

Pekka Meronen

Jäähdytyskoneen uusiminen – koneen valinta teollisuuslaitoksen toimistorakennuksessa

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

2022



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Pekka Meronen
Työn nimi	Jäähdytyskoneen uusiminen – koneen valinta teollisuuslaitoksen toimistorakennuksessa
Toimeksiantaja	Termocon Oy
Aika	Syyskuu 2022
Sivut	38 sivua, liitteitä 1 sivua
Työn ohjaaja(t)	Teemu Lahikainen

TIIVISTELMÄ

Rakennuksissa käytetään yhä enemmän jäähdytysjärjestelmiä, ja niiden yleistyessä myös uusimisen ja kunnossapidon tarve kasvaa. Tämän työn tavoitteena oli selvittää jäähdytyskoneen valintaan liittyviä tekijöitä ja löytää kohdeyritykselle soveltuvan jäähdytyskoneen spesifikaatio.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin teoriaosassa kiertoprosessilla toimivaan jäähdytykseen ja jäähdytyskoneeseen keskeisine komponentteineen ja kylmäaineineen. Asiaa lähestyttiin myös energiatehokkuuden näkökulmasta pohtien kylmän ja lämpimän energian hyödyntämistä yleisesti ja kohteena olevassa rakennuksessa.

Työ tehtiin asiakasyritykselle, jonka toimistorakennuksessa on tullut ajankohdaiseksi uusia jäähdytyskoneita. Työn tuloksena muodostui yleinen käsitys jäähdytyskoneen valintaa ohjaavista tekijöistä ja myös kohteeseen soveltuvan esimerkkikoneen spesifikaatio. Määritettäessä soveltuvaa laitetta huomioitiin keskeisimpinä komponentteina kompressorit tehonsäätöineen, kylmävaraaja ja kylmäaine sekä lauhduttimet ja kylmän jakojärjestelmä. Myös lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja laitteiston äänen tuotto huomioitiin sekä vapaajäähdytyksen soveltuvuus kohteessa.

Asiasanat: Jäähdytyskone, jäähdytysjärjestelmä, kylmäprosessi, kylmälaitos, kylmävaraaja

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Pekka Meronen
Thesis title	Renewal of Cooling Plant- Selection of cooling plant in office building on industrial site
Commissioned by	Termocon Oy
Time	September 2022
Pages	38 pages, 1 pages of appendices
Supervisor	Teemu Lahikainen

ABSTRACT

Cooling systems are increasingly being used in buildings and, as they become more common, the need for renewal and maintenance is also increasing. The aim of this thesis was to find out the factors related to the choice of cooling plant and to find the specification of the refrigeration machine suitable for the target company.

In this thesis, the theoretical part deals with the cooling and cooling plant operating in a circulating process with its main components and refrigerants. The issue was also approached from the perspective of energy efficiency, considering the use of cold and warm energy in general and in the target building.

The work was done for a customer company whose office building had to be equipped with new cooling plant. As a result of the work, a general understanding of the factors guiding the selection of the cooling plant and also the specification of an example machine suitable for the site was formed. Compressors with power controls, a cold accumulator and refrigerant, as well as condensers and a cold distribution system were considered as key components in determining the appropriate equipment. The utilization of the cooling heat and the sound production of the equipment were also taken into account, as well as the suitability of free cooling at the site.

Keywords: Refrigeration machine, cooling plant, cooling system, refrigeration process, refrigeration plant

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	JÄÄHDYTYSPROSESSI JA KESKEISET KÄSITTEET	7
2.1	Jäähdytysprosessi ja - järjestelmät.....	7
2.2	Jäähdytystehontarpeen laskennan periaate.....	10
2.3	Jäähdytysvesiverkosto ja tasaussäiliö.....	13
2.4	Lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja vapaajäähdytys sekä muita keskeisiä energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä	13
3	JÄÄHDYTYSKONE JA KESKEISIÄ KOMPONENTTEJA	16
3.1	Höyrystin	16
3.2	Kompressori ja kompressoritehon säätö	16
3.3	Lauhdutin	17
3.4	Kylmäaine	18
3.5	Jäähdytysjärjestelmän ja -koneen ohjaus ja automatiikka.....	20
3.6	Keskeisimpiä jäähdytyskoneen valintaan vaikuttavia lähtötietoja.....	21
4	KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT	22
4.1	Nykyinen järjestelmä	22
4.2	Suunnittelusta saadut lähtötiedot jäähdytyskoneen uusimiseen	24
5	SOVELTUVAN RATKAISUN VALINTA.....	27
5.1	Tekniset toteutusvalinnat.....	27
5.2	Kompressorit ja tehonsäätö.....	28
5.3	Kylmävaraaja ja kylmäaine sekä jäähdytysputkistot.....	28
5.4	Lauhduttimet, lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja ääni.....	30
5.5	Vapaajäähdytys.....	31
5.6	Ohjaus ja automatiikka	32
6	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET	35

LIITTEET

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä jäähdytysprosessiin ja auttaa kohdeyritystä valitsemaan kohteeseen soveltuva jäähdytyskone nykyisen koneen tultua elinkaarensa päähän. Tavoitteena on myös, että työtä voidaan hyödyntää muutoinkin tilanteissa, joissa jäähdytyskoneen uusiminen on ajankohtaista, sillä tässä työssä pyritään käymään läpi ja esittämään keskeisimmät tiedot, joita jäähdytyskoneen uusimisen yhteydessä tarvitaan. Kohteena on teollisuuslaitoksen toimistorakennus, jonka jäähdytettävät tilat ovat tavanomaista toimistotilaa; toimistohuoneita, avokonttoreita, aulatiloja, kokoustiloja ja ruokala.

Jäähdytysjärjestelmiä tarvitaan lämpöenergian siirtämiseen pois jäähdytettävästä kohteesta. Rakennuksia voidaan jäähdyttää ja viilentää useilla tavoilla, kuten esimerkiksi yöaikaisella ilmanvaihdon lisäämisellä tai vaikkapa maaputkistosta kerättävän viileän avulla. Tässä työssä käsitellään kiertoprosessiin perustuvaa kylmäntuottoa jäähdytyskoneissa.

Kohteena olevan toimistorakennuksen lämpöenergiaa poistetaan jäähdytyksellä käytännössä toimiston ilmasta. Tämä tapahtuu kahdella tapaa; tuloilmaa ja tiloissa olevaa ilmaa jäähdyttämällä. Ensimmäiseen käytetään tuloilmakoneiden jäähdytyspattereita, jälkimmäiseen palkki- ja konvektorijärjestelmiä.

Opinnäytetyön keskeisin sisältö käsittelee kuitenkin jäähdytyskonetta komponentteineen. Jäähdytyskoneen tehtävä on siirtää tiloista ja jäähdytyspatte-reilta kerätty lämpöenergia pois, tyypillisesti ulkoilmaan. Opinnäytetyössä selvitetään myös tämän lauhdutuslämmön hyödyntämisen periaatteita ja soveltuvuutta kohteeseen. Jäähdytyskoneen suunnittelulla ja valinnalla on vaikutusta toisaalta jäähdytyksen tehokkuuteen ja toimintaan, mutta myös järjestelmän investointi- ja käyttökustannuksiin. Edellisen johdosta sopivan ratkaisun löytäminen kuhunkin kohteeseen on tärkeää.

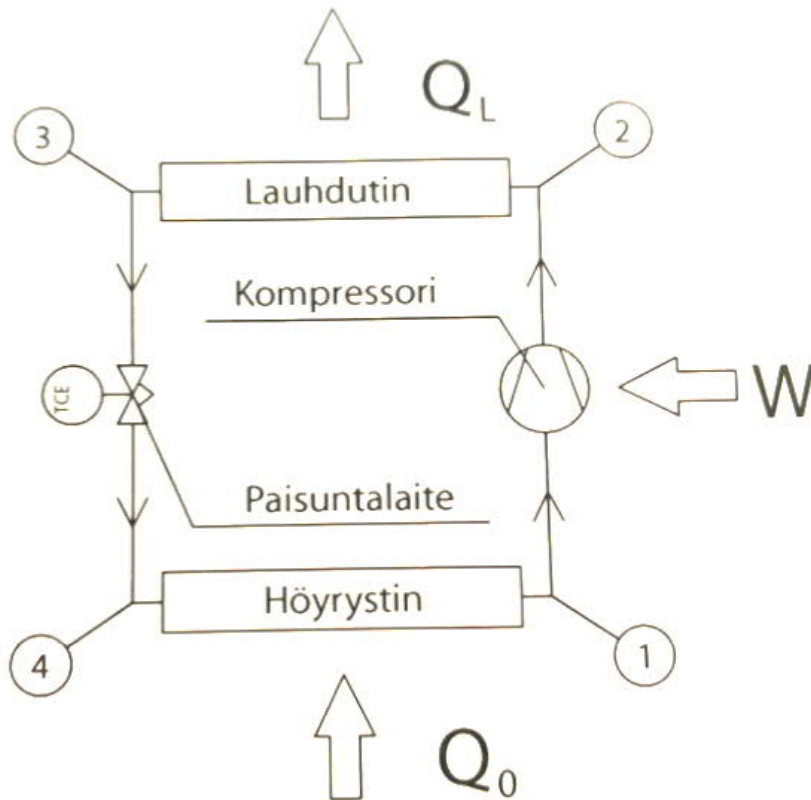
Opinnäytetyö toteutetaan käytännönläheisesti osana jäähdytyskoneen uusintaa kohteessa. Työn tavoitteena on siis selvittää soveltuvin ratkaisu toimistorakennuksen jäähdytyskoneeksi kirjallisuuskatsauksen ja kohteeseen tutustumisen perusteella. Työn alussa esitellään aihepiiristä olemassa olevaan teoriaa,

jonka jälkeen selvitetään kohteessa vallitsevat olosuhteet ja jäähdytyskoneelta edellytettävät toiminnallisuudet. Tämän jälkeen arvioidaan toiminnallisesti sekä teknisesti soveltuvin ratkaisu kohteeseen ja esitetään se.

2 JÄÄHDYTYSPROSESSI JA KESKEISET KÄSITTEET

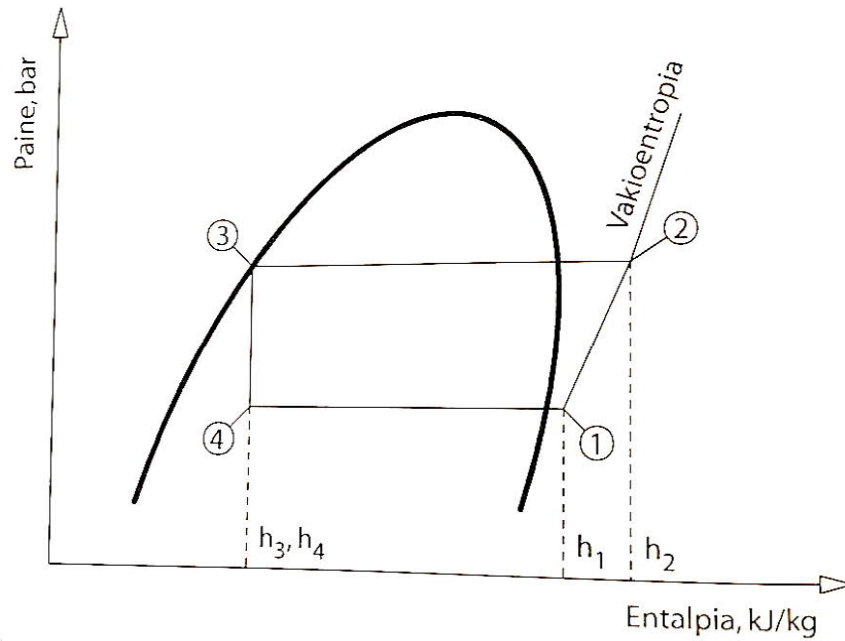
2.1 Jäähdytysprosessi ja -järjestelmät

Koneellinen kylmän tekeminen, eli lämpöenergian tuominen höyrystimessä kylmäaineeseen ja poistaminen lauhduttimessa kylmäaineesta, perustuu kiertoprosessiin, jossa kiertävä kylmäaine vuoroin höyrystyy ja lauhtuu. Kylmälaitteissa pääkomponentteina toimii höyrystin, kompressori, lauhdutin ja paisunta-laite (yleensä paisuntaventtiili). Höyrystimen tehtävä on höyrystää kylmäaine ympäristöä matalammassa lämpötilassa, joka saa aikaan lämpöenergian siirtymisen ympäristöstä kylmäaineeseen. Kompressori puristaa matalapaineisen kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Lauhduttimessa kuuma höyry nesteytyy luovuttaen lämpöenergiaa kylmempään ympäristöön. Paisuntaventtiilissä nestemäisen kylmäaineen paine taas alenee, jolloin neste muuttuu osin höyryksi ja lämpötila laskee. Teoreettisesti lauhduttimen luovuttama lämpö vastaa höyrystimessä sitoutunutta lämpöä ja kompressorin tekemää työtä. Käytännössä kuitenkin osa lämmöstä siirtyy ympäristöön kompressorin ja putkiston kautta. Alla kuvassa 1 esitettynä kylmälaitteen pääkomponentit. (Hakala & Kaappola 2013, 10.)



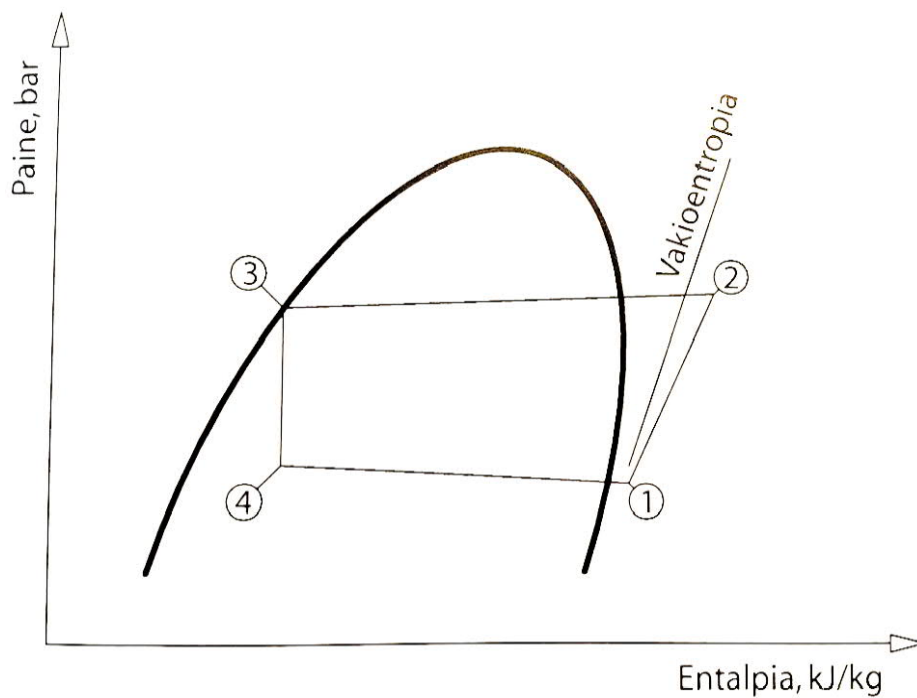
Kuva 1. Kylmäkoneisto (Hakala & Kaappola 2016, 10)

Kylmäprosessia kuvataan tyypillisesti $\log p, h$ tilapiirroksella, joka on kylmäainekohtainen logaritminen paine – entalpia -tilapiirros (kuvassa 2 kylmäprosessi teoriassa ja kuvassa 3 käytännössä). Vakiopaineessa höyrystyminen tapahtuu kuvan suoralla 4-1 ja pisteessä 1 höyry on jo hieman tulistunut. Tulistunut höyry puristetaan kompressorissa, jolloin paine kasvaa ja höyry tulistuu lisää, kuvassa suora 1-2. Kylmäaineesta poistuu ensin tulistus lauhduttimessa ja lopuksi nesteytynyt kylmäaine hieman alijäähtyy vakiopaineessa lauhduttimessa, suora 2-3. Kylmäaineen paine laskee, kun se johdetaan lauhduttimesta paisuntalaitteelle, jolloin se muuttuu höyryiseksi seokseksi ja lämpötila laskee, suora 3-4. Käytännössä prosessissa tapahtuu paine- ja lämpöhäviöitä. Piirtämällä prosessi todelliseen tilapiirrokseen saadaan piirroksesta luettua koneiston toiminta-arvot. (Hakala & Kaappola 2013, 11–13.)



Kuva 2. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa (Hakala & Kaappola 2016,12)

Prosessissa tapahtuu käytännössä painehäviöitä höyrystimessä (4-1) ja kompressorissa. Lisäksi imuputken ja ympäristön välillä tapahtuu lämpöhäviöitä (1-2), joiden vuoksi alla kuvassa 3 kyseiset janat poikkeavat teoreettisesta mallista. (Hakala & Kaappola 2013, 12–13.)



Kuva 3. Kylmäprosessi käytännössä log p, h-tilapiirroksessa. (Hakala & Kaappola 2013, 12)

Jäähdytysjärjestelmät jaotellaan tyypillisesti paikallisiin ja keskitettyihin järjestelmiin. Paikallisissa tehdään jäähdytyslaitteiden asennus jäähdytettävään tilaan ja keskitetyissä vastaavasti jäähdytyslaitteet palvelevat tyypillisesti koko rakennusta joko suoraan tai välillisesti. Keskitetty suora jäähdytys on kyseessä esimerkiksi silloin, kun tuloilmakoneeseen asennetaan kompressoriin liitetty suorahöyrystyspatteri, joka jäähdyttää tuloilmaa keskitetysti. Keskitetty välillinen jäähdytysjärjestelmä taas puolestaan voi olla esimerkiksi jäähdytyspattereiden ja -konvektoreiden toteutettu, joissa kierrätetään jäähdytyskoneella jäähdytettyä nestettä. (Heinonen ym. 2016, osa 1, 243.)

Suora jäähdytys soveltuu kohteisiin, joissa halutaan hankintahinnaltaan edullinen, yksinkertainen ja melko pysyviin olosuhteisiin toteutettu järjestelmä. Vastaavasti välillinen jäähdytysjärjestelmä soveltuu paremmin kohteisiin, joissa toivotaan tarkkaa tilakohtaista säätöä useisiin jäähdytyskohteisiin, pieni kylmäainetäytös, vapaajäähdytys ja joissa jäähdytyspatterin ilmavirta vaihtelee. (Heinonen ym. 2016, osa 1, 243–244.)

2.2 Jäähdytystehontarpeen laskennan periaate

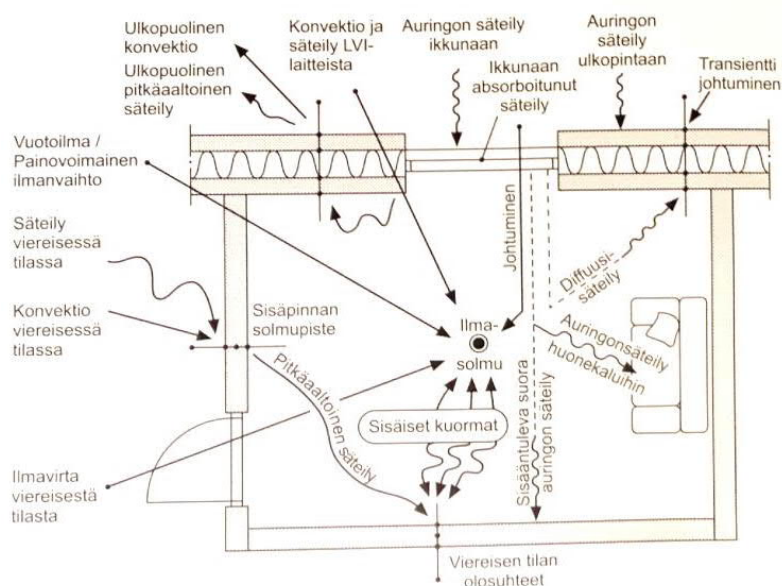
Tässä opinnäytetyössä ei tehdä jäähdytystehon tarpeen laskentaa, vaan se saadaan lähtötietona suunnittelusta. Opinnäytetyön kannalta asia on kuitenkin keskeinen lähtötieto, jonka vuoksi sen periaate esitellään yleisesti seuraavassa.

Heinonen ym. mukaan (2016, osa 2, 419) jäähdytystehon laskentaan on monia syitä, kuten rakentamismääräysten edellyttämät seikat koskien tilojen haitallista lämpenemistä. Määräysten mukaan ylikämpenemisen hallintaan on ensisijaisesti käytettävä rakenteellisia ja muita passiivisia keinoja sekä tehostetua ilmanvaihtoa. Jos em. keinot eivät tarkastelussa osoittaudu riittäviksi, tulee rakennukseen toteuttaa jäähdytysjärjestelmä.

Mitoitettaessa jäähdytystehoa on tyypillistä selvittää tilan lämpötase aikariippuvaisesti ja toteuttaa mallinnus dynaamisilla laskentamenetelmillä. Lämpötaseella tarkoitetaan huoneeseen tulevien, siellä syntyvien ja huoneesta poistuvien lämpövirtojen matemaattista esittämistä. Jäähdytystehon laskenta on

oleellisesti lämmitystarpeen laskentaa haastavampaa, sillä jäähdytystilanteessa tilaa ei voida käsitellä stationäärisenä. Laskennan kannalta oleellista on lämmön varastoituminen, auringon säteilylämpö ja pintojen välinen säteilylämmönsiirto. Lämpötaseen keskeisiä komponentteja ovat auringon säteily, sisäiset kuormat (koneet, laitteet, ihmiset ja valaistus), ulkoilman lämpötila ja kosteus, tuloilman lämpötila ja kosteus, ilmavirtauksen eri lajit, rakenteiden lämmönvarastoitumiskyky sekä kosteuden varastoituminen. (Heinonen ym. Osa 2. 2016. s. 419–420.)

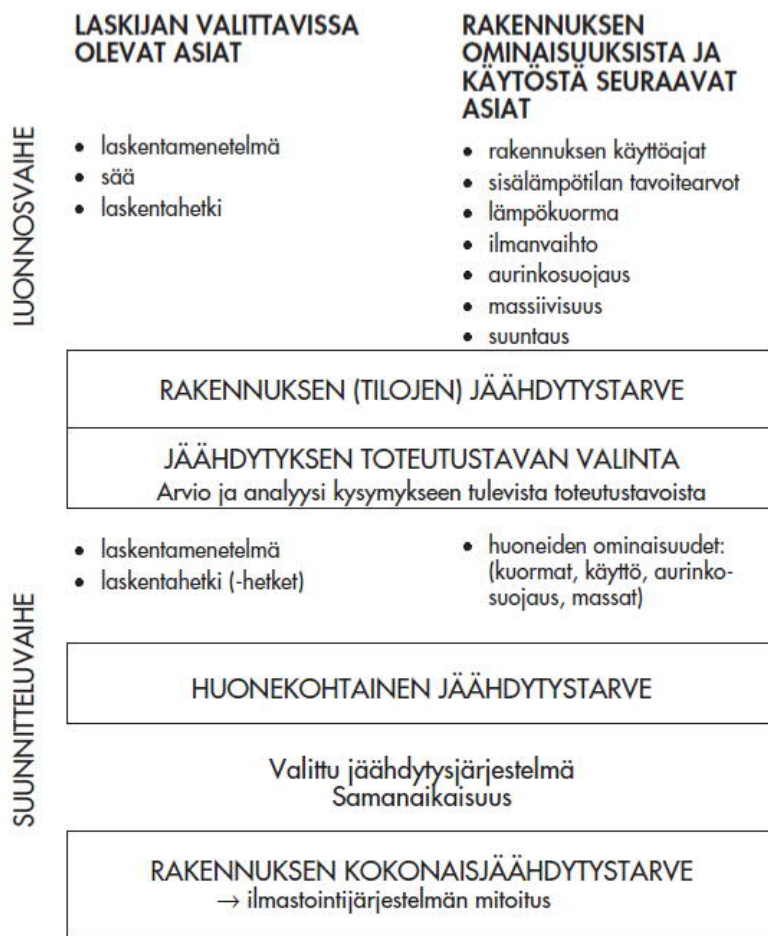
Alla kuvassa 4 esitettynä keskeisimpiä tilan jäähdytystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä.



Kuva 4. Huoneen jäähdytystarpeeseen vaikuttavia tekijöitä. (Heinonen ym. Osa 2. 2016, 420)

Kun rakennuksen tilojen lämpötaseet on saatu selville, tulee tarkastella eri tilojen jäähdytystarpeen ajoittumista. Kokonaisjäähdytystarvetta laskettaessa eri ajankohtaan osuvat jäähdytystehontarpeet eivät suoraan kasvata rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarvetta summana, vaan jäähdytyslaitteiden ja verkostojen mitoitus voidaan tehdä tarkemmin (LVI 34-10203 1992, 1). Käytännössä nykyaikaisilla mallinnusjärjestelmillä tämä on mahdollista toteuttaa hyvinkin yksityiskohtaisesti.

Alla esitettynä jäähdystarpeen laskennan kulku LVI 34-10203:n mukaan. Luonnosvaiheessa jäähdystarpeen laskentaa selvitetään rakennuksen kokonaisjäähdystarve ja valitaan jäähdystyksen toteutustapa. Laskentaa tarkennetaan suunnitteluvaiheessa tilakohtaiseksi, joilla mitoitetaan tilaan tuotava jäähdysteho. Tällöin voidaan huomioida myös tarkemmin jäähdystarpeen ajoittuminen, jolla on vaikutusta kokonaisjäähdystehontarpeeseen.



Kuva 5. Jäähdystarpeen laskennan kulku (LVI 34-10203 1992, 1)

Jäähdystysjärjestelmän mitoituksessa on syytä huomioida myös oletettuihin muutoksiin varautuminen järjestelmän pitoajalla. Yleensä muuntojousto toteutetaan mitoittamalla jäähdystehontarve sekä muu järjestelmä varsinaista tarvetta suuremmaksi. Joustavuutta voidaan huomioida esimerkiksi niin, että mahdollisissa tilojen ja käyttötarkoitusten muutoksissa vältetään mittavilta kone- ja putkistomuutoksilta. Myös jäähdystysjärjestelmän laajennuksiin voidaan varautua. (Pulkkinen 2019, 39.)

2.3 Jäähdytysvesiverkosto ja tasaussäiliö

Jäähdytysenergia siirretään vedenjäähdytyskoneelta jäähdytysverkoston avulla rakennuksen ilmankäsittelyosille, kuten tulo- ja kiertoilmakoneille, puhallinkonvektoreille ja jäähdytyspalkeille. Tuotantoprosesseissa voi olla edellisten lisäksi myös erityiskohteita, kuten vaikkapa laakereita ja teloja sekä esimerkiksi altaiden lämmönsiirtimiä. Tyypillisesti palkkiverkostojen osalta käytetään myös lämmönsiirtimiä, jolloin ne voidaan toteuttaa vesiverkostoina ja välttyä jäähdytysaineiden heikommilta virtaus- ja tehonsiirto-ominaisuuksilta. (Heinonen ym. 2016, osa 1. 279–280.)

Mikäli jäähdytysjärjestelmässä tulee päästä usein alle nolla-asteiseen lämpötilaan, tulee veden sijasta käyttää lämmönsiirtonesteenä erilaisia orgaanisia nesteitä, niiden vesiliuoksia tai orgaanisten suolojen vesiliuoksia. Tällöin niitä kutsutaan veden sijasta kylmäliuoksiksi. Kylmäliuosten luokitukset ja fysikaaliset ominaisuudet vaikuttavat niiden lämpömäärän siirtokykyyn sekä pumppujen ja putkistojen mitoitukseen. Kylmäliuoksen jäätymispiste tulisi valita noin 7–10 astetta alhaisemmaksi kuin sen alin käyttölämpötila. (Suomen Kylmäyhdistys ry. 2019, 9–24.)

Välillisessä jäähdytysjärjestelmässä käytetään tasaussäiliötä varmistamaan kylmäkoneiston höyrystimen ja paisuntaventtiilin vakaa toiminta kaikissa olosuhteissa. Näin saadaan aikaan höyrystimeen aikaan vakiovirtaama, joka helpottaa koneiston säätöä ja mahdollistaa riittävän pitkät kompressorin käyntijaksot. Tasaussäiliö on luonteeltaan putkilaajennus verkoston tilavuuden laajentamiseksi kylmäkoneiston välittömässä läheisyydessä. Tasaussäiliö jakaa verkoston jäähdytyskonepiiriin ja kulutusverkostoon. Tasaussäiliön valinnassa on huomioitava paineenkesto jäähdytysverkoston vastaavan mukaisesti. Mitoitukseen on muodostunut kokemusperäinen menetelmä, jossa tilavuutta varataan 24 litraa jokaista jäähdytyskoneen alimman tehoportaan kilowattia kohti. (Suomen Kylmäyhdistys ry. 2019, 65–67.)

2.4 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja vapaajäähdytys sekä muita keskeisiä energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä

Lauhdutuslämpö kylmälaitoksessa muodostuu kolmesta osasta: varsinaisesta lauhdutuslämmöstä, tulistuslämmöstä ja alijäähdytyksestä. Lauhdutuslämmön

hyödyntämisen haaste on tyypillisesti sen alhainen lämpötilataso. Pohdittaessa lämmön talteenoton kannattavuutta vaikuttaa siihen muun muassa vuosittainen käyttöaika, lämmönsästö ja hankintahinta. Selvitettäessä lauhdutuslämmön hyödyntämistä usein riittää karkea kannattavuustarkastelu, sillä laskentaperusteisiin liittyy merkittävää epävarmuutta erityisesti energian hinta-arvioiden ja ylläpitokulujen osalta. Karkealla tarkastelulla voidaan todeta ensivaiheessa selkeästi kannattavat ja kannattamattomat ratkaisut. (Hakala & Kaappola 2013, 217.)

Perusedellytys lauhdutuslämmön järkevälle hyödyntämiselle on jäähdytystehon ja lämmitysenergiatarpeen kohtaaminen. Tyypillisesti näin ei ole, vaan jäähdytystä ja lämmitystä tarvitaan pääasiassa eri aikaan. Yksinkertaisimmissa pienimmissä ratkaisuissa ilmalauhdutin voidaan sijoittaa esimerkiksi lämmitettävään tilaan. Lämmön talteenottojärjestelmän tulee kuitenkin olla aina varmatoiminen, eikä se saa vaarantaa kylmälaitoksen pääasiallista toimintaa. Talteenotto voidaan myös mitoittaa vain osalle lauhdutustehosta. Mikäli lauhdutuslämpöä hyödynnetään käyttöveden lämmitykseen, tulee järjestelmä toteuttaa välillisesti, joka nostaa hankintahintaa ja heikentää hyötysuhdetta. (Hakala & Kaappola 2013, 218.)

Vapaajäähdytyksessä esimerkiksi kylmäkoneiston ulkona sijaitsevaa nestejäähdytintä käytetään rakennuksen jäähdytysverkoston jäähdyttämiseen oman lämmönsiirtimen avulla. Ratkaisu vaatii toimiakseen ulkoilman lämpötilan sijoittumista useita asteita jäähdytettävän tilan ilmaa alhaisemmaksi. Vapaajäähdytys sopii kohteisiin, joissa on jäähdytystarvetta viileämpinäkin vuodenaikoina. (Airaksinen ym. 2016, 33.)

Vapaajäähdytyksen roolin odotetaan kasvavan tulevaisuudessa, kun uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen etenee. Jäähdytysenergiaa voidaan näin ottaa ulkoilmasta, merestä, järvistä, joista ja maaperästä. Ratkaisujen yleistymistä edesauttaa erityisesti ympäristöön liittyvät näkökohdat ja energiakustannusten vähentämisen tavoitteet. (Airaksinen ym. 2016, 50.)

Vapaajäähdytystä on tarkoituksenmukaista tarkastella huomioiden kohteen olosuhteet. Parhaimmillaan sen avulla voidaan kesäaikaan saada lähes il-

maista jäähdytysenergiaa ja varastoida lämpöenergiaa talven varalle esimerkiksi maahan. Heikoimmillaan vapaajäähdytys lienee kannattavuudeltaan talvella kohteissa, joissa ostoenergialla tuotettua lämpöä siirretään ulkoilmaan. Tällöin lauhdelämmön hyödyntäminen voisi olla kannattavaa.

Jäähdytysjärjestelmien tarpeeton ylimitoitus syntyy tyypillisesti käyttämällä suunnitteluvaiheessa lähtötietojen puuttuessa oletuksia. Jos jäähdytysjärjestelmän teho mitoitetaan korkeammaksi kuin suurin rakennuksen lämpökuorma, on kyseessä ylimitoitus ja jäähdytysjärjestelmä ei tällöin käy täydellä kapasiteetilla. Ylimitoitusta voi tapahtua niin jäähdytystehossa, verkostossa kuin pumpuissakin. Ylimitoitus ei kuitenkaan välttämättä aina ole tarpeetonta, jos kyseessä on muuntojouston vuoksi tehty harkittu ylimitoitus. Ylimitoituksesta aiheutuu tyypillisesti korkeammat investointikustannukset, järjestelmän suorituskyvyn heikentyminen sekä ongelmia tasapainotuksessa ja lämpötilojen hallinnassa. Jäähdytyskoneen osalta ylimitoitus aiheuttaa tyypillisesti tiheämpää kompressorin käynnistymistä sekä lyhyet käyntiajat. Nämä puolestaan kasvattavat energiankulutusta ja käyttökustannuksia sekä lyhentävät kompressorin käyttöikä. (Pulkkinen 2019, 41–44.)

Jäähdytysprosessille voidaan määrittää vuotuinen kylmäkerroin vuosittain tuotetun jäähdytysenergian suhteena prosessiin vuosittain käytettyyn energian määrään. Alla olevassa taulukossa on esitetty ohjearvoja vuotuisille kylmäkerroimille eri prosesseilla.

Taulukko 1. Eräiden jäähdytysenergian tuotantotapojen kylmäkerroimia (Jäähdytysjärjestelmien energianlaskentaopas 2011, 6)

Jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuisia kylmäkerroimia	
Kompressori – kylmälaite, ilmalauhdutteinen	2,5
Kompressori – kylmälaite, vesilauhdutteinen	3
Vapaaäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5
Vapaaäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7
Vapaaäähdytys, vertikaalinen maaputkisto	30
Split-laitteet	3

3 JÄÄHDYTYSKONE JA KESKEISIÄ KOMPONENTTEJA

Vedenjäähdytyskone on terminä laaja, jolla kuvataan yhdeksi yksiköksi koottua kokonaisuutta, joka voi sisältää kaikki tarvittavat komponentit kylmän tekemiseksi, siirtämiseksi kiertävään nesteeseen ja nestettä kierrättävän pumpun. Pääkomponentit ovat höyrystin, lauhdutin, kompressori ja paisuntalaite. Suunniteltaessa vedenjäähdytyskonetta tulee erityisesti kiinnittää huomiota suorituskykyyn sekä koko- että osakuormalla, sillä koneen tulee voida säätää jäähdytyskapasiteettia pienemmäksi rakennuksen jäähdytystarpeen laskiessa. Suunnittelussa on myös määritettävä minimikuorma, jolla konetta tulee voida käyttää. Minimikuormat vaihtelevat erityisesti kompressorityypin mukaan ja suunnittelussa voidaan joutua kasvattamaan myös kompressoreiden määrää, jotta haluttu minimikuorma voidaan saavuttaa. (Arya 2014, 19.)

3.1 Höyrystin

Höyrystimiä on kahta päätyyppiä; ilmaa jäähdyttävät ja nestettä jäähdyttävät. Ilmaa jäähdyttävissä voidaan käyttää edelleen kahta päätyyppiä; luonnollisen ilmankierron höyrystintä tai puhallinhöyrystintä. Nestehöyrystiminä käytetään yleensä moniputki-, levy- tai koaksaalihöyrystimiä. Levylämmönsiirrinten teho ja nopeus on moniputkisiirrintä huomattavasti parempi, mutta jäätymisriski on suurempi. (Hakala & Kaappola 2013, 85–96.)

3.2 Kompressori ja kompressoritehon säätö

Kompressorityyppi valitaan yleensä kohteen tarpeen mukaisesti. Valittavissa on mäntä-, ruuvi-, scroll-, rotaatio- ja turbokompressori. Rakenteeltaan kompressoreja löytyy hermeettisinä, puolihhermeettisinä ja avokompressoreina perustuen moottorin ominaisuuksiin. Kompressorien lukumäärä on riippuvainen käyttökohteessa tarvittavasta tehosta, osatehojen tarpeesta sekä esimerkiksi halutusta käyttövarmuudesta. Kompressorien valinta tapahtuu valmistajien valintaohjelmien, -taulukoiden sekä käyrästöjen mukaisesti. (Hakala & Kaappola 2013, 71–73.)

Hermeettiset mäntäkompressorit soveltuvat pieniin, alle 40 kilowatin tehontarpeen kohteisiin. Mäntäkompressoreiden tehon säätäminen on rajallista ja tapahtuu pääasiassa käynnistämällä ja pysäyttämällä kompressoria, joskin taajuusmuuttajalla voidaan tietyissä rajoissa tehdä pientä säätöä. Puolihermeettisiä mäntäkompressoreita puolestaan löytyy suuremmissa teholuokissa noin megawatin luokkaan saakka ja niitä voidaan säätää sylinteritehonsäädöllä, käynnistämällä ja pysäyttämällä sekä taajuusmuuttajalla. Hermeettisiä scroll-kompressoreita käytetään tyypillisesti 5–400 kilowatin teholuokassa. Tyypillisesti kylmäainepiirissä voi olla 1–3 scroll-kompressoria, joita voidaan säätää pysäyttämällä ja käynnistämällä sekä taajuusmuuttajalla jopa 20 % - 100 % alueella. Ruuvikompressorit puolestaan soveltuvat tehoalueelle 200–1300 kilowattia. Ruuvikompressoreiden säätö on mahdollista myös portaattomasti, portaittain luistolla sekä taajuusmuuttajalla. Turbokompressoreiden tehoalue puolestaan on noin 1–5 megawattia, ja ne ovat vesilauhdutteisia esimerkiksi ns. tehdasvedellä tai lauhdutustornissa. (Heinonen ym. 2016 osa 1, 250–251.)

3.3 Lauhdutin

Lauhduttimia löytyy lähinnä kahta päätyyppiä; haihdutus- ja ilmäjähdytteiset lauhduttimet. Haihdutuslauhdtimet soveltuvat lähinnä teollisiin laitoksiin, ja niillä voidaan saavuttaa alhaisempi lauhtumislämpötila, koska ilman märkälämpötila on ilman kuivalämpötilaa alhaisempi. Kuitenkin haihdutuslauhdtimien hankintahinta on hyvin korkea ja ne vaativat ilmalauhduttimia enemmän ylläpidon resursseja. Lisäksi haihdutuslauhdtinjärjestelmien jäätyminen voi olla ongelma, jos järjestelmää ei käytetä oikein. Yleisimmin käytössä on kaupallisissa kylmäkoneissa ilmalauhduttimet. Ilmalauhduttimien tehokkuuteen vaikuttaa paljon lauhduttimen sijoituspaikka, sillä läpivirtaavan ilman tulee olla mahdollisimman viileää. Tähän vaikuttaa esimerkiksi korkeus katon pinnasta ja räystään läheisyys. (Hakala & Kaappola 2013, 78–79.)

Ilmalauhdutteisia järjestelmiä käytetään erityisesti kohteissa, joissa jäähdytyskoneen käyttö ajoittuu kesäaikaan. Lauhdutin voi olla kiinteä osa koneen rakennetta ja ulkoasenteinen. Tällöin tulee kiinnittää huomiota myös höyrystimen jäätyksen estoon, joka toteutuu yleisimmin käyttämällä jäähdytysnes-

teenä etyleeni- tai propyleeniglykolia. Ulkoasennus asettaa koneelle korkeamat vaatimukset keston suhteen, sillä erityisesti automatiikan tulee tällöin kestää kulloisetkin paikalliset ulko-olosuhteet. (Heinonen ym. 2016 osa 1, 254.)

Lauhdutus voidaan toteuttaa suorana tai välillisenä, jossa kylmäaineen lämpö siirretään lämmönvaihtimissa lämmönsiirtoliuokseen. Jälkimmäinen mahdollistaa monipuolisen lauhdutuslämmön hyödyntämisen esimerkiksi käyttöveden, ilman tai lämpöpumpun lämmönlähteenä. (Siikanen 2010, 17.)

Lauhduttimista ja jäähdytyskoneista syntyy ääntä ympäristöön. Koneiden äänitasoja sertifioidaan Eurovent-järjestelmän mukaisesti puolueettomasti laboratorio-olosuhteissa standardien perusteella. Sertifioitujen kokonaisääniteho- ja painetasojen perusteella voidaan vertailla eri valmistajien laitteita valintatilanteessa. (Hakala & Kaappola 2013, 80.)

Lauhdutinteho lasketaan kompressorien jäähdytystehojen ja kompressorien sähkönottokehjen summana. Lauhduttimien mitoituksessa laskettaessa lauhdutustehontarvetta tulee käyttää korkeinta käytännössä esiintyvää höyrystymislämpötilaa, ja lauhdutustehon tulee riittää myös silloin kun jäähdytysteho on suurimmillaan. Muutoin riskinä on, että kylmäaine ei lauhdu riittävästi ja prosessin tehokkuus ei riitä. Lauhduttimille tulevan ilman lämpötila vaikuttaa lauhduttimen mitoitukseen. Laskennassa käytetään yleensä lauhduttimelle tulevan ilman lämpötilana +25...+30 Celsius-astetta. (Hakala & Kaappola 2013, 78.)

3.4 Kylmäaine

F-kaasuasetuksen mukaan aineita luokitellaan niiden GWP-(ilmastonlämmitysvaikutus) luvun perusteella. Uutta laitetta hankittaessa tulee huomioida erittäin voimakkaisiin F-kaasuihin (GWP yli 2500) kohdistuvat huoltokiellot vuodesta 2020 alkaen sekä niiden yleisen saatavuuden vähentyminen. (Ympäristöministeriö 2021.)

Kylmäaineet jaotellaan neljään luokkaan. **CFC**-aineet (ChloroFluoroCarbons) ovat otsonikerrokselle haitallisimpia ja nykylainsäädännön mukaan käyttökiellossa. **HCFC**-aineet (Hydro-ChloroFluoroCarbons) ovat vähemmän haitallisia,

pienen haitallisuuskertoimen aineita, joiden uusikäyttö on kiellettyä. HCFC-aineita ovat esimerkiksi R22, R401A, R402A ja B. **HFC**-aineet (HydroFluoroCarbons) puolestaan ovat otsonikerrokselle täysin haitattomia. HFC-aineita ovat esimerkiksi R134A ja R404A. **Halogeenittomat luonnonmukaiset kylmäaineet** (propaani, butaani, ammoniakki, hiilidioksidi) puolestaan ovat otsonikerrokselle ja kasvihuoneilmioille lähes haitattomia. Mikään kylmäaine ei vahingoita kuitenkaan luontoa, jos se pysyy kylmälaitoksen sisällä ja romutuksen yhteydessä otetaan talteen sekä hävitetään asianmukaisesti (Hakala & Kaappola 2013, 23.)

Vaihtoehtoisia uusia kylmäaineita on kehitetty HFO-yhdisteistä (Hydro-Fluoro-Olefin, osittain halogenoidut hiilivedyt) sekä HFO-yhdisteiden ja HFC-yhdisteiden seoksista tavoitteena löytää alhaisemman GWP-arvon omaavia aineita. (Laitinen ym. 2016, 11.)

Käytettyjen kylmäaineiden kehitystä on ohjannut lähinnä ilmastosuojelu viime vuosikymmeninä. Otsoniin vaikuttavista aineista on jo päästy merkittävässä määrin eroon, ja tällä hetkellä keskitytään fluorattujen hiilivetyjen, jotka ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja, käytön rajoittamiseen. EU:n F-kaasusetuksen hyväksymällä EU-maat ovat sitoutuneet vähentämään kasvihuonekaasujen päästöjä vaiheittain vuoteen 2030 mennessä. (Airaksinen ym. 2016, 11.)

Kuvassa 6 on esitetty tarkastusvälien määräytyminen hiilidioksidiekvivalenttitoninimäärien perusteella, jotka lasketaan perustuen täytöksen F-kaasun määrään ja F-kaasun GWP-arvoon.

Laitteen sisältämän F-kaasun lämmitysvaikutus	Normaali tarkastusväli	Tarkastusväli, jos laitteessa on vuotojen havaitsemisjärjestelmä
väh. 5 t CO ₂ , mutta alle 50 t CO ₂	12 kk	24 kk
väh. 50 t CO ₂ mutta alle 500 t CO ₂	6 kk	12 kk
väh. 500 t CO ₂	3 kk	6 kk ^{a)}

^{a)} vuotojen havaitsemisjärjestelmä pakollinen kaikissa laitteissa viim. 1.1.2017

Kuva 6. Tarkastusvälit määräytyvät hiilidioksidiekvivalenttitoninimäärien perusteella (Ympäristöhallinnon valvontaohjeita 3/2015, 36)

Kuvassa 7 on esitetty yleisimpien kylmäaineiden tarkastusvälejä.

Kylmäaine	GWP	5 t CO ₂ -ekv (kg), tarkastusväli 12 kk (vuodonilmaisimella 24 kk)	50 t CO ₂ -ekv (kg) tarkastusväli 6 kk (vuodonilmaisimella 12 kk)	500 t CO ₂ -ekv (kg) (tarkastusväli 3 kk) vuodonilmaisimella pakollinen -> tarkastusväli 6 kk
R-23	14 800	0,34	3,37	33,78
R-32	675	7,41	74,07	740,74
R-134a	1 430	3,50	34,96	349,65
R-245fa	1 030	4,85	48,54	485,44
R-404A	3 922	1,27	12,75	127,49
R-407C	1 774	2,82	28,18	281,85
R-407F	1 825	2,74	27,40	273,97
R-410A	2 088	2,39	23,95	239,46
R-417A	2 346	2,13	21,31	213,13
R-422A	3 143	1,59	15,91	159,08
R-422D	2 729	1,83	18,32	183,22
R-426A	1 508	3,32	33,16	331,56
R-437A	1 805	2,77	27,70	277,01
R-507	3 985	1,25	12,55	125,47

Kuva 7. Yleisimpien kylmäaineiden tarkastusvälit (Ympäristöhallinnon valvontaohjeita 3/2015, 46)

Kylmäaineen ominaisuudet vaikuttavat järjestelmän tehokkuuteen. Kullekin kylmäaineelle voidaan muodostaa sen ominaisuuksien mukaan logaritminen paine-entalpia-tilapiirros, joka kuvaa aineen ominaisuuksia prosessissa. Hankittaessa jäähdytyskonetta ja valittaessa kylmäainetta on syytä kiinnittää huomiota myös kylmäaineen käyttöikään ja huollettavuuteen.

3.5 Jäähdytysjärjestelmän ja -koneen ohjaus ja automatiikka

Jäähdytyskoneen ohjaus on toteutettu tyypillisesti joko koneelta lähtevän veden lämpötilan mukaan tai koneelle tulevan ja lähtevän veden lämpötilan sekä mahdollisesti muutosnopeuden mukaan. Jotta kone toimisi turvallisesti kaikissa olosuhteissa, tulee höyrystin suojata jäätymiseltä suojatermostaattilla tai koneen pysäyttävällä lämpötila-anturilla. Höyrystimelle tulevaa nestevirtaa on mitattava ja koneen tulee pysähtyä, jos virtaus lakkaa. Kompressorin suojauksessa käytetään matala- ja korkeapainekylläimiä sekä lämpö- ja ylivirtasuojia. (Heinonen ym. 2016 osa 1, 252–253.)

Koja Oy:n RHOSS etäohjausmateriaalin (2017, 155) mukaan vedenjäähdytyskoneiden ohjausautomaatiikka ja sen liitettävyys on hyvin monipuolista. Vedenjäähdytyskoneita voidaan alistaa toistensa ohjaukseen sekä liittää rakennusautomaatiojärjestelmiin yleisimpien väyläprotokollien välityksellä (mm. Modbus RTU). Keskitetty ohjaus mahdollistaa käyntiaikojen optimoinnin, asetusarvojen keskitetyn ohjauksen ja paremmat hyötysuhteet erityisesti osatehoilla.

Tyypillisesti tuloilmakoneiden jäähdytyspatterien virtausta säädetään 2- tai 3-tieventtiin avulla. Sädöllä saadaan pidettyä tuloilman lämpötila haluttuna. Virtaamaa lisäämällä jäähdytysteho kasvaa ja vastaavasti virtaamaa vähentämällä jäähdytysteho pienenee. (Heinonen ym. 2016 2016 osa 1, 280.)

Käytettäessä kulutuspisteiden virtauksen säätöön 3-tieventtiileitä voidaan toteuttaa verkoston päävirtaus vakiona kuormituksesta riippumatta. Pumppuna voidaan tällöin käyttää vakiovirtaamapumppua. Vastaavasti käytettäessä 2-tieventtiileitä tulee kiertopumppu varustaa taajuusmuuttajalla ja pyörimisnopeuden säädöllä pyrkiä pitämään verkoston paine-ero tasaisena kulutuspisteissä. (Heinonen ym. 2016 osa 1, 280.)

3.6 Keskeisimpiä jäähdytyskoneen valintaan vaikuttavia lähtötietoja

Alla olevaan taulukkoon on koottu teoria-aineistoon tutustumisen perusteella keskeisimpiä jäähdytyskoneen valintaan vaikuttavia tietoja. Taulukkoon on myös kuvattuna lyhyesti, mihin lähtötieto ja valinta vaikuttavat erityisesti.

Taulukko 2. Keskeisimpiä jäähdytyskoneen valintaan vaikuttavia tekijöitä

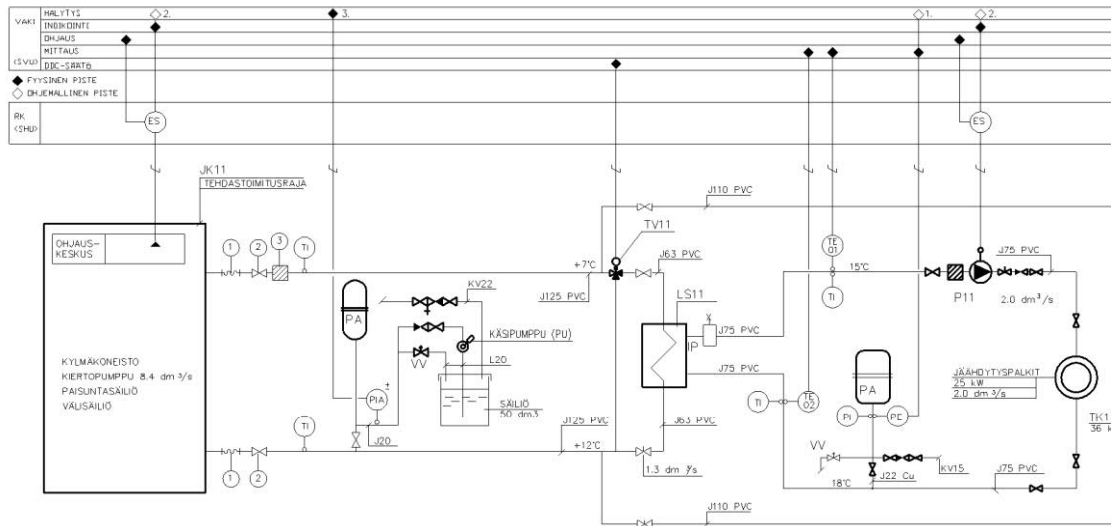
Jäähdytyskoneen valintaan vaikuttavia tekijöitä ja niiden vaikutuksen kohde	
Kokonaisjäähdytystehontarve ja käytetty laskentamenetelmä (mahdollinen ylimitoitus)	Koneen maksimiteho, kompressori- ja lauhdutinteho. Kompressorityyppi
Osakuorma ja säätövaatimukset	Kompressorien määrä. Kompressorien kierosten säätö. Kompressorien elinkaari
Äänitaso	Äänenvaimennukset, käyttöaika, asennuspaikka
Kylmäaine	Koneen huollettavuus ja elinkaari. Suoritusarvot
Jäähdytysjärjestelmän mitoituslämpötilat	Jäähdytysnesteen tilavuusvirta, putkistot ja lämmönsiirtimet
Lauhduttimen mitoituslämpötila- ja teho	Lauhduttimen ominaisuudet ja sijoittaminen
Lämmön tarve jäähdytyskaudella	Lauhdelämmön hyödyntäminen
Jäähdytyksen tarve lämmityskaudella	Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen (myös merivesipiirin/maapiirin osalta jäähdytyskaudella)
Koneen itsenäinen toiminta vs. liitettävyys ja ohjattavuus toisaalta	Vaadittu automatiikka ja liitettävyys rakennusautomaatioon sekä etävalvontaan
Olemassa olevat tilat ja asennusympäristö	Ulko-/sisäyksikkövalinta. Elinkaaren pituus
Jäähdytysneste jäähdytyspiireissä	Sisäsovitteisessa koneessa voidaan käyttää vettä, joka on tehokkaampi
Laitteiston sähkönoton tehontarve	Sähköliittymä, keskuskeskukset ja johdotukset

4 KOHTEEN LÄHTÖTIEDOT

4.1 Nykyinen järjestelmä

Yleiskuva ja verkosto

Jäähdytysjärjestelmä on toteutettu keskitettynä välillisenä järjestelmänä (kuva 8), jossa rakennuksen katolle on sijoitettu ilmalauhdutteinen vedenjäähdytyskone. Jäähdytysnesteverkosto koostuu kahdesta lämmönsiirtimien jälkeisestä jäähdytyspalkkiipiiristä sekä neljää tuloilmakoneen jäähdytyspatteria palvelevasta jäähdytysnesteverkostosta. Jäähdytyspalkkiverkostoissa jäähdytysnesteenä on vesi (+15/+18) ja muissa osissa verkostoa 30 % etyleeniglykoli-vesiseos (+7/+12).



Kuva 8. Nykyisen jäähdytyskoneen liitäntä jäähdytysverkostoon

Verkoston jäähdystehontarve jakaantuu tällä hetkellä niin, että IV-koneiden jäähdytyspattereille on varattu 96 kilowattia ja jäähdytyspalkkiverkoille 58 kilowattia. Yhteensä jäähdystehontarve on tällä hetkellä siis 154 kilowattia. Lauhdutuslämpöä ja vapaajäähdytystä ei hyödynnetä tällä hetkellä kohteessa. Tiedossa ei ole tilanteita, joissa jäähdytys ei olisi ollut riittävän tehokasta. Järjestelmän mitoitusperusteita ei ollut käytettävissä, joten varmaa tietoa ei ole siitä, onko kohteessa käytetty mallintamista vai onko laskenta toteutettu yksinkertaistetusti.

Jäähdytyskone

Nykyinen jäähdytyskone kohteessa on Chillerin valmistama MIDI 64.2 Z HM. Kone on ulkoasennukseen tarkoitettu ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin pumpuyksiköllä. Kompressorityyppi on scroll. Koneessa on lämmönsiirrintyyppinä levylämmönsiirrin, ja kylmäaineena käytetään R407C, jonka GWP-arvo on 1774. Suorat ilmalauhduttimet on toteutettu aksiaalipuhaltimilla ja puhallinsuunta on ylös. Lauhduttimissa on puhaltimien kierrosnopeuden säätö. Koneen jäähdysteho on mitoituslämpötiloilla 164,5 kilowattia (+7, lähtevä jäähdytetty neste /+30, lauhduttimelle tuleva ilma). Koneessa on kaksi jäähdyspiiriä ja neljä kompressoria. Tehonsäätö koneelle on portaallinen 100 % / 75 % / 50 % / 25 % / 0. Tällöin jokainen kompressori on säädettävissä päälle/pois. Puhaltimia koneessa on neljä kappaletta, ja niiden läpi virtaava maksimi ilma-

määrä on 9,4 kuutiometriä sekunnissa. Äänitaso on ilmoitettu äänenpainetasona 10 metrin etäisyydellä vapaassa kentässä 1,5 metrin korkeudella pinnasta, ja se saa arvon 59 [dB(A)]. Välisäiliön koko on 160 litraa.



Kuva 9. Nykyistä konetta vastaava pienempi jäähdytyskone samasta mallisarjasta

4.2 Suunnittelusta saadut lähtötiedot jäähdytyskoneen uusimiseen

Tarve uusimiseen tulee ensisijaisesti siitä, että nykyinen kone on elinkaarensa päässä. Samassa yhteydessä on rakennuksen haltijalta selvitetty mahdollisia muutostarpeita ja rakennuksen käyttöviihtyvyyden ja sisäilmaolosuhteiden vuoksi on päädytty laajentamaan jäähdytysjärjestelmää ruokala- ja neuvottelutiloihin järjestelmän uusinnan yhteydessä.

Järjestelmän laajentamisen yhteydessä suunnittelussa laskettiin yksinkertaisella menetelmällä tarvittava kokonaistehon lisäys jäähdytyskoneelta ja lisättiin se olemassa olevaan jäähdytystehontarpeeseen. Todellisen jäähdytystehontarpeen selvittämiseksi aikaan ja olosuhteisiin perustuvaa mallinnusta ei tässä yhteydessä toteutettu, sillä pääosin jäähdytystehontarve säilyy ennallaan. Jäähdytysjärjestelmän mitoituslämpötilat säilyvät ennallaan.

Jäähdytystehontarve

Suunnittelussa on saatu laskennalliseksi jäähdytystehon tarpeeksi yhteensä 189 kilowattia. Tämä vastaa siis laskennallista maksimitehontarvetta perustuen tilakohtaisten jäähdytystehontarpeiden summaan. Tilakohtaiset jäähdytystehontarpeet on arvioitu suunnittelussa kokemuksen perusteella järjestelmän laajennuksen osalta ja alkuperäiset jäähdytystehontarpeet huomioitu muuttumattomina. Jäähdytystehontarpeen mahdollisen ylimitoituksen käytön-aikaiset haasteet on huomioitu kompressoritehonsäädön, kompressorien määrän ja tasaussäiliön avulla. Seuraavassa taulukossa 3 esitettynä järjestelmän osittain jäähdytystehontarpeet sekä virtaamat.

Taulukko 3. Suunnittelusta saadut tiedot jäähdytystehontarpeesta

Suunnittelusta saadut tiedot jäähdytystehontarpeesta			
Järjestelmän osa	Jäähdytystehontarve [kW]	Virtaama [l/s]	Jäähdytysneste
Tuloilmakone 1	36,0	1,86	Etyleeniglykoli -30%
Tuloilmakone 2	22,0	1,14	Etyleeniglykoli -30%
Tuloilmakone 3	9,0	0,47	Etyleeniglykoli -30%
Tuloilmakone 5	29,0	1,50	Etyleeniglykoli -30%
Jäähdytyspalkit 1	33,3	2,65	Vesi
Jäähdytyspalkit 2	25,0	1,99	Vesi
Laajennus, konvektorit	34,2	1,77	Etyleeniglykoli -30%
	188,5		
Jäähdytysnestevirtaama jäähdytyskoneella		9,74	Etyleeniglykoli -30%

Osakuorma, säätövaatimukset ja äänitaso

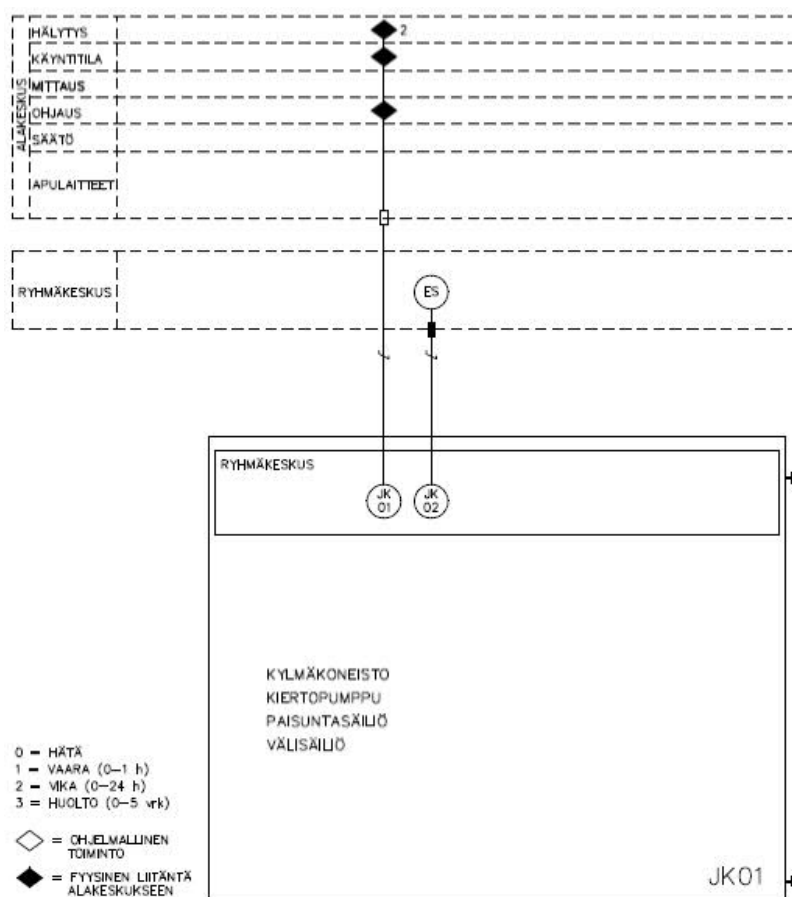
Jäähdytystehontarve ei ole kohteessa luonteeltaan porrasmainen, vaan joustavasti muuttuva riippuen lähinnä ulkolämpötilasta, auringon säteilystä ja rakennuksen sisäisistä lämpökuormista. Järjestelmästä edellytettiin tämän vuoksi hyvin säätävää. Äänitason osalta ei suunnittelussa löytynyt mitään erityisiä vaatimuksia. Kone sijaitsee teollisuusalueelle rakennetun toimistorakennuksen katolla ja lähistöllä kulkee vilkas tie. Jäähdytyskoneen tuottama ääni ei merkittävästi erotu muusta melusta, eikä lähellä ole mitään äänestä erityisesti häiriintyvää.

Lauhdutuslämmön ja vapaajäähdytyksen hyödyntäminen

Suunnittelun yhteydessä käytiin läpi mahdollisuudet toisaalta hyödyntää lauhdutuslämpöä jäähdytyskaudella ja toisaalta ottaa vapaajäähdytyksellä jäähdytysenergiaa. Merkittävää hyötyä kummankaan käytölle tässä kohteessa ei löydetty, sillä lauhdutuslämmölle olisi käyttöä ainoastaan käyttöveden lämmityksessä, joka toimitetaan rakennukselle toisaalta ja jota ei tämän vuoksi saada toteutettua kannattavasti. Vapaajäähdytyksen hyödyn osalta tilanne on samantyyppinen. Rakennuksessa ei ole käytännössä merkittävästi jäähdytystarvetta niinä aikoina, kun vapaajäähdytyksellä olisi saavutettavissa jäähdytystehoja.

Ohjaus ja liitännät rakennusautomaatiikkaan

Kohteessa on olemassa keskitetty Honeywell-merkkinen rakennusautomaatiojärjestelmä, johon jäähdytyskone liitetään. Liitynnän kautta tuodaan rakennusautomaatiojärjestelmään jäähdytyskoneen käyntitieto ja hälytystieto (kuva 10). Valvonta-alakeskuksesta (VAK) annetaan käyntilupatieto jäähdytyskoneelle, kun ulkolämpötilasta saadaan yli 15 asteen mittausarvo. Jäähdytyskoneen liitäntä valvonta-alakeskukseen toteutetaan I/O-pisteillä. Jäähdytyskone kuitenkin toimii itsenäisesti käyttötilanteessa säääten jäähdytystehoa höyrytinpieriin tulevan ja sieltä lähtevän jäähdytysnesteen (etyleeniglykoli) lämpötilan perusteella.

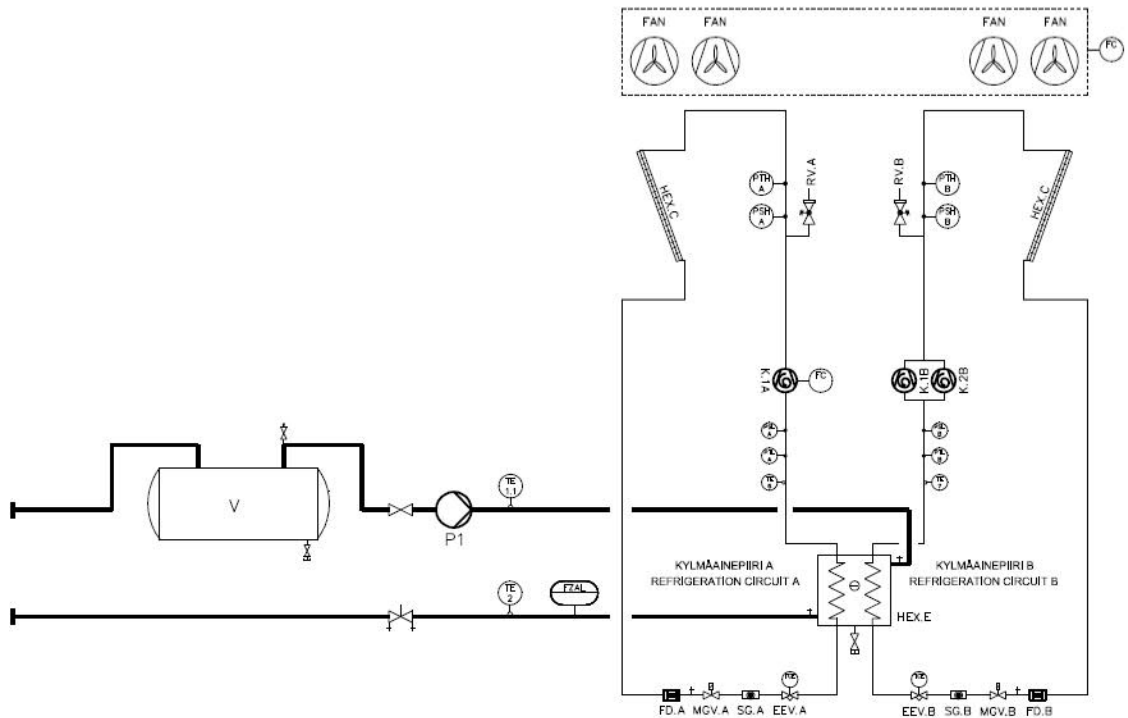


Kuva 10. Ote jäähdytyskoneen ohjauskaaviosta

5 SOVELTUVAN RATKAISUN VALINTA

5.1 Tekniset toteutusvalinnat

Alla kuvassa 11 on esitetty malliesimerkki soveltuvan jäähdytyskoneen virtauskaaviosta. Esimerkkikokoonpano on laadittu Chillerin valintaohjelmalla. Valintaohjelmaan annettiin lähtötiedoiksi jäähdytystehontarve (201kW), jäähdytysliuoksen tyyppi (etyleeniglykoli) ja ominaisuudet (30 %), kuten tulo- ja menolämpötila (12/7), mitoituksen ulkolämpötila (30 Celsiusta), kiertopumpun nostokorkeus ja ulkoilman suhteellinen kosteus (40 %) Kaaviota selitetään komponenttien ja toiminnan osalta tarkemmin kunkin mainitun komponentin kohdalla.



Kuva 11. Suositellun ratkaisun kaavioesimerkki. Chiller-valintaohjelma.

5.2 Kompressorit ja tehonsäätö

Kompressorityypiksi valikoitui scroll-kompressori. Teorian mukaan scroll-kompressoreita käytetään tyypillisesti 5–400 kilowatin teholuokassa. Kylmäainepiirejä koneessa on kaksi, joista toisessa on yksi tehosäädettävä kompressori taajuusmuuttajalla ja toisessa kaksi kompressoria, joiden säätö on-off. Ratkaisussa tulee huomioiduksi tehonsäädön mahdollisuus 10–100 % teholla sekä riskiherkkyys, joka on hallittavissa hyvin kolmella kompressorilla ja kahdella kylmäainepiirillä.

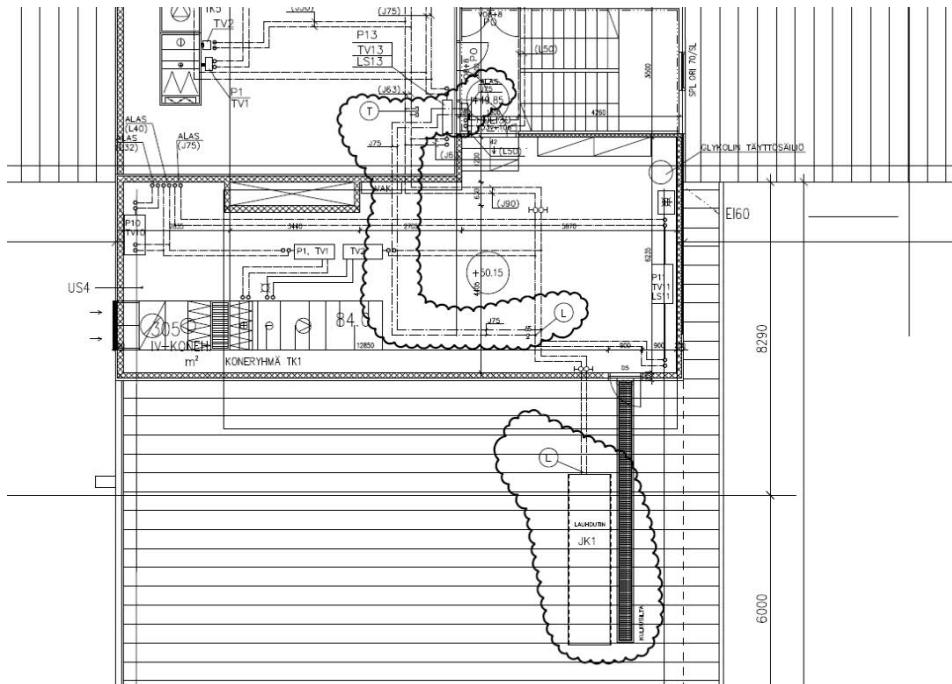
5.3 Kylmävaraaja ja kylmäaine sekä jäähdytysputkistot

Kylmävaraajan mitoitus järjestelmään perustuu teoriaosassa esitettyyn periaatteeseen. Mitoitukseen on muodostunut kokemusperäinen menetelmä, jossa tilavuutta varataan 24 litraa jokaista jäähdytyskoneen alimman tehoporras kilowattia kohti. Jäähdytyskoneen tehonsäätöalueeksi on suunniteltu 10–100 %, ja mitoituslaskennan koneen maksimitehoksi 201 kW, jolloin alin tehoporras on 20,1 kW. Tästä saadaan laskemalla kylmävaraajan kooksi 482 litraa. Käytännössä markkinoilta löytyy 500 litran varaajia, joka sopisi kohteeseen hyvin. Suunnittelun jäähdytystehontarpeen 189 kilowatin teholla lasket-

tuna vastaavasti kylmävaraajan tehoksi olisi muodostunut 454 litraa. Myös tällöin valinta olisi ollut 500 litran varaaja. Kylmävaraajan mitoituksessa kuitenkin käytetään todellista alinta jäähdytyskoneen tehoporrasta. Valintaohjelmalla valittu jäähdytyskone sisältää kylmävaraajan, joka vastaa yllä esitettyä laskentaa.

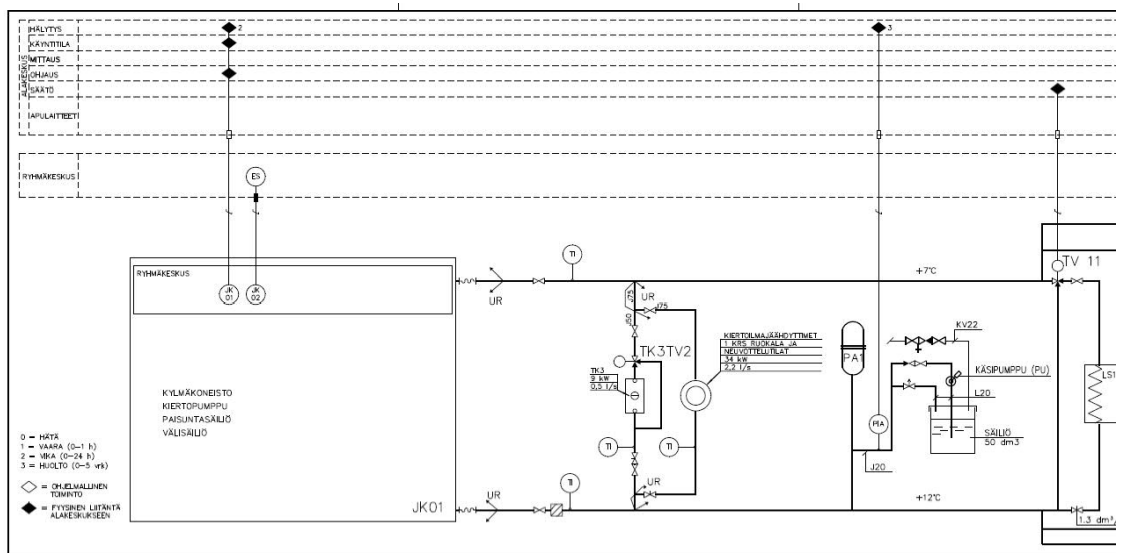
Kylmäainetäytöksen määrä jäähdytyspiireissä on yhteensä 22 kg. Kylmäaineena käytetään R410A. Kylmäaineen GWP on 2088 ja suunnitellulla 22 kg:n täytöksellä määräysten mukaiseksi tarkastusväliksi tulee 12kk ilman vuodonilmaisinta ja 24kk vuodonilmaisimella. Mikäli päädyttäisiin 23,95 kg:n ylittävään täytökseen, puoliintuisivat tarkastusvälit edelleen. Mitoituskone varustetaan kylmäainevuodon tarkkailutoiminnolla, jolloin tarkastusvälien pituudeksi muodostuu 24 kk. Valinta tehtiin mitoituskoneen laskentaan laitetoimittajan toimesta huomioiden sekä kylmäaineen ominaisuuden kylmäntuotannossa että F-kaasusetuksen mukainen käytettävyys, eli käytännössä huollettavuus tulevaisuudessa. Kylmäaineen saatavuus vaikeutunee 2030 mennessä F-kaasusetuksen markkinoille saattamisrajoitusten vuoksi.

Kasvanut jäähdytystehontarve tarkoittaa samalla suurempaa virtausta jäähdytysverkostossa. Kohteen kasvanut tehontarve syntyy verkoston laajennuksista, jotka putkiston osalta on toteutettavissa hyvin läheltä uutta jäähdytyskonetta. Uusi konvektoriverkosto liitetään suoraan etyleeniglykolipiiriin. Tehdyn mitoituslaskennan perusteella nykyisen putkiston alkupään putkikoko mahdollistaa laajennuksen liittämisen suoraan siihen ilman olemassa olevan verkoston putkikoon kasvattamista. Alla esitetyssä kuvassa 12 näytetään suunnitellun uuden verkoston osa ja sen liittyminen olemassa olevaan verkostoon.



Kuva 12. Suunnitellun uuden verkoston osa ja sen liittyminen olemassa olevaan verkostoon

Alla olevassa kuvassa 13 on esitetty suunniteltu laajennus ohjauskaaviossa. Laajennuksen jäähdytystehon kasvu aiheuttaa etyleeniglykoliverkostoon noin 2,2 l/s virtaaman lisäyksen.



Kuva 13. Suunnitellun uuden verkoston osa ja sen liittyminen olemassa olevaan verkostoon

5.4 Lauhduuttimet, lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja ääni

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen selvitettiin suunnittelun yhteydessä, eikä sitä tässä kohteessa nähty kannattavaksi. Rakennuksesta ei löydy juurikaan jäähdytyskaudella lämmitettäviä kohteita eikä alueella ole olemassa sopivaa

resurssia lämmön varastoimiseksi. Lauhduttimen tehon tulee olla teorian mukaan riittävä. Mitoituskoneen lauhdutintehoksi muodostui valintaohjelmistolla 267 kW. Lauhduttimessa on neljä EC-puhallinta portaattomalla kierrosnopeuden säädöllä.

Mitoituskoneen äänitaso on valmistajan ilmoituksen mukaan 62 dB (A). Taso on ilmoitettu painetasona 10 m etäisyydellä koneesta vapaassa kentässä. Äänitasolla ei ole merkittävää vaikutusta ympäristöön. Kompessoreihin olisi ollut saatavilla ääntä vaimentavia huppuja. Tärinää vaimentamaan asennetaan vaimennuskumit ja paljetasaimet.

Alla kuvassa 14 on mitoituskonetta vastaava pienempi ulkoasenteinen jäähdytyskone samasta mallistosta.



Kuva 14. Esimerkkikone, ulkoasenteinen Chiller Deco

5.5 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen selvitettiin suunnittelun yhteydessä, eikä sitä tässä kohteessa nähty kannattavaksi. Rakennuksesta ei löydy esimerkiksi talviaikaan jäähdytettäviä konetiloja, laakereita jne. kohteita. Vapaajäähdytyksen suhteen olisi soveltuvan jäähdytyskohteen lämmön siirto suotavampaa tehdä esimerkiksi lämmitettävään tilaan kuin ulkoilmaan hukkalämpönä.

5.6 Ohjaus ja automatiikka

Jäähdytyskone liitetään kohteessa on olemassa olevaan Honeywell-merkkiseen rakennusautomaatiojärjestelmään, jotta jäähdytyskoneen käyntitieto ja hälytystieto saadaan VAK:iin ja käyntilupatieto annettua VAK:ista jäähdytyskoneelle. Muutoin jäähdytyskone toimii itsenäisesti käyttötilanteessa. Automaatiota voitaisiin kuitenkin hyödyntää erityisesti valvonnassa, huollossa ja laitteen säädössä laajemminkin, vaikka suunnitellulla ratkaisulla perustoiminnot hoituvat kattavasti. Datan kerääminen jäähdytyskoneelta rakennusautomaatiojärjestelmään energiatalouden parantamiseksi voisi olla mahdollinen kehityskohde. Valitun mitoituskoneen ominaisuuksiin kuuluu laitetoimittajan Service Next-ominaisuus, jolla on mahdollista suorittaa etävalvontaa ja säätöä. Koneessa on myös MODBUS RTU -liitäntä rakennusautomaatiojärjestelmään kytkemistä varten.

6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli perehtyä jäähdytysprosessiin ja auttaa kohdeyritystä valitsemaan kohteeseen soveltuva jäähdytyskone nykyisen koneen tultua elinkaarensa päähän. Tavoitteena oli myös, että työtä voidaan hyödyntää muutoinkin tilanteissa, joissa jäähdytyskoneen uusiminen on ajankohtaista, sillä tässä työssä pyritään käymään läpi ja esittämään keskeisimmät tiedot, joita jäähdytyskoneen uusimisen yhteydessä tarvitaan. Molemmissa tavoitteissa onnistuttiin, sillä teoriaosuuden päätteeksi luotiin taulukko helpottamaan jäähdytyskoneen uusinnassa tarvittavien tietojen keruuta. Myös kohteeseen soveltuva ratkaisu löydettiin.

Työssä käsiteltiin lähinnä kiertoprosessiin perustuvaa kylmäntuottoa jäähdytyskoneissa. Keskeisin sisältö käsitteli jäähdytyskonetta komponentteineen. Opinnäytetyössä selvitettiin myös lauhdutuslämmön ja vapaajäähdytyksen hyödyntämisen periaatteita ja soveltuvuutta kohteeseen. Jäähdytyskoneen suunnittelulla ja valinnalla on vaikutusta toisaalta jäähdytyksen tehokkuuteen ja toimintaan, mutta myös järjestelmän investointi- ja käyttökustannuksiin.

Opinnäytetyö toteutettiin käytännönläheisesti osana jäähdytyskoneen uusintaa kohteessa. Työn luvussa kaksi esiteltiin aihepiiristä olemassa olevaan teoriaa,

jonka jälkeen selvitettiin luvussa kolme kohteessa vallitsevat olosuhteet ja jäähdytyskoneelta edellytettävät toiminnallisuudet. Tämän jälkeen arvioitiin toiminnallisesti sekä teknisesti soveltuvin ratkaisu kohteeseen ja esitettiin se luvussa neljä.

Lauhdutuslämmön hyödyntäminen ja vapaajäähdytys ovat erinomaisia tekniikoita energiatehokkuuden parantamiseen ja sitä kautta myös rakennusten päästöjen vähentämiseen. Työssä havaittiin, että ne eivät kuitenkaan sovellu kaikkiin kohteisiin, vaan kohteessa on oltava erityisesti oikeanlainen asetelma jäähdytys- ja lämmitystehontarpeen yhdenaikaisuuden osalta, ellei lämpöenergian varastointiratkaisua ole käytettävissä. Vapaajäähdytys vertikaalisella maaputkistolla voisi tarjota moneen kohteeseen sopivan ratkaisun jäähdytykseen sekä yhden lämmitysjärjestelmän lämmönlähteen.

Jäähdytystehon tarkastelussa on ylimitoitus tyypillistä ja johtaa helposti liian suuren jäähdytyskoneen valintaan. Mallintamalla nykyaikaisilla ohjelmilla aika-riippuvaisesti jäähdytystehontarvetta voidaan päätyä oleellisesti pienempiin jäähdytyskoneisiin ja näin saada aikaan säästöä ja parempi käytettävyys. Jäähdytyskoneen toiminnan kannalta on oleellista huomioida mahdollinen ylimitoitus koneen säädettävyydellä ja kompressorimäärillä.

Automaation osalta hyödyntämismahdollisuuksia on monia. Kuitenkin perustilanteessa jäähdytyskoneen sisäinen automatiikka vastaa siitä, että kiertoprosessi toimii optimaalisesti ja että jäähdytysverkosto saa riittävästi oikeanlämpöistä jäähdytysnestettä ja ongelmatilanteessa hälyttää tai kytkee järjestelmän pois päältä. Tämä tarve saadaan täytettyä koneen sisäisen ohjausjärjestelmän avulla. Edellisen lisäksi voidaan ottaa käyttöön valvontaan, huoltoon ja säätöön liittyviä automaation mahdollistamia toimintoja, jotka helpottavat esimerkiksi etäisyyden päästä valvomaan laitteen toimintaa.

Tuskin on olemassa teknisiltä ominaisuuksiltaan ja käytöltään kahta täysin identtistä kohdetta, kun arvioidaan jäähdytystehon tarpeita ja soveltuvaa jäähdytyskoneratkaisua. Onkin tärkeää huolellisesti perehtyä kohteeseen ja sen perusteella pohtia kulloinkin soveltuvin ratkaisu, joka täyttää odotukset jäähdytyskyvyn lisäksi myös energiatehokkuuden ja taloudellisuuden suhteen. Näi-

den lopulta teknisten asioiden lisäksi lopulliseen toteutukseen vaikuttaa suuresti myös moni muu asia. Näistä mainittakoon esimerkiksi toteutuksen elinkaaren aikaiset päästövaikutukset. Jotta ratkaisu olisi tasapainoinen kaikkien odotusten suhteen, tulee suunnittelijan muistaa käydä riittävästi vuoropuhelua tilaajan kanssa.

LÄHTEET

Airaksinen, M. & Laitinen, A. & Rämä, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. Espoo. VTT. Saatavissa: https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologia selvitys_VTT_221216.pdf [viitattu 20.4.2021].

Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus. Tampere.

Heinonen, J. ym. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-julkaisut Oy. Forssa

Heinonen, J. ym. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-julkaisut Oy. Forssa

Jäähdytysjärjestelmien energianlaskentaopas. 2011. Ympäristöministeriö. 26 s. [Verkko-dokumentti]. Saatavissa: https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/jaahdytys_laskentaopas_2011.pdf [vitattu 21.4.2021].

Laitinen, A. ym. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. VTT Oy. VTT.

Mutanen, O. 2017. Toimistorakennuksen energiatehokas jäähdytys. Diplomityö. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto

Pulkkinen J. 2019. Kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmien todenmukainen mitoitus ja kustannusvaikutukset. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

RT LVI 34-10203 rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen

Valtioneuvoston asetus 452/2009 otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta

Arya, J. S. 2014. Design and Performance Analysis of Water Chiller – A Research Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 6(Version 4), 19-5

RHOSS etäohjaus ja Master/Slave. Koja Oy. [WWW-dokumentti]. Saatavissa: <https://koja.materiaali.fi/folder/kiinteistot1/jaahdytys/ulkoasenteiset-veden-jaahdyttimet-ja-lampopumput/esitteet/58> [viitattu 21.4.2021].

Siikanen, V. 2010. Lämpöpumppu kaupan kylmäjärjestelmän lauhdelämmön talteenotossa. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto.

Välilliset jäähdytysjärjestelmät. 2019. Suomen Kylmäyhdistys ry. Toimittanut Jani Kianta. WWW-dokumentti]. Saatavissa: http://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset_Jaahdytysjarjestelmat_2019.pdf [viitattu 21.4.2021].

Ympäristöministeriö. F-kaasuja koskevat käyttörajoitukset ja kiellot. [WWW-dokumentti]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ilmasto_ja_ilma/Kasvi-huonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/Kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_Suomessa/Fluoratut_kasvihuonekaasut/Kayttorajoitukset_ja_kiellot [viitattu 26.4.2021].

Finel, Ottelin, Reinikainen. Ympäristöhallinnon ohjeita 3/2015. Valvontaohje otsonikerrosta heikentäviä aineita tai fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huoltoa valvoville viranomaisille (2. päivitetty painos). Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BFDE3D789-E798-44F1-A5A8-3A62919DCD47%7D/110820> [viitattu 21.4.2021].