



Pienten kylmälaitosprojektien suunnittelun kehittäminen

Alexi Ahokas

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Talotekniikka
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

AHOKAS, ALEKSI:

Pienten kylmälaitosprojektien suunnittelun kehittäminen

Opinnäytetyö 61 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Toukokuu 2021

Pienet kylmälaitosjärjestelmät ovat usein samankaltaisia, joten niiden suunnittelussa kannattaa hyödyntää valmiiksi luotuja vakiokuvia. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kehittää ja tehostaa yrityksen kokoluokaltaan pienten HFC-kylmälaitosten suunnitteluprosessia yhdenmukaisemmaksi. Tämän avulla voidaan helpottaa ja tehdä yrityksen tarjouslaskentaa kustannustehokkaammaksi. Opinnäytetyön tavoite on luoda yrityksen käyttöön dokumenttikirjasto pienille kylmälaitosprojekteille sekä tutkia mahdollisuuksia tehostaa kylmälaitosprojektien suunnitteluvaiheen hankintoja. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Caverion Suomi Oy.

Opinnäytetyön teoriaosuus jakautuu kahteen osioon. Ensimmäisessä osiossa käsitellään kylmätekniikan perusteita ja kylmälaitoksen pääkomponentteja sekä niiden toimintaa. Toisessa osiossa lukijalle avataan kylmälaitoksen suunnitteluprosessia. Suunnitteluprosessin käsittely on jaettu jäähdytystarpeen arviointiin, kylmälaitoksen pääkomponenttien mitoittamiseen ja valintaan sekä putkistomitoitukseen.

Opinnäytetyössä luotiin yrityksen käyttöön dokumenttikirjasto kokoluokaltaan pienille kylmälaitosprojekteille, joissa on yhdestä kolmeen kylmä- tai pakastehuonetta. Dokumenttikirjasto sisältää kattavan määrän kylmälaitoksen putkikaavioita sekä huonekohtaisten sähkökeskusten piirikaavioita erilaisille kylmälaitoskokonaisuuksille. Työssä tutkittiin yrityksen vanhoja käytössä olleita suunnitelmapohjia ja projekteissa käytettyjä dokumentteja. Niiden perusteella muodostettiin tarve, mitä vakiokuvapankin tulisi sisältää. Työssä käytettiin dokumenttien laatimiseen CADMATIC Electrical ja Ref -suunnitteluohjelmia.

Opinnäytetyölle asetettuihin tavoitteisiin päästiin hyvin, mutta tulosten analysointia voidaan tarkemmin tehdä vasta saatujen kokemusten perusteella. Jatkokehitysmahdollisuutena työlle olisi luoda tarjouslaskentatyökalu luodun dokumenttikirjaston avulla. Yrityksen sisäiseen käyttöön luotavat dokumentit ovat yrityksen omaisuutta, joten niitä ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

Asiasanat: kylmätekniikka, kylmälaitokset, suunnittelu, kehittäminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Services Engineering
Electrical Building Services

AHOKAS, ALEKSI:
Developing Small Refrigeration System Projects

Bachelor's thesis 61 pages, appendices 5 pages
May 2021

Small refrigeration systems are usually very similar to each other. Therefore, it is practical to utilize standard documents. The purpose of this thesis was to develop the design processes of small HFC -refrigeration systems. The thesis was commissioned by Caverion Suomi Oy.

The theory section explores refrigeration technology, refrigeration systems and the design processes of refrigeration systems. The study was carried out as a project where a design library was created. It includes a comprehensive amount of refrigeration piping diagrams and electrical circuit diagrams for different refrigeration unities. The data for this study were collected in the archives of Caverion Suomi Oy. The design library was designed using CADMATIC Electrical and Ref design program. The second section of the study explores opportunities to make more effective refrigeration projects purchases.

As a result of this study, design library was created to make the design processes more effective. The goals that were set for the thesis were achieved, but more complete analyses can be done only after some user experience. This topic could be developed further by creating a calculation tool for offer calculations.

Key words: refrigeration technology, refrigeration system, development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	KYLMÄTEKNIikka	9
2.1	Kylmäprosessin periaate	9
2.2	Log p, h-tilapiirros	11
2.3	Kylmäprosessi teoriassa ja käytännössä	12
2.4	Kylmäkerroin	14
2.5	Kylmäaineet	15
2.5.1	Yleisemmät käytössä olevat kylmäaineet	16
2.5.2	Luonnonmukaiset kylmäaineet	17
2.6	Kylmäkoneöljyt	18
2.7	Kylmälaitoksen pääkomponentit	19
2.7.1	Höyrystin	19
2.7.2	Lauhdutin	20
2.7.3	Kompressor	21
2.7.4	Paisuntalaite	22
3	KYLMÄLAITOKSEN SUUNNITTELUPROSESSI	25
3.1	Jäähdytystarpeen arviointi	25
3.1.1	Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto	26
3.1.2	Oven kautta tapahtuva ilmanvaihto	27
3.1.3	Muu ilmanvaihto	28
3.1.4	Tuotteiden hengityslämpö	29
3.1.5	Tuotevaihto	29
3.1.6	Henkilöiden luovuttama lämpö	30
3.1.7	Valaistus	31
3.1.8	Laitekuormitus	31
3.1.9	Puhaltimet	31
3.1.10	Sähkösulatus	32
3.1.11	Kokonaiskylmäntehontarve	32
3.2	Pääkomponenttien mitoitus	33
3.2.1	Kompressorien mitoitus	34
3.2.2	Lauhduttimien mitoitus	35
3.2.3	Höyrystimien mitoitus	37
3.2.4	Paisuntaventtiilin valinta ja mitoitus	37
3.3	Putkimitoitus	37
4	VAKIOKUVAPANKKI	40
4.1	Piirustushakemisto	41

4.2 Putkikaaviot.....	41
4.2.1 Putkikaavioiden laatiminen	42
4.3 Sähkökeskusten piirikaaviot.....	42
4.3.1 Piirikaavioiden sisältö	44
4.3.2 Piirrosmerkit ja niiden tunnukset.....	46
4.3.3 Piirikaavioiden laatiminen	47
5 HANKINTOJEN TEHOSTAMINEN	49
5.1 Kylmälaitoksen ohjausjärjestelmät	49
5.1.1 Yksikkösäätimet.....	50
5.2 Hankintavaihe	50
5.3 Kehitysmalli.....	51
6 TULOSTEN KÄSITTELY	52
7 POHDINTA	53
LÄHTEET.....	55
LIITTEET	57
Liite 1. Kylmätehontarpeen määrittämiseen käytettävä laskentapohja...	57
Liite 2. SFS-EN 378-2 standardissa esitetyt vaatimukset kylmälaitoskomponenteille ja putkistolle.....	59
Liite 3. DANFOSS EKC 302A ja 302B säätimen parametrintilistä	60

ERITYISSANASTO

CFC	Chloro-Fluoro-Carbon. Klooria, fluoria ja hiiltä sisältävä täysin halogenoitu kylmäaine
HCFC	Hydro-Chloro-Fluoro-Carbon. Vetyä, klooria, fluoria ja hiiltä sisältävä osittain halogenoitu kylmäaine
HFC	Hydro-Fluoro-Carbon. Vetyä, fluoria ja hiiltä sisältävä osittain halogenoitu kylmäaine
ISO	Kansainvälinen standartoimisjärjestö
IEC	Kansainvälinen sähköalan standartoimisjärjestö
R	Refrigerant. Kylmäaine
SFS	Suomen Standartoimisliitto SFS ry
U-arvo	Rakenteen lämmönläpäisykerroin

1 JOHDANTO

Kylmälaitosten suunnittelu toistaa usein samaa kaavaa ja niiden suunnittelu perustuu periaatetasolla jokaisessa projektissa käytettävään perusmateriaaliin. Suunnitteluprosessia pystytään kehittämään ja tehostamaan luomalla mallidokumentit malleista, jotka ovat kohdetyypeiltään samanlaisia. Käytännölliseksi ja hyväksi todetut sekä tarkastetut mallidokumentit myös pienentävät mahdollisten virheiden määrää eikä virheet kopioidu projektista toiseen.

Tämä opinnäytetyö tehdään Caverion Suomi Oy:n kylmä ja energia -yksikön toimeksiantona. Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää ja tehostaa yrityksen pienten HFC-kylmälaitosten suunnitteluprosessia teorian sekä käytännön näkökulmasta. Tämän avulla voidaan yrityksen tarjouslaskentaa tehdä helpommaksi sekä kustannustehokkaammaksi. Työn tavoitteena on luoda yrityksen käyttöön dokumenttikirjasto eli vakiokuvapankki sekä tutkia mahdollisuuksia tehostaa kylmälaitosprojektien suunnitteluvaiheen hankintoja. Yksi vartenotettava vaihtoehto on elektronisten säätimien hankinnan ja käyttöönoton tehostaminen. Opinnäytetyössä muodostetaan lukijalle käsitys kylmäteknikan perusteista, kylmälaitoksen pääkomponenteista sekä niiden toiminnasta ja kylmälaitoksen suunnitteluprosessista. Tutkimusaineistona käytettiin kylmäalan kirjallisuutta, kylmäalaa sekä kylmälaitoksen suunnitteluun liittyviä lakeja, standardeja ja ohjeistuksia.

Opinnäytetyön varsinainen teoriaosuus on jaettu kahteen osioon. Toisessa luvussa käsitellään kylmäteknikan perusteita ja kylmäaineita sekä tutustutaan kylmälaitoksen pääkomponentteihin ja niiden toimintaperiaatteisiin. Kolmannessa luvussa avataan lukijalle kylmälaitoksen suunnitteluprosessia, johon kuuluu lähtötietojen keräystä, pääkomponenttien valintaa ja mitoitusta sekä putkistomitoitusta.

Neljännessä luvussa esitellään opinnäytetyön toisena tavoitteena luotua vakiokuvapankkia yleisellä ja periaatteellisella tasolla. Koska vakiokuvapankkiin luodut dokumentit ovat tehty vain yrityksen käyttöön, joten niitä ei käsitellä tarkemmin opinnäytetyön yhteydessä.

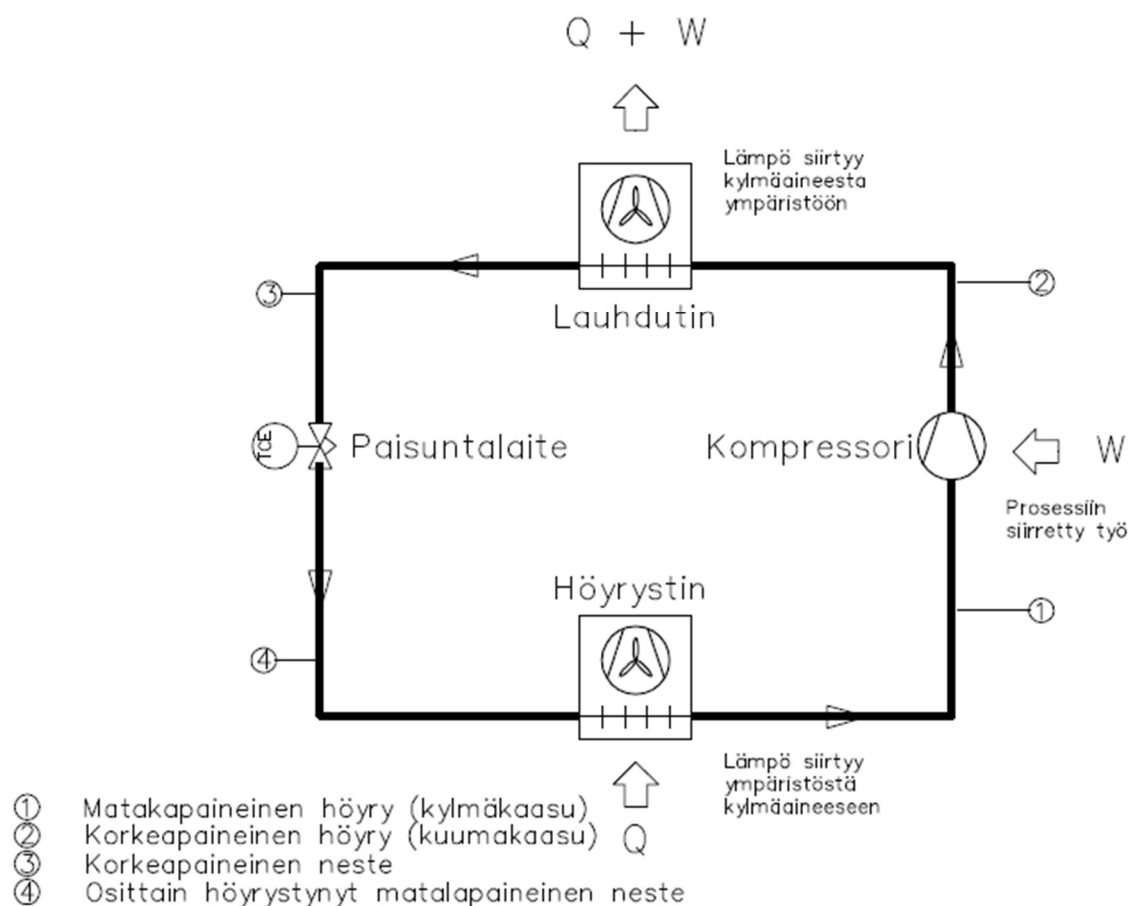
Viidennessä luvussa tutkitaan suunnitteluvaiheessa tehtävien hankintojen tehostamista. Projektipäällikön tilatessa keskusvalmistajalta sähkökuvien mukaisen keskuksen, on yleinen toimintaperiaate, että projektipäällikkö toimittaa keskusvalmistajalle käytettävät säätimet ja siihen liittyvät tarvikkeet. Tässä luvussa esitetään hankintavaiheeseen liittyvä kehitysmalli. Kehitysmallissa säädin aseteltiin oikeisiin arvoihin keskusvalmistajalla, jotta tämä vaihe jäisi pois työmaalla tehtävissä asennuksissa.

2 KYLMÄTEKNIikka

2.1 Kylmäprosessin periaate

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpö pyrkii aina siirtymään korkeammasta lämpötilasta kohti matalampaa lämpötilaa, yrittäen tasoittaa lämpötilaeroa. Jotta pystyttäisiin siirtämään lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan, pitää järjestelmään tuoda työtä. Kylmätekniisessä kiertoprosessissa järjestelmään tuotu työ on yleensä kompressorin ottama sähköteho. Tämä sähköteho muutetaan kompressorissa lämpöenergiaksi, josta suurin osa siirtyy kylmäaineeseen ja osa poistuu kompressorista ympäröivään, jäähdyttävään väliaineeseen, kuten veteen tai ilmaan. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voi hävitä, mutta se voi muuttaa muotoaan muiksi energianmuodoiksi. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2014, 18.)

Kylmätekniisessä kiertoprosessissa siirretään kiertoprosessiin siirretyn työn avulla lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan lämpötilaan. Tässä kylmäprosessissa lämpöenergian siirtoon käytetään kylmäainetta, jonka höyrystymiseen ja lauhtumiseen eri painetasoilla koko kylmäprosessi perustuu. Höyrystyessään kylmäaine sitoo ympäristöstään lämpöä itseensä ja lauhtuessa se luovuttaa lämpöä ympäristöön. (Kaappola ym. 2014, 17.) Kuvassa 1 on esitetty kylmäprosessin toimintaperiaate, sen pääkomponentit ja kylmäaineen eri olomuodot prosessin eri osissa.



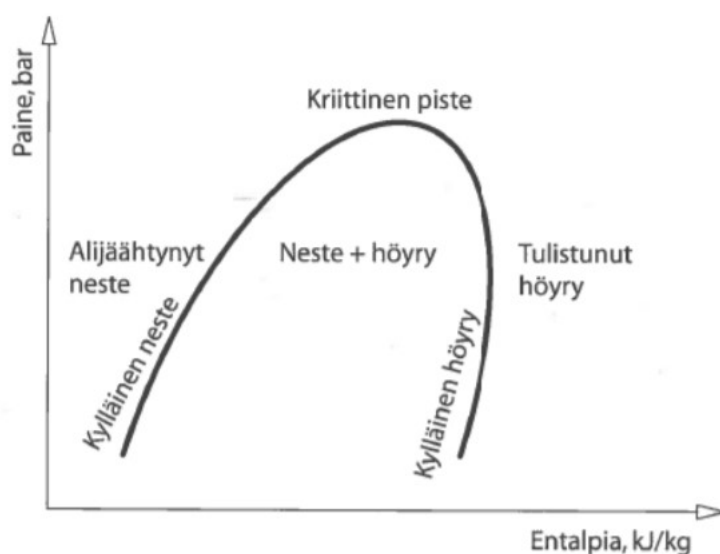
KUVA 1. Kylmäprosessin periaate

Höyrystimessä matalalämpötilainen ja matalapaineinen kylmäaine sitoo itseensä lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy. Tämän jälkeen kompressor imee höyrystyneen kylmäaineen ja puristaa sen korkeampaan paineeseen. Puristuksen aikana kylmäainehöyry tulistuu ja sen lämpötila nousee merkittävästi. Kompressorin jälkeen tulistunut kylmäainehöyry siirtyy lauhduttimeen, jossa höyry tiivistyy nesteeksi samalla luovuttaen lämpöä ympäristöönsä. Lauhduttimesta kylmäaine siirtyy paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen lämpötila ja paine laskee ja osa kylmäaineesta höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa jälleen alusta. Teoriassa lauhduttimen luovuttama lämpö vastaa höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutunutta lämpöä Q ja kompressorin tekemää työtä W , mutta kompressorista ja paineputkesta vapautuu ympäristöön pieni osa lämmöstä.

2.2 Log p, h-tilapiirros

Paine- entalpia- tilapiirroksella kuvataan kylmäaineen olomuodon muutoksia kylmäteknisessä kiertoprosessissa. Tilapiirroksessa x- akselilla on entalpian h arvot ja y- akselilla on absoluuttisen paineen p arvot. Tilapiirroksen tarkkuuden säilyttämiseksi koko piirroksen alueella on paineen arvot esitetty logaritmisen asteikon avulla. Vieraskielisissä kirjallisuudessa log p, h- tilapiirroksesta käytetään myös nimitystä Mollier- diagrammi. (Kaappola ym. 2014, 19.)

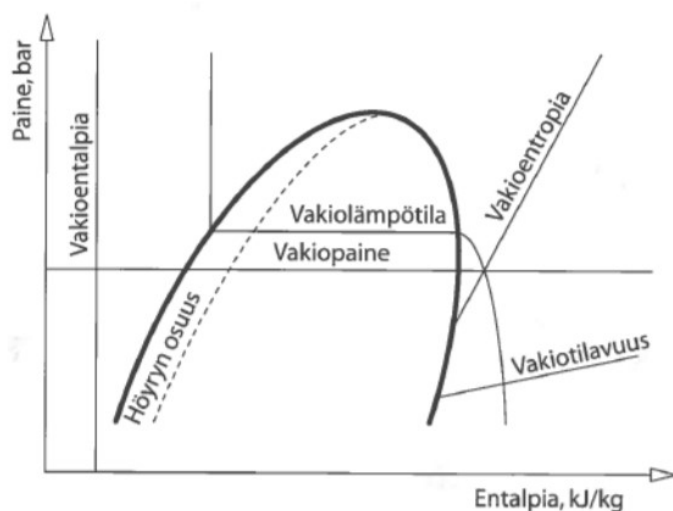
Log p, h- tilapiirroksessa kylmäaineen olomuodot on esitetty rajakäyrän avulla. Rajakäyrä jakautuu kahteen osaan, kylläisen höyryn ja kylläisen nesteen käyriin kylmäaineen kriittisen pisteen kohdalta, joka on käyrän huippupiste. Kylläisen höyryn rajakäyrän oikealla puolella on tulistunutta höyryä ja kylläisen nesteen vasemmalla puolella on alijäähtynyttä nestettä. (Kaappola ym. 2014, 19.) Rajakäyrien välissä on alue, missä on nestettä ja höyryä, kuten alla olevassa kuvassa 2 on esitetty.



KUVA 2. Kylmäaineen tilapiirros ja sen olomuodot (Hakala & Kaappola 2011, 11).

Kylläisen höyryn ja nesteen rajakäyrien välillä esitetään yleensä x-akselin suuntaiset käyrät, jotka ilmoittavat höyryn osuuden massasta. Näiden käyrien lisäksi log p, h-tilapiirroksessa on myös vakioaine-, vakioentalpia-, vakioentropiakäyrät. Vakioentalpiakäyrät eli niin sanotut isotermit ($^{\circ}\text{C}$) ovat nesteen alueella lähes pystysuoria, jonka takia niitä ei usein esitetä.

Käyrät kylläisen nesteen ja höyryn välissä ovat vaakasuoria tai lähes vaakasuoria, mikä vaihtelee kylmäaineen mukaan. Yksikomponenttisilla kylmäaineilla tai atseotrooppisilla kylmäaineseoksilla lämpötila pysyy vakiona höyrystymisen tai lauhtumisen aikana, joka on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Atseotrooppisen kylmäaineen log p, h-tilapiirros (Hakala & Kaappola 2011, 11).

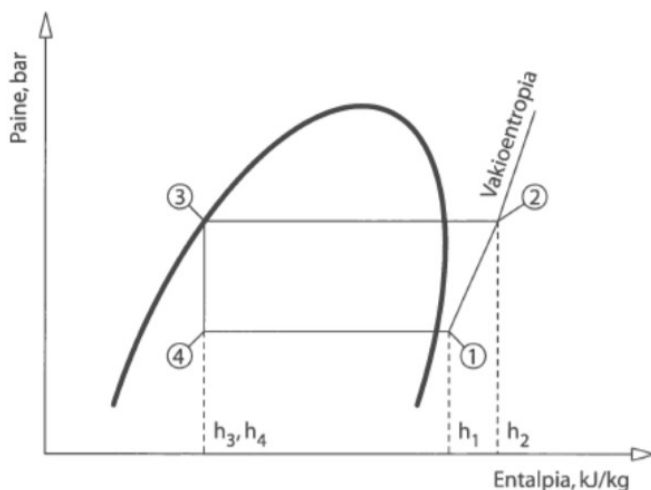
Tseotrooppisilla kylmäaineseoksilla lämpötila muuttuu lauhtumisen ja höyrystymisen aikana. Tilapiirroksessa isokoorit eli vakio-ominaistilavuuskäyrät esitetään vähintään tulistuneen höyryn alueella, jossa käyrät kohoavat vähitellen. Isentroopit eli vakioentropiakäyrien avulla pystytään kuvaamaan ideaalipuristusta ja ne esitetään tulistuneen höyryn alueella.

2.3 Kylmäprosessi teoriassa ja käytännössä

Kylmäprosessi perustuu teoreettiseen Carnot'n prosessiin, jossa höyrystyneeseen kylmäaineeseen sitoutunut höyrystyslämpö luovutetaan lämpöenergiana lauhtumisessa korkeammassa paineessa. Tämä prosessi on ns. ideaalinen prosessi, joka ei huomioi todellisia häviöitä. (Aittomäki 2012, 65–67.)

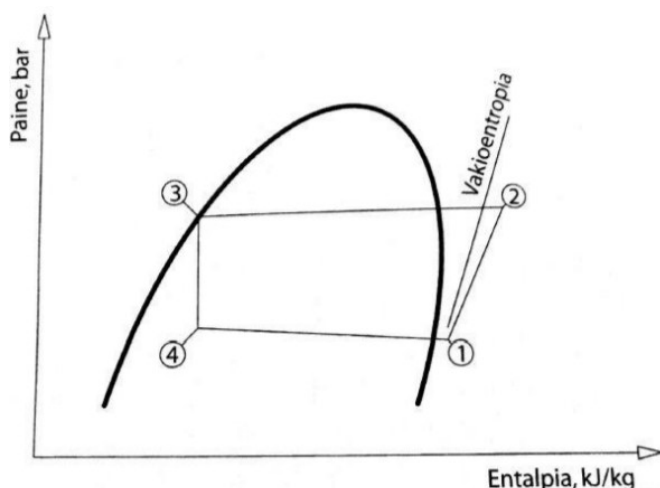
Kuvassa 4 on esitetty teoreettinen kylmäprosessi yksinkertaistettuna. Häviämättömässä kylmäprosessissa kylmäaine höyrystyy ja tulistuu höyrystimessä 4–1.

Höyrystimestä kompressor imee tulistuneen höyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen 1–2, jolloin höyry tulistuu lisää. Häviötön puristus on isentrooppinen, jolloin prosessi kulkee vakioentropiakäyrää pitkin. Lauhduttimessa kylmäaineesta poistuu tulistus, jonka jälkeen höyry lauhtuu ja lopulta neste alijäähtyy vakioaineessa 2-3. Lauhduttimesta kylmäaine menee paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen lämpötila ja paine laskevat ja neste muuttuu nestehöyryseokseksi 3-4. (Hakala & Kaappola 2011, 12-13.)



KUVA 4. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa (Hakala & Kaappola 2011, 12).

Käytännössä kiertoprosessissa tapahtuu paine- ja lämpöhäviöitä höyrystimessä, kompressorissa, lauhduttimessa ja putkistossa. Höyrystimessä höyrystyminen ei tapahdu vakioaineessa, kuten kuvasta 5 nähdään, vaan höyrystimessä ja imu-putkessa tapahtuu painehäviöitä 4-1. Kompressorin venttiileissä tapahtuu painehäviötä ja höyryn puristuksessa tapahtuu lämpöhäviötä, jolloin prosessi ei ole isentrooppinen, vaan kaartuu tilapiirroksessa oikealle 1-2. Kompressorin isentrooppinen hyötysuhde riippuu kompressorityypistä, painesuhteesta ja kierrosnopeudesta ja se on 0,6-0,7. Myös paineputkessa ja lauhduttimessa tapahtuu painehäviötä, jolloin lauhtuminen ei tapahdu vakioaineessa 2-3.



KUVA 5. Kylmäprosessi käytännössä log p, h-tilapiirroksessa. (Hakala & Kaappola 2011, 13.)

2.4 Kylmäkerroin

Kylmäkerroin kertoo kylmätehon ja sen saamiseen käytetyn sähkötehon suhdetta. Kylmäkertoimeen vaikuttaa esimerkiksi putkiston ja komponenttien lämpö- ja painehäviöt, höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat, kompressorin hyötysuhde, laitteiston tyyppi ja käytettävä kylmäaine sekä alijäähdytyksen ja tulistuksen osuus kylmäprosessissa. Tulistus heikentää kylmäprosessin hyötysuhdetta lauhtumisen kuormittuessa sen aiheuttamasta lämpökuormasta. Alijäähdytyksellä saadaan parannettua kylmäkerrointa koska höyrystimestä saadaan sen avulla otettua enemmän kylmätehoa.

Kylmäkerroin ε lasketaan kaavan 1 avulla,

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (1)$$

jossa Q_0 on höyrystimen sitoma lämpö ja W on kompressorin tekemä työ. (Hakala & Kaappola 2011, 10.)

2.5 Kylmäaineet

Kylmäaineet ovat nestemäisiä kaasuja, joita käytetään kylmäkoneistoissa lämmönsiirtämiseen. Kylmäaineita käytetään kylmäkoneistoissa, koska niillä on kyky muuttaa olomuotoa nestemäisestä kaasuksi ottaessaan vastaan ympäristöstään lämpöä tai kaasusta nestemäiseksi luovuttaen itsestään lämpöä ympäristöönsä. Näitä olomuodon muutoksia hyväksi käyttäen voidaan siirtää suuriakin lämpökuormia suhteellisen pienellä kylmäaineen massavirralla. (Kaappola ym. 2014, 31.)

Kylmäaineiden nimeämiseen ja luokitteluun käytetään hyväksi niiden kemiallista koostumusta. Se helpottaa niiden erottelua toisistaan ja helpottaa ymmärtämään niiden välisiä koostumuseroja. Kylmäaineiden nimeäminen perustuu kirjaintunnukseen ja sitä seuraavaan numerosarjaan. Kylmäaineiden kirjaintunnus R tulee englanninkielisestä sanasta refrigerant, joka tarkoittaa suomeksi kylmäainetta. Sitä seuraava numero määräytyy kylmäaineen ominaisuuksien ja koostumuksen perusteella. (Kaappola ym. 2014, 36.)

Kylmäaineet jaetaan CFC-, HCFC-, HFC- ja halogeenittomiin kylmäaineisiin. CFC-aineet ovat halogenoituja kylmäaineita, jotka sisältävät klooria, hiiltä ja fluoria. CFC-aineet ovat hyvin haitallisia otsonikerrokselle ja sen vuoksi ne ovat nykyisen lainsäädännön mukaan täyttökiellossa. Tällaisia kylmäaineita ovat esimerkiksi R11, R12, R502 ja R13B1. HCFC-aineet ovat CFC-aineiden tapaan haitallisia otsonikerrokselle ja niiden uusikäyttö on kielletty. HCFC-aineet sisältävät klooria, hiiltä, fluoria ja vetyä ja tämän tyyppisiä kylmäaineita on esimerkiksi R22, R4401A, R402A ja R402B. HFC-aineet ovat puolestaan täysin haitattomia otsonikerrokselle ja ne sisältävät fluoria, hiiltä ja vetyä. HFC-aineisiin kuuluu esimerkiksi R132a ja R404A. Halogeenittomien kylmäaineiden eli luonnonmukaisten kylmäaineiden vaikutus kasvihuoneilmiöön on lähes nolla. Tällaisia kylmäaineita on esimerkiksi propaani, butaani, ammoniakki ja hiilidioksidi. (Hakala & Kaappola 2011, 23.)

2.5.1 Yleisemmät käytössä olevat kylmäaineet

R134a on yksikomponenttinen kylmäaine, jolla ei ole lämpötilaliukumaa. Se sopii hyvin ilmastointi- ja keskilämpötila-alueille. ja Mataliin höyrystymislämpötiloihin se ei sovi. Suositeltuja käyttökohteita sille ovat pienet koti- ja laitostalouksien kylmälaitteet sekä erilaisten ajoneuvojen ilmastoinnin jäähdytyslaitteet. (Hakala & Kaappola 2011, 24.)

R404A on kylmäaineseos, jonka komponentteina käytetään R125, R134a ja R143a. Sillä on hyvin pieni lämpötilaliukuma ($0,7^{\circ}\text{C}$) ja se sopii matala- ja keskilämpötila-alueille. Sitä käytetään erilaisissa kylmä- ja pakastehuoneiden sekä -varastojen kylmäkoneistoissa, kaupan kylmä- ja pakastelaitoksissa, jääratakoneistoissa ja kuljetuskoritilojen kylmälaitteissa. (Hakala & Kaappola 2011, 24.)

R407C on tseotrooppinen kylmäaineseos, jolla on iso lämpötilaliukuma (n. 7°C) ja sen komponentteina käytetään R32, R125 ja R134a. Sitä käytetään yleisesti esimerkiksi huoneilmastointilaitteissa, vedenjäähdytyskoneistoissa, kompressorilauhduttimissa ja lämpöpumpuissa. (Hakala & Kaappola 2011, 24.)

R410A on lähes atseotrooppinen kylmäaineseos, jolla on pieni (n. $0,2^{\circ}\text{C}$) lämpötilaliukuma. Seoksen komponentteina käytetään R32 ja R125. Yleisimpiä käyttökohteita ovat huoneilmastointikojeet, vedenjäähdytyskoneistot ja ilmastoinnin jäähdytyslaitteistot. (Hakala & Kaappola 2011, 24.)

R507 on atseotrooppinen kylmäaineseos ja sen komponentteina käytetään R125 ja R143a. Sen ominaisuudet ja käyttökohteet ovat samat kuin kylmäaineella R404A. Sen ero R404A:n on sen toiminta matalilla höyrystymislämpötiloilla (alle -40°C) ja sillä saavutetaan suurempi jäähdytysteho ja stabiilimpi paisuntalaitteen toiminta. (Hakala & Kaappola 2011, 24.)

2.5.2 Luonnonmukaiset kylmäaineet

Halogeenihiilivetyjen haitallisuuden vuoksi on otettu käyttöön niin sanottuja luonnollisia kylmäaineita. Näitä aineita esiintyy jossain muodossa valmiiksi ympäristössä. Luonnollisiin kylmäaineisiin luetaan ilma, vesi, ammoniakki, hiilivedyt ja hiilidioksidi. Kolmea viimeistä käytetään yleisesti kylmäaineena, ilmaa ja vettä vain erikoiskohteissa. (Aittomäki 2012, 116.)

Ammoniakkia (R717) on käytetty ensimmäisiä kertoja jo 1800-luvulla. Sen monien hyvien ominaisuuksien takia se otettiin laajasti käyttöön ja se on ollut jatkuvasti tärkeä kylmäaine erityisesti suurissa teollisissa kylmlaitoksissa. Ammoniakin etuja muun muassa on sen suuri höyrystymislämpö, jolloin massavirta ja siten putkiläpimitat ovat pienet. Tämä on pienten koneistojen kannalta eräänlainen haitta, koska esimerkiksi säätöventtiilien virtauskanavat ovat hyvin ahtaat. Ammoniakilla on myös hyvin alhainen viskositeetti, minkä vuoksi painehäviöt pysyvät pieninä. Ammoniakin haittoja ovat muun muassa sen korkea paine lauhduttimessa, voimakas tulistuminen puristuksessa sekä sen myrkyllisyys. Ammoniakin haitat tuntuvat jo alhaisillakin pitoisuuksilla, mutta sen vuodot on helppo havaita ajoissa sen voimakkaan hajun perusteella. Sen ensimmäiset haitat ilmenevät vasta monikymmenkertaisilla pitoisuuksilla hajukynnyksestä. (Aittomäki 2012, 116–117.)

Hiilivedyt ovat puolestaan myrkyttömiä ja haitattomia otsonikerrokselle, koska ne eivät sisällä klooria. Kylmäaineina käytetään fysikaalisten ominaisuuksien vuoksi propaania (R290), butaania (R600), isobutaania (R600a) ja sekä propaanin ja butaanin tai isobutaanin seosta. Hiilivetyjen etuja on niiden edullisuus, vähäiset yhteensopivuusongelmat eri materiaalien kanssa ja ne liukenevat kokonaan mineraaliöljyihin, joten öljyongelmat ovat muita kylmäaineita pienemmät. Isoin haitta hiilivedyissä piilee niiden palavuudessa. Palavuusriski ei ole kuitenkaan kovin suuri. Vertailukohteena voidaan käyttää erilaisia nestekaasulaitteita ja nestekaasun laajaa käyttöä, jossa säilytettävät määrät ovat paljon suurempia kuin kylmlaitteistoissa olevat määrät. Hiilivetyjä käytetään pääosin pienkoneissa, esimerkiksi jääkaapeissa ja pakastimissa, joissa turvallisuusriskiä pienentää muutama kymmenen gramman kylmäainetäytös. (Aittomäki 2012, 120.)

Hiilidioksidin (R744) käyttö kylmäaineena alkoi 1800-luvun puolessa välissä laivojen elintarvikekuljetuksien jäähdytysjärjestelmissä. Käyttö jatkui 1930-luvulle saakka, jolloin halogeenihiilivedyt syrjäyttivät sen pienemmän koneikon ja paremman kylmäkertoimen vuoksi. Hiilidioksidin käyttöä alettiin kehittää uudelleen 1990-luvun alussa muiden kylmäaineiden ympäristöongelmien takia, ensimmäisenä autojen jäähdytyslaitteisiin. Seuraavaksi hiilidioksidia käytettiin välillisten järjestelmien lämmönsiirtoaineena ja myöhemmin kylmäaineena. Nykyään hiilidioksidia käytetään laajasti kaupallisissa kylmäjärjestelmissä sekä pakastelaitoksien kaskadijärjestelmien matalalämpötilaosissa. Hiilidioksidin etuja ovat muun muassa edullisuus sekä suuri höyrystymislämpö, jonka vuoksi massavirta on pieni, joten myös putkien läpimitat pysyvät pieninä. Myös painehäviöt pysyvät pieninä alhaisen viskositeetin takia. Hiilidioksidilla on myös erittäin hyvä lämmönsiirtokyky ja se on yhteensopiva kaikkien metallien ja useimpien muovien kanssa. Hiilidioksidin etuja on myös sen palamattomuus ja sen haitattomuus sekä myrkyttömyys. Suurina pitoisuuksina hiilidioksidi voi syrjäyttää hapen ja aiheuttaa tukehtumisen, mutta sama koskee lähes kaikkia muita kylmäaineita. Sen haittoja ovat sen korkea paine ja alhainen kriittinen piste (31,1°C). Hiilidioksidi on täysin hajutonta ja mautonta, jolloin vuodon havaitseminen onnistuu vain mittalaitteilla. (Aittomäki 2012, 121–122.)

2.6 Kylmäkoneöljyt

Mekaanisesti toimivat koneet, kuten kompressorit, vaativat toimiakseen voiteluaineen eli öljyä. Kompressorin tarvitsee voiteluainetta sen moniin toisiaan vasten liikkuvia osien välisten kitkojen pienentämiseksi. Tällaisia osia on muun muassa mäntäkompressorissa männät ja sylinteri sekä kampiakseli ja sen laakerit. Voitelun puuttuessa kompressorin voi rikkoutua muutamissa sekunneissa. Toisiaan vasten liikkuvat osat lämpenisivät kitkan kasvaessa ja niistä irtoavat palat aiheuttaisivat syviä uria ja lopulta pinnat hitsautuvat yhteen. Öljyllä on myös muita käyttötarkoituksia voiteluaineena toimimisen lisäksi, kuten kompressorin liikkuvien osien aiheuttaman melun vaimentaminen, kompressorin sisäisten kylmäainevuotojen vähentäminen, kompressorin jäähdyttäminen sekä vuodonilmaisuaineen kuljettaminen putkistossa. (Kaappola ym. 2014, 44.)

2.7 Kylmälaitoksen pääkomponentit

Kuten luvussa 2.1 kerrottiin, kaikissa kylmäkoneistoissa on vähintään nämä neljä pääkomponenttia; Kompressor, lauhdutin, paisuntalaite ja höyrystin. Höyrystimeen tuleva matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine sitoo itseensä lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy. Kompressor imee höyrystynyttä kylmäainetta ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin kylmäaineen lämpötila nousee. Seuraavaksi korkeapaineinen ja lämpötilainen höyry luovuttaa lämpöä itsestään lauhduttimessa ja tiivistyy samalla nesteeksi eli lauhtuu. Lauhduttimesta korkeapaineinen neste johdetaan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen painetta lasketaan ja samalla osa siitä höyrystyy, jolloin sen lämpötila laskee.

Kylmäkoneistoissa on yleensä monia muitakin komponentteja, joiden tarkoitus on ohjata ja säätää lämpötilaa, painetta tai kylmäaineen virtausta. Esimerkiksi suodattimilla puhdistetaan kylmäaineesta ja öljystä mahdollisia epäpuhtauksia. Huolto- ja sulkuventtiileillä varmistetaan, ettei koneistosta pääse vapautumaan kylmäainetta ilmakehään huolto- tai korjaustoimissa.

2.7.1 Höyrystin

Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy ja sitoo itseensä lämpöä ympäristöstään. Luonnollisen ilmankierron höyrystimiä käytetään yleensä kylmähuoneissa ja -varastoissa. Sen ilmanvaihto perustuu painovoimaan. Höyrystimessä jäähtynyt ilma on kylmempää ja siten tiheämpää kuin ympäristön ilma, joten kylmä ilma painuu alaspäin ja saa ilman kiertämään tilassa. Höyrystimen lohko on tehty kupariputkista ja alumiinilamelleista. Lamellijako on 7-10mm, jotta ilman virtausvastus olisi riittävän pieni. Höyrystinlohkon alapuolella sijaitsee tippuvesiallas, jonka säleiden läpi ilma pääsee valumaan. Kylmähuoneiden, joiden lämpötila on yli 2 °C, höyrystimen pinnalle muodostunut jää sulatetaan ilmasulatuksella. Kylmemmissä kylmätiloissa tai kylmätiloissa, joissa kosteuskuorma on suuri, hoidetaan sulatus höyrystimeen sijoitetuilla sähkövastuksilla. Puhallinhöyrystimiä käytetään kylmä- ja pakastetiloissa (kuva 6). Yleensä lamellijako kylmähuoneissa on 4-10mm. Kylmätiloissa, joissa on suuri kosteuskuorma, käytetään 8-10mm lamellijakoa. Pak-

kastiloissa käytetään harvempaa lamellijakoa, jotta höyrystinlohkon pinnalle ker-
tynyt jää ei estäisi höyrystimen ilmavirtaa ja siten heikentäisi sen kylmätehoa.
Puhallinhöyrystimen sulatukseen voidaan kylmätiloissa käyttää ilmasulatusta tai
kylmä- ja pakkastiloissa sähkö- tai kuumakaasusulatusta, jos sulatus on saatava
tehtyä nopeasti. Pakastetiloissa höyrystimen tippuvesialtaaseen ja puhallinauk-
koon asennetaan myös sähkövastukset. (Kaappola ym. 2014, 59–60.)



KUVA 6. Puhallinhöyrystin (Alfa Lu-ve Group n.d.).

Kuumakaasusulatuksessa höyrystinlohkoa ja tippuvesiallasta sulatetaan komp-
ressorin kuumakaasulla. Sekä sähkösulatusta että kuumakaasusulatusta käytet-
täessä höyrystinpuhaltimet eivät ole sulattaessa käytössä. Välillisissä jäähdytys-
ja kylmäjärjestelmissä käytetään usein höyrystiminä levylämmönsiirtimiä. Höy-
rystin koostuu toisiinsa juotetuista, poimutetuista levyistä. Joka toisessa levyssä
virtaa jäähdytettävä neste ja joka toisessa kylmäaine. (Kaappola ym. 2014, 59–
60.)

2.7.2 Lauhdutin

Lauhdutin on lämmönsiirrin, jonka tehtävänä on kompressorin puristaman kylmä-
ainehöyryn muuntaminen nesteeksi. Yleisimpiä lauhdutintyyppejä ovat ilma- tai
nestejäähdytteiset lauhduttimet. Ilmalauhdutin on edullisin vaihtoehto. Ne ovat
toiminnaltaan luotettavia ja helppoja huoltaa, mutta niiden haittapuolia on muun

muassa sen tilantarve ja melu. Nestejäähdytteisiä lauhduttimia käytetään silloin, kun kylmäainetäytös halutaan pitää mahdollisimman pienenä, kun ilmajäähdytteisen lauhduttimen ja kompressorin välinen etäisyys on liian suuri tai kun lauhdelämpöä halutaan hyödyntää useissa kohteissa. Nestejäähdytteisissä lauhduttimissa käytetään lämmönsiirtoaineena esimerkiksi etyleeniglykolin ja veden seosta, jonka on kestävä pakkasta. Lauhduttimen tehoa säädellään portaittain käynnistämällä ja pysäyttämällä sen puhallinmoottoreita tai portaattomasti taa-juusmuuttajan tai tyristorisäätimen avulla puhallinmoottorien pyörimisnopeutta muuttamalla. (Kaappola ym. 2014, 55.)

Lauhduttimet voivat olla rakenteeltaan levylämmönsiirtimen tapaisia lauhduttimia, koaksaalilauhduttimia tai moniputkilauhduttimia. Levylämmönsiirtimien tapainen lauhdutin koostuu poimutetuista levyistä, jotka ovat juotettu toisiinsa kuparilla tai nikkelillä. Joka toisessa levyvälissä virtaa kylmäaine ja joka toisessa lauhdutettava neste. Kompressorin puristama kylmäainehöyry johdetaan lämmönsiirtimen yläosasta ja lauhtunut neste poistuu sen alaosaan ja vastaavasti lauhdutettava neste johdetaan lauhduttimen alaosaan sisään ja lämmennyt neste poistuu sen yläosasta. Levylämmönsiirrinlauhduttimet ovat pienempiä kuin teholtaan vastaavat moniputkilauhduttimet ja siten myös niiden sisätilavuus on vastaavasti pienempi. Moniputkilauhduttimissa kylmäaine virtaa lauhduttimen vaipassa ja lauhdutettava neste vaipan sisällä kulkevissa putkissa. Kylmäainehöyry viedään lauhduttimeen vaipan yläosaan ja lauhtunut neste poistuu vaipan alaosaan. Lauhduttimen sisätilavuus ollessa tarpeeksi suuri, se voi toimia myös koneiston nestesäiliönä. Lauhdutettava neste siirretään lauhduttimen putkiin sen alaosaan. Moniputkilauhduttimen päädyssä sijaitsee kääntökammio, jolla virtaus käännetään toisia putkia pitkin takaisin ja lopulta se poistuu päädyn yläosaan. (Kaappola ym. 2014, 56.)

2.7.3 Kompressorit

Kompressorin tehtävä on kylmäaineen paineen korotus höyrystymislämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Tämän paine-eron vuoksi kylmä aine siirtyy höyrystimestä lauhduttimeen. Kompressorit jaotellaan kolmeen eri ryhmään kompressorin rakenteen mukaan, joita ovat hermeettiset, puolihhermeettiset ja avokompressorit.

Kompressorit voivat olla tyypiltään mäntäkompressoreita, pyörivämäntäisiä kompressoreita, kiertomäntäkompressoreita tai turbokompressoreita. (Kaappola ym. 2014, 50.)

Hermeettisissä kompressoreissa sähkömoottori ja kompressorin osat ovat tiiviin, hitsatun kuoren sisällä. Sähkömoottori ja siihen liittyvät kompressorin osat ovat ulkokuoren sisällä jousien varassa, jotta männän edestakaisten liikkeiden aiheuttamat värinät vaimenisivat. Sähkömoottorin akseli toimii myös kompressorin kampiakselina. Kiertokanki on laakeroitu akseliin epäkeskosti, jolla saadaan aikaan männän edestakainen, pumppaava liike sylinterissä. Höyrystimeltä tuleva kylmäainehöyry johdetaan kompressorin kuoren sisälle, jossa se jäädyttää sähkömoottoria. Höyry imetään sylinteriin, jossa mäntä pumppaa sen paineputkeen kompressorin kuoren läpi kohti lauhdutinta. Hermeettisiä kompressoreita käytetään kotitalouksien kylmälaitteissa, kuten jääkaapeissa ja pakastimissa, pienissä kaupan kylmälaitteissa ja kylmähuoneissa, ilmastoinnin jäähdytyskoneissa ja lämpöpumpuissa. (Kaappola ym. 2014, 51.)

Puolihermeettisissä kompressoreissa moottori ja kompressorin osat ovat avattavan kuoren sisällä, joten tämän tyyppinen kompressorin osat on korjattavissa. Puolihermeettisiä kompressoreita käytetään ilmastoinnin ja prosessien vedenjäähdytyskoneistoissa sekä kaupan kylmäkoneistoissa. (Kaappola ym. 2014, 52.)

Avokompressoreissa käyttövoima tuodaan akselilla kompressorin kuoren läpi. Voima siirretään moottorilta kompressorin hihnan tai akselikytkimen välityksellä. Avokompressorin tyypillisiä käyttökohteita ovat ajoneuvojen ilmastoinnin jäähdytyskoneistot ja kuormatilojen kylmäkoneistot sekä teolliset kylmäkoneistot. (Kaappola ym. 2014, 53.)

2.7.4 Paisuntalaite

Kylmäkoneistossa paisuntalaitteen tehtävä on säätää höyrystimelle syötettävän nesteytynyttä kylmäainetta, jotta kompressorille menee täysin höyrystynyttä kylmäainekaasua. Paisuntalaitteen toisena tehtävänä on laskea lauhduttimelta tule-

van nestemäisen kylmäaineen painetta varmistaen kylmälaitoksen korkea- ja matalapainepuolen välillä oleva paine-ero. (Kylmäextra: Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy 2020.)

Yksinkertaisimpia paisuntalaitteita toiminnaltaan ovat kapilaariputki ja käsisäätoventtiili, joissa ei ole virtausta jatkuvasti säätävää osaa, vaan ne aiheuttavat painehäviön nesteen virtaukseen. Kapilaariputki on pitkä putki, jonka sisähalkaisija on pieni ja sen painehäviötä pystytään säätämään putken pituudella. Käsisäätoventtiili on venttiili, minkä suutinta pystytään säätämään manuaalisesti. Haittapuolina näissä paisuntalaitteissa on käynninaikaisissa muutoksissa jäähdytystehontarpeessa eivät vaikuta kylmäaineen ruiskutukseen höyrystimeen. (Nydal 2008, 107–108.)

Mekaaninen termostaattinen paisuntaventtiili on omatoiminen paisuntalaite, jonka avulla säädetään kylmäaineen ruiskutusta höyrystimelle kylmäaineen tulistuksen mukaan (kuva 7). Tulistuksen kasvaessa kylmäainetta syötetään enemmän, mikä laskee tulistusta. Vastaavasti tulistuksen vähentyessä kylmäainetta syötetään vähemmän, jolloin tulistus nousee ja varmistetaan ettei höyrystimeltä pääse läpi nestemäistä kylmäainetta kompressorille. Termostaattinen paisuntaventtiili mittaa lämpötilaa höyrystimen jälkeen ulkoisella tuntoelimellä, jonka sisällä tapahtuvat paineenmuutokset välittyvät paisuntaventtiilille, jonka perusteella suuttimen avautumisaste säätyy. Sen kylmäaineen syöttöön vaikuttaa tuntoelimen paine, paine ennen höyrystintä ja tulistumisen säätämiseen käytettävän jousen voima. (Aittomäki 2012, 214–215.)



KUVA 7. Termostaattinen paisuntaventtiili (Hakala & Kaappola 2020, 128).

Elektroniset paisuntaventtiilit jaetaan pulssisäädöllä toimiviin ja jatkuvasti säätyviin venttiileihin. Pulssisäätöiset venttiilit ovat magneettiventtiili -tyyppisiä, joiden toimintajaksot ovat vakipituisia, jonka aikana se on kerran auki ja kerran kiinni. Kylmäaineen syöttöä säädetään pulssin pituutta muuttamalla. Jatkuvasti säätyvissä venttiileissä on askelmoottori, joka avaa venttiiliä portaattomasti. Elektroniset paisuntaventtiilit tarvitsevat säätimen, lämpötila-antureita sekä painelähettimen. Säädin ohjaa sähköisesti toimivaa venttiiliä höyrystimen jälkeisen lämpötila- ja paine-eron mukaan. (Aittomäki 2012, 217–218.)

3 KYLMÄLAITOKSEN SUUNNITTELUPROSESSI

Kylmälaitoksen suunnittelu aloitetaan keräämällä lähtötietoja, joiden avulla selvitetään kohteen jäähdytystarve. Jäähdytystarpeen arvioinnin jälkeen mitoitetaan ja valitaan kylmälaitoksen pääkomponentit sekä tehdään putkistomitoitus. Näiden tietojen avulla voidaan tehdä muut tarvittavat suunnitelmat, kuten putkikaaviot, laiteluettelot, sähkösuunnitelmat ja kylmähajakuivat, joista ilmenee komponenttien mukaan lukien sähkökeskuksien sijainnit ja muut vastaavat tiedot. Sähkösuunnitteludokumentteihin sisältyy keskuksien piirikaaviot, luettelot ja selostukset sekä kaapelointikaaviot. Hyvin ja huolellisesti tehty dokumentaatio osoittaa ja takaa, että järjestelmään liittyvät turvallisuus-, ympäristö- ja laatuvaatimukset on täytetty.

Kun työskentelytilana on jäähdytetty tila, rakennusmääräyskokoelma D2 edellyttää, että huonetilan oleskeluvyöhykkeellä ei saa esiintyä häiritsevää melua tai vetoa, eikä myöskään muita terveyteen, suorituskykyyn tai viihtyvyyteen huomattavasti vaikuttavia tekijöitä, kuten lämpötilaeroja (Ympäristöministeriö: rakentamismääräyskokoelma D2 2003). Tämä pitää huomioida muun muassa höyrystimien valinnassa ja mitoituksessa sekä lämpökuorman vähentäminen niin, että jäähdytystehontarve olisi mahdollisimman pieni.

3.1 Jäähdytystarpeen arviointi

Kylmäkoneiston komponenttien mitoitus ja valinta perustuu jäähdytystehontarpeen arviointiin. Mitoitus voidaan tehdä kahdella eri tavalla: laskea vuorokautisen keskiteho tai tuntikohtaisen huipputeho. Jälkimmäistä tapaa käytetään tapauksissa, joissa kuormituksen ajoitus pystytään arvioimaan melko tarkasti, esimerkiksi pakastamoissa. Vuorokautisen keskitehon laskentatapaa käytetään, kun kuormituksen ajoittumista ei pystytä tarkasti arvioimaan. Tätä tapaa käytetään yleensä kylmä- ja pakkashuoneiden sekä kylmä- ja pakkasvarastojen jäähdytystehontarvetta laskiessa. Tällöin lasketaan kohteesta poistettava kokonaislämpömäärä, joka jaetaan valitun kompressorin vuorokautisella käyntiajalla sekä kerrotaan varmuuskertoimella. Vuorokautisen käyntiajan valintaan vaikuttaa se,

kuinka tasainen jäähdytettävän kohteen kuormitus on ja miten höyrystimen sulatus toteutetaan. (Aittomäki 2012, 287.)

Kylmälaitoksen suunnittelussa käytetään usein valmiita, liitteen 1 mukaisia laskentapohjia kylmätehontarpeen määrittämiseen työn nopeuttamiseksi ja virheiden minimoimiseksi.

3.1.1 Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto

Rakenteiden läpi tapahtuva lämpövuoto johtuu ulkolämpötilasta ja auringon säteilystä. Seinämien kautta tapahtuva lämpövuoto Q_1 (kWh/vrk) lasketaan kaavan 2 avulla,

$$Q_1 = U \cdot A \cdot (T_u - T_s) \cdot 24 \frac{h}{vrk} / 1000 \quad (2)$$

missä U on rakenteen U-arvo ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), A on seinän pinta-ala (m^2), T_u on ulkolämpötila ($^\circ C$) ja T_s on sisälämpötila ($^\circ C$).

Taulukossa 1 on esitetty rakenteen U-arvoja eri eristevahvuuksille ja eristeille. Arvoissa on otettu huomioon käytännön rakenteissa, esimerkiksi oviaukoissa, ovissa ja saumoissa esiintyvät kylmäsillat. (Hakala & Kaappola 2011, 35).

TAULUKKO 1. Rakenteen U-arvoja erilaisille eristeille ja eristevahvuuksille. (Hakala & Kaappola 2011, 35).

Paksuus	Polyuretaani	Polystyreeni	Vuorivilla
50 mm	0,45 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,60 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,80 $W/m^2 \cdot ^\circ C$
75 mm	0,30 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,40 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,60 $W/m^2 \cdot ^\circ C$
100 mm	0,25 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,30 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,50 $W/m^2 \cdot ^\circ C$
150 mm	0,20 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,20 $W/m^2 \cdot ^\circ C$	0,35 $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Eristämättömän maanvastaisen lattian U-arvo on yleensä 0,7 - 0,9 W/m²°C. Jos kohteen seinät tai katto ovat suoraan ulkoilmassa, pitää lämpökuormalaskennassa ottaa huomioon auringon säteilyn vaikutus. Sen vaikutus voidaan arvioida lisäämällä rakenteen ulkolämpötilaan taulukon 2 mukaisesti.

TAULUKKO 2. Auringon säteilyn vaikutus lämpökuormalaskelmaan (Hakala & Kaappola 2011, 35).

	Itä	Etelä	Länsi	Tasakatto
Tumma pintaväri	+5 K	+3 K	+5 K	+11 K
Harmaa	+4 K	+3 K	+4 K	+9 K
Vaalea pintaväri	+3 K	+2 K	+3 K	+5 K

3.1.2 Oven kautta tapahtuva ilmanvaihto

Paljon käytetyissä kylmähuoneissa ilmanvaihto ovien kautta ovien avauksien aikana voi olla tarpeettoman suuri, jonka takia se tarvitsee huomioida laskiessa kylmätehontarvetta. Oven kautta tapahtuva ilmanvaihto voidaan arvioida Bäckströmin kaavalla

$$n_i = 70/\sqrt{V} \quad (3)$$

missä n_i on ilmanvaihto oviaukon kautta (krt/vrk) ja V on varaston tilavuus (m³). Bäckströmin kaava antaa yleensä pieniin varastoihin liian pienen ilmanvaihdon arvon. Kaava antaa myös liian pienen arvon tukkuvarastoihin ja muihin varastoihin, joissa tavara vaihtuu nopeasti. Alle 50 m³:n varastoissa kylmätehontarve kannattaa laskea joko kokemusperäisten tehontarvetaulukoiden tai -käyrästöjen avulla. Kohteissa, joissa tuotevaihtuvuus on suuri tai käyttäjällä ei ole tarpeeksi ammattitaitoa, voidaan kaavaan lisätä kokemusperäisen korjauskertoimen k . Tällöin oven kautta tapahtuva ilmanvaihto Q_2 (kWh/vrk) lasketaan kaavan 4 avulla

$$Q_2 = k_i \cdot n_i \cdot V \cdot \rho_s \cdot (h_u - h_s)/3600 \quad (4)$$

missä k_i on kokemusperäinen korjauskerroin (1-3), n_i on ilmanvaihtokertojen lukumäärä (krt/vrk), V on varaston tilavuus (m³), ρ_s on varaston sisäilman tiheys

(kg/m^3), h_u on ilman entalpia varaston oven ulkopuolella (kJ/kg) ja h_s on varaston sisäilman entalpia (kJ/kg). (Hakala & Kaappola 2011, 35.)

Oven kautta tapahtuvaa ilmanvaihdon aiheuttamaa kuormitusta voidaan pienentää oviverholla tai liuskaverholla noin 50-70 %. Oven kautta tapahtuvan ilmanvaihdon laskelmissa pitää ottaa huomioon kaikkien ovien lämpökuormat. (Hakala & Kaappola 2011, 35.)

3.1.3 Muu ilmanvaihto

Pakkasvarastointiin ei vaadita lainsäädännössä koneellista ilmanvaihtoa. Jäähdytettymiin tiloihin, joissa työskennellään, tulee asentaa ilmanvaihtolaitteisto normaalien suunnitteluperiaatteiden mukaisesti. Vähimmäisilmavirta on tällöin 10 l/s yhtä henkilöä kohti. Jos henkilökuormitus ei ole tiedossa, tulee ilmanvirran olla vähintään 1,5 l/s neliometriä kohti. Rakentamismääräyskokoelman osa D2 edellyttää yli neljän neliömetrin ruuan valmistus- ja säilytystiloilta poistoilmavirtaa 0,2 l/s neliometriä kohti ja jäähdytetyiltä jätetuoneilta poistoilmavirtaa 2 l/s neliometriä kohti. (Hakala & Kaappola 2011, 36.)

Koska jäähdytettävän tilaan tulee tuloilman mukana lämpö- ja kosteuskuormaa, tuloilma tulee jäähdyttää. Ilman tuloilman jäähdytystä, kosteuskuorma aiheuttaa höyrystimien voimakasta jäätymistä varsinkin kesällä. Laskelmissa pitää ottaa huomioon tuloilman lämpökuorma, jos sitä ei ole jäähdytetty. (Hakala & Kaappola 2011, 36.)

Pienissä varastoissa riittää ovien avauksien yhteydessä tapahtuva ilmanvaihto kattamaan tarvittava ilmanvaihto. Tuoretuotevarastoinnissa koneellinen ilmanvaihto voi olla tarpeen tuotteiden säilyvyyden kannalta, jos varastointi on pitkäaikaista ja niiden hengittämisen ja hiilidioksidituoton takia. Koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama lämpökuorma Q_3 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 5 avulla

$$Q_3 = V_i \cdot \rho_s \cdot (h_u - h_s) \cdot 24 \text{ h/vrk} \quad (5)$$

missä V_i on ilmavirta (m/s), ρ_s on varaston sisäilman tiheys (kg/m³), h_u on ulkoilman entalpia (kJ/kg) ja h_s on varaston sisäilman entalpia (kJ/kg). (Hakala & Kaappola 2011, 36.)

3.1.4 Tuotteiden hengityslämpö

Hedelmät, marjat ja vihannekset jatkavat vielä jäähdytettyinäkin kypsyminenvaihduntaa, jolloin ne tuottavat lämpöä. Tämä niin sanottu tuotteiden hengityslämpö on riippuvainen lämpötilasta ja kypsyyssasteesta. Tuotteiden hengityslämpökuorma Q_4 voidaan laskea kaavan 6 avulla

$$Q_4 = m_k \cdot h_t / 3600 \quad (6)$$

missä m_k on varastoitavien tuotteiden kokonaismassa (kg) ja h_t on tuotteen hengityslämpö (kJ/kg/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 36.)

3.1.5 Tuotevaihto

Tuotevaihdon arviointiin voi käyttää kokemuseräisiä varaston pohjapinta-alaan perustuvia tuotevaihdon arviointitaulukoita (taulukko 3), ellei tarkkoja arvoja tuotevaihtuvuudesta ole saatavilla.

TAULUKKO 3. Tuotevaihdon arviointiin tarkoitettu taulukko (Hakala & Kaappola 2011, 36).

Varastotyyppi	Tuotevaihto vuorokaudessa
Talousskellari	6 kg/m ²
Kylmävarasto	50 kg/m ²
Tukkuvarasto	100-150 kg/m ²

Jos tarkempia tietoja varastoitavista tuotteista ei ole, keskimääräisenä ominaislämpönä voidaan käyttää ennen jäätymistä 3,5 kJ/kg°C ja jäätyksen jälkeen 1,7 kJ/kg°C. Tuotevaihdon tuottama lämpökuorma Q_5 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 7 avulla

$$Q_5 = m_V \cdot c_p \cdot (T_t - T_s) / 3600 \quad (7)$$

missä m_V on tuotevaihto (kg/vrk), c_p on tuotteen ominaislämpö (kJ/kg°C), T_t on tuotteen tulolämpötila (°C) ja T_s on tuotteen varastointilämpötila (°C). (Hakala & Kaappola 2011, 36.)

3.1.6 Henkilöiden luovuttama lämpö

Henkilöiden keskimääräisinä lämmönluovutusarvoina voidaan käyttää taulukon 4 arvoja.

TAULUKKO 4. Henkilön luovuttama lämpö lämpötilan mukaan (Hakala & Kaappola 2011, 37).

Lämpötila	Henkilön luovuttama lämpö
+10°C	0,2 kW/hlö
+0 °C	0,3 kW/hlö
-20 °C	0,4 kW/hlö

Henkilöiden tuottama lämpökuorma Q_6 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 8 avulla

$$Q_6 = n_h \cdot P_h \cdot t_t \quad (8)$$

missä n_h on henkilömäärä (kpl), P_h on henkilön luovuttama lämpö (kW/hlö) ja t_t on vuorokautinen työskentelyaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 37.)

3.1.7 Valaistus

Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma riippuu valaistusvoimakkuudesta ja käytetystä valaisintyypistä. Hehkulamppujen aiheuttama lämpökuorma on noin 0,5 kertaa valaistusteho lukseina ja loisteputkilla lämpökuorma on noin 0,05 kertaa valaistusteho lukseina. Loisteputkivalaisimien lämpökuorma on yleensä 5-25 W/m². Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma Q_7 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 9 avulla

$$Q_7 = A \cdot P_V \cdot t_V / 1000 \quad (9)$$

missä A on varaston pinta-ala (m²), P_V on valaistusteho (W/m²) ja t_V on valaistuksen vuorokautinen käyttöaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 37.)

3.1.8 Laitekuormitus

Laitekuormituksessa huomioidaan käytettävien laitteiden, kuten trukkien, lihamyllyjen ja vakuumikoneiden tuomat lämpökuormat. Trukin tuoma lämpökuorma on yleensä 5-7 kW. Lihamyllyjen, vakuumikoneiden ja muiden erikoislaitteiden lämpökuormat pitää selvittää tapauskohtaisesti. Lämpökuorman pystyy usein arvioimaan sähkölaitteen kilpitedoissa ilmoitetun nimellisen sähkötehon (kW) mukaan. Laitteiden aiheuttama lämpökuorma Q_8 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 10 avulla

$$Q_8 = n_l \cdot P_l \cdot t_l \quad (10)$$

missä n_l on laitteiden lukumäärä (kpl), P_l on laitteiden luovuttama lämpö (kW) ja t_l on laitteiden vuorokautinen käyttöaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 37.)

3.1.9 Puhaltimet

Höyrystinpuhaltimien tuottama lämpökuorma tulee niiden ottamasta sähkötehosta. Se muuttuu kokonaan lämmöksi, koska puhallin saattaa ilman molekyylit

liikkeelle ja myös niiden välinen hankauskitka tuottaa lämpöä. Puhaltimien tuottama lämpökuorma Q_9 (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 11 avulla

$$Q_9 = n_p \cdot P_p \cdot t_p \quad (11)$$

missä n_p on puhaltimien lukumäärä (kpl), P_p on puhaltimien sähköverkosta ottama teho (kW) ja t_p on puhaltimien vuorokautinen käyntiaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 37.)

3.1.10 Sähkösulatus

Sähkösulatuksen aiheuttama lämpökuorma on noin 30 % sulatusvastuksien ottamasta sähkötehosta. Sulatus tapahtuu yleensä 2-4 kertaa vuorokaudessa, 15-30 minuutin jaksoissa. Sähkösulatuksen lämpökuorma Q_{10} (kWh/vrk) voidaan laskea kaavan 12 avulla

$$Q_{10} = 0,3 \cdot P_s \cdot t_s \quad (12)$$

missä P_s on sulatusvastuksien ottama sähköteho (kW) ja t_s on vuorokautinen sulatusaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 38.)

3.1.11 Kokonaiskylmäntehontarve

Varmuuserrointa käytetään huomioimaan laskennassa olevia epävarmuustekijöitä. Yleensä varmuuskertoimenä käytetään arvoa 1,1-1,3.

Vuorokautisina käyntiaikoina käytetään yleensä taulukon 5 arvoja.

TAULUKKO 5. Vuorokautiset käyntiajat eri käyttökohteissa (Hakala & Kaappola 2011, 38).

Huonelämpötila +2...+6°C, sulatus ilmalla	Käyntiaika
Luonnollisen ilmankierron höyrystimet	14-16 h/vrk
Puhallinhöyrystimet	16 h/vrk
Huonelämpötila alle +2°C, sulatus sähköllä tai kuumakaasulla	
Kylmävarastot (sähkösulatus)	16-18 h/vrk
Kylmävarastot (kuumakaasusulatus)	18-20 h/vrk
Pakastevarastot (sähkösulatus)	18-20 h/vrk
Pakastevarastot (kuumakaasusulatus)	20-22 h/vrk

Kylmäkoneiston yhteenlaskettu kylmätehontarve Φ (kW) voidaan laskea kaavan 13 avulla

$$\Phi = Q_{kok} \cdot k_k \cdot t_k \quad (13)$$

missä Q_{kok} on varaston kokonaiskylmäntarve $Q_1+Q_2...+Q_{10}$ (kWh/vrk), k_k on varmuuskerroin ja t_k on koneiston vuorokautinen käyntiaika (h/vrk). (Hakala & Kaappola 2011, 38.)

3.2 Pääkomponenttien mitoitus

Kylmälaitosjärjestelmät ja niiden komponentit on suunniteltava, valmistettava ja rakennettava siten, että ihmisille, omaisuudelle ja ympäristölle aiheutuvat vaarat poistetaan. Komponenttien ja putkistojen on noudatettava asianmukaisia standardeja, jotka ovat esitetty liitteessä 2. (SFS-EN 378-2 2016, 12.)

Kuten kylmälaitosstandardi SFS-EN 378-2 edellyttää, kylmäainejärjestelmän kaikki osat tulee suunnitella ja valmistaa niin, että ne ovat tiiviitä ja kestäviä käytön, pysähdysten ja kuljetuksen aikana mahdollisesti ilmenevät paineet ja odo-

tettavissa olevat lämpö-, fysikaaliset ja kemialliset kuormitukset (Hakala & Kaappola 2011, 65). Suurin sallittu paine tulee määrätä ottaen huomioon ympäristön lämpötila, auringon säteily, järjestelmän likaantuminen, mahdollisten lauhtumatomien kaasujen muodostumiset, käyttötarkoitus, paineenrajoituslaitteen asetus, sulatusmenetelmä sekä kuljetusolosuhteet Suurimman sallitun käyttöpaineen minimiarvo tulee minimisuunnittelulämpötiloja vastaavan laitoksessa käytettävän kylläisen kylmäaineen paineen mukaan. Minkään kylmäjärjestelmän komponentin suunnittelupaine ei saa alittaa koneiston tai sen osan suurinta sallittua painetta. (SFS-EN 378-2 2016, 21). Taulukossa 6 on esitetty standardin SFS-EN 378-2:2016 mukaiset suunnittelulämpötiloja vastaavat mittaripaineiden arvot.

TAULUKKO 6. Standardin SFS-EN 378-2:2016 mukaiset suunnittelulämpötiloja vastaavat mittaripaineen arvot (Hakala & Kaappola 2011, 65).

Kylmäaine	Suunnittelu- paine +32°C	Suunnittelu- paine +43°C	Suunnittelu- paine +55°C	Suunnittelu- paine +63°C
R134A	7,15bar	10,01bar	13,91bar	17,04bar
R407C	11,42bar	15,64bar	21,42bar	26,04bar
R404A	13,93bar	18,53bar	24,72bar	29,65bar
R410A	18,96bar	25,18bar	33,54bar	40,03bar
R717	11,38bar	15,89bar	22,24bar	27,12bar

3.2.1 Kompressorien mitoitus

Kompressorit valitaan valmistajien käyrästöjen, tehotaulukoiden ja valintaohjelmien mukaan ja niiden lukumäärä riippuu tarvittavasta tehosta, osatehojen tarpeesta, kilpailutilanteesta sekä halutusta käyttövarmuudesta. Kompressorin mitoitus tehdään kompressorityypin valinnan, käytettävän kylmäaineen, tarvittavan kylmätehon, höyrystymis- ja lauhtumislämpötilan kompressorilla, imukaasun lämpötilan sekä paisuntalaitteelle tulevan kylmäainenesteen lämpötilan mukaan. (Hakala & Kaappola 2011, 67.)

3.2.2 Lauhduttimien mitoitus

Lauhduttimien mitoitus tehdään lauhdutustavan ja lauhdutettavan väliaineen, kylmäaineen, lauhdutustehontarpeen, lauhtumislämpötilan lauhduttimella, lauhduttimelle tulevan lauhdutettavan väliaineen lämpötilan, lauhdutettavan väliaineen lämpötilan muutoksen, suurimman sallitun äänitason ja lauhduttimessa tapahtuvan lauhdutettavan väliaineen painehäviön perusteella. (Hakala & Kaappola 2011, 71.) Lauhdutustehon Q_l lasketaan kaavalla 14

$$Q_l = Q_j + Q_k \quad (14)$$

missä Q_j on kompressorien jäähdytysteho ja Q_k on kompressorien ottama sähköteho. Lauhdutustehontarvetta laskiessa pitää käyttää korkeinta käytännössä esiintyvää höyrystymislämpötilaa. Lauhduttimen tehon pitää olla riittävä myös silloin, kun tuotteen tai tavarän jäähdytys tai pakastus alkaa sulatusjakson jälkeen sekä mahdollisen sähkökatkon jälkeen, kun koneisto käy korkeammalla höyrystymislämpötilalla. (Hakala & Kaappola 2011, 71). Alla olevassa taulukossa on esitetty lauhtumistehon laskennassa käytettäviä höyrystymislämpötilan arvoja eri käyttökohteissa sekä mitoitus höyrystymislämpötila kompressorin mitoituksessa.

TAULUKKO 7. Lauhduttimien ja kompressorien mitoituksessa käytettäviä höyrystymislämpötiloja eri käyttökohteissa (Hakala & Kaappola 2011, 71).

Käyttökohde	Kompressorien mitoituksessa käytettävä höyrystymislämpötila	Lauhduttimien mitoituksessa käytettävä höyrystymislämpötila
Kaupallinen jäähdytys	-10° ... -5°C	-5° ... 0°C
Jäähdytyshuoneet	-10° ... 0°C	0° ... 10°C
Pakastuhuoneet	-28° ... -30°C	-20°C
Pakastekalusteet	-35° ... -37°C	-20° ... -25°C
Pakastustunnelit	-35° ... -40°C	-25° ... -30°C

Ilmajäähdytteisissä lauhduttimissa on pääsääntöisesti vähintään kaksi puhallinmoottoria, pois lukien hyvin pienet lauhduttimet. Puhaltimien lukumäärän lisääminen parantaa lauhduttimen käyttövarmuutta ja lauhdutintehonsäätö talviolioissa parantuu. Puhallinvalinnalla on iso merkitys lauhduttimen hankintahintaan, sen ulkomittoihin, äänitasoon sekä käyttökustannuksiin. (Hakala & Kaappola 2011, 74.) Puhaltimen tuottama ilmavirta V on suoraan verrannollinen sen pyörimisnopeuteen, puhaltimien paineenkehitys dp on verrannollinen pyörimisnopeuden neliöön ja puhaltimien tehontarve on verrannollinen pyörimisnopeuden kuutioon eli jos puhaltimien pyörimisnopeus kasvaa kaksinkertaiseksi, ilmavirta kasvaa kaksinkertaiseksi, paineenkehitys nelinkertaiseksi ja puhaltimien ottama teho kasvaa kahdeksankertaiseksi. Taulukossa 8 on vertailtu 4 eri lauhduttimen puhallinvalinnan vaikutus lauhduttimen kokonaisenergian kulutukseen. Lauhduttimien käyttöikä on arvioitu 10 vuotta, puhaltimien käyttöasteeksi 30 % ja sähkön hinnaksi 5,6 snt/kWh. Taulukossa ei ole huomioitu mahdollista sähkön hinnan nousua.

TAULUKKO 8. Puhallinvalinnan vaikutus energiankulutukseen (Hakala & Kaappola 2011, 74).

Lauhdutus-teho noin 200kW	Puhaltimien pyörimisno- peus	Äänen Painetaso 10	Puhaltimien ottoteho	Energiakus- tannukset 10 v aikana	Hankintahinta	Hintaero halvempaan
Lauhdutin 1	950 rpm	63 dB (A)	3 kW	12 463 €	5 630 €	0 €
Lauhdutin 2	720 rpm	56 dB (A)	1,4 kW	6 056 €	6 630 €	700 €
Lauhdutin 3	560 rpm	50 dB (A)	0,75 kW	4 207 €	7 630 €	1 700 €
Lauhdutin 4	470 rpm	47 dB (A)	0,62 kW	3 427 €	8 30 €	2 400 €

Kuten taulukosta 8 nähdään, että on merkittävästi kannattavampaa laitteiden hankintavaiheessa investoida pienempään puhallinenergiaan, jolla sen takaisinmaksuaika voi pienentyä huomattavasti. Tällöin vastaavasti äänitasojen las-
kiessa puhaltimien heittopituudet lyhenevät, joka vaikuttaa heikkenevästi suurten lämpömäärien siirtämistä ympäristöön (Hakala & Kaappola 2011, 75).

Nestejäähdytteisinä lauhduttimina käytetään yleisesti moniputki-, levy- ja koak-
saalilauhduttimia. Niiden mitoittamiseen vaikuttaa käytettävä kylmäaine, lauhdu-
tusteho, tulevan ja lähtevän nesteen lämpötila, nestepuolen suurin sallittu paine-
häviö sekä nestepuolen likaantumisvastus. (Hakala & Kaappola 2011, 77.)

3.2.3 Höyrystimien mitoitus

Höyrystimiä mitoittaessa tulee ensimmäiseksi valita, käytetäänkö luonnollisen ilmankierron höyrystintä vai puhallinhöyrystintä. Höyrystimen jäähdytystehoon vaikuttaa sen lämmönläpäisykerroin, lämmönsiirto-osan ulkopinta-ala ja logaritminen lämpötilaero. Höyrystymien mitoitukseen vaikuttaa höyrystimelle tulevan ilman ja kylmäaineen höyrystymislämpötilan välinen lämpötilaero ΔT_1 , tulevan ilman lämpötila ja kosteus, höyrystimen lamellijako, koko, puhaltimet ja sulatus-tapa. Höyrystymislämpötilan ja ilman välisen lämpötilaero valitaan halutun suhteellisen kosteuden ja taloudellisuuden mukaan. (Hakala & Kaappola 2011, 78.)

Höyrystimien lamellijakoa valittaessa perussääntönä pidetään, että mitä suurempi kosteus tilassa on, sitä isompi lamellijako tulisi olla tiloissa, joissa höyrystimen pintalämpötila on alle 0°C , koska tällaisessa olosuhteissa lamellien pinnalle kertyy jäätä ja huuretta, mikä heikentää lämmönsiirtoa ja pienentää höyrystimen läpi kulkevaa ilmavirtaa. Pientä lamellijakoa voidaan kompensoida useammalla sulatuksella, joka nostaa laitoksen energiankulutusta huomattavasti. (Hakala & Kaappola 2011, 79.)

3.2.4 Paisuntaventtiilin valinta ja mitoitus

Paisuntaventtiilin valinta tehdään käytettävän kylmäaineen, kylmätehon, höyrystymislämpötilan, lauhtumislämpötilan, alijäähtymisen sekä tehon vaihtelujen mukaan. Paisuntaventtiilin mitoituksessa on otettava huomioon, että kaikki paisuntaventtiilit eivät toimi osatehoilla sekä sitä ei yleisesti ottaen kannata ylimitoitaa, koska paisuntaventtiilit toimivat parhaiten lähellä niiden maksimitehoa. (Hakala & Kaappola 2011, 122-124.)

3.3 Putkimitoitus

Putkiston mitoituksessa tulee varmistaa, että painehäviö on riittävän pieni, mutta putkiston hinta varusteineen tulee olla kohtuullinen, öljyn palautus tulee olla turvattu kompressorille, eikä öljyä saa kerääntyä mihinkään osaan kylmälaitosta

sekä höyrystimille pitää saada sopiva kylmäainesyöttö ja nestelinjassa ei saa tapahtua höyrystymistä. Näihin pystytään vaikuttamaan muun muassa asennustavoilla, painehäviöillä ja virtausnopeuksilla. (Puranen, Juvela & Kaappola 2020.)

Kylmälaitoksien putkistossa tapahtuva painehäviö ilmoitetaan sitä vastaavan lämpötilan muutoksena kylmäaineen kyllästysalueella. Painehäviötä syntyy esimerkiksi putkissa kitkan vaikutuksesta, putkien osissa ja varusteissa. Putkiston mitoituksen tarkoitus on löytää paras mahdollinen ratkaisu taloudellisuuden, kylmäkoneöljyn ja painehäviöiden kannalta. Putkiston osia ovat paineputki, joka menee kompressorilta lauhduttimelle, lauhdeputki, joka menee lauhduttimelta paisuntalaitteelle, nesteputki, joka menee paisuntalaitteelta höyrystimelle, imuputki, joka menee höyrystimeltä kompressorille, ohjausputket sekä öljyputket. (Hakala & Kaappola 2011, 51.)

Imuputken virtausnopeukseen vaikuttaa käytettävä kylmäaine, höyrystymis- ja lauhtumislämpötila sekä jäähdytysteho. Virtausnopeus imuputkessa on yleensä 10-25 m/s. Imuputken painehäviön lisäys johtaa siihen, että kompressorin pitää toimia alemmalla imupaineella, jolloin saavutetaan höyrystimellä haluttu höyrystymislämpötila. Tämän takia kompressorin painesuhde kasvaa ja kompressorin puristuksen loppulämpötila nousee sekä imuhöyryn ominaistilavuus kasvaa, mikä pienentää sen massavirtaa ja sitä kautta kylmäteho myös pienenee. Kompressorin mitoittamiseen siis imuputken painehäviöiden verran matalammalla höyrystymislämpötilalla kuin höyrystin, jotta imuputkeen voidaan varata sen mitoitettu painehäviö. (Puranen ym. 2020.)

Paineputken virtausnopeuteen vaikuttaa samat muuttujat, kuin imuputken virtausnopeuteen ja paineputken virtausnopeus on yleensä 5-15 m/s. Paineputken painehäviö kasvattaa kompressorin puristussuhdetta, jolloin sen puristuksen loppulämpötila kohoaa ja kompressorin jäähdytysteho pienenee, sen ottama sähköteho kasvaa, jolloin sen hyötysuhde laskee. Kompressorin mitoittamiseen painehäviön vuoksi paineputken painehäviöiden verran korkeampaan lauhtumislämpötilaan kuin lauhdutin. (Puranen ym. 2020.)

Lauhdeputki lauhduttimelta varaajalle mitoitetaan niin, että lauhtunut kylmäaine saadaan helposti valumaan staattisen korkeuseron avulla varaajalla. Lauhdeputki yleensä mitoitetaan yhtä putkikokoa paineputkea pienemmäksi. Eräs ilmoitettu maksimi virtausnopeus lauhdeputkessa on 0,5 m/s. Isoilla tehoilla tämä sallii suuren putkikoon ja tällöin lauhdeputki käytännössä voidaan mitoittaa jopa kahta putkikokoa nesteputkea pienemmäksi. (Puranen ym. 2020.)

Nesteputken painehäviön kasvattaminen pienentää paisuntaventtiilillä käytettävää paine-eroa sekä kylmäaine saattaa höyrystyä jo ennen paisuntaventtiiliä, jolloin paisuntaventtiilin toiminta häiriintyy (Hakala & Kaappola 2011, 52). Nesteputken mitoituksessa on myös otettava huomioon korkeuseron aiheuttama painehäviö. Nestelinjan pystylinjassa nestepatsas aiheuttaa staattisen painehäviön, joka aiheuttaa nesteen höyrystymistä. Tämä painehäviö ja nesteputken ja sen varusteiden aiheuttama painehäviö yhteensä on alijäähtymistä vastaavaa paine-eroa suurempi. (Puranen ym. 2020.)

Kuten tämän luvun alussa todettiin, putkistomitoituksella tulee varmistaa öljynpalautus kompressorille. Vaikka koneisto olisi öljynerotin, pääsee siitä huolimatta noin 1-3 % öljyä putkistoon, jolloin öljyn ainoa paluureitti takaisin kompressorille on imuputki. Jotta öljy saadaan kulkemaan putkistoissa, pitää kaasulla olla riittävä virtausnopeus, jos kylmäaine ja öljy eivät ole täysin lienneet toisiinsa. Öljyn kulkua putkistossa voidaan parantaa kallistamalla noin 0,2-0,5 cm/putkimetri kaasulinjoja virtaussuuntaan päin sekä lisäämällä ennen nousuja öljymutkia. (Puranen ym. 2020.)

Putkimitoitusta tehdessä lisätään todelliseen putkipituuteen putkiston muut niin sanotut kertavastukset, joita on putkien tekemät kaarteet ja mutkat, venttiilit, kuivaimet sekä takaiskuventtiilit. Näiden vaikutus ilmoitetaan taulukoissa ekvivalenttina putkipituutena, joka lisätään todelliseen putkipituuteen. Käytännössä usein todellinen putkipituus kerrotaan kertoimella 1,5, jolloin saadaan ekvivalentti putkipituus, jossa on huomioitu eri osien painehäviöt. Kun mitoitus tehdään taulukoiden avulla, huomioidaan taulukon laadinnassa käytetyt arvot ja korjata niitä tarvittaessa korjauskertoimilla. (Puranen ym. 2020.)

4 VAKIOKUVAPANKKI

Opinnäytetyön tarkoituksena on kehittää ja tehostaa toimeksiantajan pienten kylmälaitosprojektien suunnitteluprosessia yhdenmukaisemmaksi. Tämän avulla voidaan helpottaa ja tehdä yrityksen tarjouslaskentaa kustannustehokkaammaksi. Tässä luvussa kerrotaan vakiokuvapankin sisällöstä ja sen suunnitteluvaiheista.

Tässä opinnäytetyössä vakiokuvapankilla tarkoitetaan dokumenttikirjastoa, joka sisältää mallikaaviopohjia kylmälaitoksien putki- ja piirikaavioista. Vakiokuvapankin tavoitteena on helpottaa ja nopeuttaa kylmälaitosprojektin tarjouslaskentaa. Kylmälaitoksen suunnittelu perustuu periaatetasolla jokaisessa projektissa käytettävään perusmateriaaliin. Sitä voidaan tehostaa luomalla valmiit mallidokumentit vaiheista, jotka ovat kohdetyypeiltään samanlaisia. Käytännölliseksi ja hyväksi todetut sekä tarkastetut mallidokumentit myös pienentävät mahdollisten virheiden määrää eikä virheet kopioidu projektista toiseen. Ongelmana on usein samantyyppisistä projekteista kopioidut suunnitelmapohjat, joita ei ole muokattu uuden projektin mukaiseksi.

Putkikaavioiden mallidokumenttien käyttö suunnittelussa on hieman haasteellista, koska projektikohtaisesti käytettävät laitteet saattavat vaihdella esimerkiksi tyypeiltään ja tehoiltaan. Siksi aluksi luotiin mallikaaviopohjat kylmätehojen, huoneiden lukumäärän ja höyrystymislämpötilan mukaan. Mallikaaviopohjia tullaan päivittämään ja laajentamaan järjestelmien kehittyessä sekä mahdollisesti tarkentamaan tarkemmilla laitetiedoilla ja -luetteloilla.

Sähkökeskusten dokumentoinnissa pystytään hyödyntämään tehokkaasti mallipohjia eli valmiiksi luotuja vakiokuvia. Keskusten piirikaaviot voidaan luokitella kohdetyypeittäin ja käytettävien lämpötilasäätimien mukaan. Vakiokuvaan tarvitsee päivittää vain projektikohtaiset tiedot. Tällä tavalla voidaan varmistaa, että tiedot päivitetään aina kyseisen projektin mukaan eikä virheellisiä tietoja jää kuviin.

Nykyiset käytössä olleet vanhat dokumenttipohjat ovat vanhentuneet ja vakiokuvapankin yhtenä tavoitteena on päivittää aikaisemmin käytössä olleita, toimiviksi todettuja kuvia.

Työ aloitettiin tutkimalla yrityksen arkistoja ja keräämällä vanhoja suunnittelupohjia sekä käytössä olleita piirustuksia. Näistä saatujen tietojen perusteella muodostettiin käsitys siitä, millainen sisältö vakiokuvapankilla tulisi olla. Vakiokuvapankkia on tarkoitus laajentaa myös CO2 kylmälaitoksiin, joka on hyvä ottaa huomioon tehdessä vakiokuvapankkia.

4.1 Piirustushakemisto

Piirustushakemisto on asiakirjaluettelo, josta tarpeen mukaiset dokumentit ovat helposti löydettävissä. Piirustushakemisto luotiin Excel taulukkolaskentaohjelmalla. Piirustushakemisto on jaettu kahdelle välilehdelle, joista löytyy putkikaavioiden ja sähkökuvien piirustusluettelot.

Putkikaaviot on jaettu piirustusluettelossa kylmätehon, huoneiden lukumäärän ja höyrystymislämpötilan perusteella. Lisäksi luettelosta selviää kunkin kuvan luomispäivämäärä, mahdollinen revisio ja sen päivämäärä, viittaus kuvan tiedostoon sekä siihen liittyvä sähkökeskuskuva.

Sähkökuvat on jaettu piirustusluettelossa syötön, höyrystimen puhaltimien lukumäärällä, sähkösulatuksen teholla ja käytettävällä säätimellä.

4.2 Putkikaaviot

Kylmälaitoksen putkistot esitettäessä käytetään kaaviomaista esitystapaa. Putkikaavion eli PI-kaavion tulee standardin SFS-EN 1861 mukaan sisältää tiedot käytettävästä kylmäaineesta, lämmönsiirtoaineesta, tunnusomaiset toimintaolosuhteista, varusteista, koneista, ja muista komponenteista, kuten toimilaitteet, putkistot, siirtimet, venttiilit ja varalle asennettavat laitteet. Lisäksi putkikaaviosta on käytävä ilmi tiedot laiteluetteloa varten, putkiston koko, paineluokka, materiaali ja

tyyppi, lämpöeristys, tarvittavat mittaukset ja ohjaukset sekä varolaitteet (SFS-EN 1861 2001, 4–8) Putkikaaviot eivät ole mittakaavassa piirrettäviä dokumentteja.

4.2.1 Putkikaavioiden laatiminen

Putkikaavioiden laatimiseen käytettiin CADMATIC Ref Standard -ohjelmaa. Se on SFS/PSK- ja CEN-standardien mukainen sovellus kylmäpuolen putkikaavioiden sekä tasokuvien tekoon (CADMATIC n.d.).

Putkikaavioiden piirtämiseen käytettiin A3-kokoista piirustusarkkia. Ref Standard -sovelluksessa on mahdollisuus käyttää ohjattua kaavion luontia tai valmiita mallikaavioita, joita muokkaamalla saadaan haluttu lopputulos. Tässä työssä kaaviot on piirretty itse, koska itselläni ei ollut aikaisempaa kokemusta kyseisen sovelluksen käytöstä. Putkikaavion piirtäminen aloitettiin lisäämällä kuvaan ensiksi kylmälaitoksen pääkomponentit, jonka jälkeen niiden välille piirrettiin putket. Seuraavaksi lisättiin tarvittavat putkivarusteet putkiin. Kun tiettyyn putkeen lisätään jokin putkivaruste, se kääntyy automaattisesti oikein päin putken virtaussuuntaan nähden ja putki katkaistaan myös automaattisesti putkivarusteen alta, liittäen putkivarusteen osaksi putkea. Tämän jälkeen laitteet tyypitetään ja osanumeroidaan, jonka mukaan kuvaan tai ulkopuoliseen tiedostoon ajetaan laiteluettelo. Koska putkikaaviot olivat pienten kylmälaitoksien putkikaavioita ja ylimääräistä tilaa jäi piirustus pohjaan, tulostettiin ne A4-koossa.

4.3 Sähkökeskusten piirikaaviot

Kylmälaitoksen sähkösuunnittelu on yleensä pienjännitelaitteiston suunnittelua, jolla tarkoitetaan vahvavirtalaitteistoa, jonka virtapiirien vaiheen ja maan välinen jännite on maksimissaan 250V. Vakiokuvapankin sähködokumentteja suunnittelussa noudatettiin sähkölaitteistojen yleisiä määräyksiä:

- Sähkölaitteiston mekaaninen ja terminen lujuus on oltava esiintyvää virtaa ja sen vaihteluja sekä laitteen käyttöä vastaava.

- Jännitelujuus ja erityistila on oltava käyttöolosuhteissa esiintyviä jännitteitä vastaava.
- Sähkölaitteisto on tehtävä sellaiseksi, että sen jännitteisiä osia ei voi vahingossa koskea tai se on muilla tavoin estetty.
- Sähkölaitteisto on varustettava suojalaitteilla, jotka suojaavat oikosululta laitteistoa ja käyttäjiä.
- Sähkölaitteisto on tarvittaessa suojattava ylikuormitussuojilla.
- Sähkölaitteiden kotelointiluokat on oltava eri tilaluokituksien mukaiset.
- Kaapelit on mitoitettava ja suojattava kuormituksesta johtuvan lämpenemisen huomioon ottaen kuormitustaulukoiden mukaisesti.
- Sähköverkossa on yleisesti käytettävä TN-S -järjestelmää.

Sähkösuunnitelmat laadittiin standardin SFS-EN 61082-1 mukaisesti, jossa todetaan sähkötekniikan dokumentaation olevan tärkeä järjestelmän hahmottelulle, suunnittelulle, valmistukselle, asennukselle, käytölle, huoltamiselle ja sen purkamiselle. Sen tarkoitus on antaa tietoa tarkoituksenmukaisessa muodossa ja sillä todistetaan sekä varmistetaan, että järjestelmään liittyvät ympäristö-, turvallisuus- ja laatuvaatimukset ovat täytetty (SFS-EN 61082-1 2015, 16).

Kylmälaitos on yleensä osa laajempaa kiinteistöä ja riippuen kylmälaitoksen koosta, kuuluu siihen huonekohtaiset ohjauskeskukset eli huonekeskukset ja mahdollisesti yksi tai useampi ryhmäkeskus sekä näiden ja kylmälaitoksen laitteiden välinen kaapelointi. Lisäksi saatetaan tarvita ohjaukseen, valvontaan ja hälytyksiin liittyviä heikkovirtajohdotuksia (Aittomäki 2012, 361). Kylmälaitosprojekteissa esitetään ryhmä- ja huonekeskusten kytkennät ja rakenne piirikaavioiden avulla. Piirikaaviot ovat sähkötekniisiä dokumentteja, jotka esittävät järjestelmän tai sen osan, laitteen tai asennuksen piirit. Piirikaavioissa esitetään liitännät ja osat piirrosmerkeillä tarkasti, ottamatta kuitenkaan kantaa laitteiden tai osien todelliseen kokoon, muotoon tai sijaintiin.

4.3.1 Piirikaavioiden sisältö

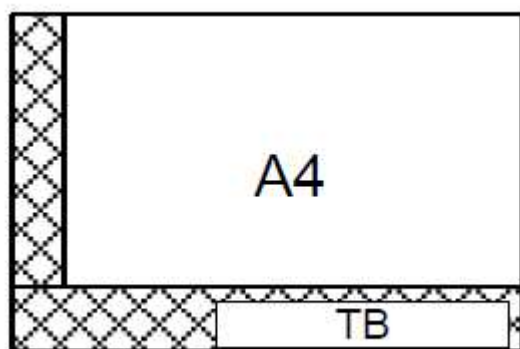
Piirikaavioissa on esitettävä standardin SFS-EN 61082-1 mukaan

- Laitteita tai kohteita esittävät piirrosmerkit
- Laitteiden välisiä liitäntöjä esittävät piirrosmerkit
- Viitetunnukset
- Liitintunnukset
- Signaalitason sopimukset
- Signaalitunnukset ja sijaintiviitteet
- Tarpeellinen lisäinformaatio toimintojen ymmärtämiseksi

Piirikaavioissa voi tarvittaessa myös esittää

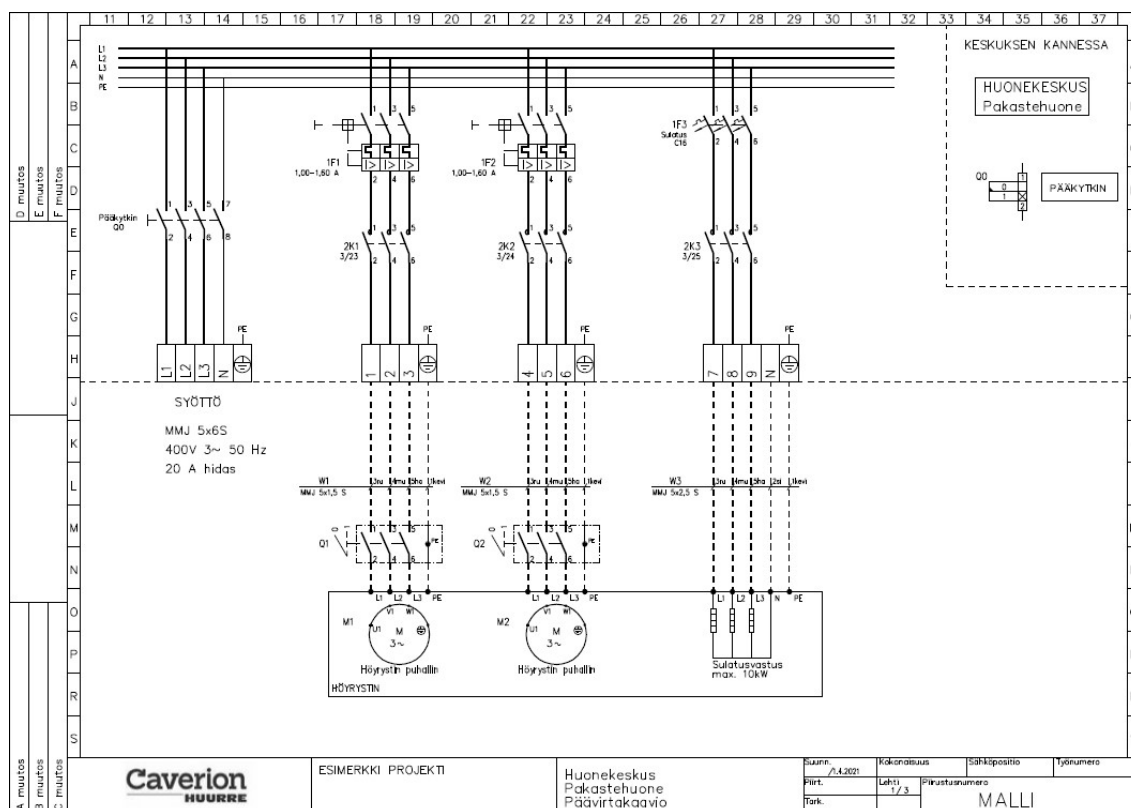
- Tekniset tiedot
- Viitteet muihin dokumentteihin
- Kaapeleiden ja johtimien tunnistaminen sekä muu informaatio johdotuksiin liittyen

Piirikaaviot piirrettiin standardissa SFS 4415 määritettyihin piirustus pohjiin. Piirustus pohja jaetaan sisältöalueeseen, tunnistalueeseen ja otsikkotauluun. Käytettävät arkkikoot ovat yleensä A4 tai A3. Standardoitujen rakennuspiirustusten otsikkotaulut on esitetty standardeissa SFS-ISO 7200 sekä RT-kortissa 15-10212. Kuvassa 8 on esitetty standardin mukainen esimerkki tunnistalueista sekä otsikkotaulusta.



KUVA 8. Standardin mukainen esimerkki tunnistealueiden ja otsikkotaulun (TB) sijainneista (SFS-EN 61082-1, 95)

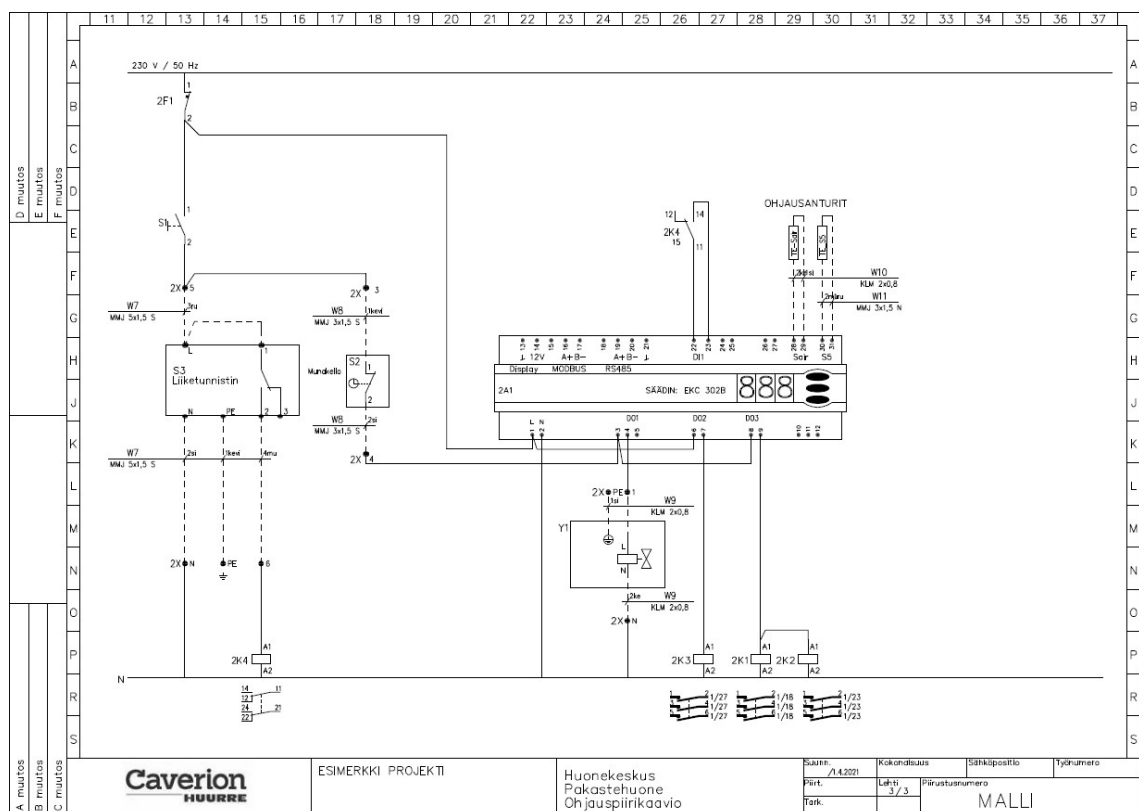
Vakiokuvapankin piirikaaviot on jaettu neljään osaan, pääpiirikaavioon, ohjauspiirikaavioon, keskuksen ulkopuolella sijaitseviin laitteisiin sekä keskuksen kannessa oleviin komponentteihin, joita ovat esimerkiksi pääkytkin ja säätimen näyttö. Pääpiirikaaviot ja ohjauspiirikaaviot esitetään omilla lehdillään. Pääpiirikaavio, keskuksen ulkopuolella ja keskuksen kannessa sijaitsevat laitteet esitetään samoilla sivuilla, erotettuna toisistaan katkoviivalla (kuva 9).



KUVA 9. Esimerkkikuva pääpiirikaavion ensimmäisestä lehdestä.

Pääpiirikaavion periaate on esittää piirin toiminta mahdollisimmin yksiselitteisesti. Pääpiirikaaviossa esitetään keskuksen sisällä sijaitsevat laitteet, esimerkiksi sulakkeet ja katkaisijat, kontaktorit, releet sekä riviliittimet ja niiden väliset yhteydet. Keskukselta lähtevät kaapelit piirretään katkoviivalla ja muut tarvittavien laitteiden sijainti pistekatkoviivarajauksella ja viitetekstillä tai tunnuksella.

Ohjauspiirikaaviossa (kuva 10) esitetään pääpiirikaaviossa esitettyjen laitteiden, kuten kontaktorien ohjaukset, sekä muut tarvittavat ohjaukset sekä niiden kytkennät. Keskukselta lähtevät ohjauksiin liittyvät kaapelit piirretään pääpiirikaavion tavalla, eli katkoviivalla.



KUVA 10. Esimerkki ohjauspiirikaaviosta.

4.3.2 Piirrosmerkit ja niiden tunnuksut

Piirrosmerkeillä esitetään komponentti tai laite sille standardoidulla piirrosmerkillä. Komponenttien ja laitteiden piirrosmerkkejä voi myös muodostaa itse standardimerkkialkioista tai käytetään yleispiirrosmerkkiä, esimerkiksi laitteen äärviivoja ja viitetietoja. Käytettävät piirrosmerkit määritellään standardissa SFS-IEC

60617 sekä sähköisissä toiminnoissa tarvittavat muiden kuin sähkökomponenttien piirrosmerkit laaditaan ISO -standardien mukaisesti (ST 13.28 2018, 8). Piirikaavioissa käytettävät piirrosmerkit on julkaistu ST 13.53 kortissa. Taulukossa 9 on esitetty standardin SFS-EN 81346-2 mukaiset kirjaintunnukset piirrosmerkeille, joita käytettiin työtä tehdessä. Piirrosmerkkien kirjaintunnuksen perään lisätään juokseva numero, joka helpottaa laitteen yksilöintiä.

TAULUKKO 9. Laitteiden kirjaintunnukset (SFS-EN 81346-2, 20-28).

Tunnus	Laite
A	Toimilaite, laiteyhdistelmä
C	Kondensaattori, akku
E	Lämmitin, valaisin
F	Suojalaitteet - Jodonsuojakatkaisijat - Sulakkeet - Lämpöreleet
G	Generaattorit
K	Kontaktorit, releet, koskettimet
M	Sähkömoottorit
Q	Katkaisijat, erottimet
R	Vastus, diodi
S	Kytkin, painike
T	Taajuusmuuttaja
W	Kaapeli, johdin
X	Riviliitin

4.3.3 Piirikaavioiden laatiminen

Piirikaaviot tehtiin CADMATIC Electrical Schematics piirikaaviosovelluksella. CADMATIC Electrical on Suomen käytetyin sekä markkinoiden laajin sähkösuunnitteluohjelmisto (CADMATIC n.d.).

Ensimmäisille sivuille laaditaan keskuksen pääpiirikaavio ja sitä seuraaville sivuille ohjauspiirikaavio. Ensimmäiselle sivulle piirretään keskukselle tuleva

syöttö, höyrystimelle menevät syötöt, kuten puhaltimien ja sähkösulatuksen syötöt, niiden suojalaitteet ja kontaktorien pääkoskettimet sekä keskuksen kanteen tulevat laitteet, kuten pääkytkin. Jos kyseessä on pakastehuoneen keskus, toiselle sivulle on piirretty tarvittavat lämmitysvastukset, joita ovat tippuvesialtaan lämmitysvastus, lattialämmitys sekä oven karmi- ja alipaineventtiilin lämmitysvastukset. Nämä suojataan vikavirtasuojakytkimillä.

Pääpiirikaavion jälkeen laaditaan keskuksen ohjauspiirikaavio. Ohjauspiirikaavio koostuu käytettävästä elektronisesta säätimestä, sen ohjausantureista sekä paisuntaventtiilin magneettiventtiilistä sekä höyrystimen puhaltimien kontaktorien ja sähkösulatuksen ohjauksen kytkennöistä. Ohjauspiirikaaviossa esitetään myös kaikki muut tarpeelliset ohjauksiin sekä hälytyksiin liittyvät kytkennät. Kun kuvaan lisätään uusi komponentti, se positoidaan standardien mukaisilla tunnuksilla heti, jotta mahdolliset laitteiden ristiviittaukset sekä johdotustiedot toimisivat oikein.

Piirikaavioita laadittiin monia eri variaatioita niin kylmä-, kuin pakastehuoneisiin. Piirikaaviot jaoteltiin höyrystimen puhaltimien tyyppien ja lukumäärien, sähkösulatuksen tehon sekä käytettävän säätimen mukaan. Piirikaavioita tehtiin myös tarvittavista keskuksista 1- ja 3-vaiheisia, riippuen sähkösulatuksen ja höyrystimen puhaltimista.

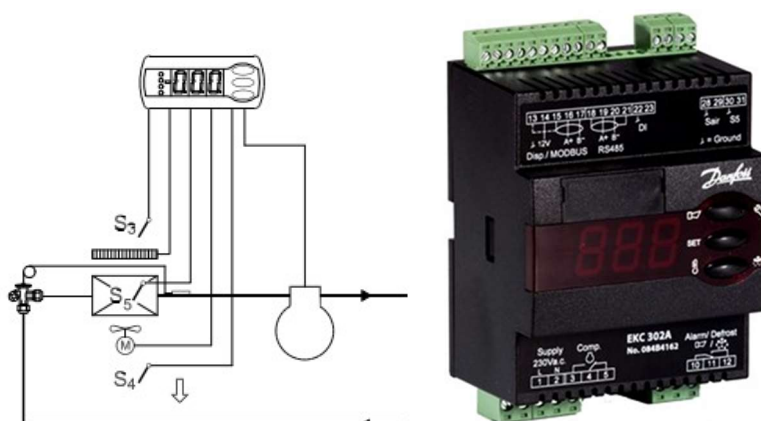
5 HANKINTOJEN TEHOSTAMINEN

Opinnäytetyön toisena tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia tehostaa suunnitteluvaiheessa tehtäviä hankintoja. Yksi varteenotettava mahdollisuus olisi säätimien hankinta ja niiden ohjelmointi valmiiksi ennen kohteeseen toimitusta. Tässä luvussa käsitellään yleisesti kylmlaitoksen ohjausjärjestelmiä sekä työssä käytettäviä säädinmalleja ja niiden hankinnan tehostamista.

5.1 Kylmlaitoksen ohjausjärjestelmät

Elektroniset termostaatit ovat yleistyneet huomattavan paljon ja täten syrjäyttäneet perinteiset termostaatit. Elektronisen termostaatin käyttö yksinkertaistaa ohjauskeskusta, koska yksi säädin pystyy huolehtimaan esimerkiksi seuraavista toiminnoista (kuva 11):

- lämpötilan säätö
- sulatukset
- sulatuksen suojatermostaattitoiminto
- puhaltimien käynti ja niiden viiveet
- lämpötilanäyttö
- hälytykset.



KUVA 11. Vasemmalla elektroninen termostaatti, jolla voidaan ohjata jäähdytystä, sulatusta sekä puhaltimien käyntiä (Hakala & Kaappola 2011, 135).

KUVA 12. Oikealla Danfoss EKC 302A elektroninen säädin (Danfoss n.d.).

5.1.1 Yksikkösäätimet

Yksikkösäädin on säädin, joka on suunniteltu tiettyyn käyttötarkoitukseen. Yksikkösäätimet ovat aiemmin olleet käytössä vain LVI-alalla, mutta kylmäalalle on viime vuosina tullut useita tällaisia säätimiä valmistavia yrityksiä. Yksikkösäätimistä löytyy paljon erityisominaisuuksia, joita pystytään hyödyntämään suunnitellussa tarkoituksessa. Säädinvalmistajat tekevät usein myös toimilaitteita ja venttiileitä, joita säätimet ohjaavat. Tämän vuoksi valmistajilla on taito valmistaa sellaisia säätimiä, joita esimerkiksi venttiilin ominaisuudet edellyttävät. Tyypillisiä kyseisiä laitteita ovat esimerkiksi höyrystinpaineen, pinnanohjauksen sekä paisuntaventtiilien säätimet (Kaappola ym. 2014, 164–165).

Nykyaikaiset älykkäät säätimet ovat konfiguroitavia eli niistä löytyy valmiina eri tilanteisiin sopivia sovelluksia. Niissä voi olla esimerkiksi sovellus eri toimilaitteelle, kylmäaineelle tai säätötavalle. Säätimet on kehitetty niin, että näitä ominaisuuksia voidaan ottaa käyttöön tekemättä varsinaisia ohjelmamuutoksia. Ominaisuudet valitaan säätimissä yleensä konfiguroinnin avulla, mutta niitä voidaan tehdä myös erilaisilla kytkennöillä. Älykkäissä säätimissä on yleensä väyläominaisuus, eli ne voidaan liittää joko laajempaan säätöverkkoon tai kiinteistöautomaatiojärjestelmään tiedonkeruuta varten (Kaappola ym. 2014, 165).

Työssä tehdyt dokumentit on luotu aluksi kahdelle eri säätimelle. Käytettävät säätimet olivat Danfossin valmistama EKC 302 sarjan elektroninen säädin (kuva 12), sekä Dixellin valmistama XR170D elektroninen säädin. EKC 302 sarjan säätimistä minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta, toisin kuin Dixellin XR170D säätimistä, johon olin perehtynyt jo aiemmin.

5.2 Hankintavaihe

Kun projekti on edennyt suunnitteluvaiheesta hankintavaiheeseen, projektipäällikkö tilaa keskusvalmistajalta sähkökuvien mukaisen keskuksen sekä yleisen toimintatavan mukaan lähettää keskusvalmistajalle käytettävän säätimen sekä siihen liittyvät tarvikkeet. Keskusvalmistaja valmistaa keskuksen niin, että työmaalla

tehtävät kytkennät on minimoitu, jotta kytkennät pystytään tekemään mahdollisimman vaivattomasti ja nopeasti.

5.3 Kehitysmalli

Kehitysmallin ideana on kehittää projektin läpiviemistä kustannustehokkaammaksi hankintoja tehostamalla, jolloin asennuskustannukset laskisivat. Kehitysmallin ideana on luoda valmiit listat aseteltavista parametreista jokaiseen erilaiseen käyttökohteeseen. Keskustilauksen yhteydessä toimitettaisiin valmis parametrilista, jonka mukaan keskusvalmistaja ohjelmoisi säätimen. Liitteessä 3 on esitetty EKC 302 säätimen valmistajan pohja parametrilistasta. Työmaalla tehtäväksi jäisi säätimen lopullinen käyttöönotto sekä tarvittaessa parametrien tarkastus.

6 TULOSTEN KÄSITTELY

Opinnäytetyön tuloksena on laaja vakiokuvapankki, joka sisältää dokumentit lukuisista eri kylmälaitoskokonaisuuksista. Se luotiin yrityksen pienten kylmälaitosprojektien suunnittelun ja tarjouslaskennan tehostamiseksi. Tuloksia pystytään hyödyntämään yrityksen päivittäisessä toiminnassa sekä tiedonlähteenä uusille suunnittelijoille. Vakiokuvapankin kehitys sekä päivittäminen alkaa, kun tämä opinnäytetyö on julkaistu. Jotta vakiokuvapankki toimisi mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti, on sen ylläpitoon ja päivittämiseen kiinnitettävä huomiota. Vakiokuvapankin ylläpito ja päivittäminen tulisi olla jokaisen sitä käyttävän työntekijän vastuulla, mutta vakiokuvapankille olisi tärkeää nimetä lisäksi vastuuhenkilö, joka seuraa, että vakiokuvapankki on ajantasainen ja tarvittavat päivitykset on tehty.

Opinnäytetyön toisena tarkoituksena hankintojen tehostamisesta tehdyn tutkimuksen tuloksien perusteella kannattaisi tulevaisuudessa kehittää. Jatkotutkimuksena kannattaisi tutkia, onko kyseinen toimintamalli tuottava ja kustannustehokas.

Työn tulosten analysointia voidaan tarkemmin tehdä vasta saatujen kokemusten ja palautteen avulla, kun työ on otettu käyttöön. Kokemusten ja palautteissa esiintulleiden asioiden avulla vakiokuvapankin toimivuutta voitaisiin kehittää, jolloin siitä saataisiin entistä tehokkaampi työkalu. Tämä opinnäytetyö ei vielä tällaiseen anna tarpeeksi tuloksia työhön, vaan tarkoitus on jalostaa tätä työtä isommaksi toimivaksi kokonaisuudeksi, johon kuuluisi mukaan muun muassa tarjouslaskentapohja sekä valmiit parametrilistat.

7 POHDINTA

Kylmälaitoksien suunnitteluprosessit toistavat usein samaa kaavaa. Suunnittelun helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi kannattaa käyttää valmiiksi luotuja mallipohjia, joihin tarvitsee vain päivittää projektikohtaiset tiedot sekä tehdä tarvittavat muokkaukset oikeanlaisien dokumenttien aikaansaamiseksi. Valmiit, tarkastetut ja hyväksi todetut mallidokumenttipohjat pienentävät mahdollisten virheiden määrää, eikä virheet pääse kopioitumaan projektista toiseen.

Yrityksellä oli ennestään ollut käytössä jo eräänlainen projektikirjasto pienille kylmälaitoskokonaisuuksille, joka ei ole ollut yleisessä käytössä, joten yhtenäistä linjaa ei ole ollut tällaisen vakiokuvapankin muodossa. Tämä vanha projektikirjasto toimi tässä työssä pohjamateriaalina, jonka perusteella luotiin nykyaikaiset ja yhtenevät dokumentit. Osa dokumenteista oli jo 20 vuotta vanhoja, joten kyseiset dokumentit olivat vanhentuneet. Tänä aikana käytettävät suunnitteluohjelmistot ovat päivittyneet mahdollisesti useamman kerran, joten kuva ei välttämättä aukea tai päivity oikein uudemmalla ohjelmistoversiolla.

Työn tarkoituksena oli kehittää ja tehostaa suunnitteluprosessin vaihteita, jotka toistavat samaa kaavaa ja joissa pystytään hyödyntämään valmiiksi tehtyjä vakiokuvia. Tämän avulla itse suunnitteluprosessia saataisiin tehostettua, kun paljon samaa toistoja vaativiin työvaiheisiin käytettävä aika saataisiin minimoitua. Työn toisena tarkoituksena oli tutkia eri vaihtoehtoja kylmälaitosprojektien hankintojen tehostamiseen. Työssä luotiin kehitysmalli, joka pienentäisi työmaalla asennuksiin käytettävää aikaa, mutta joka nostaisi hieman hankintahintoja. Tässä työssä ei otettu kantaa taloudelliseen kannattavuuteen. Tätä voitaisiin jatkotutkimuksena tutkia luvussa 5 käsitellyn kehitysmallin osalta. Tässä työssä aseteltuihin tavoitteisiin päästiin mielestäni erittäin hyvin.

Haasteena tässä opinnäytetyössä oli oma vähäinen tietotaso putkikaavioiden laatimisesta. Lisäksi teoriaosuuden lähdemateriaalia ei ollut laajasti saatavilla, joten lähteiden käyttö ei ollut runsasta. Opinnäytetyöprosessi lisäsi omaa osaamista kylmälaitosten suunnitteluprosessista ja erityisesti putkikaavioiden laatimisesta, ja siksi työ oli hyvä ja tärkeä oppimiskokemus. CADMATIC Ref Standard

ohjelmiston hyvillä ohjeilla sekä aikaisemmin käytössä olleiden dokumenttien avulla piirtäminen itse teki ohjelman käyttöä tutuksi ja opin perusasiat sen käytöstä. Työtä tehdessä opin melko nopeasti putkikaavioiden laatimisen perusteet ja pystyin tekemään tavoitteiden mukaiset dokumentit. Opinnäytetyöprosessi myös vahvisti tiedonhaku- ja ammattitekstin kirjoittamisen osaamistani.

Tämän työn tuloksista on hyötyä yritykselle. Lisäksi erityisesti uudet suunnittelijat pystyvät hyödyntämään vakiokuvapankkia aloittaessaan työt yrityksessä. Se toimii hyvänä tiedonlähteenä yrityksen suunnittelutavoista. Heillä ole verkkoasemillaan yrityksen vanhoja projektidokumentteja, joista etsitään tietoa. Oikeanlaisen dokumentin etsimiseen saattaa kulua paljon tehokasta työskentelyaikaa, joka vaikuttaa suunnittelijan tuottavuuteen.

Jatkokehitysmahdollisuutena opinnäytetyölle on luoda tarjouslaskentapohja vakiokuvapankin dokumenttien perusteella. Tämän työkalun toimintaperiaate olisi, että työkaluun syötetään tarvittavat tiedot, kuten tarvittava kylmäteho, huoneiden tai höyrystimien lukumäärä sekä höyrystymislämpötila. Näiden tietojen perusteella sekä valmiiksi määriteltujen tietojen perusteella laskentapohja kertoisi oikean putkikaavion, sähkökeskuskuvan, osaluettelon hintoineen ja muut tarvittavat tiedot. Lisäksi vakiokuvapankkia voisi laajentaa esimerkiksi CO₂ -kylmälaitoksiin.

Toisena jatkotutkimusmahdollisuutena olisi tutkia luvussa 5 käsiteltyä kehitysmallia, kumpi on yritykselle kannattavampaa: Tilata keskuksen yhteydessä säädin valmiiksi ohjelmoituna, jolloin keskuksen kokonaishankinta hinta kohoaisi, vai vanhan toimintamallin mukainen säätimen ohjelmointi työmaalla asennusvaiheessa, jolloin itse ohjelmointiin käytettävä aika nostaisi kustannuksia. Jos keskus toimitetaan valmiiksi ohjelmoidulla säätimellä, tarvittava työaika työmaalla pienenee, jolloin projektien läpivieminen tehostuu, mikä puolestaan nostaa asiakastytyväisyyttä.

LÄHTEET

Aittomäki A. 2012. Kylmäteknikka. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry

Alfa Lu-ve Group. n.d. Finned coil air coolers. Luettu 19.4.2021.
<https://alfa.luvegroup.com/cc>

CADMATIC. n.d. Construction. Ohjelmistoratkaisut. Luettu 5.4.2021.
<https://www.cadmatic.com/fi/>

Danfoss. n.d. Climate Solutions jäähdytykseen. Elektroniset säätölaitteet. Luettu 19.5.2021. <https://www.store.danfoss.com/fi/fi/Climate-Solutions/>

Hakala P. & Kaappola E. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2011. Tampere: Opetushallitus

Kaappola E., Hirvelä A., Jokela M. & Kianta J. 2014. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Kylmäextra. Kylmäprosessi eli miten kylmä syntyy. Luettu 10.4.2021.
https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy

Nydal, R. 2008, Käytännön kylmäteknikka. 4.painos. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.

Puranen J., Juvela J-P. & Kaappola E. 2020. Jäähdytys- ja kylmäteknikka. Luentomateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tampere.

SFS-EN 378-2. 2016. Kylmäkoneistot ja lämpöpumput. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset. Osa 1: Suunnittelu, rakenne, testaus, merkintä ja dokumentointi. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry. Luettu 20.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 1861. 2001. Kylmäjärjestelmät ja lämpöpumput. Järjestelmän virtauskaaviot ja putki- ja instrumentointikaaviot. Asettelut ja merkit. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry. Luettu 29.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 61082-1. 2015. Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry. Luettu 19.4.2021. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

Sähkötieto ry. 2018. ST-kortti 13.28. Yleisohjeita sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien dokumentoinnista. Tulostettu 10.3.2021. Vaatii käyttöoikeuden.
<http://severi.sahkoinfo.fi/>

Ympäristöministeriö. D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihto: Määräykset ja ohjeet. 2003. Luettu 23.4.2021.
<https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. 2011. Luettu 19.4.2021. <https://ym.fi/rakentamismaaraykset>

LIITTEET

Liite 1. Kylmätehontarpeen määrittämiseen käytettävä laskentapohja

1(2)

Kylmä-/pakastevaraston jäähdytystehontarpeen määrittäminen

ASIAKAS:

LASKIJA/pvm:

KOHDE:

Varaston pituus: 10,0 m (alapuolella olevan kuvan seinät 1 ja 3)
 leveys: 6,2 m (alapuolella olevan kuvan seinät 2 ja 4)
 korkeus: 4,0 m

Seinän ja katon k-arvo: 0,25 W/m²°C
 Lattian k-arvo: 0,25 W/m²°C

Varaston sisälämpötila: -22 °C
 Lämpötila ulkopuolella:
 Seinä 1: 22 °C
 Seinä 2: 22 °C
 Seinä 3: 22 °C
 Seinä 4: 22 °C
 Katto: 24 °C
 Lattia: 8 °C



Ilman entalpia oven ulkopuolella: 47 kJ/kg
 Ilman entalpia varastossa: -19 kJ/kg

Oven kautta tapahtuvan ilmanvaihdon
 varmuuskerroin: 2

Koneellisen IV:n poistoilmavirta: 0 m³/s
 Ulkoilman entalpia: 47 kJ/kg

Tuotevaihto: 9300 kg/d → Pakkausten määrä: 9300 kg/d
 Varastoitava kokonaistuotemäärä: 37200 kg
 Tuotteen tulolämpötila: -18 °C
 Tuotteen ominaislämpö: 1,7 kJ/kg°C → Pakkauksen ominaislämpö: 2,5 kJ/kg°C
 Tuotteen hengityslämpö: 0 kJ/kg,d

Henkilöiden lkm: 1 kpl
 Lämmönluvutus / hlö: 0,3 kW/hlö
 Työaika: 2 h/d

Valaistusteho: 15 W/m²
 Valaistuksen käyttöaika: 2 h/d

Kojekuorma 1: - kojeiden lkm 0 kpl → Kojekuorma 2: - kojeiden lkm _____ kpl
 - teho / koje 3 kW/kpl - teho / koje _____ kW/kpl
 - käyttöaika 2 h/d - käyttöaika _____ h/d

Jakeluovien lkm: 0 kpl
 - energiantarve / ovi 0 kWh/d,kpl
 Heiluriovien lkm: 0 kpl
 - energiantarve / ovi 0 kWh/d,kpl

Koneiston käyntiaika: 18 h/d
 Varmuuskerroin: 1,1

Puhallinmoottorien lkm yht: 1 kpl
 Puhallinmoottorin teho/kpl: 0,6 kW/kpl

Sulatusvastuksien teho yht: 10 kW
 Sulatusaika: 2 h/d

Varaston jäähdytystehontarve = 11,8 kW

Jäähdytystehontarve kW / lattia m2 0,1901
 Jäähdytystehontarve kW / lattia m3 0,0295

2(2)

Kylmä-/pakastevaraston jäähdytystehontarpeen määrittäminen

ASIAKAS: 0 LASKIJA/pvm: 0
 KOHDE: 0

VARASTON ULKOTILAVUUS: 10,0 m x 6,2 m x 4,0 m = 248,0 m³

RAKENTEIDEN KAUITTA TAPAHTUVA LÄMPÖVUOTO:

KATTO

10,0 m x 6,2 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 24)°C x 24 h/d x 0,001 = 17,1 kWh/d

LATTIA

10,0 m x 6,2 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 8)°C x 24 h/d x 0,001 = 11,2 kWh/d

SEINÄT

10,0 m x 4,0 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 22)°C x 24 h/d x 0,001 = 10,6 kWh/d

6,2 m x 4,0 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 22)°C x 24 h/d x 0,001 = 6,5 kWh/d

10,0 m x 4,0 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 22)°C x 24 h/d x 0,001 = 10,6 kWh/d

6,2 m x 4,0 m x 0,3 W/m²°C x (-22 - 22)°C x 24 h/d x 0,001 = 6,5 kWh/d

RAKENTEIDEN KAUITTA TAPAHTUVA LÄMPÖVUOTO YHTEENSÄ 62,5 kWh/d

ILMANVAIHTO, OVI:

70 x 248,0 m³ x 1,4 kg/m³ x (47 - -19)kJ/kg x 2 : 3600 = 56,6 kWh/d
 $\sqrt[3]{248,0 \text{ m}^3}$

ILMANVAIHTO, KONEELLINEN:

0,00 m³/s x 1,4 kg/m³ x (47 - -19)kJ/kg x 24 h/d = 0,0 kWh/d

TUOTEVAIHTO:

9300 kg/d x 1,7 kJ/kg°C x (-22 - -18)°C : 3600 = 17,6 kWh/d

PAKKAUSTEN LUOVUTTAMA LÄMPÖ:

9300 kg/d x 2,5 kJ/kg°C x (-22 - -18)°C : 3600 = 25,8 kWh/d

TUOTTEIDEN HENGITYSLÄMPÖ:

37200 kg x 0 kJ/kg,d : 3600 = 0,0 kWh/d

HENKILÖIDEN LUOVUTTAMA LÄMPÖ:

1 hlö x 0,3 kW/hlö x 2 h/d = 0,6 kWh/d

VALAISTUS:

62,0 m² x 15 W/m² x 14 h/d x 0,001 = 13,0 kWh/d

KOJEKUORMITUS:

KOJE 1: 0 kpl x 3 kW/kpl x 2 h/d = 0,0 kWh/d

KOJE 2: 0 kpl x 0 kW/kpl x 0 h/d = 0,0 kWh/d

JAKELUOVET:

0 kpl x 0 kWh/d,kpl = 0,0 kWh/d

HEILURIOVET:

0 kpl x 0 kWh/d,kpl = 0,0 kWh/d

PUHALTIMET:

1 kpl x 0,6 kW/kpl x 18 h/d = 10,8 kWh/d

SÄHKÖSULATUS:

0,3 x 10 kW x 2 h/d = 6,0 kWh/d

YHTEENSÄ = 192,9 kWh/d

x varmuuskerroin 1,1 = 212,2 kWh/d

VARASTON JÄÄHDYTYSTEHTÄVÄ = $\frac{212,2 \text{ kWh/d}}{18 \text{ h/d}}$ = 11,8 kW

Liite 2. SFS-EN 378-2 standardissa esitetyt vaatimukset kylmälaitoskomponenteille ja putkistolle

KOMPONENTTI		Liittyvä standardi JA vaatimukset
Lämmönsiirtimet:		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
– putkikierukka, jossa väliaineena muu kuin ilma (kaksoisputkinen)		
– moniputkinen (putkivaippa)		
Levylämmönsiirtimet		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Jakotukit, putkikierukat ja patterit, joissa ilma on toisiopuolen juokseva aine		EN 14276-2 tai EN 14276-1, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2.2 kanssa
Varaaja/esilämmitin		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Öljynerotin		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Kuivain		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Suodatin		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Äänenvaimennin		EN 14276-1 tai EN 13445, jos soveltuvat, yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Hermeettinen syrjäytysmoottorikompressor		EN 14276-1, EN 60335-2-34 tai EN 12693
Puolihermeettinen syrjäytysmoottorikompressor		EN 60335-2-34 tai EN 12693
Avosyrjäytyskompressor		EN 12693
Vakiotilavuuskompressor		EN 14276-1, EN 1012-3 tai EN 13445 jos soveltuvat, yhdessä standardin EN 60204-1 kanssa
Pumppu	yleiset vaatimukset	EN 809 yhdessä EN 60204-1 kanssa, ja yhdessä tämän standardin kohtien 5.2.2.2 ja 5.2.2.4 kanssa
	lisävaatimukset kylmäkoneistojen ja lämpöpumppujen pumpuille kylmäaine R-717 kanssa	Liite A
Putkisto		EN 14276-2 tai EN 13480
Putkiliitokset: pysyvät liitokset		EN 14276-2
Putkiliitokset: irrotettavat liitokset		Tämän standardin kohdat 5.2.2.2 ja 5.2.2.3
Joustava putkisto		EN 1736
Venttiilit	yleistä	EN 12284
	sulkuventtiilit	EN 12284
	käsikäyttöiset venttiilit	EN 12284
	tiivistehtäulliset venttiilit	EN 12284
	varoventtiili	EN 13136 ja EN ISO 4126-1 yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2 kanssa
Turvakytkimet paineenrajoitusta varten		EN 12263 yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2.2 kanssa
Murtolevy		EN ISO 4126-2 ja EN 13136 yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2.2 kanssa
Nestepinnan osoittimet		EN 1217-8 yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2.2 kanssa
Mittarit		EN 837-1, EN 837-2 ja EN 8373- yhdessä tämän standardin kohdan 5.2.2.2 kanssa
Juotos- ja kovaajuotusmateriaalit		Tämän standardin kohdat 5.3.1.3 e), f)
Hitsausmateriaalit		EN 14276-2

Liite 3. DANFOSS EKC 302A ja 302B säätimen parametrintilista

1(2)

Käynnistys:

Säätö käynnistyy kun jännite on kytketty.

1 Muuta tehdasasettelut tarpeenmukaiseksi.

2 Dataverkko. Anna verkko-osoite, param. o03 ja lähetä osoite keskusyksikölle, param. o04.

SW =

Parametrit		Säädin		Min.-arvo	Max.-arvo	Tehdas- asetus	Asetus- arvo
Toiminto	Koodi	EKC 302A	EKC 302B				
Normaalitila							
Lämpötila, asetusarvo	---			-50°C	50°C	2°C	
Termostaatti							
Eroalue	r01			0.1 K	20 K	2 K	
Max. asetteluraja	r02			-49°C	50°C	50°C	
Min. asetteluraja	r03			-50°C	49°C	-50°C	
Näytön korjaus	r04			-20 K	20 K	0.0 K	
Lämpötilayksikkö (°C/°F)	r05			°C	°F	°C	
Sair-anturin poikkeutus	r09			-10 K	10 K	0 K	
Käskäyttö(-1), Stop(0), Säätö(1)	r12			-1	1	1	
Lämpötilan yökorotus	r13			-10 K	10 K	0 K	
Toisen lämpötila-alueen aktivoiminen r40	r39			OFF	on	OFF	
Toisen lämpötila-alueen valinta (aktivoi r39 tai DI avulla)	r40			-50 K	50 K	0 K	
Hälytykset							
Lämpötilahälytyksen viive	A03			0 min	240 min	30 min	
Ovihälytyksen viive	A04			0 min	240 min	60 min	
Lämpötilahälytyksen viive sulatuksen jälkeen	A12			0 min	240 min	90 min	
Korkea lämpötilaraja	A13			-50°C	50°C	8°C	
Matala lämpötilaraja	A14			-50°C	50°C	-30°C	
DI1 hälytysviive	A27			0 min	240 min	30 min	
Korkea lauhtumisen lämpötilaraja (o70)	A37			0°C	99°C	50°C	
Kompressorit							
Min. ON aika	c01			0 min	30 min	0 min	
Min. OFF aika	c02			0 min	30 min	0 min	
Kompressorireleen toiminta (NC- toiminta, normaalisti kiinni)	c30			0 / OFF	1 / On	0 / OFF	
Enillinen rele (potentiaalivapaa kytkentä --- vain EKC 302)	c70			OFF	On	On	
Asetus täytyy olla 'ON' kun käytetään erillistä relettä							
Sulatus							
Sulatustapa (none/EL/gas)	d01			no	Gas	EL	
Sulatuksen lopetuslämpötila	d02			0°C	25°C	6°C	
Sulatusten aloitusten aikaväli	d03			0 hours	48 hours	8 hours	
Maks. sulatuksen kesto aika	d04			0 min	180 min	45 min	
Sulatusajan siirtäminen käynnistyessä (sähkökatkoksen jälkeen)	d05			0 min	240 min	0 min	
Veden tippumisaikaviive	d06			0 min	60 min	0 min	
Puhaltimen käynnistysviive	d07			0 min	60 min	0 min	
Puhaltimen käynnistyslämpötila	d08			-15°C	0°C	-5°C	
Puhaltimen käynti sulatuksen aikana	d09			0	2	1	
0: OFF							
1: ON							
2: ON, pumpdownin ja sulatuksen aikana							
Sulatusanturi (0=aika, 1=SS, 2=Sair)	d10			0	2	0	
Maks. kompressorijäähdytysaika kahden sulatuksen välillä	d18			0 hours	48 hours	0 hours	
Tarpeenmukainen sulatus - SS anturin sallittu lämpötilan vaihtelu jään muodostuessa. Keskuskoneellisissa järjestelmissä valitse 20 K (=ei käytössä)	d19			0 K	20 K	20 K	
Puhallin							
Puhallin pysähtyy termostaattisesti	F01			no	yes	no	
Puhaltimen pysähdymisen viive	F02			0 min	30 min	0 min	
Puhaltimen hätäpysäytys (SS)	F04			-50°C	50°C	50°C	
Reaaliaikakello							
Kuusi sulatuksen aloitus aikaa.	t01-t06			0 timer	23 timer	0 timer	
Tuntien asettelu.							
0=ei sulatuksia							

2(2)

Kuusi sulatuksen aloitusaikaa.	t11-t16			0 min	59 min	0 min	
Minuuttien asettelu							
0=ei sulatuksia							
Kello - tuntien asettelu	t07			0 timer	23 timer	0 timer	
Kello - minuuttien asettelu	t08			0 min	59 min	0 min	
Kello - pvm asettelu	t45			1	31	1	
Kello - kuukauden asettelu	t46			1	12	1	
Kello - vuosiluvun asettelu	t47			0	99	0	
Muut							
Ulostulojen viive käynnistyksessä	o01			0 s	600 s	5 s	
DI1 signaalin toiminta:	o02			0	11	0	
0=ei käytössä. 1= DI1 tila. 2=ovi auki toiminta ja hälytys. 3=ovi auki hälytys. 4=sulatuksen aloitus (pulsipainonäppäin). 5=ulkoinen pääkytkin. 6=yötoiminto 7=lämpötila-alueen muutos (asetta r40). 8=hälytystoiminto kun DI suljettu. 9=hälytystoiminto kun DI auki. 10=siivoustilanne (pulsipainonäppäin). 11=Ruiskutus off kun DI auki							
Verkko-osoite	o03			0	240	0	
Verkko-osoitteen lähetyksen (Service Pin message)	o04			OFF	ON	OFF	
Salasanakoodi 1 (kaikki asettelut)	o05			0	100	0	
Anturityypin valinta (Pt /PTC/NTC)	o06			Pt	ntc	Pt	
Näytön tarkkuus = 0.5 (normaalisti, 0.1 Pt anturilla)	o15			no	yes	no	
Maks. pitkäaikainen yhteissulatuksen jälkeen	o16			0 min	60 min	20	
Valotoiminta (rele 4)	o38			1	3	1	
1=ON yötilan aikana. 2=ON / OFF ohjaus välilynnin kautta. 3=ON							
DI-toiminto, kun DI valitaan ovitoiminnoksi tai ovihälytys							
Valoreleen aktivointi (vain jos o38=2)	o39			OFF	ON	OFF	
Kalusteiden siivous. 0=ei siivousta. 1=puhaltimet seis. 2=kaikki ulostulot OFF	o46			0	2	0	
Salasana 2 (osittainen pääsy)	o64			0	100	0	
Muuta säätimen nykyiset asettelut tehdasasetteluiksi	o67			OFF	On	OFF	
Valitse 55 anturin toiminta (0=ei käytössä, 1=tuoteanturi, 2=lauhduttimen anturi ja hälytys)	o70			0	2	0	
Valitse rele 4 toiminta: 1=sulatus/valo, 2= hälytys	o72	sulatus / hälytys		1	2	2	
Huolto							
55 anturin lämpötila	u09						
DI1 tila. On/1=kiinni	u10						
Yötoiminnon tila (on tai off) 1=suljettu	u13						
Termostaatin asetusarvo	u28						
Jäähdytysreleen tila (Voidaan käsitellä kun param. r12=1)	u58						
Puhallinreleen tila (Voidaan käsitellä kun param. r12=1)	u59						
Sulatusreleen tila. (Voidaan käsitellä kun param. r12=1)	u60						
Sair anturin lämpötila	u69						
Releen 4 tila (hälytys, sulatus, valo)/(Voidaan käsitellä kun param. r12=1)	u71						

Tehdasasettelu

Jos haluat palauttaa tehdasasettelut, menettele seuraavasti:

- Katkaise syöttöjännite.
- Paina ylemppää ja alemppää näppäintä yhtä aikaa, samalla kun syöttöjännite palautetaan.

(Danfoss n.d.)