Maiju Karjalainen

Kylmäntuotto ulko- ja sisäasenteisilla kylmä-vesiasemilla ja vapaajäähdytyksellä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

3.4.2017

Metropolia

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Maiju Karjalainen Kylmäntuotto ulko- ja sisäasenteisilla kylmävesiasemilla ja vapaajäähdytyksellä 29 sivua + 9 liitettä 3.4.2017
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	diplomi-insinööri Henri Airaksinen lehtori Seppo Innanen

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutkia ulko- ja sisäasenteisia kylmävesiasemia vapaajäähdytteisinä tai ilman vapaajäähdytystoimintoa, perehtyä niiden toimintaan ja käydä läpi kylmäntuoton prosessia, selvittää ulko- ja sisäasenteisten kylmävesiasemien hyviä ja huonoja puolia sekä selvittää keskivertohintoja käyttäen, mitä kylmävesiasemat tulevat maksamaan verrattuna kaukojäähdytykseen.

Työssä käytiin läpi kylmäntuoton prosessia log p, h -tilapiirroksessa sekä kylmäkoneikon osia ja niiden osallistumista kylmäntuoton prosessiin sekä tutkittiin ulko- ja sisäasenteisia kylmävesiasemia ja vapaajäähdytystä sekä vertailtiin molempien hyviä ja huonoja puolia. Työssä tehtiin kustannusvertailua, jossa vertailtiin sisä- ja ulkoasenteisten kylmävesiasemien vapaajäähdytteisinä ja kaukojäähdytyksen kustannuksia 100 kW:n, 300 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla. Keskivertohintoja vertailtiin vuosikustannusmenetelmää apuna käyttäen sekä laskemalla nykyarvo 15 vuoden ajanjaksolle.

Tuloksiksi saatiin, kaikilla jäähdytystehoilla kaukojäähdytys tulee hieman muita jäähdytysmuotoja halvemmaksi. 100 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla sisäasenteinen kylmävesiasema on kallein ja 300 kW:n jäähdytysteholla puolestaan ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko on kallein vaihtoehto. Kustannuserot eri jäähdytysmuotojen välillä ovat kuitenkin niin pieniä, että tulokset voivat vaihdella suuntaan tai toiseen niiden välillä. Yhtä ja ainoaa jäähdytysjärjestelmää, joka sopisi kaikkiin kohteisiin, ei ole olemassa, sillä laskennan tuloksiin vaikuttaa niin moni tekijä. Jokaiseen kohteeseen on valittava sopivin jäähdytysmuoto erikseen.

Avainsanat	kylmävesiasema, vapaajäähdytys, kaukojäähdytys

Author Title Number of Pages Date	Maiju Karjalainen Production of cooling with indoor and outdoor installed cold water stations with or without free cooling 29 pages + 9 appendices 3 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design Orientation
Instructors	Henri Airaksinen, Master of Science in Technology Seppo Innanen, Senior Lecturer

The purpose of this Bachelor´s thesis was to study cold water stations with or without free cooling system and their operation. The aim was to compare the advantages and disadvantages of outdoor and indoor installed cold water stations, to review the process of cooling production and to find out the average prices of indoor and outdoor installed cold water stations and compare them to district cooling.

A cost comparison was conducted for indoor and outdoor installed cold water stations with free cooling system, and for district cooling. The comparison was done with 100 kW, 300 kW and 450 kW cooling capacity. The cost comparison concluded that district cooling is the most affordable with all cooling capacities and an indoor installed cold water station is the most expensive with 100 kW and 450 kW cooling capacities and outdoor installed cold water station is the most expensive with 300 kW cooling capacity. The cost differences between indoor and outdoor cold water stations and district cooling were, however, so small that the results are not definite.

There is no single cooling system that is suitable for every situation because there are so many factors that have an effect on the results. The most suitable cooling system has to be chosen separately to each case.

Keywords	Cold water station, free cooling, district cooling

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Teoriaa 1

2.1 Kylmätekninen kiertoprosessi 1
2.2 Log p, h -tilapiirros 2
2.3 Kylmäprosessi teoriassa 4
2.4 Kylmäprosessi käytännössä 5
2.5 Vapaajäähdytys 6

3 Kylmävesiaseman pääkomponentit 7

3.1 Kompressori 7
3.2 Lauhdutin 8
3.3 Höyrystin 9
3.4 Paisuntalaite 10

4 Ulko- ja sisäasenteiset kylmävesiasemat ja vapaajäähdytys 12

4.1 Sisäasenteinen kylmävesiasema 12
4.1.1 Kompressorijäähdytyskäyttö 14
4.1.2 Vapaajäähdytyskäyttöön siirtyminen 15
4.1.3 Kompressorijäähdytyskäyttöön siirtyminen 16
4.2 Ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko 16
4.2.1 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta kesällä 17
4.2.2 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta välikausina 18
4.2.3 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta talvella 18
4.3 Jäähdytyskoneen valinta 18

5 Kylmäaineet 19

6 Kustannusvertailu 21

7 Yhteenveto 26

Lähteet 28

Liitteet

Liite 1. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 100 kW:n jäähdytysteholla
Liite 2. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 300 kW:n jäähdytysteholla
Liite 3. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 450 kW:n jäähdytysteholla
Liite 4. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 100 kW:n jäähdytysteholla
Liite 5. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 300 kW:n jäähdytysteholla
Liite 6. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 450 kW:n jäähdytysteholla
Liite 7. Taulukko 1. Kustannuslaskennan lähtötiedot 100 kW:n jäähdytysteholla
Liite 8. Taulukko 1. Kustannuslaskennan lähtötiedot 300 kW:n jäähdytysteholla
Liite 9. Taulukko 1. Kustannuslaskennan lähtötiedot 450 kW:n jäähdytysteholla

Lyhenteet

GWP — Global Warming Potential. Luku, joka ilmoittaa kylmäaineen vaikutuksen kasvihuoneilmiöön. Hiilidioksidin (CO_2) GWP-luku on 1,0, joka toimii vertailulukuna. GWP-luvut ilmoitetaan 100 vuoden ajanjaksolle laskettuina arvoina asteikolla 0:sta ylöspäin.

ODP — Ozone Depletion Potential. Otsonin haitallisuuskerroin. Referenssilukuna käytetään kylmäaineen R11 lukua, jolle on annettu arvo 1,0. Asteikko on 0–1,0.

TEWI — Total Equivalent Warming Potential. Kylmälaitoksen elinaikanaan tuottama kasvihuonehaitallisuus kg:na CO_2:ta. TEWI-luvut ilmoitetaan yleensä 100 vuoden ajanjaksolle laskettuina arvoina asteikolla 0:sta ylöspäin.

1 Johdanto

Työssä on tarkoitus tutkia ulko- ja sisäasenteisia kylmävesiasemia sekä vapaajäädytystä, perehtyä niiden toimintaan ja käydä läpi kylmäntuoton prosessia, selvittää ulko- ja sisäasenteisten kylmävesiasemien hyviä ja huonoja puolia sekä selvittää keskivertohinnat, eli mitä ne tulevat maksamaan verrattuna kaukojäähdytykseen.

Työn toimeksiantajana on Insinööritoimisto Äyräväinen Oy, joka on Suomen suurin pelkästään LVIA-suunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto. Insinööritoimisto Äyräväinen Oy on erikoistunut turvatila-, konesali-, toimisto-, hotelli- ja kokoontumistila, kouluja päiväkotisuunnitteluun. Yritys on toiminut vuodesta 1972 lähtien, ja se työllistää yhteensä 32 alan asiantuntijaa. Yrityksen toimipaikka sijaitsee Helsingissä. (1)

Sisäilman jäähdytys on hyvin tärkeää viihtyvyyden varmistamiseksi ja halutun lämpötilatason ylläpitämiseksi. Siksi on tärkeää kiinnittää huomiota jäähdytystavan valintaan, jotta pystytään valitsemaan mahdollisimman taloudellinen jäähdytyskone.

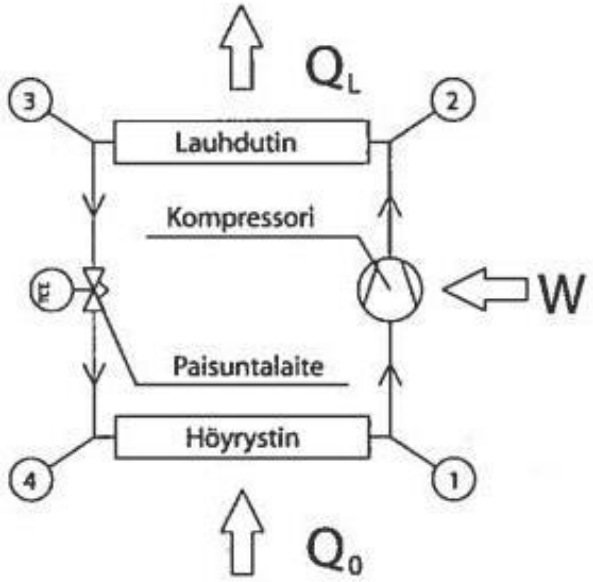
Työn on tarkoitus olla suuntaa antavana ohjeena Insinööritoimisto Äyräväisen sisäisessä käytössä jäähdytyskoneen valinnassa ja samalla havainnollistaa ulko- ja sisäasenteisten kylmävesiasemien sekä vapaajäähdytyksen toimintaa, kylmäntuoton prosessia log p, h -tilapiirroksessa sekä vertailemaan koneiden kustannuksia suhteessa kaukojäähdytykseen.

2 Teoriaa

2.1 Kylmätekninen kiertoprosessi

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan tekemällä prosessiin työtä. Prosessin kiertoaineena käytetään kylmäainetta, joka höyrystyy ja lauhtuu eri painetasoilla riippuen aineen ominaisuuksista. Tähän höyrystymiseen ja lauhtumiseen perustuu koko kiertoprosessi. Kylmäkoneiston kylmäainepiirin pääkomponentit ovat höyrystin, kompressori, lauhdutin sekä paisuntaventtiili. (2, s. 17.)

Kuvassa 1 on esitetty kylmäkoneiston pääkomponentit. Höyrystimessä (4–1) paineeltaan ja lämpötilaltaan alhainen kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstä ja höyrystyy. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine imetään kompressoriin (1–2), joka puristaa sen korkeampaan paineeseen ja samalla kylmäaine tulistuu, jolloin sen lämpötila nousee huomattavasti. Kompressorista tulistunut korkeapaineinen ja lämpötilainen kylmäainehöyry siirtyy lauhduttimeen (2–3), jossa se tiivistyy nesteeksi ja lauhtuu samalla luovuttaen lämpöä ympäristöön. Lauhduttimesta kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilille (3–4), jossa nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskee. Paisuntaventtiilissä kylmäaine höyrystyy osittain jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen matalapaineinen ja lämpötilainen kylmäaine palaa takasin höyrystimelle ja kiertoprosessi alkaa alusta. (2, s. 17–18.) Teoriassa lauhduttimen luovuttama lämpö Q_L vastaa höyrystimen sitomaa lämpöä Q_0 lisättynä kompressorin tekemällä työllä W. Kuitenkin käytännössä kompressorin ja paineputken kautta ympäristöön tapahtuu muutaman prosentin lämpöhäviöitä. (3, s. 10.)

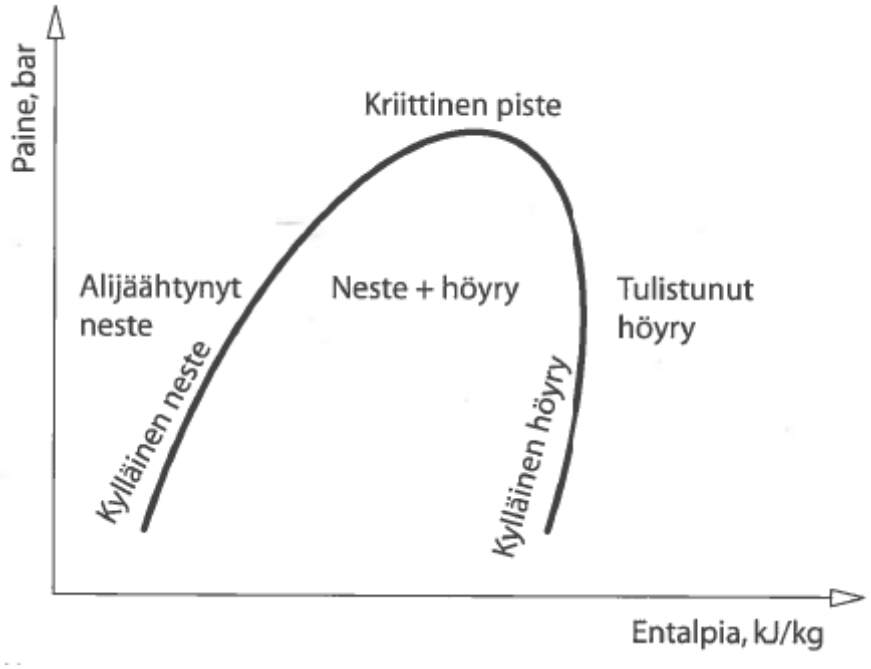


Kuva 1. Kylmäkoneisto (3, s. 10).

2.2 Log p, h -tilapiirros

Kylmätekninen kiertoprosessi esitetään yleensä kylmäaineelle ominaisen log p, h -tilapiirroksen avulla. Piirroksessa absoluuttisen paineen, p, arvot on esitetty y-akselilla ja entalpian, h, arvot x-akselilla. Paine on esitetty logaritmisella asteikolla, jotta piirrok-

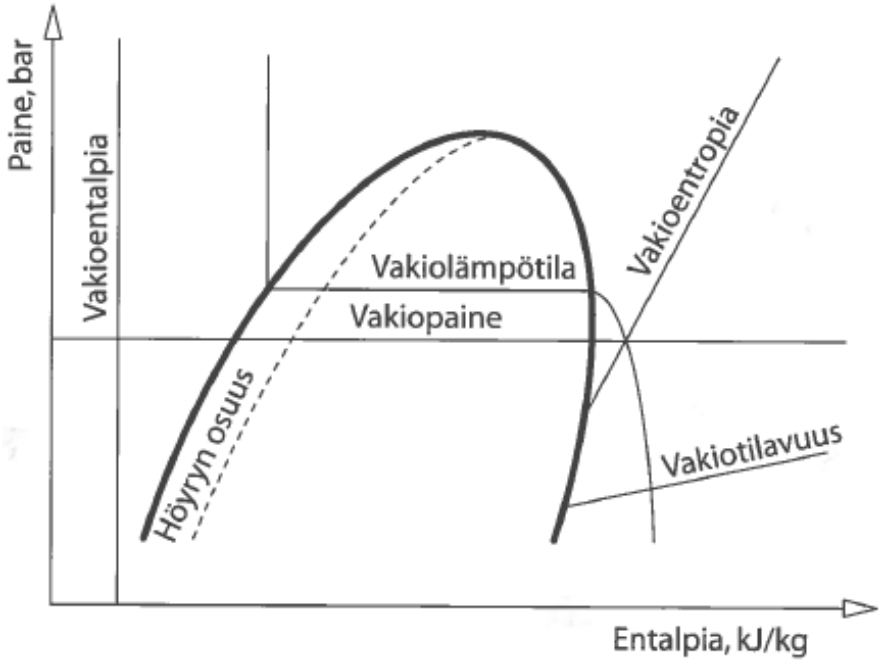
sen tarkkuus olisi sama koko piirroksen alueella. (2, s. 19.) Log p, h -tilapiirroksessa (kuva 2) rajakäyrä jakaa kylmäaineen eri olomuotoihin. Rajakäyrällä kylmäaine on joko kylläistä höyryä tai kylläistä nestettä. Kylläisen höyryn rajakäyrän oikealla puolella on tulistunutta höyryä ja kylläisen nesteen vasemmalla puolella on alijäähtynyttä nestettä. Rajakäyrien välillä kylmäaine on nesteen ja höyryn seosta. Rajakäyrän huipulla on kriittinen piste, jonka yläpuolella kaasumaista kylmäainetta ei enää saada nesteytettyä. (3, s. 11.)



Kuva 2. Kylmäaineen tilapiirros, kylmäaineen olomuodot (3, s. 11).

Kylläisen höyryn ja kylläisen nesteen rajakäyrän lisäksi log p, h -tilapiirroksessa on myös vakiolämpötila-, vakiopaine, vakiotilavuus-, vakioentropia-, vakioentalpia- sekä höyryn osuus -käyrät (2, s. 20). Isotermit eli vakiolämpötilakäyrät ovat pystysuoria nesteen alueella. Lämpötilakäyrä kylläisen nesteen ja kylläisen höyryn rajakäyrien välissä on vaakasuora tai lähes vaakasuora riippuen kylmäaineen ominaisuuksista. Kuten kuvasta 3 näkyy, atseotrooppisilla eli kahden tai useamman yksikomponenttisen kylmäaineen seoksilla tai yksikomponenttisilla kylmäaineilla lämpötila pysyy vakiona koko höyrystymisen tai lauhtumisen ajan. Tseotrooppisilla kylmäaineseoksilla eli kahden tai useamman yksikomponenttiisen kylmäaineen seoksilla lämpötila puolestaan muuttuu höyrystymisen tai lauhtumisen aikana. Tätä lämpötilan muuttumista kutsutaan lämpötilaliukumaksi. Tulistuneen höyryn alueella lämpötilakäyrät kääntyvät laskuun. (3, s. 11–12.)

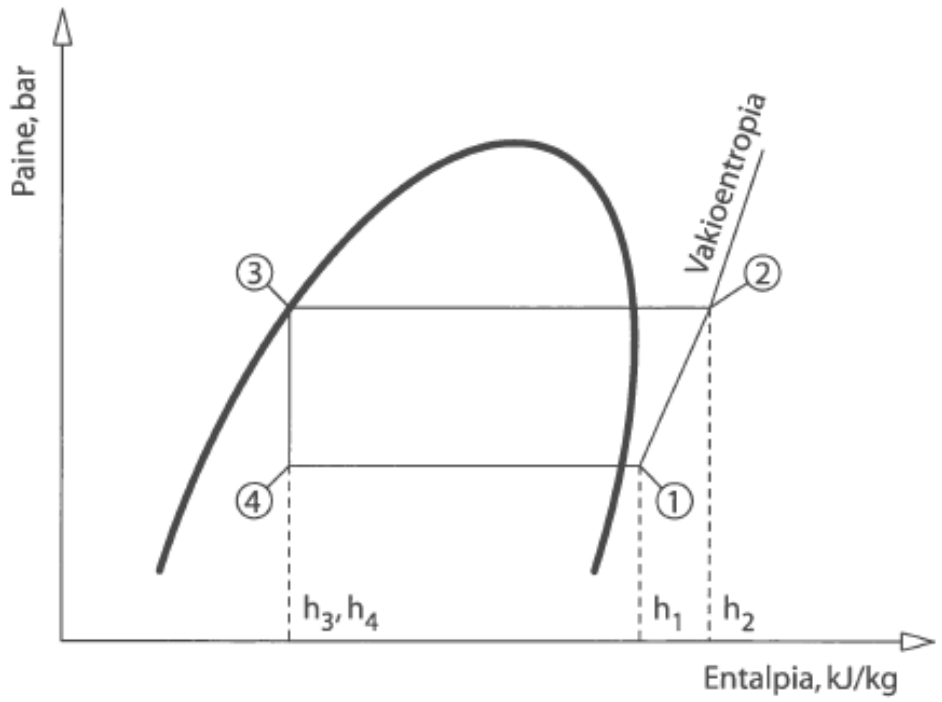
Kylläisen höyryn ja kylläisen nesteen rajakäyrien välissä on x-käyrät, jotka kertovat höyryn osuuden massasta. Isokoorit eli vakio-ominaistilavuuskäyrät esitetään tulistuneen höyryn alueella, jossa käyrät kohoavat loivasti. Isentroopit eli vakioentropiakäyrät esitettään myös tulistuneen höyryn alueella ja niillä voidaan kuvata ideaalipuristusta. (3, s. 12.)



Kuva 3. Atseotrooppisen kylmäaineen log p, h -tilapiirros (3, s. 11).

2.3 Kylmäprosessi teoriassa

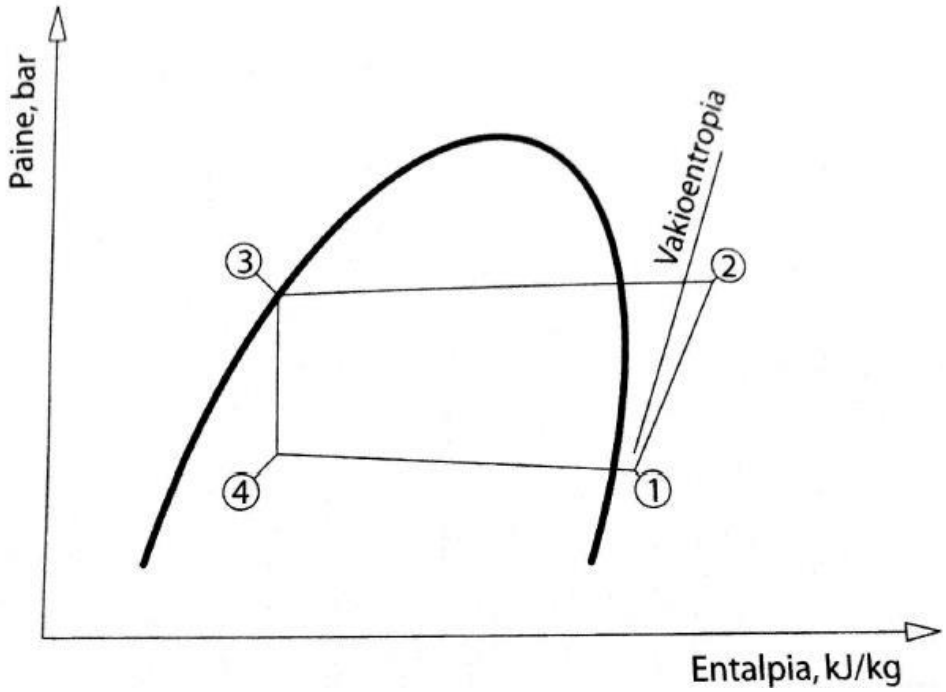
Kuvassa 4 näkyy teoreettinen kylmäprosessi log p, h -tilapiirroksessa. Häviöttömässä kiertoprosessissa kylmäaine höyrystyy ja hieman tulistuu höyrystimessä vakiopaineessa 4–1. Höyrystimessä tulistunut kylmäaine imetään kompressoriin, jossa se puristetaan korkeampaan paineeseen 1–2. Puristuksessa kylmäaine tulistuu lisää. Häviötön puristus on isentrooppinen, jolloin puristus kulkee vakioentropiakäyrän suuntaisesti. Lauhduttimessa kylmäaineesta poistuu ensin tulistus, minkä jälkeen höyry lauhtuu ja lopuksi nesteeksi muuttunut kylmäaine alijäähtyy vakiopaineessa 2–3. Paisuntalaitteessa kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat ja kylmäaineneste muuttuu nestehöyryseokseksi 3–4. (3, s. 12.)



Kuva 4. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h -tilapiirroksessa (3, s. 12).

2.4 Kylmäprosessi käytännössä

Käytännössä kylmäprosessissa tapahtuu erilaisia häviöitä höyrystimessä, kompressorissa, lauhduttimessa sekä putkistossa. Kuvasta 5 nähdään, että höyrystyminen ei tapahdu vakiopaineessa, vaan höyrystimessä tapahtuu painehäviöitä. Lisäksi imuputkessa tapahtuu lämpöhäviöitä, 4–1. Kompressorin puristuksessa tapahtuu myös lämpöhäviöitä, jolloin prosessi ei ole isentrooppinen, vaan kaartuu tilapiirroksessa enemmän oikealle, 1–2. Paineputkessa ja lauhduttimessa tapahtuu painehäviöitä, 2–3. (3, s. 12–13.)



Kuva 5. Kylmäprosessi käytännössä log p, h -tilapiirroksessa (3, s. 13).

2.5 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytyksessä jäähdytysliuos viilennetään kylmällä ulkoilmalla. Vapaajäähdytystä täydennetään tarpeen mukaan kompressorilla, kun ulkolämpötila on liian korkea jäähdytysliuoksen viilennykseen. Vapaajäähdytys sopii hyvin hyödynnettäväksi pohjoisiin olosuhteisiin, jolloin ilma on kylmää ja siitä pystytään hyödyntämään ilmaista jäähdytysenergiaa. Vapaajäähdytys säästää energiaa. Läpi vuoden käytettävällä vapaajäähdytyksellä energiankulutus pienenee 35–75 % verrattuna perinteiseen järjestelmään. Vapaajäähdytysjärjestelmä säästää myös tilaa, sillä se voidaan asentaa toimitilan ulkopuolelle, jolloin sisätilaneliöitä vapautuu muuhun käyttöön. (4.)

Vapaajäähdytys voidaan toteuttaa osatehovapaajäähdytyksellä tai täydellä vapaajäähdytyksellä. Osatehovapaajäähdytyksessä jäähdytysliuos jäähdytetään vapaajäähdytyspatterissa, minkä jälkeen sitä jäähdytetään vielä höyrystimessä kompressorijäähdytyksellä. Täydessä vapaajäähdytyksessä jäähdytysliuos jäähdytetään kokonaan vapaajäähdytyspatterissa. Vapaajäähdytyksen osuus kokonaistehosta riippuu ympäristön lämpötilasta, palaavan liuoksen lämpötilasta tai jäähdytyskuorman suuruudesta. (4.)

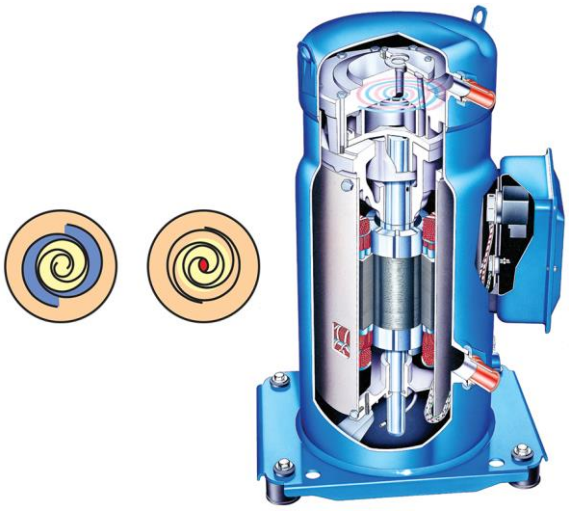
3 Kylmävesiaseman pääkomponentit

3.1 Kompressori

Kompressorin tehtävänä on saada aikaan kylmäaineen kierto. Kompressori korottaa kylmäaineen paineen höyrystymislämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Paine-eron vuoksi kylmäaine siirtyy lauhduttimesta höyrystimeen. (2, s. 51.)

Tavallisimpia kompressoreja ovat mäntä-, ruuvi-, scroll- ja rotaatiokompressorit. Kompressorit jaetaan rakenteen mukaan hermeettisiin, puolihermeettisiin ja avokompressoreihin riippuen siitä, millainen moottori kompressorissa on. (3, s. 71.) Nykyisin markkinoilla olevissa vedenjäähdytyskoneissa on pääasiassa scroll- tai ruuvikompressoreita. Alle 300 kW:n vedenjäähdytyskoneet on useimmin varustettu usealla scroll-kompressorilla ja kylmäaineena käytetään R410A:ta. Yli 300 kW:n koneissa on puolestaan yksi tai useampi ruuvikompressori ja kylmäaineena R134a. (7.)

Scroll-kompressorissa eli kierukkakompressorissa höyry puristetaan kahden kierukan välissä. Kierukoista toinen on kiinteä ja toinen kiertävä. Kierukoiden välissä oleva höyry puristetaan kolmen kierroksen aikana imupuolelta painepuolelle. (2, s. 54.) Kierukat koskettavat toisiaan muutamasta kohtaa, jolloin syntyy peräkkäisiä kammioita, jotka pienenevät kiertoliikkeen mukana (5, s. 147). Kuvassa 6 näkyy scroll-kompressori sekä sen sisällä olevat kierukat.



Kuva 6. Scroll-kompressori (6).

Ruuvikompressorissa on usein kaksi roottoria, jossa on kaksi ruuvia, jotka pyörivät toisiaan vasten. Ruuvien väliin ja kompressorin kuoren väliin jää puristustila, joka etenee päästä päähän samalla pienentyen (5, s. 148). Höyry kulkeutuu ruuvien ja rungon välisessä välitilassa kompressorin imupuolelta painepuolelle. Öljy toimii roottorien ja rungon välissä tiivisteenä. (2, s. 54.) Kuvassa 7 näkyy kaksiroottorinen ruuvikompressori.

Kuva 7. Ruuvikompressori (7).

3.2 Lauhdutin

Lauhduttimen tehtävänä on luovuttaa höyrystimessä sidottu lämpö sekä kompressorin tekemän työn tuottama lämpö ympäristöön eli ilmaan tai nesteeseen. Lauhduttimessa kylmäainehöyry muuttuu takaisin nesteeksi. Lauhduttimia on ilma- ja nestelauhdutteisia. (2, s. 55.)

Ilmalauhduttimen kenno on valmistettu alumiinilamelleista sekä kupariputkista. Ilmalauhduttimissa on suurempi kylmäainetäytös kuin nestelauhduttimissa, ja ne ovat myös

äänekkäämpiä. Kylmäainetäytteisissä ilmalauhdutteisissa lauhduttimissa ei ole jäätymisvaaraa. (2, s. 55.) Kuvassa 8 on ilmalauhdutin.

Kuva 8. Ilmalauhdutin (8).

Nestelauhduttimia ovat moniputki- ja koaksiaalilauhdutin sekä levylämmönsiirrin. Nestelauhduttimissa hyvänä puolena on pieni kylmäainetäytös. Tämän lisäksi kompressorin ja lauhduttimen välinen etäisyys pysyy lyhyenä sekä lauhdelämpöä voidaan hyödyntää paremmin useassa kohteessa. (2, s. 55.)

3.3 Höyrystin

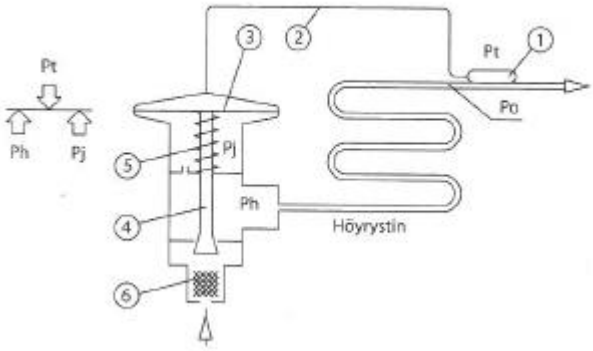
Höyrystimen tarkoituksena on jäähdyttää ympäristöä. Höyrystimessä kylmäaineneste höyrystyy kaasuksi ja sitoo samalla lämpöä ympäristöstä, joko ilmasta tai vedestä. (2, s. 59.) Ilmaa jäähdyttävät höyrystimet voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: lamellihöyrystimet, ripaputkihöyrystimet ja levyhöyrystimet. Nestettä jäähdyttävinä höyrystiminä käytetään puolestaan moniputki- ja koaksiaalihöyristimiä ja levylämmönsiirrintä (kuva 9). (5, s. 168–173.)

Kuva 9. Levylämmönsiirrin (9).

3.4 Paisuntalaite

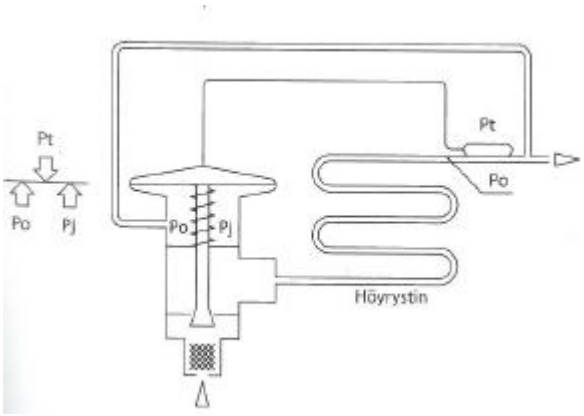
Paisuntalaitteena eli paisuntaventtiilinä käytetään termostaattista paisuntaventtiiliä tai elektronista paisuntaventtiiliä. Termostaattisen paisuntaventtiilin (kuva 10) tehtävänä kiertoprosessissa on säätää kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen. Ruiskutusta ohjaa kylmäaineen tulistus. Tulistuksen lisääntyessä lämpötila nousee höyrystimeltä lähtevässä imuputkessa, jolloin myös imuputkeen asennetussa tuntoelimessä [1] paine (Pt) ja lämpötila nousee. Kapillaariputken [2] kautta tuntoelimen paine välittyy kalvon [3] suuttimessa olevaan neulaan [4], jolloin venttiili avautuu lisää ja höyrystimeen virtaa enemmän nestettä. Tulistusta vastaavan paine-eron aiheuttaa jousen [5] voima, jota säädetään ruuvilla. Paisuntaventtiilin suuttimen tukkeutuminen pyritään estämään sihdillä [6]. (2, s. 57.)

Tuntoelimen paine (Pt) on venttiiiliä avaava voima, joka kohdistuu venttiilin kalvon yläpuolelle. Venttiilin sisällä vaikuttava paine (Ph) ja jousesta aiheutuva paine (Pj) ovat taas venttiiliä sulkevia voimia, jotka vaikuttavat kalvon alapuolella. Tulistuksen pienentyessä, paine kalvon yläpuolella laskee, jolloin venttiili alkaa sulkeutua. Venttiili avautuu puolestaan, kun tulistus lisääntyy, jolloin paine kalvon yläpuolella nousee. (2, s. 57.)



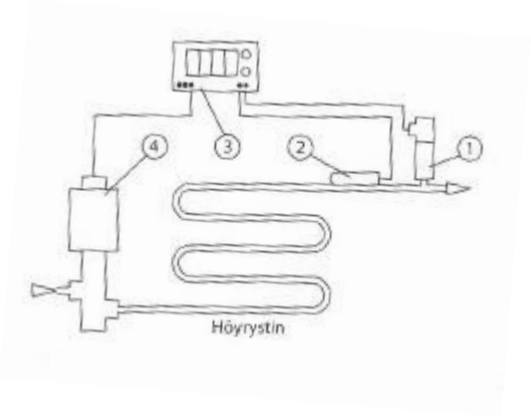
Kuva 10. Termostaattinen paisuntaventtiili sisäisellä paineentasauksella (2, s. 57).

Ulkoisella paineentasauksella varustetut paisuntaventtiilit (kuva 11) eroavat sisäisellä paineentasauksella varustetuista paisuntaventtiileistä siten, että venttiilissä on kalvon alapuolella yhde, joka yhdistetään imuputkeen, jolloin kalvon alapuolella on sama paine (Po) kuin höyrystimen jälkeen. (2, s. 57–58.)



Kuva 11. Termostaattinen paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella (2, s. 57).

Elektronisia paisuntaventtiileitä (kuva 12, kohta 4) käytetään yleensä kaupan kylmälaittetissa sekä vedenjäähdytyskoneissa. Ne voivat olla toimintaperiaatteeltaan pulssittavia, askelmoottoreita tai jatkuvasti säätäviä. Säädin [3] ohjaa venttiilin toimintaa tulistuksen mukaan, jota mitataan lämpötila-anturilla [2]. Tulistuksen painetta puolestaan mitataan painelähettimellä [1]. (2, s. 58.)



Kuva 12. Elektroninen paisuntaventtiili (2, s. 58).

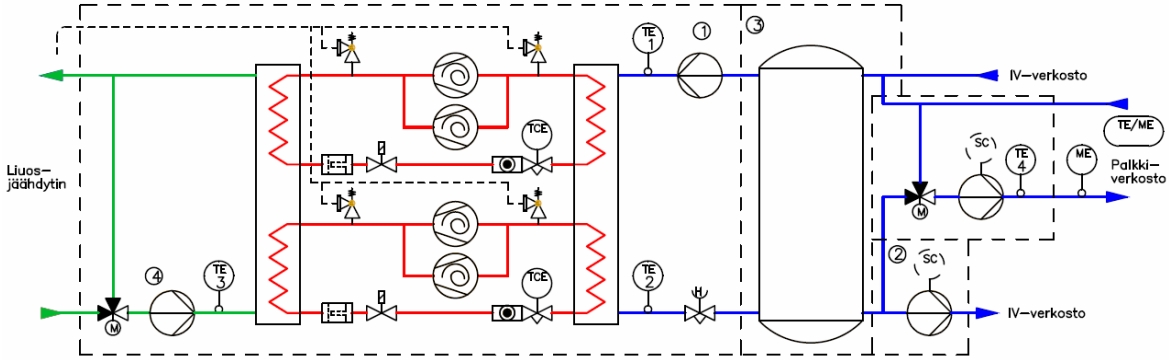
Pulssittava venttiili toimii jaksoissa, jolloin venttiili voi olla auki tai kiinni. Askelmoottorilla varustettu venttiili avautuu ja sulkeutuu pienin portain. Jatkuvasti säätävä venttiili taas toimii portaattomasti. (2, s. 58.)

4 Ulko- ja sisäasenteiset kylmävesiasemat ja vapaajäähdytys

4.1 Sisäasenteinen kylmävesiasema

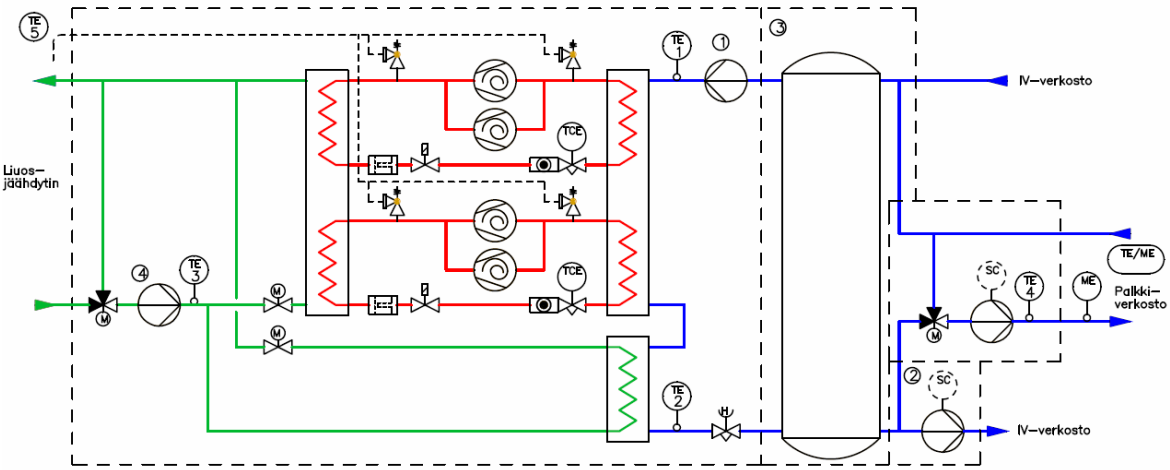
Sisäasenteinen kylmävesiasema on vedenjäähdytyskone, jossa on vähintään höyrystin piirin pumppu ja lauhdutusliuospumppu. Sisäasenteisessa kylmävesiasemassa kaikki komponentit ovat sisällä lukuun ottamatta liuosjäähdytintä, joka sijaitsee ulkona. Kylmävesiasemat ovat yleensä paneloituja koneita. Kylmävesiasemia valmistaa Suomessa mm. Chiller ja Pemco. Suomessa myytäviä kylmävesiasemia valmistetaan paljon myös Italiassa, esim. Galletti sekä Kojan maahantuoma Halla-kylmävesiasema. (11.)

Koneeseen on saatavissa vakio- tai lisävarusteita valmistajasta riippuen esimerkiksi tasaussäiliö, jäähdytysverkoston pumppu, palkkiverkoston pumppu, taajuusmuuttajalla ohjatut pumput, äänieristys kuoripaneeleihin ja kompressoreihin, vapaajäähdytys sekä paisunta-astiat (11). Esimerkiksi Chillerin kylmävesiasemiin on saatavana lisävarusteena internet-pohjainen etävalvonta (10). Vapaajäähdytysvarustelu on hyödyllinen silloin, kun jäähdytystarvetta on muulloinkin kuin kesällä. Kuvassa 13 on sisäasenteinen kylmävesiasema ilman vapaajäähdytysvarustelua ja kuvassa 14 puolestaan sisäasenteinen kylmävesiasema vapaajäähdytysvarustelulla.



Kuva 13. Sisäasenteinen kylmävesiasema ilman vapaajäähdytysvarustelua (11).

Kylmävesiasemat ovat yleensä liuoslauhdutteisia. Lauhdutusliuoksena koneissa käytetään tyypillisesti vesi/etyleeniglykoliliuosta, joka on väkevyydeltään 35 %. Lauhdutusliuoksen jäähdytykseen käytetään liuosjäähdytintä. Liuosjäähdytin on ainoa sisäasenteisen kylmävesiaseman komponentti, joka asennetaan ulos esimerkiksi rakennuksen katolle. Samaa liuosjäähdytintä voidaan käyttää sekä kompressorijäähdytyksessä että vapaajäähdytyksessä. Tällöin liuosjäähdytin mitoitetaan kuitenkin kompressorijäähdytyksen tehontarpeen mukaan. Yhdellä liuosjäähdyttimellä varustetuissa kylmävesiasemissa ei ole mahdollista käyttää kompressorijäähdytystä ja vapaajäähdytystä samanaikaisesti, vaan siirtymävaiheessa tulee muutaman minuutin käyttökatko, jolloin kumpikaan jäähdytysmuodoista ei ole käytössä. Siirtyminen jäähdytysmuodosta toiseen riippuu säätimelle asetetusta lämpötilan asetusarvosta ja mitatusta ulkolämpötilasta sekä uuden lämpötilan pysyvyydestä. Mitatun arvon täytyy olla voimassa tietyn ajan, jotta vältytään toistuvilta toimintatavan muutoksilta. Vapaajäähdytyksen vuotuista käyttöaikaa voidaan pidentää mitoittamalla kylmänjakelulaitteet suhteellisen korkealle veden lämpötilalle, jolloin vapaajäähdytystä pystytään hyödyntämään korkeammissakin lämpötiloissa. (11.)



Kuva 14. Sisäasenteinen kylmävesiasema vapaajäähdytysvarustelulla (11).

4.1.1 Kompressorijäähdytyskäyttö

Seuraava toimintaselostus liittyy kuvaan 14.

Jäähdytyskoneen käyntiä ohjataan kiinteistöautomaatiosta tai koneen omasta ohjausjärjestelmästä. Kun koneelle on annettu käyntilupa, höyrystinpiirin pumppu [1] käy jatkuvasti kierrättäen vettä höyrystimen ja vapaajäähdytysvaihtimen läpi. Lämpötila-anturi TE1 mittaa höyrystimelle tulevan veden lämpötilaa. Kompressorien käyntiä ohjataan lämpötila-anturin TE1 mittausarvon ja lämpötilan asetusarvon perusteella. Lämpötila-anturi TE2 mittaa puolestaan höyrystimeltä ja vapaajäähdytysvaihtimelta lähtevän veden lämpötilaa toimien jäätymissuojana. Mikäli lämpötila-anturin TE2 mittausarvo alittaa asetusarvon, koneen säädin pysäyttää kompressorit ja antaa hälytyksen. (11.)

Jäähdytyskoneen ollessa päällä myös jäähdytysverkoston pumppu [2] käy jatkuvasti. Jäähdytysverkoston pumppu voidaan varustaa taajuusmuuttajalla, mikäli jäähdytysverkostossa on tasaussäiliö [3]. Taajuusmuuttajalla pidetään vakiopaine-eroa jäähdytysverkostossa säätämällä pumpun pyörimisnopeutta jäähdytystehontarpeen mukaan. Jos verkostossa ei ole tasaussäiliötä, on pumpun oltava vakiokierroksinen, koska höyrystimessä on pidettävä mitoitusarvon suuruista vesivirtausta kaikissa kuormitustilanteissa. Tasaussäiliöllä saadaan kompressorin käyntiaika pidemmäksi, jolloin sen ei tarvitse käynnistyä niin tihein väliajoin kuin ilman tasaussäiliötä, mikä lisää kompressorin käyttöikää. (11.)

Kompressorijäähdytyskäytössä lauhdutusliuospumppu [4] käy, kun vähintään yksi kompressori on käynnissä, tai pumppu voi käydä myös jatkuvasti koneen ollessa käynnissä konevalmistajasta riippuen. Lauhdutusliuospiirin kaksitieventtiileitä ohjataan siten, että lauhdutusliuos virtaa lauhduttimen läpi eikä vapaajäähdytysvaihtimen läpi kulje liuosvirtausta. Kuvan 14 liuospumppu [4] on vakiokierroksinen. Tällöin ensin liuospiirin kolmitieventtiiliä ja sitten liuosjäähdyttimen puhaltimia ohjataan sarjassa siten, että lauhduttimelle menevän liuoksen lämpötila pysyy asetusarvossa, joka kompressorikäytöllä on tyypillisesti +36 ^{o}C. Lämpötila-anturi TE3 mittaa lauhduttimelle menevän liuoksen lämpötilaa. (11.)

Lauhdutusliuospumppu voi olla myös taajuusmuuttajapumppu, jolloin liuospumpun pyörimisnopeutta ohjataan sarjassa liuosjäähdyttimen puhaltimien kanssa siten, että kylmäainepiirin korkeapaine pysyy asetusarvossa. Tällöin lauhdutusliuoksen lämpötila voi kylmällä säällä laskea alle asetusarvon, jolloin säädetään liuosvirtausta, jotta lauhdutusteho pysyy tarpeenmukaisena. (11.)

4.1.2 Vapaajäähdytyskäyttöön siirtyminen

Kun lämpötila-anturi TE5 mittaa ulkoilman lämpötilan olevan alle toimintatavan vaihdoksen asetusarvon ja se on pysynyt siinä sille asetetun ajan, koneen säädin pysäyttää kompressorit. Jäähdytysverkoston ja höyrystinpiirin pumput [2 ja 1] sekä lauhdutusliuospiirin pumppu [4] ovat käynnissä ja kierrättävät vettä jäähdytysverkostossa ja höyrystinpiirissä ja jäätymätöntä nestettä lauhdutusliuospiirissä. (11.)

Tässä vaiheessa lauhdutusliuospiirin kaksitieventtiileitä ohjataan vielä siten, että liuos virtaa lauhduttimen läpi mutta ei vapaajäähdytysvaihtimen läpi. Lauhdutusliuoksen lämpötilan täytyy laskea ennen kuin sitä voidaan hyödyntää vapaajäähdytyksessä, jolloin lauhdutusliuospiirin kolmitieventtiiliä ja sen jälkeen liuosjäähdyttimen puhaltimia ohjataan sarjassa niin, että lauhduttimelle menevän nesteen lämpötila (TE3) laskee vapaajäähdytyskäytön asetusarvoon esim. +6 ^{o}C:seen. Kun lauhduttimelle menevän nesteen lämpötila (TE3) alittaa höyrystimelle menevän veden lämpötilan (TE1), kaksitieventtiileitä ohjataan siten, että vapaajäähdytysvaihtimen kaksitieventtiili avautuu ja lauhduttimen kaksitieventtiili sulkeutuu niin, että liuosvirtaus kulkee ainoastaan vapaajäähdytysvaihtimen läpi. (11.)

Vapaajäähdytyskäytöllä liuospumppu [4] kierrättää liuosta liuospiirissä. Liuospiirin kaksitieventtiileitä ohjataan siten, että liuos virtaa vapaajäähdytysvaihtimen läpi, jossa se jäähdyttää suoraan sitä lämpimämpää jäähdytysverkostovettä. Lämmennyt lauhdutusliuos virtaa ulkona sijaitsevan liuosjäähdyttimen läpi. Liuosjäähdyttimen puhaltimet kierrättävät viileää ulkoilmaa jäähdyttimen läpi, jolloin lauhdutusliuos jäähtyy. Koneen säädin ohjaa sarjassa ensin lauhdutusliuospiirin kolmitieventtiiliä ja sitten liuosjäähdyttimen puhaltimia siten, että vapaajäähdytysvaihtimelle menevän liuoksen lämpötila (TE3) pysyy vapaajäähdytyksen asetusarvossa esim. +6 ^{o}C:ssa. Lämpötila-anturi TE2 puolestaan mittaa vapaajäähdytysvaihtimelta tulevan nesteen lämpötilaa ja toimii siten jäätymissuojana. Mikäli sen mittausarvo alittaa asetusarvon, koneen säädin pysäyttää liuospumpun ja antaa hälytyksen. (11.)

4.1.3 Kompressorijäähdytyskäyttöön siirtyminen

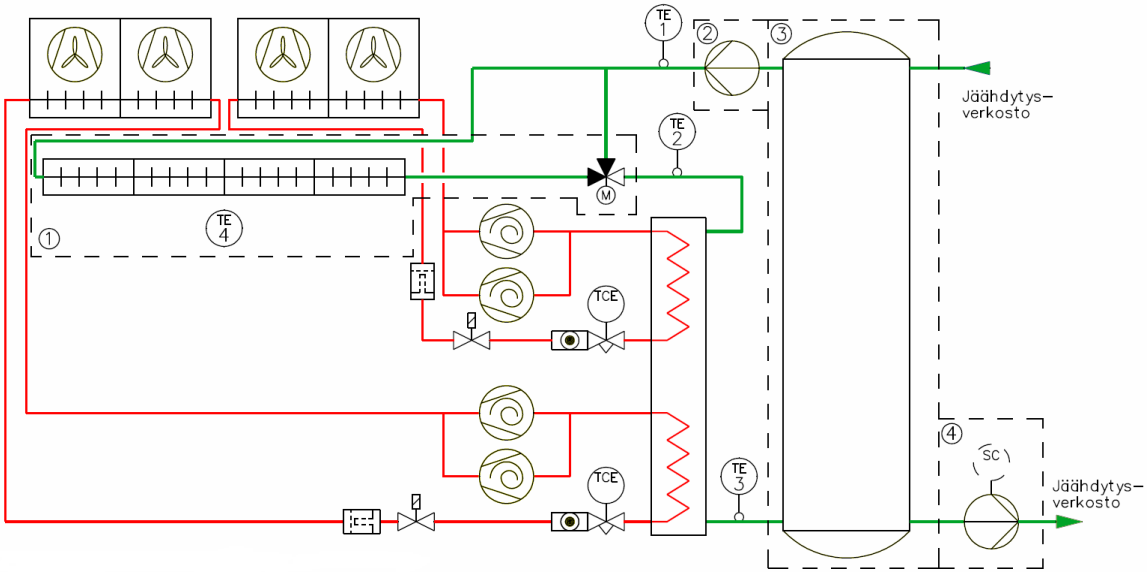
Kun lämpötila-anturi TE5 mittaa ulkoilman lämpötilan olevan yli toimintatavan vaihdoksen asetusarvon ja se on pysynyt siinä sille asetetun ajan, koneen säädin ohjaa lauhdutusliuospiirin kaksitieventtiileitä siten, liuos virtaa lauhduttimen läpi mutta ei vapaajäähdytysvaihtimen läpi. (11.)

Jäähdytysverkoston, höyrystinpiirin ja liuospiirin pumput [2, 1 ja 4] ovat käynnissä. Lauhdutusliuoksen lämpötila täytyy nostaa kompressorijäähdytyskäytön asetusarvoon, ennen kuin sitä voidaan hyödyntää kompressorijäähdytyskäytössä. Ensin lauhdutusliuoksen kolmitieventtiiliä ja sitten liuosjäähdyttimen puhaltimia ohjataan sarjassa niin, että lauhduttimelle menevän nesteen lämpötila (TE3) nousee asetusarvoon esim. +36 ^{o}C ja pysyy siinä asetetun ajan. Kun lämpötila on asetusarvossaan, kompressoreja ohjataan päälle sen mukaan, mitä lämpötila-anturi TE1 mittaa jäähdytysverkostoveden lämpötilan olevan. (11.)

4.2 Ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko

Ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko (kuva 15) on yhteen runkoon rakennettu ilmalauhdutteinen jäähdytyskone. Ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko sijoitetaan nimensä mukaisesti ulos rakennuksen katolle, jolloin tilaa säästyy rakennuksen sisällä muuhun käyttöön. Ulkoasenteisessa liuoskiertoisessa jäähdytyskoneikossa kylmäliuoksena käytetään tyypillisesti väkevyydeltään 35 %:n ve-

si/etyleeniglykoliliuosta. Jäähdytyskoneeseen on saatavissa myös vapaajäähdytysvarustelu. Vapaajäähdytyspatteri ja lauhdutin ovat ulkona peräkkäin ja sama ilmavirta virtaa niiden läpi. Vapaajäähdytysvarustelua on tarpeellista harkita silloin, kun jäähdytystarvetta on muulloinkin kuin kesällä. Vapaajäähdytyksen käyttöaikaa voidaan pidentää mitoittamalla jäähdytysverkostoveden tai -liuoksen lämpötila mahdollisimman korkealle. Vapaajäähdytys toimii sarjassa kompressorijäähdytyksen kanssa, jolloin jäähdytysprosessi ei keskeydy vapaajäähdytyksen ja kompressorijäähdytyksen siirtymäaikana. Ulkoasenteisen liuoksenjäähdytyskoneen valmistajia ovat mm. Hidros ja Trane. Lisäksi Koja tuo maahan Rhoss S.p.a:n ja Schneiderin jäähdytyskoneita. (11.)



Kuva 15. Ulkoasenteinen liuoksenjäähdytyskone (11).

4.2.1 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta kesällä

Seuraava toimintaselostus liittyy kuvaan 15.

Jäähdytyskoneen ollessa käynnissä liuospumppu [2] käy jatkuvasti kierrättäen kylmäliuosta liuospiirissä. Kolmitieventtiiliä ohjataan siten, että kylmäliuos kiertää ainoastaan höyrystimen läpi. Tällöin kompressorit ovat päällä kierrättäen kylmäainetta kylmäainepiirissä. Kompressorien käyntiä ohjataan lämpötila-anturin TE2 mittausarvon ja lämpötilan asetusarvon mukaan. Lämpötila-anturi TE3 puolestaan toimii jäätymissuojana. (11.)

4.2.2 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta välikausina

Kun lämpötila-anturi TE4 mittaa ulkolämpötilan olevan riittävän paljon alempi kuin jäähdytyskoneelle tulevan kylmäliuoksen lämpötila (TE1), voidaan vapaajäähdytystä hyödyntää osittain kylmäliuoksen viilennykseen. Kolmitieventtiiliä ohjataan siten, että jäähdytysliuos virtaa ensin vapaajäähdytyspatterin [1] läpi, minkä jälkeen liuosta jäähdytetään vielä lisää höyrystimessä. Kompressorien käyntiä ohjataan lämpötila-anturin TE2 mittausarvon ja lämpötilan asetusarvon mukaan. (11.)

4.2.3 Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon toiminta talvella

Talvella ulkoilman ollessa riittävän kylmää, pystytään hyödyntämään pelkkää vapaajäähdytystä kylmäliuoksen viilennykseen. Kolmitieventtiiliä ohjataan siten, että kylmäliuos kiertää vapaajäähdytyspatterin [1] läpi ja siitä höyrystimen kautta tasaussäiliöön [3] ja jäähdytysverkostoon, mutta pelkällä vapaajäähdytyskäytöllä kompressorit eivät ole käynnissä. Kompressoreilla on kuitenkin mahdollisuus käynnistyä lämpötila-anturin TE2 mittausarvon perusteella. Vapaajäähdytyksen tehoa säädetään säätämällä puhaltimien pyörimisnopeutta lämpötila-anturin TE2 mittausarvon perusteella. Jos liuoksen lämpötila (TE2) laskee alle asetusarvon, vaikka puhaltimet olisivat kokonaan pysähdyksissä, kolmitieventtiiliä ohjataan siten, että osa kylmäliuoksesta virtaa vapaajäähdytyspatterin ohi. (11.)

4.3 Jäähdytyskoneen valinta

Jäähdytyskonetta valittaessa on valinta yleensä tehtävä ulko- ja sisäasenteisen koneen välillä. Molemmissa on hyvät ja huonot puolensa. Valinnassa kannattaa ottaa monia asioita huomioon ja valita kuhunkin kohteeseen sopivin vaihtoehto.

Sisäasenteisen kylmävesiaseman hyvänä puolena on se, että jäähdytyskone on sisällä tasaisessa lämpötilassa, jolloin sen toimintavarmuus voi olla ulkoasenteista liuoksenjäähdytyskonetta parempi. Sisäasenteisissa koneissa on pienempi kylmäainetäytös kuin ulkokoneissa liuoslauhduttimen ansiosta, jolloin kylmäainevuodon riski pienenee eikä konetta tarvitse vuototarkastaa niin usein. Sisäasenteisessa kylmävesiasemassa ulkona sijaitseva liuosjäähdytin voidaan mitoittaa halutulle äänitasolle. Siinä ei myös-

kään tarvita ylimääräistä lämmönsiirrintä, jos jäähdytysverkostossa halutaan käyttää vettä liuoksen sijaan. (11.)

Sisäasenteisten koneiden heikkouksia taas on niiden kalliimpi hankintahinta verrattuna ulkoasenteisiin koneisiin. Sisäasenteiset koneet vievät myös enemmän konehuonetilaa kuin ulkoasenteiset koneet. Sisäasenteisessa koneessa, jossa on vain yksi liuosjäähdytin, ei pystytä hyödyntämään vapaajäähdytystä yhtä tehokkaasti, koska niitä ei pystytä käyttämään samanaikaisesti ja siirtymävaiheessa tulee hetkellinen käyttökatko. Liuosjäähdytteisten koneiden liuospiirin pumppu myös lisää pumppauskustannuksia. Lisäksi konevalmistajia, jotka tekevät sisäasenteisia jäähdytyskoneita vapaajäähdytysvarustelulla on suhteellisen vähän. (11.)

Ulkoasenteinen liuoksenjäähdytyskoneen hyviä puolia puolestaan on edullisempi hankintahinta verrattuna sisäasenteiseen koneeseen. Ne vievät vähän tilaa sisätiloista sijaitessaan kokonaan ulkona. Lisäksi ulkokoneissa kompressorijäähdytys ja vapaajäähdytys toimivat sarjassa, jolloin niitä pystytään käyttämään myös samanaikaisesti eikä jäähdytysprosessi koskaan keskeydy. (11)

Ulkoasenteisen koneen heikkouksia puolestaan on se, että kone sijaitsee ulkona vaihtelevissa sääolosuhteissa, jolloin sen toimintavarmuus voi olla huonompi verrattuna sisällä olevaan koneeseen. Ulkoasenteinen jäähdytyskone tarvitsee ylimääräisen lämmönsiirtimen, jos halutaan käyttää vettä jäähdytysverkostossa liuoksen sijaan. Lämmönsiirtimellä on aina jäätymisriski, ja siitä aiheutuu ylimääräinen lämpötilaporras. Ulkoasenteisella liuoksenjäähdytyskoneella on korkeampi äänitaso ja suurempi kylmäainetäytös, jolloin sillä on suurempi vuotoriski ja vuototarkastustiheys sekä huonompi TEWI-arvo, joka ilmoittaa kylmälaitoksen elinaikanaan tuottaman kasvihuonehaitallisuuden kg:na CO_2:ta. (11)

5 Kylmäaineet

Kylmäaineet voidaan jakaa CFC-, HCFC- ja HFC-aineisiin sekä halogeenittomiin kylmäaineisiin. CFC-aineet (ChloroFluoroCarbons) ovat täysin halogenoituja aineita, jotka sisältävät klooria, fluoria ja hiiltä (3, s. 23). CFC-aineet aiheuttavat huomattavaa otsonikatoa päästessään ympäristöön, eli niillä on suuri ODP-luku eli otsonihaitallisuuskerroin. Lisäksi ne ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja, eli niillä on myös suuri GWP-

luku. Siksi CFC-aineiden valmistus ja maahantuonti sekä ainetta sisältävien laitteiden tuonti markkinoille on ollut kiellettyä Euroopassa vuodesta 1995 lähtien. Lisäksi laitteiden huoltaminen CFC-aineilla on ollut kiellettyä vuoden 2001 alusta lähtien. CFC-aineita ovat esimerkiksi R11, R12, R500 ja R503. (12, s. 1.)

HCFC-aineet (Hydro-ChloroFluoroCarbons) ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, jotka sisältävät klooria, fluoria, hiiltä ja vetyä (3, s. 23). HCFC-aineilla on vähäinen vaikutus otsonikatoon CFC-aineisiin verrattuna, eli niillä on pieni ODP-luku, mutta ne ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja eli niiden GWP-luku on suuri. Koska HCFC-aineilla on kasvihuoneilmiötä voimistava vaikutus, niiden käyttö uusissa laitteissa tai laitoksissa on ollut kiellettyä vuoden 2000 alusta lähtien. Huolto uusilla HCFC-aineilla on ollut kiellettyä vuoden 2010 alusta lähtien ja kierrätetyillä aineilla vuoden 2015 alusta lähtien. HCFC-aineita ovat esimerkiksi R22, R401A, R402A ja R402B. (12, s. 1.)

HFC-aineet (HydroFluoroCarbons) ovat kokonaan kloorittomia hiilivetyjä, jotka sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. HFC-aineet ovat otsonikerrokselle täysin vaarattomia, eli niiden ODP-luku on 0, mutta ne ovat kuitenkin voimakkaita kasvihuonekaasuja. (3, s. 23.) HFC-aineita ovat esimerkiksi R134a, R404A, R407C, R410A ja R507 (12, s. 1).

Vuoden 2015 alusta voimaan tulleen F-kaasuasetuksen tarkoituksena on vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, joita HFC-aineiden käyttö aiheuttaa. HFC-aineet, joiden GWP-arvo on vähintään 2500, kielletään vuoden 2020 alusta alkaen laitoksissa, joiden täytös on vähintään 40 tonnia CO_2 ekv. Talteenotetun yhdisteen käyttökielto huollossa astuu voimaan vuoden 2030 alusta alkaen. Merkittävin poistuva kylmäaine on R404A, jonka GWP-arvo on 3922. Uusia laitoksia koskevat käyttökiellot tulevat voimaan vaiheittain vuoteen 2030 mennessä. (13.)

F-kaasuasetus vaikuttaa vuototarkastusvälin määrittelyyn siten, että vuototarkastusvälin määrittelyssä siirrytään käyttämään laitteen tai laitoksen kylmäainetäytöksen CO_2-ekvivalenttitonneja, kun aiemmin kylmäainetäytöksen massa määritti vuototarkastusvälin. Tarkastusväli riippuu tällöin kylmäaineen GWP-arvosta ja täytösmäärästä. (13.)

Halogeenittomat kylmäaineet (halogen free) ovat luonnonmukaisia kylmäaineita, jotka ovat vaarattomia otsonikerrokselle ja joiden vaikutus kasvihuoneilmiöön on lähes olematonta. Luonnonmukaisia kylmäaineita ovat esimerkiksi propaani, propeeni, butaani, ammoniakki ja hiilidioksidi. (3, s. 23.)

Hiilivedyt isobutaani (R600a), propaani (R290) ja propeeni (R1270) ovat tulenarkoja kylmäaineita. Siksi ne vaativat erikoiskonehuonetilat, jos niitä käytetään suurempina määrinä. Kuitenkaan kotitalouden kylmälaitteiden pieni kylmäainetäytös ei aiheuta kovin suurta vaaraa. Kotitalouksien kylmälaitteissa käytetäänkin nykyisin isobutaania. Propaania ja propeenia puolestaan käytetään lähinnä suuremmissa kylmälaitteissa. (3, s. 26.)

Ammoniakki on myrkyllistä ja ensimmäisen luokan palava neste, joten sitä käytettäessä tarvitaan aina erikoiskonehuonetilat. Tämän vuoksi ammoniakin käyttöä on rajoitettu suorissa ammoniakkijärjestelmissä. Vähäisinä määrinä ammoniakki on kuitenkin turvallinen kylmäaine, ja ammoniakkitäyttö voidaan rajoittaa pelkästään konehuonetilaan välillisellä järjestelmällä, jolloin muualla jäähdytysverkostossa käytetään liuosta. (3, s. 26–27.)

Hiilidioksidia (CO_2) on käytetty kylmäaineena 1800-luvun loppupuolelta 1950-luvulle saakka, kunnes CFC aineet syrjäyttivät sen (12, s. 2). Nykyään hiilidioksidia on alettu ottaa uudelleen käyttöön sen ympäristöhaitattomuuden vuoksi. Hiilidioksidia ei tarvitse ottaa talteen, vaan sen voi päästää ilmakehään. Lisäksi se on myrkytöntä, palamatonta ja hinnaltaan halpaa. (3, s. 27.)

6 Kustannusvertailu

Tässä luvussa on vertailtu ulko- ja sisäasenteisen kylmävesiaseman vapaajäähdytysvarustelulla sekä kaukojäähdytyksen kustannuksia 100 kW:n, 300 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla. Chillerin Option -valintaohjelmalla on valittu sisäasenteiset kylmävesiasemat sekä ulkoasenteiset vedenjäähdytyskoneet vapaajäähdytysvarustelulla kyseisille jäähdytystehoille mitoitettuna. Valintaohjelmasta saadut tekniset valintatiedot ja nestejäähdyttimien tiedot kullekin jäähdytysteholle ovat tämän työn liitteissä 1–6. Koneiden hankintahinnat on saatu Chiller Oy:ltä.

Taulukoissa 1–3, jotka ovat liitteissä 7–9, on esitetty laskennan lähtötiedot 100 kW:n, 300 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla. Tarkastelujako on 15 vuotta ja laskentakorko 5 %. Sähköenergian hinnaksi on laskennassa arvioitu 125 €/ MWh ja kaukojäähdytyksen energian hinnaksi kesällä 26,0 €/MWh ajanjaksolle 1.5.–31.10. ja talvella 8,6 €/ MWh ajanjaksolle 1.11.–30.4. Hinnat ovat arvonlisäverottomia. Hinnat ovat erään kohteen

energiahintoja, ja ne neuvotellaan aina sopimuksen tekemisen yhteydessä tapauskohtaisesti, joten tarkkoja hintoja ei tiedetä. Laskennan tarkoituksena onkin saada aikaan suuntaa-antavia kustannustietoja, jotta jäähdytysjärjestelmien kustannusvertailu olisi helpompaa.

Koneen käyntitunnit on laskettu kesä- ja talviajalle siten, että kesäaika on toukokuun alusta lokakuun loppuun ja talviaika puolestaan marraskuun alusta huhtikuun loppuun. Esimerkkitapauksessa koneen käyntitunnit on määritelty siten, että lokakuun alusta helmikuun loppuun kone ei käy ollenkaan ja muina kuukausina kone käy vaihtelevasti, maaliskuussa 10 %, huhtikuussa 30 %, toukokuusta heinäkuuhun 60 %, elokuussa 40 % ja syyskuussa 10 % kuukauden tunneista. Koneen käyntitunneiksi on saatu kesäajalle 1 694 tuntia ja talviajalle 290 tuntia. Käyntitunnit on kerrottu koneen jäähdytystehontarpeella ja näin on saatu laskettua vuosittainen jäähdytysenergiankulutus eroteltuna talvi- ja kesäajalle. Taulukosta 1 (liite 7) nähdään, että 100 kW:n jäähdytysteholla vuosittainen jäähdytysenergian kulutus on yhteensä 198 MWh, kesällä 169 MWh ja talvella 29,0 MWh.

Taulukosta 1 nähdään kaukojäähdytyslaitteiston hankintakustannukset, jotka ovat yhteensä 10 000 euroa (15). Kaukojäähdytyslaitteiston tarvitseman tilan hinta on laskettu siten, että tilantarve on arvioitu kaukolämmön K1/2013-ohjeistusta soveltaen ja on noin 7 m^2 100 kW:n jäähdytysteholla ja tilan hinnaksi on arvioitu 2 000 euroa/m^2, jolloin tilan hinnaksi on saatu 14 000 euroa. Kaukojäähdytyksen sopimusmaksu ja vuosimaksu ovat myös sopimuskohtaisia, joten tarkkoja hintoja ei tiedetä. Sopimusmaksu vastaa laadukkaan vedenjäähdytyskoneen hankintahintaa ja on noin 68 000 euroa 100 kW:n jäähdytysteholla ja vuosimaksu on noin 35 euroa/kW, jolloin 100 kW:n teholla vuosimaksuksi saadaan 3 500 euroa (14). Kaukojäähdytyksen vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi voidaan arvioida 1 % hankintahinnasta.

Taulukosta 1 nähdään, että 100 kW:n tehoisen sisäasenteisen kylmävesiaseman hinta asennuksineen on 48 000 euroa (15). Taulukossa oleva väliputkiston hankintakustannus tarkoittaa itse koneen ja nestejäähdyttimen välisen putkituksen hankintahintaa, jonka on arvioitu olevan 1 000 euroa/metri ja putkimatkan yhteensä 20 metriä, jolloin putkiston kustannukseksi saadaan 20 000 euroa. Sisäasenteisen kylmävesiaseman tarvitseman tilan hinnaksi on arvioitu 32 000 euroa, joka on laskettu kertomalla jäähdytyskoneen tilantarve 16 m^2 neliöhinnalla 2 000 euroa/m^2. Jäähdytyskoneen tilantarve on saatu laskemalla koneen pinta-ala ja lisäämällä ympärille metri huoltotilaa joka

suuntaan. Koneen mittatiedot löytyvät liitteestä 1. Sisäasenteisen kylmävesiaseman sähkönkulutus on laskettu kertomalla koneen käyntitunnit 1 985 tuntia kompressorin ottoteholla 31 kW (liite 1), jolloin sähkönkulutukseksi on saatu 1985 h $\times$ 31 kW = 61 535 kWh = 61,5 MWh.

Pumppujen sähkönkulutus on laskettu laskemalla ensin pumppujen sähkötehot. Laskelmissa ei ole huomioitu jäähdytysverkoston pumppauskustannuksia, sillä ne ovat kaikilla jäähdytysjärjestelmillä samat ja kustannuslaskelmissa tarkastellaan vain jäähdytyskoneen kustannuksia. Kylmävesiaseman pumppujen sähkötehot on saatu laskemalla kaavalla

$$P = \frac{q_v \times \Delta P}{\eta} \qquad \text{(kaava 1)}$$

jossa
P on sähköteho, W
q_v on virtaama, l/s
ΔP on pumpun nostokorkeus, kPa
η on pumpun hyötysuhde.

Pumpun nostokorkeus on saatu laskemalla yhteen putkiston painehäviö, nestejäähdyttimen painehäviö ja liuospuolen painehäviö. Nestejäähdyttimen ja liuospuolen painehäviöt saadaan liitteestä 1. Putkiston painehäviöksi saadaan 70 Pa/m $\times$ 40 m = 2 800 Pa = 2,8 kPa, kun putkiston painehäviö on 70 Pa/m ja putkiston pituudeksi arvioidaan 40 metriä. Putkiston painehäviöllä ei ole kovinkaan suurta merkitystä kokonaisuuden kannalta, sillä nestejäähdyttimen painehäviö on 49 kPa ja liuospuolenpainehäviö 28 kPa, jolloin liuospumpun nostokorkeudeksi saadaan 49 kPa + 28 kPa + 2,8 kPa = 79,8 kPa. Liuosvirtaama saadaan liitteestä 1 ja hyötysuhde on 0,6. Liuospumpun sähköteho on laskettu kyseisillä arvoilla kaavalla 1 ja sähkötehoksi saadaan 0,71 kW. Vesipuolen pumpun nostokorkeus on laskettu samaan tapaan ja sen tehoksi saadaan 0,45 kW. Pumppujen sähkötehoksi saadaan 0,71 kW + 0,45 kW $\approx$ 1,2 kW. Pumppujen sähkönkulutus on laskettu kertomalla laskettu sähköteho 1,2 kW koneen vuosittaisilla käyntitunneilla 1985 tuntia, jolloin vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi saadaan 1,2 kW x 1985h = 2382 kWh $\approx$ 2 MWh.

Kylmävesiaseman nestejäähdyttimen sähkönkulutus saadaan kertomalla puhaltimien sähköteho 4,15 kW koneen vuosittaisilla käyntitunneilla 1 985 tuntia, jolloin nestejäähdyttimen vuosittaiseksi sähkönkulutukseksi saadaan 4,15 kW × 1985 h = 8238 kWh ≈ 8,2 MWh. Puhaltimien sähköteho saadaan liitteestä 1 nestejäähdyttimen tiedoista. Sisäasenteisen kylmävesiaseman vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi on arvioitu 6 % hankintahinnasta ja ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon huoltokustannuksiksi 13 % hankintahinnasta. Ero huoltokustannusten välillä johtuu ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon suuremmasta huollontarpeesta, koska se on ulkona vaihtelevien sääolosuhteiden armoilla, mikä kuluttaa enemmän koneikon osia.

Taulukosta 1 nähdään, että 100 kW:n tehoisen ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon hinta asennuksineen on 35 000 euroa (15). Väliputkiston hankintahinta tarkoittaa itse koneen ja lämmönsiirtimen välistä putkituksen hankintahintaa, jonka hinnaksi on arvioitu 1 000 euroa/metri ja putkimatkaksi 20 metriä, jolloin putkiston hinnaksi saadaan 20 000 euroa. Ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon sähkönkulutus on laskettu kertomalla kompressorien ja puhaltimien ottoteho 32 kW, jotka saadaan liitteestä 4, koneen vuosittaisilla käyttötunneilla 1 985 tuntia, jolloin koneen sähkönkulutukseksi saadaan 32 kW × 1985 h = 63 520 kWh ≈ 63,5 MWh. Liuosjäähdytyskoneen pumpun sähköteho on laskettu kaavalla 1 ja sähkönkulutus on saatu kertomalla sähköteho koneen käyntitunneilla.

Taulukosta 2 (liite 8) nähdään laskennan lähtötiedot 300 kW:n jäähdytysteholla ja taulukosta 3 (liite 9) laskennan lähtötiedot 450 kW:n jäähdytysteholla. Lähtötiedot on selvitetty samaan tapaan kuin taulukon 1 lähtötiedot.

Aikaisempien lähtötietojen pohjalta on Excelillä laskettu vuosikustannukset (kaava 2) ensimmäisen vuoden osalta ja k nykyarvot (kaava 3) 15 vuoden ajanjaksolle sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja ulkoasenteiselle liuoskiertoiselle jäähdytyskoneikolle sekä kaukojäähdytykselle 100 kW:n, 300 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla.

Kustannukset yhtä vuotta kohden ovat laskettu vuosikustannusmenetelmän kaavalla:

$$\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} \times H + q \qquad \text{(Kaava 2)}$$

jossa

i on laskentakorko

n on käyttöikä

H on hankintahinta

q on vuotuiset käyttökustannukset.

Eri suuruisten ja eri vuosina tapahtuvien maksujen nykyarvo k lasketaan kaavalla:

$$k = \frac{1}{(1+i)^n} h \qquad \text{(Kaava 3)}$$

jossa h on tulevan maksun suuruus.

Taulukossa 4 on esitetty laskennan tulokset. Vihreällä pohjalla olevat kustannukset ovat halvimmat ja keltaisella olevat kalleimmat.

Taulukko 4. Sisä- ja ulkoasenteisten kylmävesiasemien ja kaukojäähdytyksen kustannusvertailutaulukko.

Teho	100 kW			300 kW			450 kW		
	Sis.	Ulk.	KJ	Sis.	Ulk.	KJ	Sis.	Ulk.	KJ
Perustamiskustannukset									
Laitteisto	68000	55000	10000	99000	83000	20000	120000	103000	25000
Tila	32000		14000	35000		16000	35000		18000
Sopimusmaksu			68000			99000			120000
Käyttökustannukset									
Vuosittainen sähkön kustannus	9000	8100	0	24000	23800	0	34700	33000	0
Vuosittainen ylläpitokustannus	2600	4500	100	4400	8100	200	5500	10800	250
Kaukojäähdytyksen vuosimaksu			3500			10500			16000
Vuosittainen jäähdytysenergian kustannus			4600			14000			21000
Vuosikustannus, €	22000	18000	18000	40000	40000	38000	56000	54000	53000
Nykyarvo yhteensä, €	220000	185000	178000	407000	413000	389000	572000	558000	543000

Taulukossa 4 on eritelty kustannukset perustamiskustannuksiin ja käyttökustannuksiin. Kaukojäähdytyksen vuosittainen sähkönkustannus on 0, koska jäähdytysverkoston pumppauskustannuksia ei oteta huomioon kustannuslaskelmissa. Taulukosta 4 nähdään, että kaikilla jäähdytystehoilla kaukojäähdytys tulee hieman muita jäähdytysmuotoja halvemmaksi. 100 kW:n ja 450 kW:n jäähdytysteholla sisäasenteinen kylmävesiasema on kallein ja 300 kW:n jäähdytysteholla puolestaan ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko on kallein vaihtoehto. Ulkoasenteisella liuoskiertoisella jäähdytyskoneikolla on halvimmat perustamiskustannukset, kun taas sisäasenteisella kylmävesiasemalla ja kaukojäähdytyksellä on kalleimmat perustamiskustannukset.

Ulkoasenteisella liuoskiertoisella jäähdytyskoneikolla on puolestaan suurimmat käyttökustannukset ja kaukojäähdytyksellä pienimmät käyttökustannukset.

100 kW:n jäähdytysteholla halvimmaksi vaihtoehdoksi osoittautuneen kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 18 000 euroa, ja nykyarvo 15 vuoden ajanjaksolle on noin 178 000 euroa, kun taas kalleimmaksi vaihtoehdoksi osoittautuneen sisäasenteisen kylmävesiaseman vuosikustannus on noin 22 000 euroa ja nykyarvo 220 000 euroa. 300 kW:n jäähdytysteholla puolestaan kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 38 000 euroa ja nykyarvo noin 389 000 euroa, kun taas ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon vuosikustannus on noin 40 000 euroa ja nykyarvo 413 000 euroa. 450 kW:n kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 53 000 euroa ja nykyarvo noin 543 000 euroa, ja sisäasenteisen kylmävesiaseman vuosikustannus on puolestaan noin 56 000 euroa ja nykyarvo noin 572 000 euroa. Erot kaikkien jäähdytysmuotojen välillä ovat tosin niin pieniä, että tulokset voivat vaihdella suuntaan tai toiseen riippuen eri tekijöistä.

7 Yhteenveto

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutkia ulko- ja sisäasenteisia kylmävesiasemia vapaajäähdytteisinä tai ilman vapaajäähdytystoimintoa, perehtyä niiden toimintaan ja käydä läpi kylmäntuoton prosessia, selvittää ulko- ja sisäasenteisten kylmävesiasemien hyviä ja huonoja puolia sekä selvittää keskivertohintoja, mitä kylmävesiasemat tulevat maksamaan verrattuna kaukojäähdytykseen.

Työn teoriaosiossa havainnollistettiin kylmäntuoton prosessia log p, h -tilapiirroksessa. Työssä käytiin myös yleisesti läpi kylmäkoneikon osia ja niiden osallistumista kylmäntuoton prosessiin sekä tutkittiin ulko- ja sisäasenteisia kylmävesiasemia ja vapaajäähdytystä sekä vertailtiin niitä keskenään. Työssä tehtiin kustannusvertailua, jossa vertailtiin sisä- ja ulkoasenteisten kylmävesiasemien ja kaukojäähdytyksen kustannuksia 100 kW:n, 300 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla. Keskivertohintoja vertailtiin vuosikustannusmenetelmää apuna käyttäen sekä laskemalla nykyarvo 15 vuoden ajanjaksolle.

Tuloksiksi saatiin, että kaikilla jäähdytystehoilla kaukojäähdytys tulee hieman muita jäähdytysmuotoja halvemmaksi. 100 kW:n ja 450 kW:n jäähdytystehoilla sisäasentei-

nen kylmävesiasema on kallein ja 300 kW:n jäähdytysteholla puolestaan ulkoasenteinen liuoskiertoinen jäähdytyskoneikko on kallein vaihtoehto. 100 kW:n jäähdytysteholla kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 18 000 euroa ja nykyarvo 15 vuoden ajanjaksolle on noin 178 000 euroa, kun taas sisäasenteisen kylmävesiaseman vuosikustannus on noin 22 000 euroa ja nykyarvo 220 000 euroa.

300 kW:n jäähdytysteholla puolestaan kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 38 000 euroa ja nykyarvo noin 389 000 euroa, kun taas ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon vuosikustannus on noin 40 000 euroa ja nykyarvo 413 000 euroa. 450 kW:n kaukojäähdytyksen vuosikustannus on noin 53 000 euroa ja nykyarvo noin 543 000 euroa, ja sisäasenteisen kylmävesiaseman vuosikustannus on puolestaan noin 56 000 euroa ja nykyarvo noin 572 000 euroa.

Tulosten perusteella ei voida nimetä yhtä tiettyä jäähdytysmuotoa, joka sopisi kaikkiin kohteisiin, sillä laskennan tuloksiin vaikuttaa moni tekijä, kuten sopimuskohtaiset sähkön ja kaukojäähdytyksen energiahinnat ja liittymäkohtaiset hinnat, tarvittavan jäähdytyksen ajankohta sekä laitteistojen hankintakustannukset ja huoltokustannusten määrä. Jokaiseen kohteeseen on valittava sopivin jäähdytysmuoto erikseen.

Lähteet

1 Äyräväinen. 2016. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Äyräväinen Oy. <http://www.ayravainen.fi/ayravainen/>. Luettu 29.11.2016.

2 Kaappola Esko, Hirvelä Aulis, Jokela Matti & Kianta Jani. 2011. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

3 Hakala, Petri & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.

4 Vapaajäähdytys. 2011. Verkkodokumentti. Onninen Oy. <http://www.vapaajäähdytys.fi/ladattavat/onninen_suunnittelijan_net.pdf>. Luettu 15.12.2016.

5 Aittomäki, Antero. 2012. Kylmätekniikka. Porvoo: Suomen Kylmäyhdistys ry.

6 3.2 Compressor types. 2015. Verkkodokumentti. Swep Energy Oy. <http://www.swep.net/refrigerant-handbook/3.-compressors/3.2-compressor-types/>. Luettu 15.12.2016.

7 Nirvana 37–160 kW. 2017. Verkkodokumentti. Teca Oy. <http://www.teca.fi/tuotteet/paineilma-pneumatiikka/paineilmakompressorit/ruuvikompressorit/oljyttomat-ruuvikompressorit/1423/nirvana-37-160-kw>. Luettu 9.1.2017.

8 Image of the solar junior. 2017. Verkkodokumentti. Mechinox Heat Exchangers. <http://www.heat-exchangers.co.za/fincoil-solar-junior/>. Luettu 12.1.2017.

9 B8-20 Swep levylämm.vaihdin kierreliitin. 2017. Verkkodokumentti. Ahlsell Oy.<https://www.ahlsell.fi/34/kylma/04-lammonvaihtimet/levylammonvaihtimet/swep/765030301/>.

10 Chillquick Eco -nestelauhdutteiset kylmävesiasemat vapaajäähdytyksellä 10…460 kW. 2017. Verkkodokumentti. Chiller Oy. <http://www.chiller.fi/fi2.php?k=5000>. Luettu 12.1.2017.

11 Komulainen, Martti. 2016. Toimitusjohtaja. Innostyle Oy, Lahti. Luentomateriaali.

12 Yleistä kylmäaineista ja niiden rajoituksista. 2008. Verkkodokumentti. Suomen kylmäliikkeiden liitto ry. <http://www.skll.fi/www/att.php?id=45>. Luettu 15.2.2017.

13 16.5.2014 / F-kaasumääräykset muuttuvat. 2014. Verkkodokumentti. Insinööritoimisto Äyräväinen Oy. <http://www.ayravainen.fi/2014/05/f-kaasumaaraykset-muuttuvat/>. Luettu 15.2.2017.

14 Salmi, Jussi. 2017. Product manager. Helen Oy. Helsinki. Puhelinkeskustelu 24.3.2017.

15 Saarnio, Pekka. 2017. Toimitusjohtaja. Hanar Ky. Espoo. Sähköpostikeskustelu 29.3.2017.

Liite 1. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 100 kW:n jäähdytysteholla

Chiller AIR-CONDITIONING

9/2/2017

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Maiju Karjalainen
Valinta no: 19894

Kylmävesiasema vapaajäähdytyksellä CGIW-ECO

Valinta: CGIW-32-4D-V8R-P1-P2-P3-WC-ECO-WO-R410A-DR-SS-VI-CE1-B-CT0-PH-PL-KHI-SN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, likaantumiskerroin 0,044 m²K/kW)		
Jäähdytysteho	112,6	kW
Virtaama	5,38	l/s
Painehäviö	42,0	kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	12,0 / 7,0	°C
Lauhdeteho	141,7	kW
Virtaama	5,32	l/s
Painehäviö	28,0	kPa
Nesteen (etyleeniglykoli 35 %) lämpötila (tuleva/lähtevä)	36,0 / 43,0	°C
Tehonsäätö	0/25/50/75/100	%
Vapaajäähdytys		
Teho	71	kW
Ulkoilman mitoituslämpötila	2,0	°C
Lähtevän nesteen lämpötila (jäähdytyspiiri)	9	°C
Sähkötiedot		
Liitäntä	400-50-3	V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	31,0	kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	62,3	A
Koneikon maks. liitäntäteho (ei sisällä nestejäähdytintä)[4]	52,7	kW
Koneikon etusulake (ei sisällä nestejäähdytintä)	100	A
Mittatiedot		
Rahtipaino / toimintapaino	1915 / 2735	kg
Kylmäainemäärä	13	kg
Pituus x leveys x korkeus	900 x 3450 x 1950	mm
Ääni		
Kokonaistehotaso[1]	65	dB(A)

Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	24	49	68	69	70	67	58	dB
Painetaso[2]	16	41	60	61	62	59	50	dB

Nestejäähdytin (Malli CD-Vari-M-H-521-F967-2.5-DN80-30)		
Teho	140,4	kW
Ilman lämpötila (tuleva/lähtevä)	30 / 35	°C
Nesteen lämpötila (tuleva/lähtevä)	43,0 / 36,0	°C
Nesteen virtaama	5,32	l/s
Painehäviö	49,0	kPa
Äänitaso 10m etäisyydellä	49	dB(A)

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1] Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu
[2] Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä
[4] Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

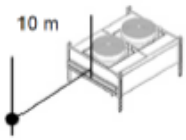
Chiller
AIR-CONDITIONING

9/2/2017
Nestejäähdytin CD-Vari-M-H-521-F967-2.5-DN80-30

Suoritusarvot	Kesä	Talvi	
Teho	141,7	71,4	kW
Tehomarginaali	-0,9	%	
Ilmamäärä	21,9		m^3/s
Patterille tuleva ilma	30,0	2,0	°C
Patterilta lähtevän ilman lämpötila	35,5	4,5	°C
Nesteen lämpötila tuleva	43,0	9,0	°C
Nesteen lämpötila lähtevä	36,0	5,4	°C
Nesteen virtaama	5,3	5,3	l/s
Nesteen painehäviö	49,0	62,6	kPa
Neste	etyleeniglykoli 35 %		

Lämmönsiirto-osa			Puhallintiedot	per puhallin	yht	
Lämmönsiirtopinta-ala	416	m^2	Puhallinmäärä	1 x 5		kpl
Lamellijako	2,5	mm	Kierrosluku	700		rpm
Sisätilavuus	90	l	Sähköteho (nim/max)	0,83/0,83	4,15/4,15	kW
Paino tyhjänä	628	kg	Vaihevirta (max)	1,5	7,3	A
Kokoojan liitäntä	DN80		Jännite	3Ph/400V/50Hz		

Ääni								
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	73.0	75.0	76.0	74.0	73.0	69.0	67.0	dB
Painetaso[1]	0.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	dB



Äänen painetaso[1] 49 dB(A)

NESTEJÄÄHDYTIN

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1]Äänitaso 10m etäisyydellä
[2]id: 589c6eff28f51fc449c1e8d9

Liite 2. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 300 kW:n jäähdytysteholla

Chiller AIR-CONDITIONING

9/2/2017

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Maiju Karjalainen
Valinta no: 19891

Kylmävesiasema vapaajäähdytyksellä CGIW-ECO

Valinta: CGIW-90-4D-V8R-P1-P2-P3-WC-ECO-WO-R410A-DR-SS-VI-CE1-B-CT0-PH-PL-KHI-SN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, likaantumiskerroin 0,044 m²K/kW)		
Jäähdytysteho	310,2	kW
Virtaama	14,81	l/s
Painehäviö	38,5	kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	12,0 / 7,0	°C
Lauhdeteho	390,0	kW
Virtaama	14,41	l/s
Painehäviö	38,4	kPa
Nesteen (etyleeniglykoli 35 %) lämpötila (tuleva/lähtevä)	35,9 / 43,0	°C
Tehonsäätö	0/22/50/72/100	%
Vapaajäähdytys		
Teho	200	kW
Ulkoilman mitoituslämpötila	2,0	°C
Lähtevän nesteen lämpötila (jäähdytyspiiri)	9	°C
Sähkötiedot		
Liitäntä	400-50-3	V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	84,8	kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	149,9	A
Koneikon maks. liitäntäteho (ei sisällä nestejäähdytintä)[4]	142,0	kW
Koneikon etusulake (ei sisällä nestejäähdytintä)	250	A
Mittatiedot		
Rahtipaino / toimintapaino	3043 / 3878	kg
Kylmäainemäärä	34	kg
Pituus x leveys x korkeus	900 x 3950 x 1950	mm
Ääni		
Kokonaistehotaso[1]	82	dB(A)

Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	35	65	74	80	84	77	66	dB
Painetaso[2]	27	57	66	72	76	69	58	dB

Nestejäähdytin (Malli CD-Vari-B-H-1052-F967-2.5-DN100-49)		
Teho	377,4	kW
Ilman lämpötila (tuleva/lähtevä)	30 / 40	°C
Nesteen lämpötila (tuleva/lähtevä)	43,0 / 35,9	°C
Nesteen virtaama	14,41	l/s
Painehäviö	47,7	kPa
Äänitaso 10m etäisyydellä	48	dB(A)

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1] Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu
[2] Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä
[4] Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

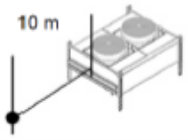
Chiller
AIR-CONDITIONING

9/2/2017
Nestejäähdytin CD-Vari-B-H-1052-F967-2.5-DN100-49

Suoritusarvot	Kesä	Talvi	
Teho	390,0	199,5	kW
Tehomarginaali	-3,2	%	
Ilmamäärä	33,3		m^3/s
Patterille tuleva ilma	30,0	2,0	°C
Patterilta lähtevän ilman lämpötila	39,8	6,7	°C
Nesteen lämpötila tuleva	43,0	9,0	°C
Nesteen lämpötila lähtevä	35,9	5,2	°C
Nesteen virtaama	14,4	13,9	l/s
Nesteen painehäviö	47,7	60,9	kPa
Neste	etyleeniglykoli 35 %		

Lämmönsiirto-osa			Puhallintiedot	per puhallin	yht	
Lämmönsiirtopinta-ala	2041	m^2	Puhallinmäärä	2 x 5		kpl
Lamellijako	2,5	mm	Kierrosluku	609		rpm
Sisätilavuus	429	l	Sähköteho (nim/max)	0,55/0,83	5,47/8,30	kW
Paino tyhjänä	1593	kg	Vaihevirta (max)	1,5	14,5	A
Kokoojan liitäntä	DN100		Jännite	3Ph/400V/50Hz		

Ääni								
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	73.0	75.0	76.0	74.0	73.0	69.0	67.0	dB
Painetaso[1]	0.0	41.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	dB



Äänen painetaso[1] 48 dB(A)

NESTEJÄÄHDYTIN

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1]Äänitaso 10m etäisyydellä
[2]id: 589c6b5828f51fc549c1e833

Liite 3. Tekninen valinta sisäasenteiselle kylmävesiasemalle ja nestejäähdytin 450 kW:n jäähdytysteholla

Chiller
AIR-CONDITIONING

9/2/2017

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Maiju Karjalainen
Valinta no: 19893

Kylmävesiasema vapaajäähdytyksellä CGIW-ECO

Valinta: CGIW-120-4D-V8R-P1-P2-P3-WC-ECO-WO-R410A-DR-SS-VI-CE1-B-CT0-PH-PL-KHI-SN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, likaantumiskerroin 0,044 m²K/kW)		
Jäähdytysteho	447,0	kW
Virtaama	21,34	l/s
Painehäviö	50,6	kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	12,0 / 7,0	°C
Lauhdeteho	561,0	kW
Virtaama	21,21	l/s
Painehäviö	44,4	kPa
Nesteen (etyleeniglykoli 35 %) lämpötila (tuleva/lähtevä)	36,1 / 43,0	°C
Tehonsäätö	0/25/50/75/100	%
Vapaajäähdytys		
Teho	297	kW
Ulkoilman mitoituslämpötila	2,0	°C
Lähtevän nesteen lämpötila (jäähdytyspiiri)	9	°C
Sähkötiedot		
Liitäntä	400-50-3	V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	121,2	kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	209,6	A
Koneikon maks. liitäntäteho (ei sisällä nestejäähdytintä)[4]	191,6	kW
Koneikon etusulake (ei sisällä nestejäähdytintä)	355	A
Mittatiedot		
Rahtipaino / toimintapaino	3343 / 4193	kg
Kylmäainemäärä	40	kg
Pituus x leveys x korkeus	900 x 3950 x 1950	mm
Ääni		
Kokonaistehotaso[1]	86	dB(A)

Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	35	66	72	86	87	79	66	dB
Painetaso[2]	27	58	64	78	79	71	58	dB

Nestejäähdytin (Malli CD-Vari-B-H-1642-F967-2.5-DN100-72)		
Teho	568,8	kW
Ilman lämpötila (tuleva/lähtevä)	30 / 39	°C
Nesteen lämpötila (tuleva/lähtevä)	43,0 / 36,1	°C
Nesteen virtaama	21,21	l/s
Painehäviö	45,7	kPa
Äänitaso 10m etäisyydellä	49	dB(A)

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1] Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu
[2] Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä
[4] Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

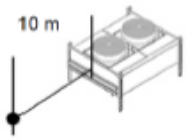
Chiller
AIR-CONDITIONING

9/2/2017
Nestejäähdytin CD-Vari-B-H-1642-F967-2.5-DN100-72

Suoritusarvot	Kesä	Talvi	
Teho	561,0	297,0	kW
Tehomarginaali	1,4	%	
Ilmamäärä	55,7		m^3/s
Patterille tuleva ilma	30,0	2,0	°C
Patterilta lähtevän ilman lämpötila	38,8	6,2	°C
Nesteen lämpötila tuleva	43,0	9,0	°C
Nesteen lämpötila lähtevä	36,1	5,4	°C
Nesteen virtaama	21,2	21,4	l/s
Nesteen painehäviö	45,7	58,3	kPa
Neste	etyleeniglykoli 35 %		

Lämmönsiirto-osa			Puhallintiedot	per puhallin	yht	
Lämmönsiirtopinta-ala	2614	m^2	Puhallinmäärä	2 x 8		kpl
Lamellijako	2,5	mm	Kierrosluku	609		rpm
Sisätilavuus	529	l	Sähköteho (nim/max)	0,55/0,83	8,74/13,28	kW
Paino tyhjänä	2248	kg	Vaihevirta (max)	1,5	23,2	A
Kokoojan liitäntä	DN100		Jännite	3Ph/400V/50Hz		

Ääni								
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	75.0	77.0	78.0	76.0	75.0	71.0	69.0	dB
Painetaso[1]	0.0	43.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	dB



Äänen painetaso[1] 49 dB(A)

NESTEJÄÄHDYTIN

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

[1] Äänitaso 10m etäisyydellä
[2] id: 589c6d8728f51f2847c1e80b

Liite 4. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 100 kW:n jäähdytysteholla

Chiller

Tekniset tiedot
Vedenjäähdytin
Ilmalauhdutteinen

13.2.2017

Valinnan laskija:

Asiakas:
Kohde:
Merkki:

VALINTA: COA-32-II-4D-ECO2-R410A-FS-VN-CE1-KHI-PH-VX-P1

Suoritusarvot			R410a
Jäähdytysteho		116	kW
Virtaama		6,2	l/s
Painehäviö		60	kPa
Nesteen lämpötilat (Tuleva/Lähtevä)		12,0 / 7,0	°C
Neste	Etyleeniglykoli	35	%
Lauhdeteho		144	kW
Ulkolämpötila		30	°C
Tehonsäätö		0/25/50/75/100	%
Vapaajäähdytysteho		99	kW
Vapaajäähdytyksen virtaama		5,0	l/s
Lähtevän nesteen lämpötila		7,0	°C
Ulkolämpötila		0	°C
Painehäviö		86	kPa
Sähkötiedot kompressorille ja puhaltimille mitoitusolosuhteissa			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Sähköteho		32	kW
Käyntivirta		58	A
Sähkön liitäntätiedot[1]			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Maksimi liitäntäteho		56	kW
Maksimi käyntivirta		96	A
Mittatiedot			
Rahtipaino		1155	kg
Toimintapaino		1255	kg
Pituus		3450	mm
Leveys (syvyys)		1500	mm
Korkeus		1810	mm
Äänitiedot			
Äänitaso dB(A) 10 m päästä mitattuna		53	dB(A)

Tekuinen valinta

[1]lauhtumislämpötilassa 65°C

Chiller Oy pidättää oikeuden teknisiin muutoksiin.
www.chiller.fi

Liite 5. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 300 kW:n jäähdytysteholla

Chiller

Tekniset tiedot
Vedenjäähdytin
Ilmalauhdutteinen

13.2.2017

Valinnan laskija:

Asiakas:
Kohde:
Merkki:

VALINTA: COA-90-2V-4D-ECO4-R410A-FS-VN-CE1-KHI-PH-VX-P1

Suoritusarvot			R410a
Jäähdytysteho		307	kW
Virtaama		16,3	l/s
Painehäviö		62	kPa
Nesteen lämpötilat (Tuleva/Lähtevä)		12,0 / 7,0	°C
Neste	Etyleeniglykoli	35	%
Lauhdeteho		391	kW
Ulkolämpötila		30	°C
Tehonsäätö		0/25/50/75/100	%
Vapaajäähdytysteho		197	kW
Vapaajäähdytyksen virtaama		10,0	l/s
Lähtevän nesteen lämpötila		7,0	°C
Ulkolämpötila		0	°C
Painehäviö		71	kPa
Sähkötiedot kompressorille ja puhaltimille mitoitusolosuhteissa			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Sähköteho		94	kW
Käyntivirta		163	A
Sähkön liitäntätiedot[1]			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Maksimi liitäntäteho		142	kW
Maksimi käyntivirta		231	A
Mittatiedot			
Rahtipaino		2678	kg
Toimintapaino		2954	kg
Pituus		3100	mm
Leveys (syvyys)		2330	mm
Korkeus		2365	mm
Äänitiedot			
Äänitaso dB(A) 10 m päästä mitattuna		60	dB(A)

Tekninen

Valinta

[1]lauhtumislämpötilassa 65°C

Chiller Oy pidättää oikeuden teknisiin muutoksiin.
www.chiller.fi

Liite 6. Tekninen valinta ulkoasenteiselle vedenjäähdytyskoneelle 450 kW:n jäähdytysteholla

Chiller

Tekniset tiedot
Vedenjäähdytin
Ilmalauhdutteinen

13.2.2017

Valinnan laskija:

Asiakas:
Kohde:
Merkki:

VALINTA: COA-125-3V-5D-ECO6-R410A-FS-VN-CE1-KHI-PH-VX-P1

Suoritusarvot			R410a
Jäähdytysteho		438	kW
Virtaama		23,3	l/s
Painehäviö		48	kPa
Nesteen lämpötilat (Tuleva/Lähtevä)		12,0 / 7,0	°C
Neste	Etyleeniglykoli	35	%
Lauhdeteho		553	kW
Ulkolämpötila		30	°C
Tehonsäätö		0/20/40/60/80/100	%
Vapaajäähdytysteho		296	kW
Vapaajäähdytyksen virtaama		15,0	l/s
Lähtevän nesteen lämpötila		7,0	°C
Ulkolämpötila		0	°C
Painehäviö		68	kPa
Sähkötiedot kompressorille ja puhaltimille mitoitusolosuhteissa			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Sähköteho		131	kW
Käyntivirta		226	A
Sähkön liitäntätiedot[1]			
Liitäntä		400-50-3	V/Hz/Ph
Maksimi liitäntäteho		202	kW
Maksimi käyntivirta		334	A
Mittatiedot			
Rahtipaino		3752	kg
Toimintapaino		4139	kg
Pituus		4550	mm
Leveys (syvyys)		2330	mm
Korkeus		2365	mm
Äänitiedot			
Äänitaso dB(A) 10 m päästä mitattuna		61	dB(A)

Tekninen

Valinta

[1]lauhtumislämpötilassa 65°C

Chiller Oy pidättää oikeuden teknisiin muutoksiin.
www.chiller.fi

Liite 7. Taulukko 1. Kustannuslaskennan lähtötiedot 100 kW:n jäähdytysteholla

Lähtötiedot:		
- tarkastelujakso	15	Vuotta
- laskentakorko	5 %	
- sähköenergian hinta	125	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta kesä	26	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta talvi	9	€/MWh
- rakennuksen tarvittava jäähdytysteho	100	kW
- vuosittainen jäähdytysenergiankulutus	198	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus kesä	169	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus talvi	29	MWh/vuosi
- kaukojäähdytyslaitteistojen hankintakustannukset	10000	€
- kaukojäähdytyslaitteiston tarvitseman tilan hinta	14000	€
- kaukojäähdytyksen sopimusmaksu	68000	€
- kaukojäähdytyksen vuosimaksu	3500	€
- kaukojäähdytyksen huoltokustannukset hankintahinnasta	1 %	/ vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman hankintahinta	48000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman tarvitseman tilan hinta	32000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman sähkön kulutus	62	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman pumppujen sähkön kulutus	2	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman nestejäähdyttimen sähkön kulutus	8	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman huoltokustannukset hankintahinnasta	6 %	/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon hankintahinta	35000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon sähkön kulutus	64	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon pumppujen sähkön kulutus	1	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon huoltokustannukset hankintahinnasta	13 %	/vuosi

Liite 8. Taulukko 2. Kustannuslaskennan lähtötiedot 300 kW:n jäähdytysteholla

Lähtötiedot:		
- tarkastelujakso	15	Vuotta
- laskentakorko	5 %	
- sähköenergian hinta	125	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta kesä	26	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta talvi	9	€/MWh
- rakennuksen tarvittava jäähdytysteho	300	kW
- vuosittainen jäähdytysenergiankulutus	595	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus kesä	508	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus talvi	87	MWh/vuosi
- kaukojäähdytyslaitteistojen hankintakustannukset	20000	€
- kaukojäähdytyslaitteiston tarvitseman tilan hinta	14000	€
- kaukojäähdytyksen sopimusmaksu	99000	€
- kaukojäähdytyksen vuosimaksu	10500	€
- kaukojäähdytyksen huoltokustannukset hankintahinnasta	1 %	/ vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman hankintahinta	79000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman tarvitseman tilan hinta	35000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman sähkön kulutus	168	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman pumppujen sähkön kulutus	6	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman nestejäähdyttimen sähkön kulutus	16	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman huoltokustannukset hankintahinnasta	6 %	/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon hankintahinta	63000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon sähkön kulutus	187	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon pumppujen sähkön kulutus	3	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon huoltokustannukset hankintahinnasta	13 %	/vuosi

Liite 9. Taulukko 3. Kustannuslaskennan lähtötiedot 450 kW:n jäähdytysteholla

Lähtötiedot:		
- tarkastelujakso	15	Vuotta
- laskentakorko	5 %	
- sähköenergian hinta	125	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta kesä	26	€/MWh
- kaukokylmän energian hinta talvi	9	€/MWh
- rakennuksen tarvittava jäähdytysteho	450	kW
- vuosittainen jäähdytysenergiankulutus	893	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus kesä	762	MWh/vuosi
- kaukokylmän jäähdytysenergiankulutus talvi	131	MWh/vuosi
- kaukojäähdytyslaitteistojen hankintakustannukset	25000	€
- kaukojäähdytyslaitteiston tarvitseman tilan hinta	14000	€
- kaukojäähdytyksen sopimusmaksu	120000	€
- kaukojäähdytyksen vuosimaksu	16000	€
- kaukojäähdytyksen huoltokustannukset hankintahinnasta	1 %	/ vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman hankintahinta	100000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman tarvitseman tilan hinta	35000	€
- sisäasenteisen kylmävesiaseman sähkön kulutus	241	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman pumppujen sähkön kulutus	10	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman nestejäähdyttimen sähkön kulutus	26	MWh/vuosi
- sisäasenteisen kylmävesiaseman huoltokustannukset hankintahinnasta	6 %	/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon hankintahinta	83000	€
- väliputkiston hankintahinta	20000	€
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon sähkön kulutus	260	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon pumppujen sähkön kulutus	4	MWh/vuosi
- ulkoasenteisen liuoskiertoisen jäähdytyskoneikon huoltokustannukset hankintahinnasta	13 %	/vuosi