



Asko Siistonen

# Jäähdytyslaitoksen toiminta ja hukkalämmön minimointi uudella lauhdutustavalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- automaatiotekniikka

Insinöörityö

16.11.2022

# Tiivistelmä

Tekijä:	Asko Siistonen
Otsikko:	Jäähdytyslaitoksen toiminta ja hukkalämmön minimointi uudella lauhdutustavalla
Sivumäärä:	33 sivua
Aika:	16.11.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine:	Automaatiotekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Kai Virta Projektipäällikkö Sampsa Köppä

---

Fortum Power and Heat Oy ja Espoon kaupunki ovat sitoutuneet siirtymään hiilineutraaliin kaukolämmön tuotantoon 2020-luvun aikana Espoon ja Kirkkonummen alueella. Uuden sukupolven kaukolämmön tuotanto perustuu muun muassa palvelinkeskusten ja jätevesien hukkalämmön keräämiseen, uusiutuvalla sähköllä ja bioenergialla toimiviin kattiloihin sekä lämpöpumppuihin. Kylmätekniikka onkin tulevaisuuden kaukolämmön tuotannossa aina vain suuremmassa merkityksessä. Jotta kaukolämmön hiilineutraaleihin tavoitteisiin päästäisiin, on nykyisten jäähdytyslaitosten hyötysuhdetta myös parannettava.

Opinnäytetyön tavoitteena oli alentaa käytössä olevan jäähdytyslaitoksen hukkalämmön osuutta kesäkuukausien aikana, jolloin jäähdytyslaitosta joudutaan lauhduttamaan nestelauhdutuksella. Nestelauhdutuksen ulkoilmaan lauhdutettavan hukkalämmön osuus saatiin minimoitua jäähdytyslaitoksen ajotapamuutoksen avulla.

Työ tehtiin yhteistyössä energiayhtiö Fortum Power and Heat Oy:n ja teollisuuden käyttö- ja kunnossapitopalveluita tuottavan Caverion Industria Oy:n kanssa. Projektin suunnittelusta, ohjelmoinnista ja testauksesta vastasivat ABB Oy ja insinööritoimisto Granlund Oy.

Opinnäytetyön pohjustukseksi käsiteltiin lisäksi kylmätekniikan perusteita, jäähdytyslaitoksen toimintaa, ylläpitoa sekä huoltoa.

Avainsanat: Jäähdytyslaitos, kaukojäähdytys, kaukolämmitys, lämpöpumppu, lauhdutus, automaatiojärjestelmä

## Abstract

Author: Asko Siistonen  
Title: Cooling plants working principle and minimization of waste heat with a new condensing method  
Number of Pages: 33 pages  
Date: 16 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Kai Virta, Senior Lecturer  
Sampsa Köppä, Project Manager

---

Fortum Power and Heat Oy and the City of Espoo have committed to transfer the production of district heating to become carbon neutral in during the 2020s in Espoo and Kirkkonummi area. The new generation of district heating production is based on recycling waste heat from data centers and sewages, boilers that operate with renewable electricity or bioenergy and heat pumps among others. Refrigeration technology is in the increasingly important role in the district heat production of the future. In order to reach the carbon neutral targets for district heating, the efficiency of existing cooling plants must also be improved.

The aim of the thesis was to reduce the share of waste heat in an operating cooling plant during the summer months, when the cooling plant has to be condensed with liquid condensation. The share of waste heat condensed into the open air from liquid condensation was minimized with the help of a new condensing method of the cooling plant.

The work was carried out in cooperation with energy company Fortum Power and Heat Oy and Caverion Industria Oy, a provider of industrial operation and maintenance services. The project was designed, programmed and tested by ABB Oy and Granlund Oy.

As a basis for the thesis, the basics of refrigeration technology, the operation and maintenance of the cooling plant were also discussed.

Keywords: Cooling plant, district cooling, district heating, heat pump, condensation, automation system

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kaukokylmätuotannon perusteet	2
3	Jäähdytyslaitoksen toiminta ennen uutta lauhdutuksen ajotapaa	5
3.1	Kaukojäähdytysverkon jäähdytys	6
3.2	Kylmäakku	7
3.3	Jäähdytyslaitoksen lauhdutustavat	9
3.3.1	Kaukolämpölauhdutus	9
3.3.2	Nestelauhdutus	9
3.4	Glykolipiiri	11
3.5	Vapaajäähdytys	11
3.6	Kaukojäähdytysverkoston täyttäminen	13
4	Kaukojäähdytyksen tuotannon varmentaminen	13
4.1	Sähkönjakelun varmennus	13
4.2	Jäähdytyslaitoksen redundanttisuus	16
4.3	Jäähdytyslaitoksen tuotannon häiriöidensietokyky	16
5	Kaukojäähdytyslaitoksen ylläpitäminen ja kunnossapito	17
5.1	Lämpöpumppujen kylmäaineen vuototarkastukset ja määräaikaishuollot	17
5.2	Varavoimageneraattoreiden vuosihuollot	18
5.3	Taajuusmuuttajien ennakkohuollot	20
5.4	Varavoimakoneiden koekäytöt ja lämpöpumppujen vuorottelu	20
5.5	Kaukojäähdytysveden laadun seuranta ja vaihto	21
6	Jäähdytyslaitoksen uusi lauhdutuksen ajotapa	22
6.1	Uuden lauhdutuksen ajotavan tarve	22
6.2	Uuden lauhdutuksen ajotavan vaatimat muutokset laitoksen automaatioon	22
6.3	Uuden lauhdutuksen ajotavan testaaminen	26
7	Jäähdytyslaitoksen tuottamat kaukolämpötehot	27

8 Yhteenveto

31

Lähteet

32

## Lyhenteet

UPS: Uninterruptible power supply. Keskeyttämätön virransyöttölaite, joka pitää virransyötön lyhyissä sähkökatkoksissa normaalina akkujen avulla.

DCA: Diesel coolant additive. Diesel varavoimageneraattorin jäähdytysnesteeseen lisäaine, joka mm. suojaa generaattoria korroosiolta.

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä jäähdytyslaitoksen kehitysprojektiä, jonka avulla jäähdytyslaitoksen tuottama hukkalämpö pyritään minimoimaan uudella jäähdytyslaitoksen lauhdutustavalla.

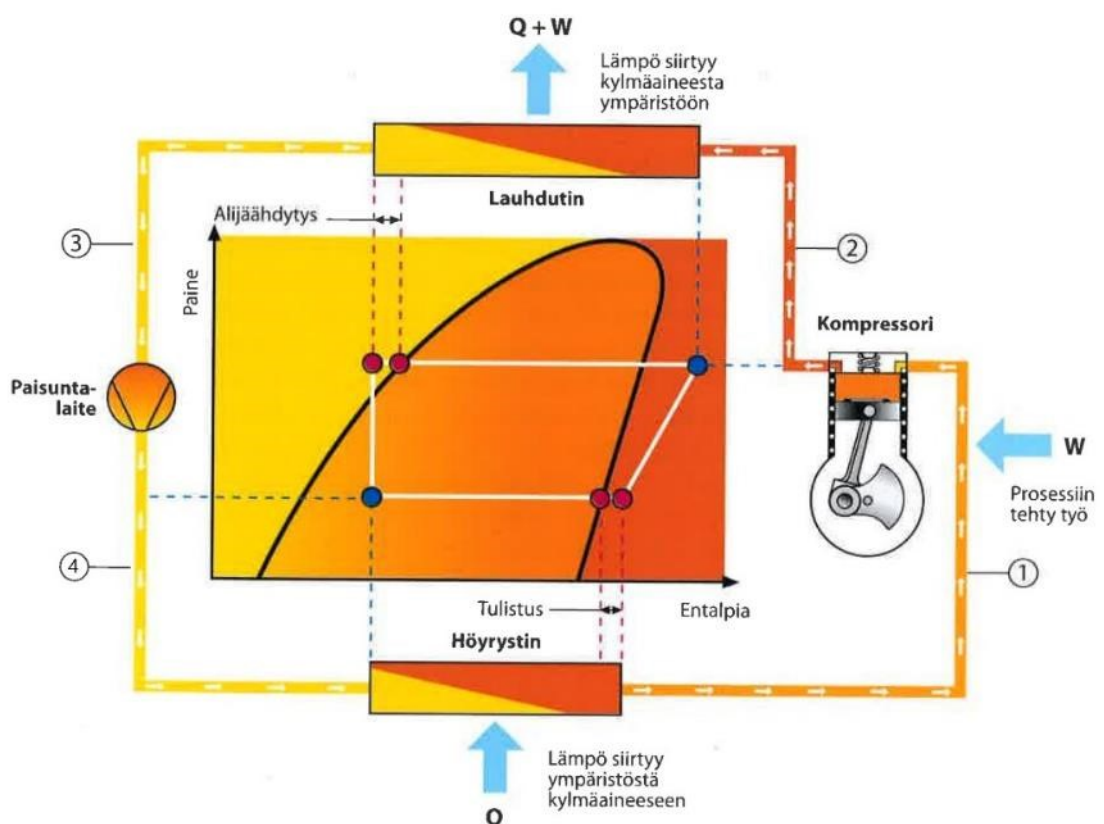
Jäähdytyslaitoksen lauhdutuksella tarkoitetaan jäähdytyslaitoksen tuottaman lämmön pois luovuttamista. Ennen opinnäytetyössä toteutettua projektia, jäähdytyslaitoksen lauhduttamiseen oli kaksi vaihtoehtoa: kaukolämpölauhdutus ja nestelauhdutus. Kaukolämpölauhdutuksessa jäähdytyslaitoksen kaukojäähdytysveden tuottamisen seurauksena syntynyt lämpö lauhdutetaan suoraan kaukolämpöverkoston paluulinjaan. Tällöin jäähdytyslaitoksen tuottama lämpö saadaan hyötykäyttöön kaukolämpöverkoston. Nestelauhdutuksessa sama jäähdytyslaitoksen tuottama lämpö lauhdutetaan kattopuhaltimien kautta suoraan ulkoilmaan. Nestelauhdutuksessa jäähdytyslaitoksen tuottama lämpö tuhlataankin kokonaisuudessaan hukkalämpönä. Jäähdytyslaitosta pyritään ajamaan kaukolämpölauhdutuksella, mutta kesäkuukausina, jolloin kaukolämpöverkoston paluulinjan lämpötilat voivat olla liian korkeat kaukolämpölauhdutukseen, joudutaan käyttämään nestelauhdutusta.

Projektissa jäähdytyslaitokselle ohjelmoitiin uusi lauhdutustapa; kaukolämpö-nestelauhdutus. Tässä lauhdutustavassa yhdistettiin molemmat aiemmin käytössä olleet lauhdutustavat. Näiden lauhdutustapojen suhdetta muutettiin perustuen kaukolämmön paluulinjan lämpötilaan. Mitä kuumemmaksi kaukolämpöverkoston paluulinjan lämpötilat muuttuivat, sitä enemmän kasvatettiin nestelauhdutuksen osuutta koko lauhdutuksesta. Tämän seurauksena jäähdytyslaitoksen lauhdutuksesta saadaan lämpöä talteen myös kesäkuukausilta.

Pohjustukseksi opinnäytetyössä käsitellään lisäksi kylmätekniiikan perusteita, perehdytään jäähdytyslaitoksen toimintaperiaatteeseen ja käsitellään jäähdytyslaitoksen huoltoa sekä kunnossapitoa.

## 2 Kaukokylmätuotannon perusteet

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa (kuva 1) kompressorilla tehdyn työn avulla siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan kylmäaineen välityksellä. Nykyaikainen jäähdytystekniikka perustuu kylmäaineen olomuotojen muutokseen. Jäähdytettävässä kohteessa nestemäinen kylmäaine höyrystyy sitoessaan itseensä lämpöenergiaa. Vastaavasti lämmitettävässä kohteessa höyrystynyt kylmäaine nesteytyy luovuttaessaan lämpöenergiaa ympäristöönsä. [1, s. 15-16.]



Kuva 1. Kylmätekniinen kiertoprosessi. Muokattu lähteestä [1, s. 15.]

1. Matalapaineinen höyry
2. Korkeapaineinen höyry
3. Korkeapaineinen neste
4. Osittain höyrystynyt matalapaineinen neste

Lämpöpumppu (kuva 2) tai jäähdytyslaite koostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta lämmönvaihtimesta (höyrytimestä ja lauhduttimesta), kompressorista, paisuntalaitteesta sekä näiden neljän komponenttien välillä kiertävästä kylmäaineesta.



Kuva 2. Carrier 30XW lämpöpumppu sisältää kaksi erillistä piiriä, jotka pystyvät toimimaan itsenäisesti.

1. Höyrystin. Toisen piirin höyrystin jää sähkökoteloiden taakse piiloon.
2. Lauhdutin.
3. Kompressori.
4. Paisuntalaite.

Höyrystimen sisällä kylmäaineeneste höyrystyy kaasuksi sitoessaan lämpöenergiaa ympäristöstään. Tämä aiheuttaa ympäristössä jäähtymistä. Kylmäaine höyrystyy, jos höyrystimessä vallitseva lämpötila ylittää kylmäaineen oman kiehumispisteen lämpötilan. Tämä kiehumispisteen lämpötila riippuu kylmäaineesta ja vallitsevasta paineesta. Paineen kasvattaminen nostaa kylmäaineen kiehumispistettä, ja sama päinvastoin. [2]

Esimerkiksi 4,9 baarin paineessa R32-kylmäaineen kiehumispiste, joka höyrystimen sisällä tarkoittaa höyrystymislämpötilaa, on noin  $-15\text{ °C}$ . [1, s. 24.]

Kompressorissa tehdään kylmäkoneen tarvitsema mekaaninen työ, joka puristaa matalapaineisen kylmäainekaasun korkeampaan paineeseen sekä merkittävästi suurempaan lämpötilaan. Kompressori pitää kylmäaineen liikkeessä imien kylmäainetta höyrystimeltä ja puristaen kylmäainetta kohti lauhdutinta. [2]

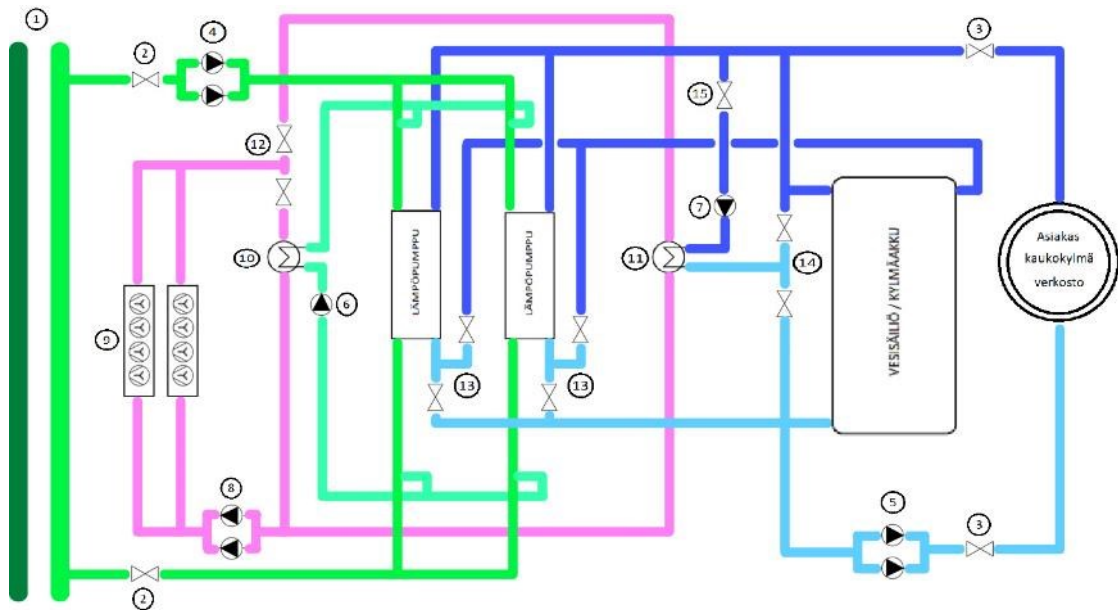
Lauhduttimella kompressorin tulistama kylmäainekaasu lauhtuu takaisin nesteeksi luovuttaessaan pois lämpöenergiaa. Lauhtumista tapahtuu, jos kylmäaineen korkean paineen kiehumispiste ylittää lauhduttimessa vallitsevan lämpötilan. [2]

Esimerkiksi 26,0 baarin paineessa R32-kylmäaineen kiehumispiste, joka lauhduttimen sisällä tarkoittaa lauhtumislämpötilaa, on noin  $+42\text{ °C}$ . [1, s. 24.]

Paisuntalaite säättää höyrystimelle oikean määrän kylmäainetta sekä ylläpitää järjestelmän paine-eroa yhdessä kompressorin kanssa. Paisuntalaitteen tehtävä on saattaa kompressorin imuun täysin höyrystynyttä kylmäainekaasua. [2.]

### 3 Jäähdytyslaitoksen toiminta ennen uutta lauhdutuksen ajotapaa

Kuvassa 3 on esitetty jäähdytyslaitoksen kaaviokuva. Kaaviokuva on pelkistetty ja muokattu versio oikeasta jäähdytyslaitoksen kaaviokuvasta, mutta tästä ilmenee kuitenkin hyvin, kuinka jäähdytyslaitos voisi toimia.



Kuva 3. Jäähdytyslaitoksen muokattu kaaviokuva.

1. Kaukolämpöverkoston meno- ja paluulinjat. Tummempi vihreä kuvastaa menolinjaa ja vaaleampi vihreä paluulinjaa.
2. Sulkuventtiilit, jotka erottavat jäähdytyslaitoksen lauhdutuksen kaukolämpöverkoston paluulinjasta.
3. Sulkuventtiilit, jotka erottavat jäähdytyslaitoksen kaukojäähdytysverkosta.
4. Kaukolämpölauhdutuspumput, jotka kierrättävät lämpöpumppujen tarvitsemaa lauhdutusvettä, kun kaukolämpölauhdutus on käynnissä.
5. Kaukojäähdytyksen siirtopumput, jotka kierrättävät asiakkaille kaukojäähdytysvettä.
6. Nestelauhdutuspumppu, joka kierrättää lämpöpumppujen tarvitsemaa lauhdutusvettä, kun nestelauhdutus on käynnissä.
7. Vapaa jäähdytyksen pumppu, joka kierrättää kaukojäähdytysvettä vapaa jäähdytyksen lämmönvaihtimelle, vapaa jäähdytyksen ollessa käynnissä.

8. Glykolipiirin pumput, jotka kierrättävät glykolia nestejäähdytyksen, tai vapaajäähdytyksen ollessa käynnissä.
9. Kattolauhduttimet, jotka luovuttavat lämpöä glykolipiiristä ulkoilmaan, nestelauhdutuksen, tai vapaajäähdytyksen ollessa käytössä.
10. Nestelauhdutuksen lämmönvaihdin, joka luovuttaa lämpöpumppujen lämmöt glykolipiiriin nestelauhdutuksen ollessa käynnissä.
11. Vapaajäähdytyksen lämmönvaihdin, joka luovuttaa asiakkailta tulleet lämmöt glykolipiiriin vapaajäähdytyksen ollessa käynnissä.
12. Glykolipiirin venttiilit, jotka vaihtavat asentoa riippuen, onko käynnissä nestelauhdutus vai vapaajäähdytys.
13. Lämpöpumppujen jälkeiset venttiilit, jotka ohjaavat jäähdytetyn veden joko asiakkaille tai kylmäakun yläosaan. Mikäli jäähdytetty vesi ei ole tarpeeksi jäähtynyt, ohjataan se kylmäakun yläosaan.
14. Vapaajäähdytyksen venttiilit, jotka ohjaavat jäähdytetyn veden joko asiakkaille tai kylmäakun yläosaan. Jos jäähdytetty vesi ei ole tarpeeksi jäähtynyt, ohjataan se kylmäakun yläosaan.
15. Venttiili, joka päästää jäähdytettävän veden vapaajäähdytyksen lämmönvaihtimelle vapaajäähdytyksen ollessa käynnissä.

### 3.1 Kaukojäähdytysverkon jäähdytys

Kuvassa 3 tumman ja vaalean sinisen väriset putkistot kuvaavat asiakkaiden ja jäähdytyslaitoksen välillä virtaavaa kaukojäähdytyspiiriä. Tässä kaukojäähdytyspiirissä jäähdytyslaitoksella jäähdytetty vesi siirretään kaukojäähdytyksen siirtopumpuilla asiakkaille noin +7 °C lämpötilassa, joilta sama vesi palaa takaisin jäähdytyslaitokselle noin +15 °C lämpötilassa. Lämpöpumput jäähdyttävät asiakkailta palaavan veden uudelleen noin +7 °C lämpötilaan ja sama kaukojäähdytyksen kierto jatkuu yhä uudelleen ja uudelleen.

### 3.2 Kylmäakku

Kaukojäähdytyspiirin osana on myös kylmäakku (kuva 4), joka on suuri vesisäiliö. Tämä kylmäakku on täytetty lämpöpumppujen jäähdyttämällä noin +7 °C lämpötilassa olevalla vedellä.

Mikäli jäähdytyslaitoksen tuotannossa olisi ongelmia, riittäisi kylmäakussa jäähdytysvettä asiakkaille noin pariksi tunniksi. Kylmäakun purkamisen aikana jäähdytyslaitoksen tuotannon ongelmien ratkaisuun on muutamia vaihtoehtoja. Esimerkiksi käynnissä olevia lämpöpumppuja voidaan vaihtaa varalla oleviin lämpöpumppuihin, tai käynnissä olevien lämpöpumppujen määrää voidaan lisätä. Myös kylmälaitoksen lauhdutustapaa voidaan joutua vaihtamaan.

Kylmäakku pitää lisäksi asiakkaille lähtevän veden lämpötilan tasaisempana. Vuoroteltaessa käynnissä olevia lämpöpumppuja, lämpöpumpuilta lähtevä kaukojäähdytysvesi ei koko ajan ole ehtinyt jäähtyä vaadittavaan +7 °C lämpötilaan. Mikäli lämpöpumpuilta lähtevä jäähdytettävä vesi ei ole vaaditussa lämpötilassa, johdetaan tämä vesi kylmäakun säiliön yläpintaan. Tällöin kylmäakkua puretaan, eli kylmäakkusäiliön yläosaan virtaa lämpimämpää vettä, mutta asiakkaille pumpataan kylmäakkusäiliön alaosaan edelleen lämpötilaltaan oikeaa kaukojäähdytysvettä. Kylmäakkua purettaessa sen lämpötila kasvaa säiliön yläosasta alaspäin.

Kun jäähdytyslaitoksen tuotanto normalisoituu, eli lämpöpumput tuottavat taas riittävästi vaadittavaa +7 °C kaukokylmävettä, virtaa lämpöpumpuilta kaukojäähdytysvesi sekä asiakkaille että kylmäakun alaosaan. Tällöin kylmäakku varautuu ajan kanssa kauttaaltaan takaisin lämpöpumppujen tuottamaan +7 °C lämpötilaan.



Kuva 4. Jäähdytyslaitoksen kylmäakku, jonka tilavuus on yli 160 000 litraa.

### 3.3 Jäähdytyslaitoksen lauhdutustavat

Kuvassa 3 vihreän väriset putkistot kuvaavat lämpöpumppujen lauhdutuspiirejä. Ennen opinnäytetyöni projektia, jäähdytyslaitoksella oli kaksi erilaista lauhdutus tapaa: kaukolämpölauhdutus ja nestelauhdutus. Näillä lauhdutustavoilla lämpöpumppujen kaukojäähdytysvedestä erottama lämpö johdetaan pois kylmälaitoksesta.

#### 3.3.1 Kaukolämpölauhdutus

Kaukolämpölauhdutuksessa lämpöpumppujen kaukojäähdytysvedestä erottama lämpö johdetaan kaukolämpöverkoston paluulinjassa virtaavaan veteen. Tällöin jäähdytyslaitoksen hukkalämpö saadaan talteen kaukolämpöverkoston käytettäväksi.

Jäähdytyslaitos nostaa kaukolämpöverkoston paluulinjan veden lämpötilaa, jolloin kaukolämpölaitoksien kattiloilla tarvitsee kuluttaa vähemmän energiaa lämmitettäessä kaukolämpöverkoston vedet uudelleen menolinjan vaatimille lämpötiloille.

#### 3.3.2 Nestelauhdutus

Nestelauhdutuksessa jäähdytyslaitos on erotettu kaukolämpöverkosta kokonaan ja jäähdytyslaitoksen hukkalämmöt johdetaan nestelauhdutuksen lämmönvaihtimelle, joka on esitetty kuvassa 5.

Nestelauhdutuksen lämmönvaihtimelta hukkalämmöt johdetaan glykolipiiriin kautta katolla sijaitseville puhallinlauhduttimille (kuva 6). Puhallinlauhduttimien kautta jäähdytyslaitoksen hukkalämpö siirretään suoraan ulkoilmaan, eikä tällöin kylmälaitoksen tuottamaa lämpöä kyetä käyttämään kaukolämpöverkoston hyödyksi.



Kuva 5. Nestelauhdutuksen lämmönvaihdin.

Nestelauhdutus ei ole siinä hukattavan lämpöenergian takia suositeltava ajotapa, mutta mikäli kaukolämpöverkon paluulinjan veden lämpötila on liian korkea jäähdytyslaitoksen lämpöpumpuille, on nestelauhdutusta käytettävä. Lämpöpumpuille tuleva lauhdutusvesi ei saa olla lämpötilaltaan yli  $+57\text{ °C}$ .

Liian kuuma lämpöpumppujen lauhdutusvesi aiheuttaa ongelmia lämpöpumppujen jäähdytysveden tuotannolle. Lopulta lämpöpumput lopettavat tuotantonsa kokonaan, jos lauhdutusvesi on liian kuumaa, liian pitkän ajan.

Kesäkuukausina kaukolämmön kulutus kaukolämpöverkon asiakkailta on muita vuodenaikoja vähäisempää, ja sen takia kaukolämpöverkoston paluulinjan veden lämpötilat jäävät usein kesäkuukausina yli  $+57\text{ °C}$  lämpötilaan. Tällöin jäähdytyslaitosta on ajettava nestelauhdutuksella.



Kuva 6. Katolla sijaitseva ilmajäähdytteinen lauhdutinpuhallin

### 3.4 Glykolipiiri

Glykolipiiri on kuvattu kuvassa 3 vaaleanpunaisella putkistolla. Glykoli on valittu tämän piiriin liuokseksi, koska lauhdutuspuhaltimet sijaitsevat ulkoilmassa ja glykolin ominaisuuksiin kuuluu, ettei se jäädy talvipakkasilla. Glykolipiiri on käytössä nestelauhdutuksessa, mutta sitä käytetään myös vapaajäähdytyksessä.

### 3.5 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytys on kylmlaitoksen viimeinen varakeino kaukojäähdytyksen tuottamiseen, jos yksikään lämpöpumpuista ei ole käytettävissä. Vapaajäähdytyksessä asiakkailta palaava kaukojäähdytysvesi jäähdytetään takaisin vaadittavaan +7 °C lämpötilaan pelkästään vapaajäähdytyksen oman lämmönvaihtimen sekä katolla sijaitsevien lauhdutinpuhaltimien avulla.

Vapaajäähdytyksen lämmönvaihdin (Kuva 7) siirtää asiakkailta palaavasta kaukojäähdytysvedestä liiat lämmöt pois, pyrkien palauttamaan kaukojäähdytysveden takaisin +7 °C lämpötilaan. Ylimääräinen lämpö johtuu glykolipiirissä kiertävän glykolin sekaan. Glykoliin varastoitunut lämpö pumpataan glykolipiirissä kattolauhdutuspuhaltimien lämmönvaihtimien läpi, jolloin ylimääräinen lämpö vapautuu suoraan ulkoilmaan.

Vapaajäähdytys voikin toimia vain, jos ulkoilma on tarpeeksi kylmää. Ulkolämpötilan tarvitsee olla noin +5 °C, tai kylmempää, jotta vapaajäähdytys voisi toimia hyvin. Lämpimimmillä keleillä kattolauhduttimien toimintaa pystytään tehostamaan käyttämällä rakennuksen kylmää käyttövettä. Tällöin kylmää käyttövettä suihkutetaan suuttimien läpi vesisumuna kattolauhduttimien lämmönvaihtimille. Tämä parantaa kattolauhduttimien kykyä poistaa glykolipiiristä lämpöä lämpimimmillä keleillä.



Kuva 7. Vapaajäähdytyksen lämmönvaihdin ja kierrätyspumppu, joka kierrättää jäähdytysvettä vapaajäähdytyksen lämmönvaihtimelle.

### 3.6 Kaukojäähdytysverkoston täyttäminen

Mikäli kaukojäähdytysverkostossa syntyisi vuoto, jonka seurauksena kaukokylmäverkoston paine on päässyt laskemaan, voidaan kaukojäähdytysverkostoa täyttää vuodon paikkauksen jälkeen jäähdytyslaitoksella kahdella eri tavalla.

Kaukojäähdytysverkostoa voidaan täyttää joko raakavedellä, tai kaukolämpöverkoston menolinjan kuumalla vedellä. Mieluummin päädytään käyttämään kaukolämpöverkoston kuumaa vettä kaukojäähdytysverkoston täyttämiseksi, koska tämä vesi on vähintäänkin kertaalleen kiehautettu kaukolämpökattiloiden avulla. Tällöin myös mahdolliset pieneliöt ovat tuhoutuneet.

Kaukojäähdytysverkon täyttövesi lisätään laitoksella ennen lämpöpumppuja, joten veden lisääminen ei vaikuta asiakkaille lähtevän veden lämpötilaan, mutta käytettäessä kaukolämpöverkoston vettä jäähdytysverkoston täyttämiseen, joutuvat lämpöpumput toimimaan suuremmalla kuormalla.

## 4 Kaukojäähdytyksen tuotannon varmentaminen

Kaukojäähdytyksen tuotanto halutaan varmistaa, mikäli asiakkailta on kriittisiä kohteita jäähdytettävänä. Esimerkiksi kylmälaboratoriot ja datakeskukset vaativat katkeamatonta jäähdytystä jatkuvasti. Muita yleisiä kaukojäähdytyksen tarvisijoita ovat muun muassa elintarvikemyymälät, lihan- ja kalanjalostuslaitokset, meijerit, panimot ja ilmastoinnin jäähdytyslaitokset.

### 4.1 Sähkönjakelun varmennus

Jäähdytyslaitokselta löytyy omat dieselvaravoimageneraattorit sekä polttoainesäiliö mahdollisia sähkökatkoksia varten (kuvat 8 ja 9). Polttoainesäiliö on tilavuudeltaan 230 m<sup>3</sup>. Se riittäisi pitämään jäähdytyslaitoksen sähköistettynä 12 päivän ajan edellyttäen, että säiliö olisi kokonaan täynnä polttoainetta sähkökatkoksen alkaessa. Tämän lisäksi kaukojäähdytyksen siirtopumput ja laitoksen automaatio ovat suojattu UPS-järjestelmällä (kuva 10).



Kuva 8. Cummins KTA50 dieselgeneraattori. Nimellisteho 1250 kVA, 1000 kW.



Kuva 9. Kevyen polttoöljyn säiliö varavoimageneraattoreiden dieselmootoreille. Säiliön tilavuus on 230 m<sup>3</sup>.



Kuva 10. Kaukojäähdytysveden siirtopumppujen UPS-järjestelmä. Eaton 9355.

Sähkökatkoksen aikana kaukojäähdytysvesi jatkaa virtaustaan asiakkaille ilman katkoksia, sillä laitoksen automaatio sekä kaukojäähdytysveden siirtopumput ovat suojattu UPS-järjestelmällä. Kaukojäähdytysveden siirtopumput sekä kylmälaitoksen valvomon tietokoneet pysyvät sähkökatkoksen aikana käytettävissä UPS-järjestelmän akkuihin varatun sähkön avulla. Valvomossa pystytään siis sähkökatkoksenkin aikana seuraamaan laitoksen toimintaa. Nämä UPS-järjestelmän akut eivät riitä pyörittämään siirtopumppuja ja valvomon koneita kovin pitkään, mutta akuissa riittää virtaa varmistamaan katkottoman kaukojäähdytyksen toimittamisen asiakkaille sähkökatkoksen ensimmäisien minuuttien ajan.

UPS-järjestelmää kuormitetaan, kunnes varavoimageneraattorit ehtivät käynnistymään, tahdistumaan ja palauttamaan sähköt laitokselle. Viimeistään minuutin kuluttua sähkökatkoksesta, sähköt ovat palautuneet laitokselle. Kaikki muut jäähdytyslaitoksen laitteet, jotka eivät ole suojattu UPS-järjestelmällä, sammuvat sähkökatkoksen aikana hetkeksi, mutta käynnistyvät uudestaan varavoimageneraattoreiden käynnistyttyä.

Jäähdytyslaitoksen jäähdytystä tuottavat lämpöpumputkin pysähtyvät hetkeksi sähkökatkokkien aikana. Tällöin asiakkaiden jäähdytys on ainoastaan kylmäakun sekä UPS:lla suojattujen siirtopumppujen varassa. Kylmäakkuun varattua lämpötilaltaan oikeaa kaukojäähdytysvettä puretaan niin kauan, kunnes lämpöpumput ovat ehtineet palautumaan sähkökatkoksesta takaisin normaaleille tehoille.

## 4.2 Jäähdytyslaitoksen redundanttisuus

Redundanttisuudella tarkoitetaan rinnakkaista varmentamista, tai toimintavarmuuden parantamista. Jäähdytyslaitoksen jäähdytysveden tuotannon kannalta tärkeät laitteet on rakennettu vähintään kahteen kertaan. Mitä enemmän jäähdytyslaitoksella on varalla lämpöpumppuja, kaukojäähdytyksen siirtopumppuja, kattolauhduttimia, kaukolämpölauhdutuspumppuja jne., sitä varmempaa on jäähdytyslaitoksen toiminta. Myös laitoksen automaatiota ohjaavat tietokoneet pitää muistaa kahdentaa.

Kaikki fyysiset laitteet tarvitsevat huoltoa ja saattavat hajota käytön aikana. Siksi jäähdytyslaitos on toimintansa kannalta sitä luotettavampi, mitä redundanttisempi se on. Yksittäiset hajonneet komponentit eivät aiheuta katkosta tuotantoon, jos kyseiselle komponentille on rakennettu redundanttisuutta. Laitos voi tällöin käydä normaalisti huoltojenkin aikana.

## 4.3 Jäähdytyslaitoksen tuotannon häiriöidensietokyky

Kylmäakku ja vapaajäähdytys ovat myös tärkeässä osassa kaukojäähdytyksen tuotannon varmentamisessa. Kylmäakun tilavuus on suoraan verrannollinen aikaan, kuinka pitkään jäähdytyslaitos kykenee häiriötilanteissa tuottamaan asiakkailleen sopimuksen mukaista jäähdytystä.

Jäähdytystehon ollessa riittämätöntä, puretaan kylmäakkuun varastoitua kylmää vettä. Mitä suurempi kylmäakku laitoksella on, sitä enemmän aikaa laitoksen käyttäjillä on palauttaa jäähdytyslaitos häiriöistä takaisin normaaliin tuotantoon. Mikäli kaikki lämpöpumput ovat poissa käytettävistä, on vapaajäähdytys

viimeinen keino tuottaa jäähdytystä asiakkaille. Kylmäakun ja vapaajäähdytyksen toiminta on selostettu paremmin kappaleissa 3.2 ja 3.7.

## **5 Kaukojäähdytyslaitoksen ylläpitäminen ja kunnossapito**

### **5.1 Lämpöpumppujen kylmäaineen vuototarkastukset ja määräaikaishuollot**

Lämpöpumpuissa kiertävät kylmäaineet ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Siksi on tärkeää saada lämpöpumppujen kylmäainevuodot mahdollisimman nopeasti paikattua. Maailmanlaajuinen tavoite on saada vuoteen 2050 mennessä kasvihuonekaasupäästöt kutistumaan 80-95 %:lla vuoden 1990 tasoon verrattuna. Tiheällä vuototarkastusvälillä tämä tavoite on mahdollista saavuttaa. Lakisääteinen kylmäaineen vuototarkastuksien maksimitarkastusväli vaihtelee 3, 6, 12 ja 24 kuukauden välillä, riippuen jäähdytyslaitoksen koosta ja kylmäaineen määrästä. Tarkastusväliä voidaan kasvattaa, jos lämpöpumpussa löytyy kylmäainevuotojen havaitsemisjärjestelmä. Tässä kyseisessä jäähdytyslaitoksessa kylmäaineen vuototarkastusväli on maksimissaan 6 kuukautta. [3; 4]

Lämpöpumpuille suoritetaan määräaikaishuollot kahdesti vuodessa. Nämä huollot pitävät sisällään edellä mainittujen kylmäaineen vuototarkastuksien lisäksi seuraavat toimenpiteet:

- Yleinen aistinvarainen kuntoarvio
- Mahdollisten kylmäaine- ja öljyvuotojen syiden selvitys
- Kylmäaineen määrän ja öljyn määrän tarkistus
- Sähkökytkentöjen kiristys
- Sähkö-, ohjaus-, varo- ja säätölaitteiden toiminnan tarkastus sekä niiden mahdollinen säätäminen
- Hälytystietojen välittämisen varmistaminen
- Öljynäytteen analyysi
- Lämpöpumppujen koeajot täydellä teholla
- Öljynsuodattimien ja suodatinkuivaimien vaihto joka toinen vuosi

Huollettu lämpöpumppu käyttää energiaa optimaalisesti ja sen elinkaari on pidempi. Pitemmällä aikavälillä säännöllisesti huolletun lämpöpumpun käyttökustannukset ovat myös edullisemmat. [5]

## 5.2 Varavoimageneraattoreiden vuosihuollot

Varavoimageneraattoreiden ennakkohuollot suoritetaan kerran vuodessa. Nämä huollot vaihtelevat vuorovuosittain suoritettavista tarkastushuolloista ja vuosihuolloista. Varavoimageneraattoreita huolletaan siis joka toinen vuosi tarkastushuollolla ja joka toinen vuosi vuosihuollolla, joka on tarkastushuoltoa paljon laajempi huoltokokonaisuus. [6]

Tarkastushuoltoon sisältyvät huoltotoimenpiteet:

- Hihnojen kunnan ja kireyden tarkistus sekä mahdollinen kiristys
- Generaattorin akselin värinävaimentimen visuaalinen tarkistus
- Esilämmityksen tarkistus
- Jäähdytysnesteen pinnan korkeuden ja DCA pitoisuuden tarkistus
- Jäähdytysnesteen pinnankorkeuden varoituksen sekä laukaisun toiminnan tarkistus
- Letkuliitosten kireyden tarkistus ja niiden kiristys tarvittaessa
- Kampikammion huohotin säiliöiden tyhjennys
- Öljyn tason tarkistus
- Varoitusvalojen koestus
- Sulakkeiden tarkistus
- Peltimoottoreiden toiminnan tarkistus
- Ilmansuodattimien tarkistus ja vaihto tarvittaessa
- Startti- ja ohjausakkujen verkkovaraajien toiminnan tarkistus
- Akkunesteiden tarkistus
- Polttoainejärjestelmän tarkistus
- Varavoimakoneiden koekäyttö kuormalla

Vuosihuoltojen sisältämät huoltotoimenpiteet:

- Moottoriöljyjen vaihto
- Öljynsuodattimien vaihto
- Polttoainesuodattimien vaihto
- DCA suodattimien vaihto
- Hihnojen kunnan ja kireyden tarkistus sekä mahdollinen kiristys
- Jäähdytysnesteen pinnan korkeuden ja DCA pitoisuuden tarkistus
- Jäähdytysnesteen pinnankorkeuden varoituksen sekä laukaisun toiminnan tarkistus
- Letkuliitosten kireyden tarkistus ja niiden kiristys tarvittaessa
- Kampikammion huohotin säiliöiden tyhjennys
- Varoitusvalojen koestus
- Sulakkeiden tarkistus
- Ilmansuodattimien tarkistus ja vaihto tarvittaessa
- Startti- ja ohjausakkujen verkkovaraajien toiminnan tarkistus
- Starttiakkujen rasitustesti
- Akkunesteiden tarkistus
- Peltimoottoreiden toiminnan tarkistus
- Moottorin ohjainyksikön vikakoodien lukeminen
- Moottorin käynnintarkkailu käsikäytöllä ajettaessa
- Polttoainejärjestelmän tarkistus
- Varavoimakoneiden koekäyttö kuormalla

### 5.3 Taajuusmuuttajien ennakkohuollot

Taajuusmuuttajia löytyy useita kappaleita jäähdytyslaitoksen joka puolelta. Tilat, joissa taajuusmuuttajat sijaitsevat ovat kuitenkin puhtaita ja viileitä, joten taajuusmuuttajat tarvitsevat tällöin suhteellisen vähän huoltotoimenpiteitä. Yleisimmin taajuusmuuttajien ennakkohuollot sisältävät jäähdytyspuhaltimien vaihdot kuuden vuoden välein sekä kondensaattoreiden vaihdot kymmenen vuoden välein. [7, s. 93]

### 5.4 Varavoimakoneiden koekäytöt ja lämpöpumppujen vuorottelu

Jäähdytyslaitoksen toiminta sähkökatkokkien aikana on varavoimageneraattoreiden varassa. Jotta varavoimageneraattoreiden suorituskyvystä voidaan varmistua, suoritetaan niille ennakkohuoltojen lisäksi myös kuukausittain tunnin mittainen koekäyttö kuormalla valtakunnan sähköverkon kanssa rinnakkain.

Laitteiston pitkäaikainen paikallaan seisottaminen ei tee hyvää varavoimageneraattoreille. Pysähtyneen varavoimageneraattorin akseli voi kuluttaa laakeriaan ollessaan pitkään käyttämättömänä. Tällöin akselin paino kohdistuu vain yhteen osaan laakeria ja voi painaa sen kuopalle. Varavoimageneraattorin käydessä öljy pääsee myös kiertämään ja voitelemaan koneen sisäiset osat. Lisäksi varavoimageneraattorin oma starttiakku lataantuu vain varavoimageneraattorin moottorin käydessä. Kuukausikokeita suorittaessa seurataan myös varavoimageneraattoreiden toimintaa ja niiden kuntoa. Tarvittaessa tilataan uusia huoltoja vikojen korjaamiseksi.

Ennen kuukausikoekäyttöjen aloittamista, on niiden suorittamiseen pyydettävä lupa sähköverkkoyhtiö Caruna Oy:ltä, koska mikäli Carunalla on jäähdytyslaitokseen liittyvillä sähköasemilla käynnissä huoltoja, ei varavoimageneraattoreiden kuukausikoekäyttöjä voida turvallisuussyistä suorittaa. Kuukausikoekäytöissä jokaista varavoimageneraattoria ajetaan yhden tunnin ajan 600 kW teholla.

Jäähdytyslaitoksen kaikkia lämpöpumppuja ei ajeta saman aikaisesti, vaan käynnissä olevia lämpöpumppuja vuorotellaan kuukausittain. Tarkoituksena on kuormittaa kaikkia lämpöpumppuja tasaisesti, ettei mikään lämpöpumppu seisoisi liian pitkään käyttämättömänä. Näin lämpöpumput säilyvät parhaimmassa kunnossa. Lisäksi suurin osa lämpöpumppujen mahdollisista vioista ilmenee vain lämpöpumpun ollessa käynnissä. Tasaisella lämpöpumppujen vuorottelulla mahdolliset piilevät viat havaitaan sekä päästään korjaamaan nopeammin.

## 5.5 Kaukojäähdytysveden laadun seuranta ja vaihto

Kaukojäähdytysverkoston veden lämpötila vaihtelee noin +7 °C ja +15 °C välillä. Koska asiakkaiden ja jäähdytyslaitoksen välillä kiertävä vesi ei koskaan kohoa lämpötilaltaan tätä korkeammalle, on kaukojäähdytysvesi mahdollinen elinympäristö bakteereille ja leville. Esimerkiksi legionella-bakteeri pystyy lisääntymään, mikäli veden lämpötila ei nouse yli +45 °C [8]. Kaukojäähdytysvesi voikin olla hyvin epäterveellistä ja sitä tulee käsitellä varoen.

Mikrobit ja bakteerit voivat muodostaa kaukojäähdytysputkien metalliselle sisäpinnalle eliökalvon eli biofilmin, joka puolestaan voi aiheuttaa biologista korroosiota kuluttaen kaukojäähdytysputkien sisäpintoja. Biofilmit muodostuvat helpoiten kaukojäähdytysputkien kohtiin, joissa virtaus on hitaimmillaan, esimerkiksi hitsausaumoihin. [9, s. 6-8]

Kaukojäähdytysverkoston veden laatua seurataan satunnaisilla näytteenotoilla. Mikäli veden laatu havaitaan huonoksi, vaihdetaan kaikki kaukojäähdytysverkoston vedet tuoreempaan. Veden vaihtoprosessi kestää useita päiviä, jolloin osa jäähdytyslaitokselle palaavasta kaukokylmävedestä valutetaan suodattimien läpi viemäriin samalla, kun uutta vettä lisätään kaukojäähdytysverkostoon. Tätä prosessia jatketaan, kunnes kaikki jäähdytysvedet on saatu vaihdettua.

## 6 Jäähdytyslaitoksen uusi lauhdutuksen ajotapa

### 6.1 Uuden lauhdutuksen ajotavan tarve

Jäähdytyslaitoksen ensisijainen lauhdutustapa on kaukolämpölauhdutus. Koke-  
muksen mukaan lauhdutukseen käytettävä kaukolämpöverkon paluuvesi lämpe-  
nee kesäkuukausina ajoittain niin kuumaksi, että jäähdytyslaitoksen lauhdutus  
täytyy kytkeä kokonaan irti kaukolämpöverkosta ja siirtyä käyttämään nestelauh-  
dutusta. Tästä aiheutuu taloudellisia tappioita, koska jäähdytyslaitoksen tuotta-  
maa lämpöä ei saada talteen, vaan se poistetaan nestelauhdutuksen kautta ul-  
koilmaan.

Jäähdytyslaitoksen on siirryttävä käyttämään nestelauhdutusta, kun kaukoläm-  
pöverkon paluulinjan lämpötila nousee lähelle +58 °C lämpötilaa. Syy pakolliseen  
nestelauhdutukseen siirtymiseen löytyy kylmälaitoksen lämpöpumpuista, jotka  
eivät fyysisesti kykene tuottamaan jäähdytystä, mikäli lämpöpumpujen tuleva  
lauhdutusveden lämpötila nousee yli +58 °C lämpötilan.

Ongelman ratkaisuksi päätettiin ottaa käyttöön uusi lauhdutustapa, jossa kauko-  
lämpö- ja nestelauhdutus ovat toiminnassa samanaikaisesti silloin, kun kauko-  
lämmön paluuvesi ei yksin riitä lauhduttamaan jäähdytyslaitosta. Tässä lauhdu-  
tustavassa nestelauhdutuksen osuutta koko lauhdutuksesta lisätään sitä mukaa,  
mitä kuumemmaksi kaukolämpöverkon paluulinjan veden lämpötila nousee. Uusi  
lauhdutustapa maksimoi näin kaukolämmön käytön jäähdytyslaitoksen lauhdu-  
tuksessa kesäkuukausien aikana. Uutta lauhdutustapaa kutsutaan jatkossa kau-  
kolämpö-nestelauhdutukseksi.

### 6.2 Uuden lauhdutuksen ajotavan vaatimat muutokset laitoksen auto- maatioon

Jäähdytyslaitoksen automaatiojärjestelmän käyttöliittymään ohjelmoitiin ABB:n  
toimesta kolmas lauhdutuksen ajotapa, kaukolämpö-nestelauhdutus. Uudelle  
lauhdutustavalle kirjoitettiin automaatiojärjestelmään seuraavia ehtoja ja toimin-  
toja.

### **Ehdot kaukolämpölahdutukselta kaukolämpö-nestelauhdutukselle siirtymisen suositukselle**

- Mikäli käynnissä oleville lämpöpumpuille saapuva lauhdeveden lämpötila nousee yli +55 °C, tai käynnissä olevilta lämpöpumpuilta lähtevä lauhdutusveden lämpötila nousee yli +61 °C, suosittelee jäähdytyslaitoksen automaatio siirtymään kaukolämpö-nestelauhdutukselle. Valvomotietokoneen hälytyslistalle ilmestyy tästä suosituksesta ilmoitus, johon jäähdytyslaitoksen operaattori voi halutessaan reagoida.

### **Ehdot automaattiselle siirtymiselle kaukolämpölahdutukselta kaukolämpö-nestelauhdutukselle**

- Mikäli käynnissä olevilta lämpöpumpuilta lähtevä lauhdutusveden lämpötila nousee yli +62 °C, vaihtaa jäähdytyslaitoksen automaatio lauhdutustavan itsenäisesti kaukolämpölahdutukselta kaukolämpö-nestelauhdutukselle.

### **Kaukolämpö-nestelauhdutus**

- Kaukolämpöverkoston paluulinjan lämpötilan muutokset heijastuvat suoraan käynnissä olevien lämpöpumppujen lähtevän lauhdeveden lämpötilaan. Lämpöpumpulta lähtevän lauhdeveden lämpötila onkin kaukolämpöverkoston paluulinjan ja kaukokylmävedestä jäähdytyksen aikana pois siirrettyjen lämpötilojen summa.
- Kaukolämpö-nestelauhdutus pyrkii pitämään käynnissä olevien lämpöpumppujen lähtevän lauhdeveden +61 °C lämpötilassa. Mikäli kaukolämpöverkon paluulinjan lämpötilat kohoavat, nostetaan kuvassa 3 näkyvän nestelauhdutuspumppun kierrosnopeutta pitäen lämpöpumpuilta lähtevän lauhdeveden lämpötilan +61 °C asetusarvossa. Tällöin nestelauhdutuksen osuus myös koko lauhdutuksesta kasvaa.

- Kaukolämpö-nestelauhdutuksen aikana glykolipiirin glykolin lämpötilan asetusarvo on +45 °C. Glykolin lämpötilaa säädetään lisäämällä kuvassa 3 näkyvien kattolauhduttimien käynnissä olevien puhaltimien lukumäärää, tai vähentämällä niitä.

### **Ehdot siirtymiselle kaukolämpö-nestelauhdutukselta nestelauhdutukselle**

- Mikäli lämpöpumpuille tuleva lauhdeveden lämpötila nousee +56 °C ja pysyy yli +56 °C lämpötilassa 26 tunnin ajan, vaihtaa jäähdytyslaitoksen automaatio lauhdutustavan itsenäisesti nestelauhdutukseksi.
- Mikäli käynnissä olevilta lämpöpumpuilta lähtevän lauhdeveden lämpötila nousee yli +63,5 °C, vaihtaa jäähdytyslaitoksen automaatio lauhdutustavan itsenäisesti nestelauhdutukseksi.
- Mikäli kaukolämpö-nestelauhdutuksen aikana kaukolämpöverkoston tuotettu lämpöenergia on alle 0,1 megawattia 26 tunnin ajan, vaihtaa jäähdytyslaitoksen automaatio lauhdutustavan itsenäisesti nestelauhdutukseksi.
- Mikäli kaukolämpö-nestelauhdutuksen aikana kaukolämpölahdutuksen virtaus on alle 20 m<sup>3</sup>/h 26 tunnin ajan, vaihtaa jäähdytyslaitoksen automaatio lauhdutustavan itsenäisesti nestelauhdutukseksi.

### **Ehdot nestelauhdutukselta kaukolämpö-nestelauhdutukselle siirtymisen suositukselle**

- Mikäli kaukolämpöverkoston paluulinjan lämpötila ennen jäähdytyslaitosta on pysynyt määrätyn ajan alle asetusarvon, suosittelee jäähdytyslaitoksen automaatio siirtymistä kaukolämpö-nestelauhdutukselle. Tähän liittyvää aikaviivettä ja asetusarvoa ei olla vielä päätetty. Ne tullaan määrittelemään vielä tulevissa lopputesteissä. Tätä automaation ehtoa varten jäähdytyslaitokselle asennettiin uusi lämpötila-anturi, joka näkyy kuvassa 11.

### Ehdot kaukolämpö-nestelauhdutukselta kaukolämpölauhdutukselle siirtymisen suositukselle

- Mikäli kaukolämpöverkoston paluulinjan lämpötila on pysynyt alle +52 °C lämpötilassa ja kaukolämpölauhdutuksen virtaus ollut suurempi kuin 20 m<sup>3</sup>/h 26 tunnin ajan, suosittelee jäähdytyslaitoksen automaatio siirtymistä kaukolämpölauhdutukselle.



Kuva 11. Uusi lämpötila-anturi asennettu kaukolämpöverkoston paluulinjaan ennen jäähdytyslaitosta. Kapeammat putket liittävät jäähdytyslaitoksen lauhdutuksen kaukolämpöverkostoon. Sininen komponentti on takaiskuventtiili.

### 6.3 Uuden lauhdutuksen ajotavan testaaminen

Kaikki edellä mainitut muutokset jäähdytyslaitoksen automaatioon testattiin huolellisesti. Automaatioon lisättyjen uusien ehtojen täyttymiset sekä toimintojen toteutumiset tarkastettiin toiminnallisesti kaikilla erilaisilla jäähdytyslaitoksen käynnissä olevien lämpöpumppujen mahdollisilla yhdistelmillä.

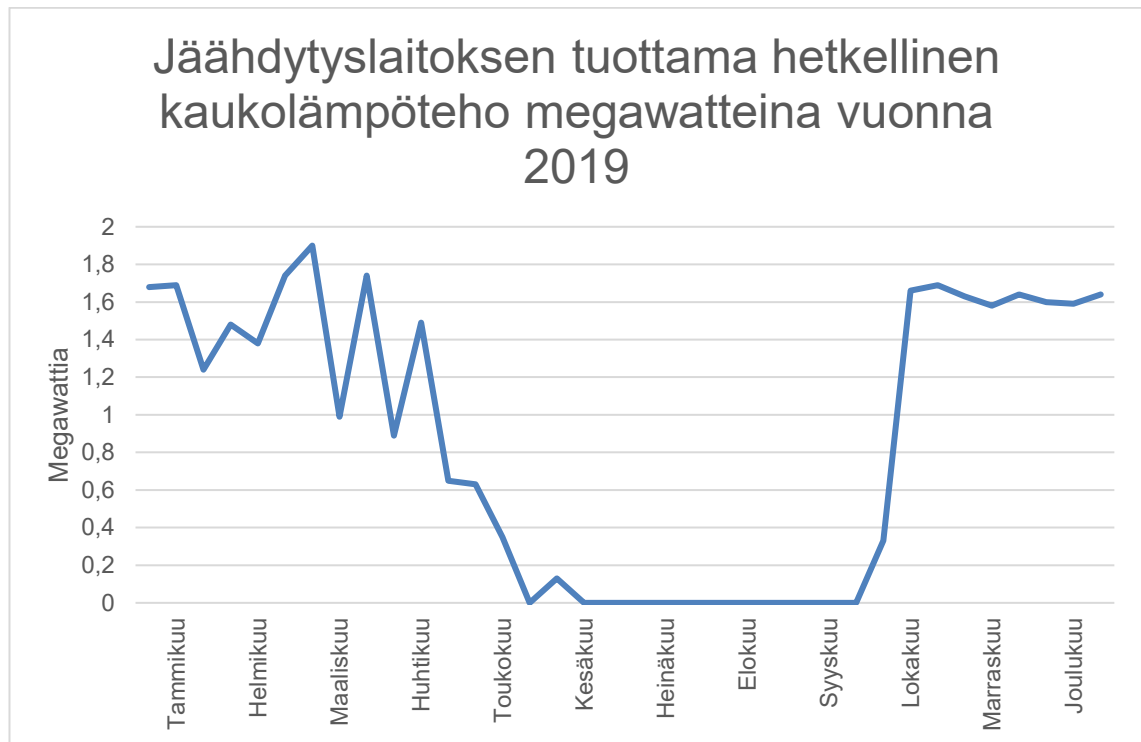
Koekäytöt pyrittiin järjestämään laajasti eri ajankohdille, jotta uutta lauhdutustapa voitaisiin testata kaukolämpöverkon paluulinjan eri lämpötiloilla. Koekäyttöjen aikana kaukolämpö-nestelauhdutuksen testaukseen käytettiin myös lämpötila-arvojen simulointeja sekä keinokuormaa (kuva 12), jolla kyettiin lämmittämään asiakkailta palaavaa kaukojäähdytysvettä. Keinokuormalla saatiin kuormitettua lämpöpumppuja enemmän ja täten nostettua lämpöpumpuilta lähtevän lauhdutusveden lämpötilaa.



Kuva 12. Lämmönvaihdin, jolla voidaan lämmittää asiakkailta palaavaa kaukojäähdytysvettä kaukolämpöveden avulla. Tämä on hyödyllistä lämpöpumppujen testauksissa.

## 7 Jäähdytyslaitoksen tuottamat kaukolämpötehot

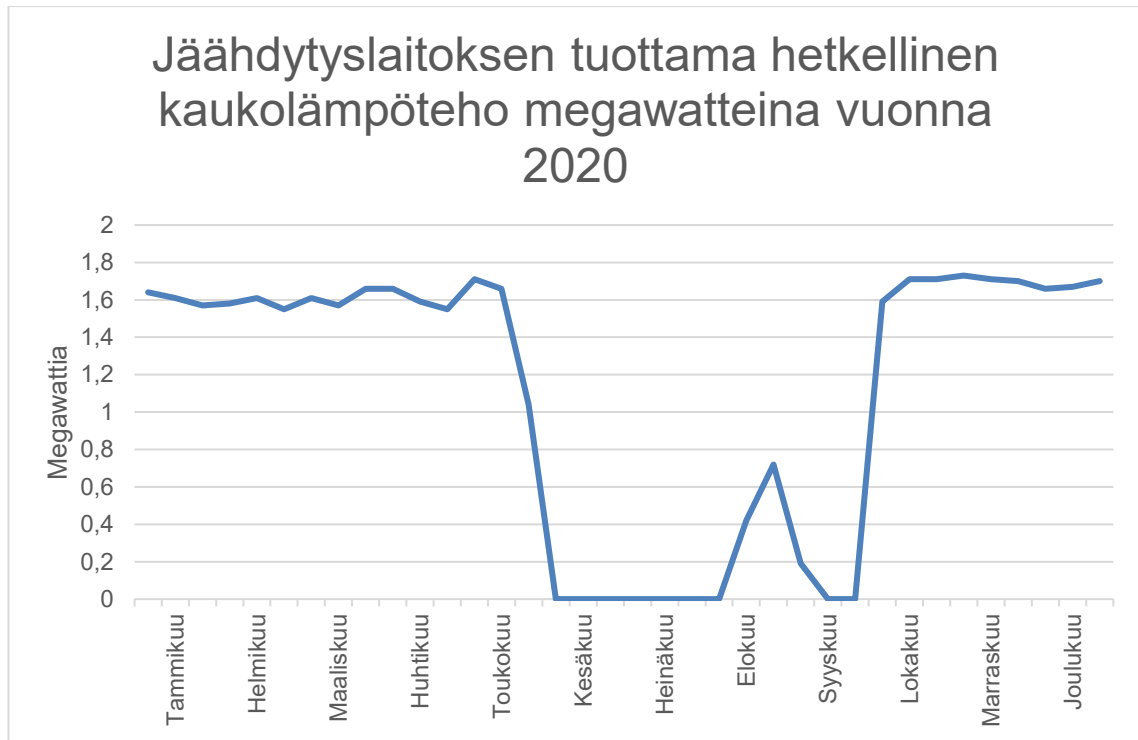
Kuvissa 13, 14, 15 ja 16 on nähtävissä jäähdytyslaitoksen kaukolämpöverkkoon tuottamien kaukolämpötehojen suuruudet menneeltä neljältä vuodelta. Uusi kaukolämpö-nestelauhdutus otettiin jäähdytyslaitoksella käyttöön heinäkuussa 2021



Kuva 13. Jäähdytyslaitoksen vuoden 2019 tuottama hetkellinen lämpöteho kaukolämpöverkkoon. Kuvaaja piirretty 10 päivän keskiarvolla.

Vuonna 2019 jäähdytyslaitoksen tuottama lämpöenergia kaukolämpöverkkoon oli noin 320 megawattia. Melkein puolet vuodesta 2019 laitosta jouduttiin lauhduttamaan nestelauhdutuksella, eikä tällöin jäähdytyslaitoksen lämpöenergiaa saatu ollenkaan hyötykäyttöön. Nestelauhdutus on ollut käytössä alkuvuonna myös muutamaa otteeseen useiden päivien ajan. Tämä näkyy alkuvuoden aikana tuotetun kaukolämpötehon epätasaisuutena. Varsinainen nestelauhdutuskausi kylmälaitoksella alkoi 5. päivä toukokuuta ja päättyi 9. päivä lokakuuta. Vuoden 2019 nestelauhdutuskausi kesti 158 päivää.

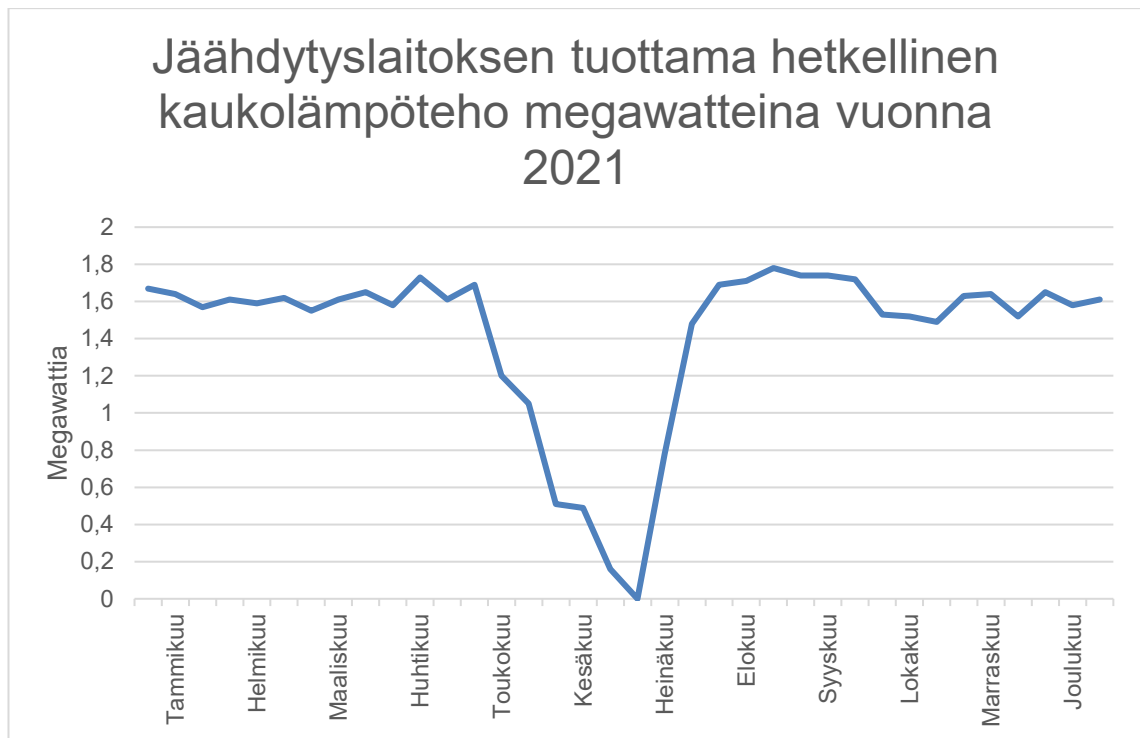
Uusi kaukolämpö-nestelauhdutus olisi tuonut vuoden 2019 aikana tuotettuun lämpötehoon merkittävän hyödyn. Samalla jäähdytyslaitoksen hyötysuhde olisi parantanut merkittävästi.



Kuva 14. Jäähdytyslaitoksen vuoden 2020 tuottama hetkellinen lämpöteho kaukolämpöverkkoon. Kuvaaja piirretty 10 päivän keskiarvolla.

Vuoden 2020 jäähdytyslaitoksen tuottama lämpöenergia kaukolämpöverkkoon oli noin 410 megawattia. Kuvaajassa näkyy hyvin vaihdot kaukolämpöläuhdutuksesta nestelauhdutukselle ja toisinpäin. Jäähdytyslaitos siirtyi nestelauhdutukselle 25. päivä toukokuuta. Elokuun loppu puolella kaukolämpöläuhdutus oli käytössä muutaman päivän ajan, mutta lopullinen vaihto kaukolämpöläuhdutukselle tapahtui vasta 2. päivä lokakuuta. Vuoden 2020 nestelauhdutuskausi kesti 131 päivää.

Uuden lauhdutustavan käyttö olisi tuonut myös vuodelle 2020 merkittävän parannuksen jäähdytyslaitoksen tuottamaan kaukolämpötehoon.

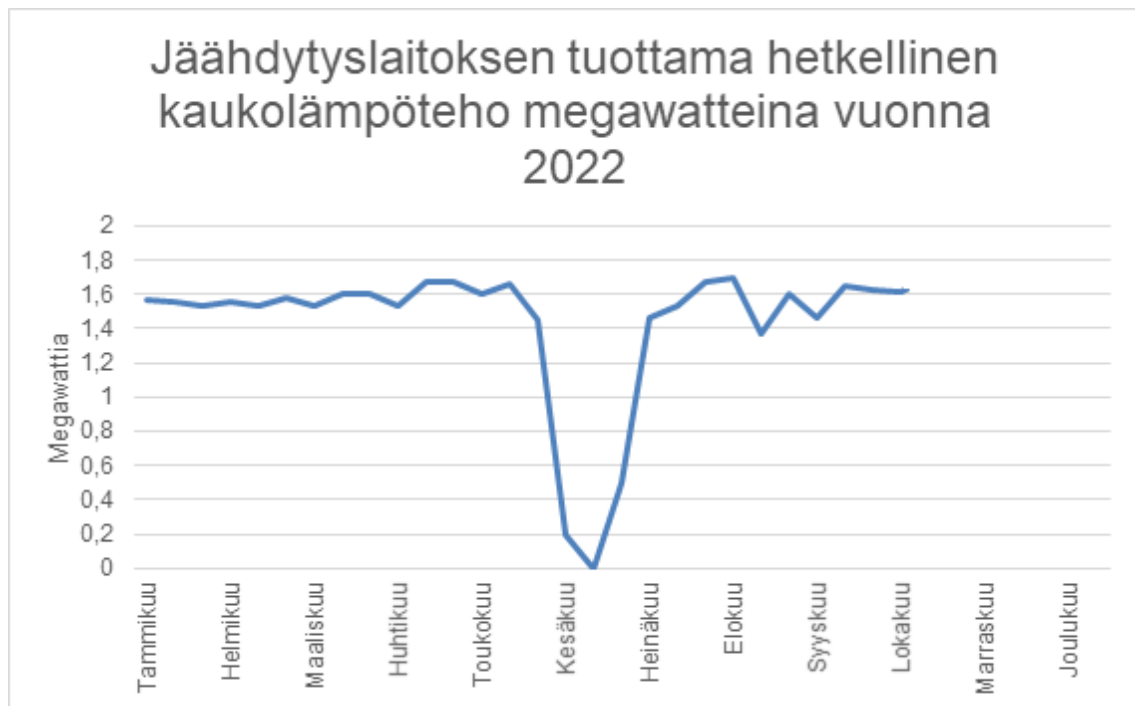


Kuva 15. Jäähdytyslaitoksen vuoden 2021 tuottama hetkellinen lämpöteho kaukolämpöverkkoon. Kuvaaja piirretty 10 päivän keskiarvolla.

Vuoden 2021 Jäähdytyslaitoksen tuottama lämpöenergia kaukolämpöverkkoon oli noin 540 megawattia. Tämän vuoden aikana tuotetut lämpöenergiat kasvoivat verrattuna aikaisempiin vuosiin, koska uusi kaukolämpö-nestelauhdutus otettiin käyttöön heinäkuussa 2021.

Uuden lauhdutustavan tuomat hyödyt näkyvät hyvin vuoden 2021 kaukolämpötehon kuvaajassa. Ilman uutta kaukolämpö-nestelauhdutusta, olisi jäähdytyslaitos siirtynyt pois nestelauhdutukselta luultavasti vasta lokakuussa. Nestelauhdutuskausi jäikin edellisiin vuosiin verrattuna merkittävästi lyhyemmäksi. Vuoden 2021 nestelauhdutuskausi alkoi 24. päivä toukokuuta ja päättyi 12. päivä heinäkuuta, kestäen vain 50 päivää.

Tänä vuonna laitokselta saatiin hyvin kaukolämpötehoa talteen, mutta mikäli uusi lauhdutustapa olisi tullut käytettäväksi aikaisemmin, olisi jäähdytyslaitokselta saatu vieläkin enemmän hukkalämpöä talteen kaukolämpötehoksi.



Kuva 16. Jäähdytyslaitoksen vuoden 2022 tuottama hetkellinen lämpöteho kaukolämpöverkkoon. Kuvaaja piirretty 10 päivän keskiarvolla.

Vuonna 2022 lokakuun puoleen väliin mennessä jäähdytyslaitoksella on tuotettu noin 370 megawattia lämpötehoa kaukolämpöverkkoon. Kuvaajassa näkyvä pudotus johtui inhimillisestä virheestä, eikä vastaavaa notkahdusta kuulu enää tulevaisuudessa syntyä. Jäähdytyslaitoksen operaattori ajoi laitosta vielä vanhasta tottumuksesta nestelauhdutuksella kesäkuussa, vaikka uusi lauhdutustapa oli jo käytettävissä. Elo- ja syyskuun epätasaisuus oli seurausta uuden lauhdutustavan testaamisesta.

Tulevina vuosina jäähdytyslaitokselta odotetaan kesäkuukausien ajalta kaukolämpötehoja, jotka vaihtelevat noin 1,4 ja 1,7 megawatin välillä. Mikäli jäähdytyslaitos toimisi kesäisin kaukolämpö-nestelauhdutuksella ja muulloin kaukolämpö-lauhdutuksella, voisi jäähdytyslaitoksen koko vuoden aikana tuottaa kaukolämpöenergia nousta jopa 580 megawattiin, tai suuremmaksikin. Tämä oletamus on tehty sillä periaatteella, että jäähdytyslaitoksen keskiarvoinen kaukolämpöteho olisi 1,6 megawattia ympäri koko vuoden.

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli käsitellä jäähdytyslaitoksen kehitysprojektia, jonka avulla jäähdytyslaitoksen tuottaman hukkalämmön osuus pyrittiin minimoimaan uuden lauhdutustavan avulla. Lisäksi käsiteltiin kylmätekniikan perusteita, sekä avattiin jäähdytyslaitoksen toimintaperiaatetta ja sen huoltotoimenpiteitä.

Projektin seurauksena jäähdytyslaitokselle saatiin uusi kaukolämpö-nestelauhdutus, jonka avulla jäähdytyslaitoksen kaukojäähdytysveden tuottamisessa syntynyt lämpöenergia saadaan enimmäkseen hyötykäyttöön myös kesäkuukausilta. Tämä uusi lauhdutustapa vaikuttaa todella onnistuneelta ja parantaa jäähdytyslaitoksen hyötysuhdetta merkittävästi. Jatkossa jäähdytyslaitoksella ei ole ollenkaan tarvetta pelkälle nestelauhdutuskaudelle kuumina kesäkuukausina.

Kaukolämpö-nestelauhdutuksen tuottama parannus jäähdytyslaitoksen hukkalämmön talteenottoon riippuu kaukolämpöverkoston paluulinjan vuotuisista lämpötiloista. Vuoden 2020 jäähdytyslaitoksen tuottama kaukolämpöteho olisi parantunut uudella kaukolämpö-nestelauhdutuksella noin 170:llä megawatilla. Mutta mikäli vuonna 2019 olisi ollut käytössä uusi kaukolämpö-nestelauhdutus, olisi jäähdytyslaitokselta saatu noin 260 megawattia enemmän kaukolämpötehoa. Tämä olisi ollut yli 80% parannus vuoden 2019 jäähdytyslaitoksen tuottamaan kaukolämpötehoon.

Tulevat vuodet tulevatkin tarkemmin näyttämään, kuinka hyvin jäähdytyslaitoksen tuottamia hukkalämpöjä saadaan hyötykäyttöön kaukolämpöverkoston tulevaisuudessa.

## Lähteet

1. Kaappola, Esko. Hirvelä, Aulis. Jokela, Matti. Kianta, Jani. 2011. Kylmätekniikan perusteet. 2. painos Turenki: Opetushallitus.
2. KylmäExtra 2/2020. Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy. <[https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra\\_2\\_2020/kylmaprosessi\\_eli\\_miten\\_kylma\\_syntyy](https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy)> (luettu 3.8.2022).
3. Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu 2020. F-kaasua sisältävän laitteen omistajan velvollisuudet. <[https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen\\_raportointi\\_ja\\_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen\\_seuranta\\_Suomessa/Fluoratut\\_kasvihuonekaasut/Laitteen\\_omistajan\\_velvollisuudet](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut/Laitteen_omistajan_velvollisuudet)> (luettu 19.10.2022)
4. Suomen kylmäliikkeiden liitto. Suositukset ja veloitteet HFC-kylmäaineita sisältävän kylmä-, lämpöpumppu- ja ilmastoinnin jäähdytyslaitosten määräaikaishuoltoon ja vuototarkastuksiin. <[https://www.kylmaextra.fi/files/543/Maaraaikaishuollon\\_suositus\\_v2.pdf](https://www.kylmaextra.fi/files/543/Maaraaikaishuollon_suositus_v2.pdf)> (luettu 20.10.2022).
5. Carrier. Asennus, käyttö ja huolto <[https://eto.carrier.com/litterature/iom/13458\\_IOM\\_11\\_2021\\_30XW\\_254\\_1752.pdf](https://eto.carrier.com/litterature/iom/13458_IOM_11_2021_30XW_254_1752.pdf)> (luettu 10.8.2022).
6. Machinery. Varavoima- ja generaattorihuolto. <<https://machinery.fi/huolto-ja-varaosat/huoltopalvelut/moottorit-ja-generaattorit/varavoimahuolto-generaattorihuolto>> (luettu 15.8.2022).
7. ABB. ACS800 laiteopas ACS800-02-taajuusmuuttajat (45...560 kW). <<https://docplayer.fi/4641176-Acs800-laiteopas-acs800-02-taajuusmuuttajat-45-560-kw.html>> (luettu 20.8.2022).

8. Terveyden ja hyvinvoinnin laitos. Legionellan kasvuun vaikuttavat tekijät. < <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/legionellan-kasvuun-vaikuttavat-tekijat>> (luettu 10.9.2022).
  
9. Majaluoma, Maija. 2021. Talousveden laadun yhteys metallisen vesijohdotoverkoston kuntoon ja kunnan arviointiin. Tampereen yliopisto. (luettu 25.9.2022)