisen pienin kustannuksin parannettua laitoksen toimintavarmuutta. Kaikkea ei voida kuitenkaan kustannus- ja tilankäytöllisistä syistä kahdentaa varmuuden vuoksi. Tällöin laitteiden toimintavarmuudesta huolehditaan ennakoivalla kunnossapidolla sekä riittäväillä varaosilla tai -laitteilla.

Tämän opinnäytetyönä tehtävän kunnossapitosuunnitelman kriittisyysluokittelu päätettiin toteuttaa käytössä olevalla mallilla.



## 4 Kaukolämpöä ja -kylmää tuottava lämpöpumppulaitos

Lämpöpumppulaitos tarvitsee toimiakseen lämpöpumpun lisäksi huomattavan määrän mekaanisen kunnossapidon piiriin kuuluvia laitteita. Laitoksen mekaanisen kunnossapidon tehtäväkenttään kuuluvat lämpöpumppujen lisäksi kaukolämpö- sekä kaukojäähdytysvettä siirtävät pumput, jätevesijärjestelmä pumppuineen, suodattimineen ja lämmönvaihtimineen sekä kylmäaineisiin ja niiden turvalliseen käyttöön liittyviä laitteita.

### 4.1 Lämpöpumppu

Lämpöpumppulaitoksen sydämenä toimii yksi tai useampia lämpöpumppuja. Kaukolämmön ja kaukokylmän tuottamiseen sopivia lämpöpumppuja toimittaa esimerkiksi sveitsiläinen Friotherm, jonka Unitop 50 FY -mallia on käytössä mm. Helenillä (Heat Pumps and Chillers). Lämpöpumppu on käänteinen lämpövoimakone. Sillä lämpöä saadaan otettua alemmasta lämpötilasta ja siirrettyä korkeampaan. Lämpöpumppua voidaan hyödyntää sekä kylmän että lämpimän tuottamisessa. Lämpöpumppu koostuu neljästä perusosasta: kompressorista, lauhduttimesta, paisuntaventtiilistä sekä höyrystimestä. Lämpöpumpun toiminta perustuu lämpöä siirtävän kylmäaineen kiertoon. Prosessin aikana kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä itseensä ja lauhtuu luovuttaen sitomaansa lämpöä. Lämpöä siirtävänä kylmäaineena käytetään esimerkiksi kylmäaineita R134a tai R1234ze (Friotherm koulutusmateriaali 2020).

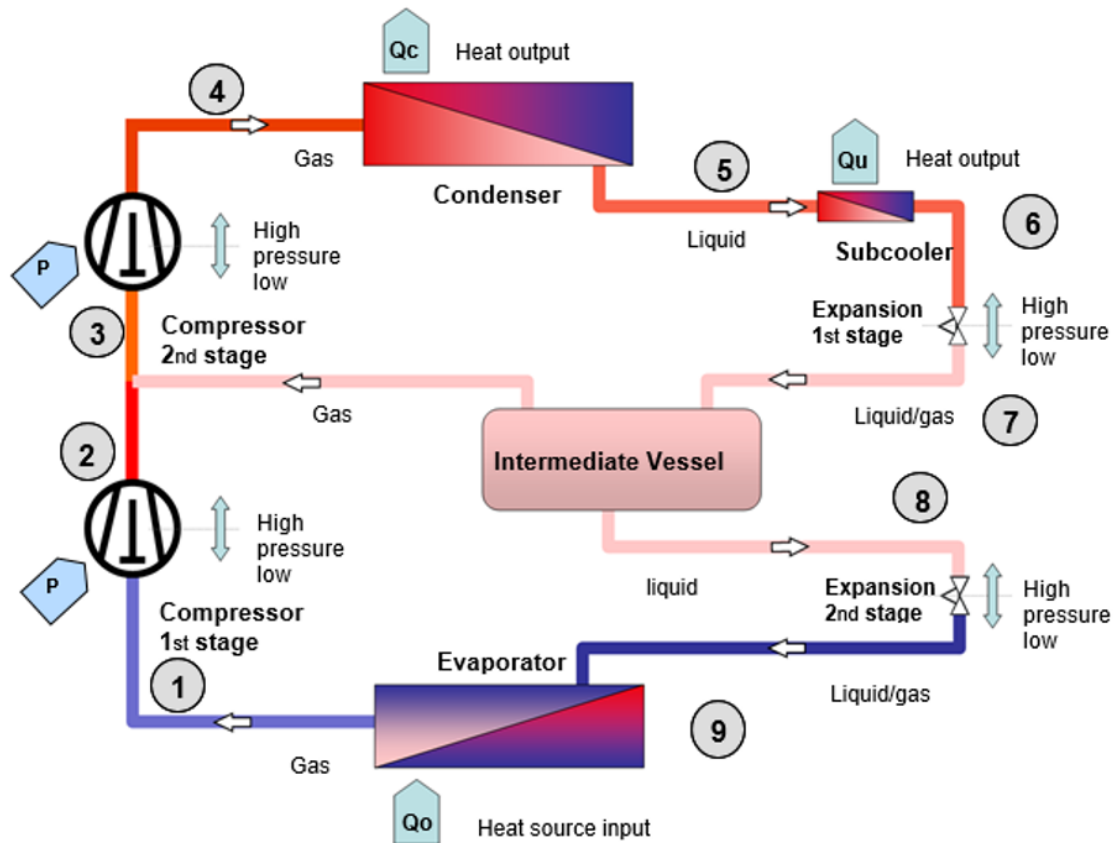
Kylmäaineen paineen nostamiseen voidaan käyttää erilaisia kompressoreita, kuten esimerkiksi mäntä- tai ruuvikompressoria, jotka ovat staattisesti puristavia kompressoreita. Niissä kaasumassan tilavuutta pienennetään paineen kasvattamiseksi. Teollisen mittakaavan lämpöpumpuissa käytetään kuitenkin usein turbokompressoria (kuva 2). Turbokompressorin on kineettinen kompressorin, jossa

kaasuvirralle annetaan liike-energiaa, joka muutetaan paineen kasvuksi Bernoullin lain mukaan. (Aalto ym. 2008: 162.)



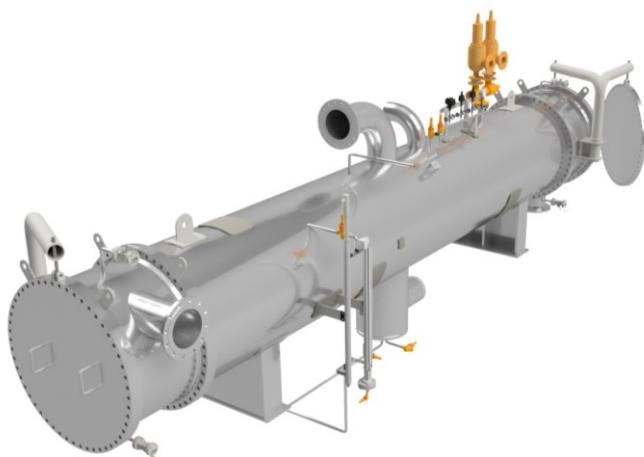
Kuva 2. Turbokompressorin ensimmäisen vaiheen imupuoli (Friothersm koulutusmateriaali 2020.)

Turbokompressorissa voi olla yksi tai useampi vaihe. Vaiheita lisäämällä voidaan kasvattaa saavutettavaa lämpötilaeroa höyrystimen ja lauhduttimen välillä. Kompressoria pyörittää kolmivaihevaihtovirtasähkömoottori joko suoravedolla tai vaihteiston välityksellä. Kylmäaineen kiertoa kaksivaiheisella kompressorilla varustetussa lämpöpumpussa voidaan havainnollistaa kuvalla (kuva 3).



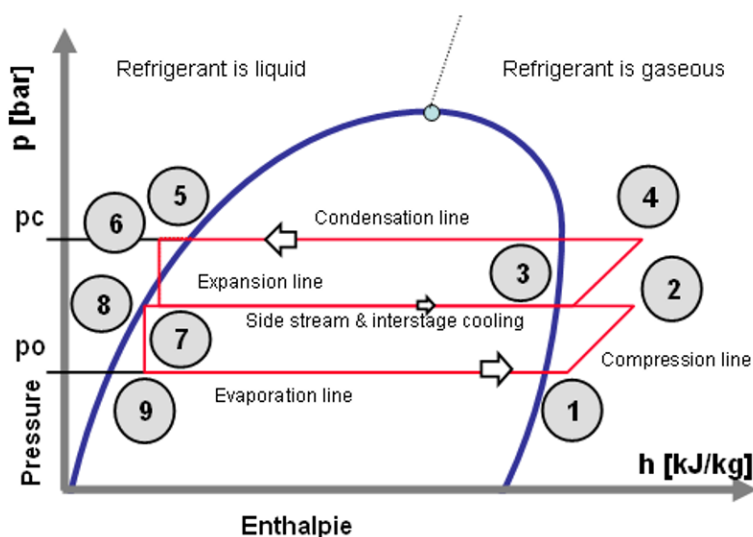
Kuva 3. Kylmäaineen kierto kaksivaiheisella kompressorilla olevassa lämpöpumpussa (Friothersm koulutusmateriaali 2020.)

Alussa (1) höyrystynyt kylmäaine kulkee kompressorin ensimmäisen vaiheen läpi, jolloin paine ja lämpötila nousevat (2). Kylmäainehöyryyn lisätään välisäiliössä höyrystynyttä kylmäainetta (3). Tämän avulla kylmäaineen lämpötilaa saadaan laskettua ennen paineen nostamista ylemmäs kompressorin toisessa vaiheessa (4). Kompressorilta tuleva kuuma ja korkeassa paineessa oleva kylmäaine johdetaan putkilämmönvaihtimen vaipan yläosaan. Lauhduksessa (kuva 4) kylmäaine luovuttaa lämpöä lämmönvaihtimen putkissa kiertävällä kaukolämpövedelle. Samalla kylmäaineen lämpötila laskee ja kylmäaine lauhtuu höyrystä nesteeksi. (Friothersm koulutusmateriaali 2020.)



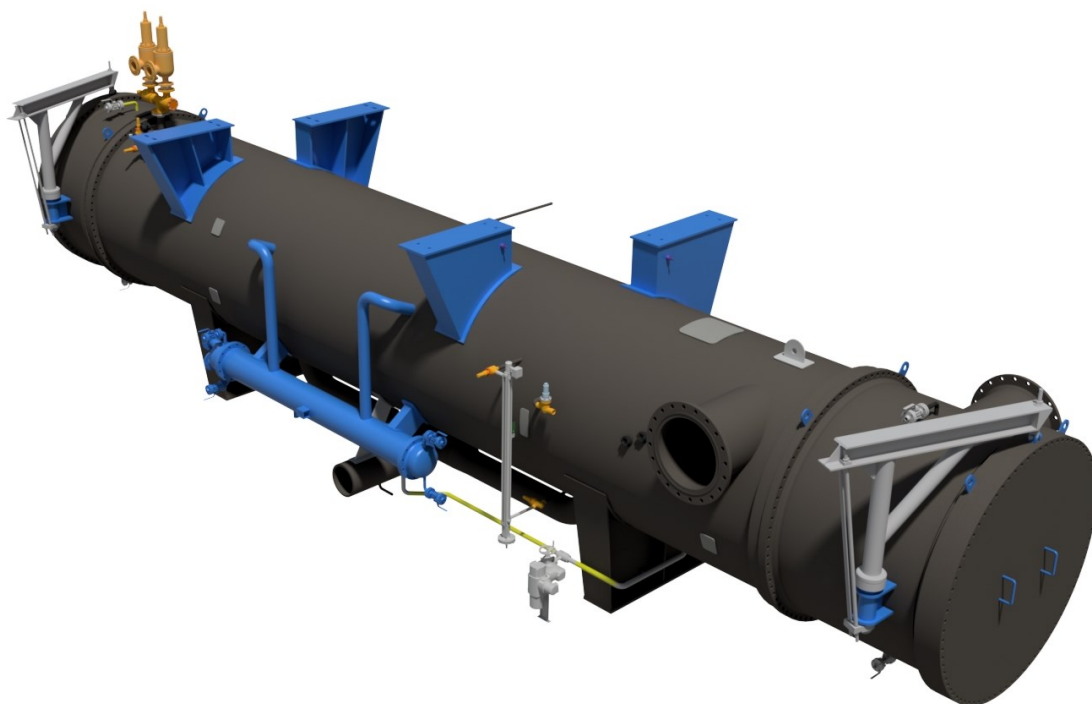
Kuva 4. Teollisen mittakaavan lauhduttimena toimii usein putkilämmönvaihdin (Friotherm koulutusmateriaali 2020.)

Nesteeksi lauhtunut kylmäaine kertyy lämmönvaihtimen vaipan pohjalle. Lauhduttimen jälkeen voidaan kylmäainekiertoon liittää toinen putkilämmönvaihdin, jossa lauhdetta alijäähdytetään siirtämällä lämpöä kaukolämmitysveden paluuseen ennen lauhdutinta. Alla olevassa kuvassa (kuva 5) kylmäaineen entalpiain lasku lauhduttimessa näkyy pisteiden (4) ja (5) välillä. (Friotherm koulutusmateriaali 2020.)



Kuva 5. Kaksivaiheinen puristus ja paisunta välijäähdytyksellä (Friotherm koulutusmateriaali 2020.)

Lauhduttimen jälkeen on paisuntaventtiili, jossa lasketaan kylmäaineen paine (6) ja kylmäaine jatkaa välisäiliöön. Välisäiliön painetta ja pintaa ohjataan siten, että välisäiliön yläosasta saadaan otettua kylmäainehöyryä kompressorin toiseen vaiheeseen. Välisäiliön pohjalle kertyvä nestemäinen kylmäaine kulkee toisen paisuntaventtiin läpi (7), jossa kylmäaineen paine lasketaan ennen höyrystintä (8). Teollisen mittakaavan lämpöpumppujen höyrystimenä toimii usein putkilämmönvaihdin (kuva 6), jonka putkissa virtaa lämmönlähteenä käytettävä neste ja vaipassa kulkee kylmäaine. Paisuntaventtiilit tuleva kylmäaine johdetaan höyrystimen pohjaan. Lämmönvaihtimen putkissa virtaavan nesteen, kuten kaukojäähdytyksen paluueden, lämpö höyrystää kylmäaineen. Kompressorin imee höyrystyneen kylmäainehöyryn höyrystimen yläosasta. Lämmönlähteenä käytettävä vesi virtaa vastavirtaan siten, että tulo on yläosassa ja paluu alaosassa. Näin lämmön siirtymistä saadaan tehostettua ja kylmäaine höyrystymään kokonaan. (Friothers koulutusmateriaali 2020.)



Kuva 6. Höyrystin ja sivuhöyrystin (Friothers koulutusmateriaali 2020.)

Höyrystimen rinnalla voidaan käyttää sivuhöyrystintä. Sivuhöyrystimessä lämpöpumpun käyttämä kylmäainetta höyrystetään vesi-glykolipiirin lämmöllä.

Vesi-glykolipiiriä käytetään lämpöpumpun öljyjen ja sähkömoottorin sekä tuotantotilojen jäähdytykseen. Sivuhöyrystimen avulla muodostuneet hukkalämmöt saadaan kerättyä talteen ja lämpöpumpun hyötysuhdetta parannettua. (Friotherm koulutusmateriaali 2020.)

## 4.2 Kylmäaineet

Lämpöpumpuissa lämmön siirtämiseen voidaan käyttää erilaisia kylmäaineita. Kylmäaineita voidaan jaotella niiden rakenteen mukaan täysin halogenoituihin CFC-aineisiin, osittain halogenoituihin HCFC-aineisiin, kokonaan kloorittomiin HFC-aineisiin sekä halogeenittomiin kylmäaineisiin, joita ovat esimerkiksi ammoniakki ja hiilidioksidi. Eri kylmäaineiden vaikutusta kasvihuoneilmiöön voidaan verrata niiden GWP-arvolla. GWP tulee sanoista Global Warming Potential. Hiilidioksidille GWP-arvo on 1. (Hakala & Kaappola 2013: 23.)

Monessa lämpöpumpussa käytössä on R134a. Se on useilta ominaisuuksiltaan hyvä kylmäaine, mutta sen käyttöä on rajoitettu sen aiheuttaman ympäristöriskin vuoksi. Ympäristöriskin suuruuteen vaikuttaa enemmän kylmäaineen haitallisuus. R134a:n GWP-arvo on 1430 eli se on 1430 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu (Hakala & Kaappola 2013: 25). Kylmäaine kiertää suljettua kiertoa eikä sitä vapaudu ilmakehään missään vaiheessa normaalia prosessia, kuten polttolaitosten hiilidioksidi vapautuu. Kylmälaitteiden kuntoa ja toimintaa seurataan tarkasti automaattisilla vuodon ilmaisimilla sekä käsikäyttöisen kaasuilmaisimen kanssa tehtävillä lakisääteisillä kierroksilla. Kierrokset tehdään aina kuuden kuukauden välein ja vuototarkastukset suorittaa kylmäasentaja tai kylmäainevuototarkastuspätevyyden omaava henkilö.

R134a:n käytöstä ollaan luopumassa. Sitä korvataan esimerkiksi R1234ze:llä. Se on monilta ominaisuuksiltaan vastaava kylmäaine kuin R134a, mutta ilmakehään karatessaan se on hiilidioksidiin verrattuna vain seitsemän kertaa haitallampi kasvihuonekaasu eli sen GWP-arvo on 7 (Käyttöturvallisuustiedote trans-1,3,3,3-tetrafluoropropeeni (R1234ze)).

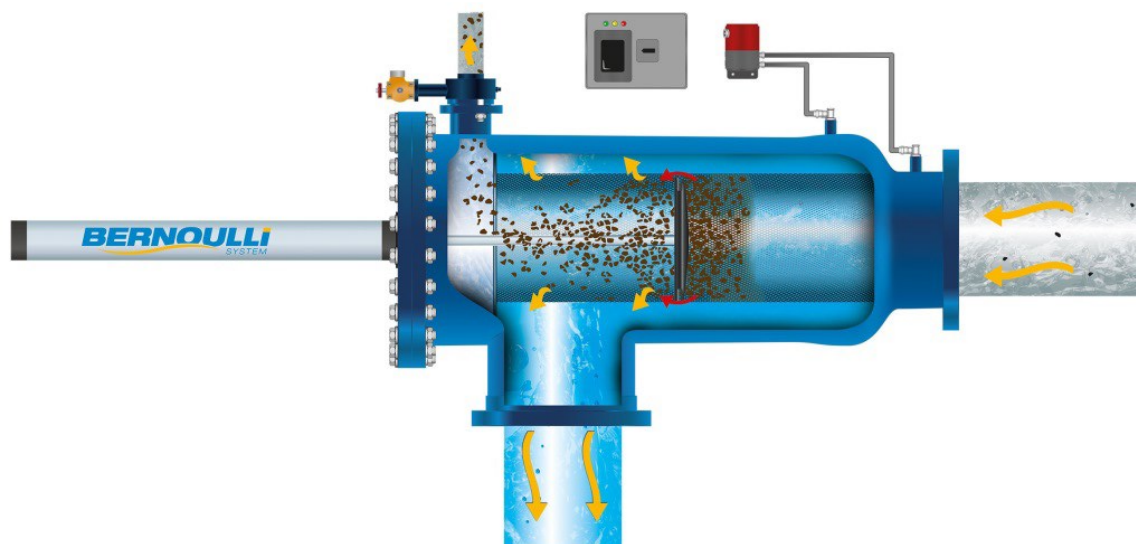
Käytettävän kylmäaineen valintaan vaikuttaa kylmäaineen aiheuttamien ympäristöriskien lisäksi sen suoritusarvot kuten kiehumispiste ja kriittinen lämpötila sekä paineet näissä pisteissä. Kiehumispiste vaikuttaa höyrystimeen ja lämpöpumpun kykyyn tuottaa kylmää eli siirtää lämpöä kylmäaineeseen. Kriittinen lämpötila on lämpötila, jossa kylmäaineyhdiste alkaa hajota. R134a:n kriittinen lämpötila on 101 °C. (Käyttöturvallisuustiedote tetrafluorietaani (R134a)).

Todellinen prosessi joudutaan pitää jatkuvasti muutaman asteen kylmäaineen kriittisen lämpötilan alapuolella. Paineen nostamisessa halutulle tasolle käytetään apuna välijäähdytystä. Lauhduttimen ominaisuuksien vuoksi sieltä lähtevä kaukolämmön menovesi on vielä muutaman asteen alemmassa lämpötilassa kuin sinne tullut kylmäaine. R1234ze:n kriittinen lämpötila on 109,4 °C. Tämän takia sillä saavutetaan korkeampi lämpötila myös kaukolämmön menovedelle, joten se soveltuu hyvin kaukolämmitystä tuottavien lämpöpumppujen kylmäaineksi. (Käyttöturvallisuustiedote trans-1,3,3,3-tetrafluoropropeenin (R1234ze))

### 4.3 Jätevesi

Puhdistettua jätevettä voidaan käyttää lämmönlähteenä lämpöpumpun höyrystimelle silloin, kun lämpöpumppujen energiantarve on suurempi, kuin kaukojäähdytyksen paluusta tuleva energiamäärä. Kaukojäähdytyksen kulutus vaihtelee paljon vuodenajan ja sään mukaan.

Puhdistettu jätevesi pumpataan jätevesikanavasta suodattimille. Vaikka jätevesi on puhdistettua ja matkalla mereen, se sisältää lämmön lisäksi epäpuhtauksia, jotka tukkivat lämmönvaihtimia ja saattavat aiheuttaa laiterikkoja. Jäteveden suodattamiseen voidaan käyttää esimerkiksi automaattisesti itsepuhdistavia Bernoulli-suodattimia (kuva 7). Bernoulli-suodattimissa on automaattinen huuhtelutoiminto, joka poistaa kertyneen lian ja roskat takaisin jätevesikanavaan.



Kuva 7. Yksikorinen Bernoulli-suodatin (Käyttöohje Bernoulli. 2016)

Puhdistettu jätevesi voidaan suodatuksen jälkeen johtaa suoraan höyrystimeen tai vaihtoehtoisesti lämmönvaihtimelle. Erillisissä jätevesilämmönvaihtimissa jäteveden lämpö siirretään kaukojäähdytysveteen, joka sitten luovuttaa saamansa energian höyrystimessä kylmäaineelle.

Höyrystimeen kertyy jäteveden mukana likaa, jos puhdistettua jätevettä pumpataan suoraan höyrystimeen. Kertynyt lika pitää pystyä poistamaan riittävän usein höyrystimen lämmönsiirtokyvyn ylläpitämiseksi. Tähän voidaan käyttää esimerkiksi Taprogge-järjestelmää, jossa pienet, lämmönvaihtimen putkia hie- man suuremmat, pesusienipallot kierrätetään ajoittain höyrystimen läpi jätevesi- virran mukana. Taprogge-järjestelmä sisältää seulan, joka kerää pesusienipallot puhdistetusta jätevedestä ennen sen matkan jatkumista takaisin jätevesikana- vaan. (Friothers koulutusmateriaali 2020.)

Jätevesipumppuja, Bernoulli-suodattimia sekä jätevesilämmönvaihtimia on hyvä olla useampi rinnan, jotta kunnossapitotehtävät tai vikaantuminen yhdessä lait- teessa ei keskeytä lämpövirtaa höyrystimelle ja aja yhtä tai useampaa lämpö- pumppuyksikköä alas.



## 5 Työn toteutus

### 5.1 Tiedonhaku ja työvälineet

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin tutustumalla kaukolämpöä ja -jäähdytystä lämpöpumpuilla tuottavaan laitokseen. Laitokseen perehtyminen sisälsi useita laitospäiväkirjoja, joiden aikana ymmärrys laitoksen toiminnasta ja sen kunnossapitokohteista rakentui.

Laitokseen perehtymisessä käytettiin apuna laitospäiväkirjojen lisäksi PI-kaavioita ja laitevalmistajan koulutusmateriaalia, joita laitoksella oli saatavilla. Ennenkäytössä olevan IFS-kunnossapito- ja hankintajärjestelmän avulla päästi tutustumaan sieltä löytyviin laitekortteihin. Laitoksella tehtyjen muutostöiden takia osa laitekorteista oli päivittämättä tai puuttui vielä kokonaan, mikä hankaloitti tarvittavan tiedon hakua.

IFS:stä löytyi myös aiempien huolto- ja korjaustöiden työmääräimiä sekä tehdyistä töistä kirjoitettuja raportteja. Työmääräimiin ja raportteihin kirjattujen asioiden määrä ja tarkkuus vaihteli. Lyhyiksi jääneistä kirjallisista tallenteista saatua tietoa saattoi kuitenkin täydentää haastattelemalla laitoksen henkilökuntaa. Lisäksi apuna oli laitevalmistajien huolto-ohjeita sekä laitoksella työskentelevien ja työskennelleen henkilökunnan tekemiä ohjeita ja muistiinpanoja.

Näitä tietolähteitä yhdistelemällä kunnossapitokohteet alkoivat muodostua listaksi ja niille tehtävät kunnossapitotoimet asettua paikalleen aikajanelle.

### 5.2 Kunnossapitosuunnitelman laatiminen Exceliin

Laitos koostuu useasta saman toimittajan samanlaisesta lämpöpumppuyksiköstä. Kunnossapidon suunnittelun kannalta tämä helpottaa asioita, sillä samat kunnossapitokohteet ja -toimet toistuvat eri lämpöpumppuyksiköillä. Osalle läm-

pöpumppuyksiköistä oli kuitenkin tehty parantavaa kunnossapitoa, minkä seurauksena laitteet poikkesivat osittain toisistaan. Suunniteltujen kunnossapitotoimien osalta aiemmin tehdyn, parantavan kunnossapidon vaikutukset ovat kuitenkin vähäiset. Eri laite vaikuttaa lähinnä varaosien hankintaan sekä joissain tapauksissa huoltoväleihin.

Laitoksen kunnossapitokohteet luetteloiitiin Exceliin. Työn ulkopuolelle rajattiin sähkö- ja automaatioon kuuluvat komponentit ja niiden kunnossapito. Tässä yhteydessä tämän työn ulkopuolelle jäivät myös kaikki säätöventtiilit, joiden toiminnasta, testauksesta ja toimilaitteesta ovat vastuussa sähkö- ja automaatiohenkilöstö. Venttiilien vikaantuessa mekaanisen kunnossapidon henkilöstöä varmasti tarvitaan, mutta kunnossapitosuunnitelmasta ne rajattiin pois.

Tämän työn ulkopuolelle rajattiin myös valtaosa laitoksen LVI:stä. Mukaan tulivat kuitenkin laitetilojen huonejäähdyttimet, sillä ne luovuttavat energiansa vesiglykolipiirin kautta sivuhöyrystimeen ja ovat siten osa lämpöpumppuyksikköä.

Excelin ensimmäiseksi sarakkeeksi tuli jokaisen laitteen yksilöllinen AKS-koodi. AKS-koodausjärjestelmä on peräisin Saksasta, ja se tulee sanoista Anlagenkennzeichnungssystem (Kytö 2018: 9). Koodi muodostuu kirjaimista ja numeroista, jotka osa kerrallaan tarkentavat laitteen sijaintia ja tyyppiä. Yksilöllisen AKS-koodin avulla jokaisen laitteen laitekortti löytyy IFS-kunnossapito- ja hankintajärjestelmästä.

Seuraaviksi sarakkeiksi tulivat laitenumero, laitelaji ja kriittisyysluokka. Laitenumero auttaa koodin jälkeen tarkentamaan, mistä laitteesta on kyse. Laitelaji tulee usein ilmi jo laitenumeroista, mutta Exceliin tehdyn suodatustoiminnon avulla saadaan esimerkiksi laitoksen pumput näkyviin, mikä parantaa kunnossapitosuunnitelman käytettävyyttä. Kriittisyysluokka on tärkeä ja lyhyesti esitettävissä oleva tieto heti kunnossapitosuunnitelman alkuun.

Kunnossapitosuunnitelman sarakkeet jatkuvat valmistajan tiedoilla ja laitteen hankinta-ajalla. Näiden tietojen avulla päästään nopeasti käsiksi laitteen valmis-

tajaan ja malliin. Tämä helpottaa kunnossapidon suunnittelua sekä näyttää helposti esimerkiksi parantavan kunnossapidon tuomat poikkeavuudet lämpöpumppuyksiköiden välillä.

Hankinta-ajan jälkeen tulivat huomiot ja pikaohjeet, lisätiedot sekä huoltoväli. Huomiot ja pikaohjeet eivät ole virallisia huolto-ohjeita vaan muistiinpanoja liittyen laitteen ehkäisevään kunnossapitoon. Lisätietoja sisältävään sarakkeeseen on koottu tarpeelliseksi katsottuja tietoja laitteen kunnossapitoa ajatellen. Näitä voivat olla esimerkiksi sopivan mekaanisen tiivisteiden tai laakerien malleja tai tasotiivisteiden ja O-renkaiden materiaaleja. Monen laitteen lisätiedot sisältävät lisäksi paineluokan ja laippaliitosten nimellimitat. Hyvien lisätietojen avulla kunnossapidon suunnittelu helpottuu ja mahdollisissa vikatilanteissa korjaavan kunnossapidon häiriötoipumisaika pysyy mahdollisimman lyhyenä.

Seuraaville sarakkeille tulivat vuosiluvut. Muodostunut aikajana alkoi laitoksen rakentamisvuodesta. Huoltohistoriaa kuvaavat merkinnät painottuivat poikkeavuuksiin laitteiden historiassa. Tällaisia olivat esimerkiksi laitteen uusimiset tai korjaavan kunnossapidon yhteydessä tehdyt huollot, joiden seurauksena kunnossapitosuunnitelmaan oli tullut laitteen kohdalle muutos. Kaikkien laitteiden kaikkien aiempien töiden luetteloiminen aikajanelle on rajattu tämän opinäytetyön ulkopuolelle.

Nykyhetkestä kohti tulevaa on jokaiselle laitteelle merkitty kirjain kuvaamaan tehtävää kunnossapitotoimenpidettä. Kirjaimet on jaoteltu suunnitelluin huoltoväleihin siten, että Excelin suodatustoimintaa voidaan käyttää kunnossapidon suunnittelun apuna. Suodattamalla esimerkiksi tulevalta vuodelta esiin kaikki solut, joihin on merkitty kunnossapitotoimia, saadaan yhteen näkymään tulevan vuoden jaksotettua kunnossapitoa vaativat laitteet.

Käytetyistä kirjaimista suurin osa on X-kirjaimia, joilla merkittiin huoltoa tai muuta mekaanisen kunnossapidon toimea. Pesut merkittiin erikseen P-kirjaimella, koska ne ovat kunnossapitotehtävinä sikäli poikkeavia, että laitteen kunto ei parane, vaikka toimintakyky paranee. Pesut ovat kunnossapitosuunnittelun

kannalta myös erilaisia. Ne toistuvat useammin kuin muut kunnossapitotoimet, eikä niitä varten tarvitse hankkia etukäteen varaosia.

Samaan tapaan voiteluöljyille tehtävät suodatukset merkittiin S-kirjaimilla. Neljäs ja viimeinen huoltotoimenpiteitä kuvaava merkintä oli Kt. Kirjainyhdistelmän käyttö poikkeaa muista merkinnöistä, mutta on perusteltua sekaannusten välttämiseksi X- ja K-kirjainten välillä Excelissä. Kt-kirjainyhdistelmällä merkittiin painelaitteiden lakisäätteisiä käyttötarkistuksia. Tarkistuksien hoitaminen kuuluu käytönvalvojalle, mutta niiden ajankohdat tulee huomioida mekaanisen kunnossapidon suunnittelussa.

## 6 Tulokset

Tämän opinnäytetyön tuloksena valmistui kunnossapitosuunnitelma, joka on esitetty liitteessä 1. Kunnossapitosuunnitelma auttaa laitoksen kunnossapitosuunnittelijaa kunnossapitotöiden hallinnassa. Kunnossapitosuunnitelmaan ke-  
rättiin kaukolämpöä ja -jäähdytystä tuottavalta lämpöpumppulaitokselta mekaanisen kunnossapidon kunnossapitokohteet kriittisyysluokkineen, keskeisine laite- ja varaosatietoineen sekä pikaohjeineen. Lisäksi kunnossapitosuunnitelma sisältää vuositasolla olevan aikataulutuksen kunnossapitotöille. Kunnossapitotöiden tarkempi ajoitus määräytyy kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen tuotantotarpeiden sekä sähköhinnan mukaan.

### 6.1 Kriittisyysluokittelu

Kunnossapito- ja hankintajärjestelmä IFS:n laitekorteista löytyi valmiiksi osalle laitteista kriittisyysluokat. Muiden laitteiden kriittisyysluokat täydennettiin kun-

nossapitosuunnitelmaan laitoksella käytössä olevan kriittisyysluokittelun selitteiden, sekä käyttötarkoitukseltaan ja kriittisyydeltään rinnasteisten jo luokiteltujen laitteiden avulla.

Suurin osa laitoksen laitteista kuuluu kriittisyysluokaltaan kategoriaan B, eli ne voivat aiheuttaa osittaisen tuotantoprosessin seisokin johtuen niiden toiminnan häiriöstä tai konerikosta. Kriittisyysluokassa B ovat kaikki lämpöpumppuyksiköt ja niiden toimintaan suoraan kytköksissä olevat apulaitteet, kuten shunttipumput. Kriittisyysluokkaan B lukeutuvat myös kaukojäähdytyksen ja -lämmityksen paluupumput takaiskuventtiileineen. Jätevesilämmönvaihtimet ovat kriittisyysluokkaa B. Ne ovat laitoksen tehokkaan toiminnan kannalta tärkeitä, mutta laitoksen useamman yksikön vuoksi yhden vikaantuminen ei aiheuta merkittävää turvallisuus- tai ympäristöriskiä tai pysäytä laitosta kokonaan.

Kriittisyysluokkaan C kuuluvat laitteet, järjestelmät ja komponentit, jotka voidaan korvata varayksiköllä tai toisella tuotantolinjalla ilman tuotanto- tai laatuapioita. Näistä suurin osa on lämpöpumppujen voitelu- ja tiivisteöljyjen kaksoissuodattimia, joista vain toinen on kerrallaan käytössä. Jätevesilinjan Bernoulli-suodattimien kapasiteetti on myös mitoitettu siten, että yhden suodattimen vikaantuminen tai prosessierotus esimerkiksi puhdistusta varten ei vaikuta laitoksen tuotantoon.

C-kriittisyysluokassa on lisäksi paineilmaa tuottavat kompressorit. Kaikissa laitoksen paineilmalinjoissa on kaksi kompressoria, jotka riittävät yksin tuottamaan järjestelmään tarvittavan määrän paineilmaa. Kahdentamalla paineilmakompressorit voidaan helposti ja suhteellisen edullisesti lisätä laitoksen toimintavarmuutta, koska yksittäisen paineilmakompressorin vikaantuminen ei vaikuta laitoksen tuotantoon.

Kriittisyysluokassa C olivat vielä Taprogge-järjestelmät, joita käytetään osalla lämpöpumpuista höyrystiminä olevien putkilämmönvaihdinten putkien puhdistukseen. Taprogge-laitteen vikaantuminen vaikuttaa ajan myötä heikentävästi höyrystimen tehoon, mutta tuotantoprosessin seisokkia se ei aiheuta.

Kriittisimmän kriittisyysluokan A laitteita oli, kunnossapito- ja hankintajärjestelmä IFS:stä löytyneiden tietojen mukaan, vain keskipaineen ylläpito pumpu. Keskipaineen ylläpito pumpulla säädetään verkossa olevaa painetta. Kyseiselle pumpulle merkitty kriittisyysluokka ei vastaa tämänhetkistä tilannetta verkossa tehtyjen muutosten vuoksi. Sen sijaan laitokselle rakennetut uudet lämpöpumput ja laitoksen tuotantokapasiteetin nosto on vaikuttanut laitoksen käyttämän puhdistetun jäteveden kulutukseen. Tämä tekee jätevesipumpuista aiempaa kriittisemmät kunnossapitokohteet. Niiden kriittisyysluokka korotettiin kunnossapitosuunnitelmaan tehdessä A:han.

## 6.2 Vuosihuolto

Ympäri vuotiseen käyttöön tarkoitetun kaukolämmitystä ja -jäähdytystä tuottavan lämpöpumppulaitoksen vuosihuollon ajoittaminen on hieman hankalampaa kuin polttoon perustuvien lämpölaitosten. Ne voidaan huoltaa vuorotellen kesällä, kun lämmitystarve on vähäisimmillään. Lämpöpumppulaitoksen vuosihuolto on pyrittävä ajoittamaan siten, että se haittaa mahdollisimman vähän sekä talven lämmöntuottoa että kesän jäähdytystuottoa. Talvella lämpöpumppulaitoksen jäähdytysteholle ei ole käyttöä, joten tuotantomenetyksiä ei muodostu. Puuttumaan jäävä lämpöteho voidaan korvata polttavilla lämpölaitoksilla. Sähkön hinta on talvella kesää korkeammalla, mikä osaltaan vaikuttaa siihen, että vuosihuolto kannattaa tehdä talvella. Lisäksi kunnossapidon henkilöstöresurssit ovat talvella paremmin käytettävissä, koska lämpölaitoksien vuosihuollot ja kesälomat eivät aiheuta rajoitteita. Lämpöpumppulaitoksen vuosihuolto tehdään yleensä helmikuussa.

Vuosihuollon aikana laitos on ajettu alas. Seisokkiaika pidetään lyhyenä suunnitteleamalla vuosihuollossa tehtävät työt yhdessä sähkö- ja automaatiopuolen henkilöstön kanssa, jotta molempien osastojen työt etenevät tehokkaasti. Vuosi-

huollon aikana tehdään ensisijaisesti kunnossapitotöitä, jotka edellyttävät laitoksen alasajoa. Näiden lisäksi tehdään kunnossapitotöitä, jotka helpottuvat ja nopeutuvat sen takia, että laitos on ajettu alas.

### 6.3 Lämpöpumppu

Yksittäiset lämpöpumput kuuluvat kriittisyysluokituksessa kategoriaan B. Laite on tärkeä ja vikaantuminen aiheuttaa tuotantomäärän laskemista, mutta ei py-säytä koko laitosta.

Lämpöpumput tarkistetaan päivittäin silmämääräisesti. Päivittäisissä tarkastuksissa mm. etsitään vuotoja voitelu- ja tiivisteöljyjärjestelmistä. Tiiviste- ja voiteluöljyjärjestelmiä tarkkaillaan viikoittain. Tiivisteöljyn määrää seurataan, ettei voiteluöljyä ole päässyt sekoittumaan tiivisteöljyyn. Tarvittaessa voiteluöljyä laske-taan pois tiivisteöljysäiliöstä hanan kautta, sillä öljyt eivät sekoitu keskenään.

Muuta ennaltaehkäisevää huoltoa ovat mm. lämpötilojen, tehontarpeiden sekä äänien ja värähtelyiden tarkkailut. Tarkkailu perustuu kokemuseräiseen tietoon sekä trendien seurantaan.

Kylmäainekierrokset ovat lakisääteisiä, ja ne tehdään kuuden kuukauden välein. Kylmäainekierroksilla varmistetaan, että laitoksella oleva kylmäainelaitteisto on kunnossa eikä kylmäainevuotoja ole.

Isommat huollot tehdään laitetoimittajan avustuksella viiden vuoden välein. Nämä huollot edellyttävät lämpöpumpun tyhjentämistä kylmäaineista, putkisto- jen väliaikaista purkamista ja kompressorin avaamista. Huolto itsessään sisältää mm. tiivisteiden ja laakereiden sekä säätösiipien nivelten vaihdon.

## 6.4 Lauhduttimen lämmin puoli

Kaukolämpöverkon paluueden paine nostetaan ennen lämpöpumppuja. Paluupumppujen viikoittaisiin kunnossapitotehtäviin kuuluu voiteluöljypinnan ja mahdollisten vuotojen tarkkailu. Isompi perushuolto tehdään kahdeksan vuoden välein. Tällöin pumppu avataan ja laakerit, tiivisteet sekä muut kuluneet osat vaihdetaan.

Kaukolämpölinjaan kuuluu myös takaiskuventtiilejä, jotka sallivat virtauksen vain haluttuun suuntaan. Niiden ennakoivina kunnossapitotoimina ovat jousten vaihto viiden vuoden välein sekä koko venttiilin vaihto kymmenen vuoden välein. Samassa yhteydessä mutasihti avataan ja puhdistetaan. Tarvittaessa vioitunut verkko uusitaan. Kaukolämpölinjan varoventtiilit vaihdetaan niiden vikaantuessa.

Yksittäisen lämpöpumpun toiminnan kannalta tärkein kaukolämpöpuolen laite on lauhduttimen ja kaukolämpöverkon välissä oleva shunttipumppu. Shunttipumppu mahdollistaa kaukolämmitysveden kierrättämisen lauhduttimessa lämpöpumpun käynnistyksen yhteydessä ennen lämpöpumpun tuotannon liittämistä verkkoon. Shunttipumpun käyttötunnit jäävät kuitenkin todella alhaisiksi, joten sen kunnossapito on lähinnä korjaavaa kunnossapitoa. Tuotantotappiot saattavat kuitenkin nousta nopeasti suuriksi, jos lämpöpumppua ei saada viallisen shunttipumpun takia tuotantoon. Häiriökorjauksen lyhentämiseksi korjaukseen tarvittavat varaosat pidetään valmiina varastossa.

## 6.5 Höyrystimen kylmä puoli

Kaukojäähdytysvettä voidaan syöttää höyrystimelle vuodenaikasta ja ajotavasta riippuen joko kaukojäähdytyksen paluupumpuilla tai konejäähdytyspumpuilla. Niiden ehkäisevä kunnossapito on jaksotettu tehtäväksi kahdeksan vuoden välein. Huolto sisältää pumppuhuollolle tyypilliset laakereiden ja tiivisteiden tarkistukset ja vaihdot. Kaukojäähdytyspumppujen huolto ajoitetaan talvelle, jolloin



jäähdytystarve on olematonta. Vastaavasti jätevedestä höyrystimelle energiaa siirtävät konejäähdytyspumput huolletaan helteisimpänä ajanjaksona, jolloin höyrystimen tarvitsema lämpö saadaan kaukojäähdytyksen paluuedestä.

Höyrystimellä on myös oma shunttipumppunsa, joka on käytössä vain lämpöpumpun käynnistyksessä. Samoin kuin lauhduttimen shunttipumpussakin, sen käyttötunnit jäävät pieniksi, mutta toimintakelpoisuuden tulee olla korkea, vikaantumisvälin pitkä ja häiriötoipumisajan lyhyt.

Lämpöpumppulaitoksen kaukojäähdytyslinjassa on myös omat takaisku- ja varoventtiilinsä sekä mutasihdit. Niiden kunnossapito on yhteneväistä kaukolämmityspuolen vastaavien laitteiden kanssa. Varoventtiilit vaihdetaan vikaantuessa ja takaiskujen jouset viiden vuoden välein.

## 6.6 Jätevesi

Laitoksen jätevesipumppuina käytetään aksiaalipumppuja, jotka sopivat hyvin käytettäväksi silloin, kun vaadittava nostokorkeus on pieni ja virtausmäärä suuri. Pumpun ehkäisevä kunnossapito sisältää mm. lämpötilan, tehon ja kapasiteetin seuraamista. Pumpun huoltoväli on kahdeksan vuotta, mutta käytöstä aiheutuvien värinöiden takia huoltoa voidaan joutua aikaistamaan pumpun kuntoon perustuen. Jätevesi kuluttaa pumpun osia, ja pitkä akseli ja sen värinät tuovat omat haasteensa kunnossapitoväleille. Huollossa pumppu nostetaan ylös jätevesikanavasta, puretaan ja laakerit, tiivisteet sekä kuluneet osat vaihdetaan.

Bernoulli-suodatinten automaattisesta huuhtelusta huolimatta suodattimet tulee avata ja pestä 1–2 kertaa vuodessa. Puhdas suodatin toimii paremmin ja seuraavana linjassa olevat jätevesilämmönvaihtimet pysyvät puhtaampina. Pesun yhteydessä kunnossapidon asentaja voi tarkistaa paineilmaletkujen ja tiivisteiden kunnan sekä muut mahdolliset osien kulumat.

Laitoksen tehokkaan toiminnan kannalta tärkeimpiä huoltokohteita ovat jätevesilämmönvaihtimet. Jätevesilämmönvaihtimina käytetään levylämmönvaihtimia. Lämmönvaihdinten levyt likaantuvat ajan mittaan niissä virtaavasta jätevedestä ja likaiset vaihtimet tulee pestä 3–4 kertaa vuodessa, ja tarvittaessa useammin, CIP-pesulla (Cleaning In Place). CIP-pesussa vaihdinta ei avata vaan se erotetaan prosessista ja levyjen välissä kierrätetään hapanta tai emäksistä pesuliosta erillisellä pesurilla.

Tarvittaessa lämmönsiirrin voidaan avata ja pestä levy kerrallaan. Samassa yhteydessä vaihdetaan levyjen väliset tiivisteet. Vaihtimien pesun tarvetta indikoi kasvanut paine-ero vaihtimen yli, laskeneet tilavuusvirrat sekä asteisuuden kasvu. Likaantumisenopeuteen voidaan jossain määrin vaikuttaa virtausnopeuden kasvattamisella. Tämä voidaan tehdä pitämällä yksi lämmönvaihtimista erossa prosessista pesun jälkeen ajotilanteen niin salliessa.

## 6.7 Voiteluhuolto

Ehdottomasti tärkein kaikista huoltotoimenpiteistä dynaamisille laitteille on voiteluhuolto. Sillä vaikutetaan laitteiden luotettavuuteen ja koko laitoksen käyttövarmuuteen. Tiedot ja suositukset voitelukohteiden voiteluaineista ja -määristä tulevat laitetoimittajilta. Voiteluaineiden soveltuvuudet, käyttöalueet ja vastaavuudet on hyvä tarkistaa voiteluaineiden toimittajalta. (Koskelainen ym. 2006: 351.)

Kaukolämpöä ja -jäähdytystä tuottavalla lämpöpumppulaitoksella olevien lämpöpumppujen voiteluöljynä käytetään turbiiniöljyä. Voiteluöljy suodatetaan jatkuvatoimisilla suodattimilla. Suodattimia on kaksi rinnan siten, että ajossa oleva suodatin voidaan vaihtaa viipymättä puhtaaseen tarpeen vaatiessa. Tämän jälkeen likaantunut suodatin voidaan vaihtaa uuteen suodattimeen odottamaan seuraavaa vaihtoa.

Voiteluöljyn puhtaudesta huolehditaan myös tietyin huoltovälein tehtävällä sivuvirtasuodatuksella. Sivuvirtasuodatuksella öljynvaihtoväljen pituutta voidaan

maksimoida ja päästä eroon ylimääräisistä öljynvaihtoista. Sivuvirtasuodatusessa öljy kiertää lämpöpumpun öljysäiliöstä erillisen suodatinlaitteiston läpi (kuva 8). Sivuvirtasuodatus ei vaikuta lämpöpumpun käyttöön, vaan lämpöpumpua voidaan käyttää suodatuksen aikana normaalisti.



Kuva 8. C. C. Jensenin valmistama sivuvirtasuodatin HDU 27-27 (C.C. Jensen Photodatabase)

Lämpöpumpuissa kiertävän voiteluöljyn kunto varmistetaan sillä, että voiteluöljymäärät ovat suuria ja epäpuhtauksia poistavat suodatukset toimivat hyvin. Voiteluöljyn kuntoa seurataan vuosittain tehtävillä öljyanalyysillä. Öljyanalyysit ovat osa ennakoivaa kunnossapitoa, josta käytetään joskus myös nimitystä ennustava kunnossapito. Öljyanalyyseistä saadaan selville paitsi öljyn kunto myös mahdolliset vauriot lämpöpumpputyksikössä. Öljyanalyysin avulla ilmenneen vaurion korjaus voidaan hoitaa suunnitellusti kuntoon perustuvana kunnossapitona ennen laitteen vikaantumista.

Voiteluöljyn lisäksi lämpöpumpuissa käytetään erillistä tiivisteöljyä. Tiivisteöljyä suodatetaan jatkuvasti kahdella rinnakkaisella suodattimella, joista toinen on kerrallaan käytössä. Tiivisteöljyjärjestelmään liittyvä kunnossapito on tavallisesti kunnonvalvontaa, johon sisältyy tiivisteöljysäiliön pinnan sekä mahdollisten vuotojen tarkkailua. Tiivisteöljy vaihdetaan uuteen aina lämpöpumpun huollon yhteydessä.

Kaukolämmitystä ja -jäähdytystä tuottavalla laitoksella on lämpöpumppuyksiköiden lisäksi paljon erilaisia pyöriviä laitteita, kuten kaukolämmitysvettä tai -jäähdytysvettä siirtäviä pumppuja. Näiden pumppujen vikaantuminen johtaa korjauvaan kunnossapitoon ja siitä aiheutuviin kustannuksiin sekä monissa tapauksissa ainakin osittaisiin tuotannon menetyksiin. Kattava ja säännöllinen voiteluhoito on ensiarvoisen tärkeä osa ehkäisevää kunnossapitoa. Voiteluaine estää liikkuvien pintojen kosketukset toisiinsa osittain tai kokonaan voiteluainekalvolla. Voitelulla saadaan vähennettyä kitkaa ja kulumista liikkuvien koneenosien välillä. (Kivioja ym. 2007: 129, 334.) Lisäksi voitelu suojaa laakereita korroosiolta ja ulkoa tulevilta hankaavilta hiukkasilta.

Pumpuissa usein käytetyt vierintälaakerit voidellaan useimmin rasvalla. Rasvan määrän on oltava oikea, sillä liiallinenkin rasva voi aiheuttaa vaurioita nostamalla lämpötilaa laakerissa suurilla pyörintänopeuksilla. (Kivioja ym. 2007: 239.) Vähentynyt kitka vaikuttaa kulumisen ja siitä aiheutuvien kunnossapitotoimien ja mahdollisten vikaantumisten lisäksi myös tehontarpeeseen ja sen myötä hyötysuhteeseen. Voitelukohteita pumpulla on yleensä neljä kappaletta. Moottorin molemmissa päissä on laakerit samoin kuin pumpun akselissakin. Osa laitoksen pumpuista voidellaan voitelukierroksilla, joilla asentaja laittaa oikean grammamäärän rasvaa pumppuun.

Osaan pumpuista ja niiden moottoreista, jotka käyvät harvoin ja epäsäännöllisesti, on asennettu SKF-voiteluautomaattipatruunat (kuva 9). Automaattisilla patruunoilla oikeanlaista rasvaa saadaan syötettyä tasaisesti laakereille koko patruunan tyhjenemisajan. Tyhjenemisaika voidaan säätää esimerkiksi vuoden

mittaiseksi, valitsemalla kuukausien lukumäärä patruunan päällä olevasta valitsimesta. Toimiessaan voiteluautomaattipatruunat mahdollistavat tuoreen rasvan laakereihin, vaikka useampikin voitelukierros olisi mennyt ohi pumpun ollessa pysähdyksissä. (SKF system 24.)



Kuva 9. SKF-voiteluautomaattipatruunoita (SKF system 24)

## 7 Yhteenveto

Tällä opinnäytetyöllä pyrittiin kehittämään työväline Enersense Oy:n kunnossapitosuunnittelijan käyttöön kaukolämpöä ja -kylmää tuottavan lämpöpumppulaitoksen kunnossapitoon. Työn tuloksena valmistui Excel-taulukkomuodossa oleva kunnossapitosuunnitelma. Kunnossapitosuunnitelma pohjautuu luotettavuuskeskeiseen ja ehkäisevään kunnossapitoon, jolla oikeanlainen kunnossapito voidaan kohdentaa oikeisiin laitteisiin oikea-aikaisesti. Kunnossapitosuunnitelmassa on noin 500 laitoksen mekaanista kunnossapitoa vaativaa kohdetta lueteltuna AKS-laitekoodeittain. Kunnossapitosuunnitelma tehtiin siten, että Excelin suodatustyökalua voidaan käyttää apuna tarvittavan tiedon löytämiseksi. Kunnossapitosuunnitelmasta näkee helposti esimerkiksi seuraavalle vuodelle

tulossa olevat määräaikaishuollot. Yhden laitteen suodatus kaikilta lämpöpump-  
puyksiköiltä auttaa kunnossapitotöiden ja -välien suunnittelussa sekä vikaantu-  
misten seurannassa. Vastaavasti yhden lämpöpumppuyksikön kaikkien laittei-  
den suodattaminen kerralla nähtäväksi helpottaa huoltoseisokin aikana tehtä-  
vien töiden suunnittelua.

Kunnossapitosuunnitelma on tehty paitsi valmiiksi, myös kehitettäväksi. Sen ak-  
tiivinen käyttö lisää siellä olevan tiedon määrää ja tarkkuutta. Samalla käsitys  
laitoksen laitteiden tarvitsemista kunnossapidosta tarkentuu. Tämä auttaa pa-  
rantamaan ehkäisevän kunnossapidon laatua ja vie kunnossapitoa kohti luotet-  
tavuuskeskeistä kunnossapitoa, missä ylimääräiseltä kunnossapidolta välty-  
tään, kun ehkäisevä kunnossapito tehdään jatkuvasti paremmin.

Opinnäytetyötä tehdessä havaittiin mahdollisuus kehittää laitoksen voiteluhol-  
toa osana ehkäisevää kunnossapitoa. Hyvällä voiteluhuollolla voidaan ajan saa-  
tossa saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä suunnittelemattomien kunnossa-  
pitojen ja niistä aiheutuvien tuotantotappioiden vähenemisenä.

## Lähteet

Aalto, Esa; Alijoki, Tapio; Hakala, Pertti; Hirvelä, Aulis; Kaappola, Esko; Mentula, Jukka & Seinelä, Altti. 2008. Kylmäainetekniikka. 3. Painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

C.C. Jensen Photodatabase. Verkkoaineisto. < [https://www.cjc.dk/fileadmin/root/File\\_Admin\\_Filter/pag\\_Press\\_and\\_topics/Photo\\_database/HDU\\_27-27\\_P.png](https://www.cjc.dk/fileadmin/root/File_Admin_Filter/pag_Press_and_topics/Photo_database/HDU_27-27_P.png)>. Luettu. 4.10.2023.

CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2023. Verkkoaineisto. Motiva <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto\\_suomessa/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-paastokertoimet)>. Luettu 26.8.2023.

Friotherm koulutusmateriaali. 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti. Enersense Oy.

Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus

Heat Pumps and Chillers. Verkkoaineisto. Friotherm. <<https://www.friotherm.com/products/unitop/unitop-50/>>. Luettu 31.8.2023

Helenin kumppaniksi Enersensen ja Fimpec. 2022. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2022/helenin-kumppaneiksi-enersense-ja-fimpec>>. Luettu 26.8.2023.

Hiilineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö.

Järviö, Jorma; Piispa, Taina; Parantainen, Timo & Åström, Thomas. 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Kaukolämpötilasto. 2023. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view>>. Päivitetty 16.6.2023. Luettu 30.9.2023.

Kivioja, Seppo; Kivivuori, Seppo & Salonen, Pekka. 2007. Tribologia – kitka, kuluminen ja voitelu. 5. korjattu painos. Helsinki: Otatieto / Gaudeamus.

Koskelainen, Lasse; Saarela, Rauli & Sipilä Kari. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Kytö, Tomi 2018. KKS-signaalitunnusjärjestelmän kehittäminen laitossuunnittelua varten. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Käyttöohje Bernoulli. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Enersense Oy.

Käyttöturvallisuustiedote tetrafluorietaani (R134a). Verkkoaineisto. Linde gas. <[https://www.linde-gas.fi/fi/images/R134a\\_1.1\\_FI\\_tcm634-448618.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/R134a_1.1_FI_tcm634-448618.pdf)>. Luettu 4.10.2023.

Käyttöturvallisuustiedote trans-1,3,3,3-tetrafluoropropeeni (R1234ze). Verkkoaineisto. Linde gas. <[https://www.linde-gas.fi/fi/images/R1234ze\\_1.2\\_FI\\_tcm634-448667.pdf](https://www.linde-gas.fi/fi/images/R1234ze_1.2_FI_tcm634-448667.pdf)>. Luettu 4.10.2023.

Me olemme Enersense. 2023. Verkkoaineisto. Enersense International Oyj. <<https://enersense.fi/tietoa-meista/>>. Luettu 26.8.2023.

Mikkonen, Henry (toim.). 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy

Mäki, Johanna. 2023. Kunnonhallintapäällikkö, Helen Oy, Helsinki. Sähköposti 25.8.2023.

Päästöoikeuksien huutokauppa. 2023. Verkkoaineisto. Energiavirasto. <<https://energiavirasto.fi/huutokauppa>>. Luettu 26.8.2023.

Schönach, Paula. 2008. Kaupungin savut ja käryt Helsingin ilmansuojelu 1945-1982. Akateeminen väitöskirja. Helsinki: Helsingin yliopiston yhteiskuntapolitiikan laitos.

SKF system 24. Verkkoaineisto. SKF. <<https://www.skf.com/group/products/lubrication-management/lubricators/gas-driven-single-point-automatic-lubricators>>. Luettu 4.10.2023.

Smart Industry. Verkkoaineisto. Enersense International Oyj. <<https://enersense.fi/palvelut/smart-industry/>>. Luettu 26.8.2023.

Tulevaisuusbarometri 2023. 2023. Verkkoaineisto. Sitra. <[https://www.sitra.fi/app/uploads/2023/02/sitra-tulevaisuusbarometri-2023\\_erillisraportti\\_nuoret.pdf](https://www.sitra.fi/app/uploads/2023/02/sitra-tulevaisuusbarometri-2023_erillisraportti_nuoret.pdf)>. Luettu 26.8.2023.

Ylläpito – Laitteet koulutusmateriaali. 2023. Yrityksen sisäinen dokumentti. Helen Oy.



## **Liite 1. Kunnossapitosuunnitelma**