



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ville Tapio

# Kauppan kylmäjärjestelmän sähköinen huipputeho (CO<sub>2</sub> -booster)

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

15.9.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Tapio Kaupan kylmäjärjestelmän sähköinen huipputeho (CO <sub>2</sub> - booster) 46 sivua + 7 liitettä 15.9.2020
Tutkinto	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähköinen talotekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Matti Antinmaa lehtori Jarno Nurmio
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin kaupan kylmäjärjestelmän sähköisen huipputehon käyttäytymistä. Tutkittavassa kylmäjärjestelmässä käytetään kylmäaineena hiilidioksidia ja ns. ”booster-kytkentää” kylmä- ja pakkapuolen kesken. Tutkimuksessa keskityttiin tietyn yksittäisen kauppaketjun toimintaan kylmä- ja sähkösuunnittelun osalta. Tavoitteena oli luoda sähkösuunnittelijan näkökulmasta kriittinen katsaus kylmäjärjestelmän huipputehon mitoittamiseen suunnitteluvaiheessa.</p> <p>Tarkoituksena oli antaa sähkösuunnittelijalle ymmärrystä kaupan kylmäjärjestelmän tehon käyttäytymisestä. Tarve tutkimukselle tuli kokemukseräisten seikkojen kautta. Omassa työssäni vastaan tulleissa kohteissa kylmäsuunnitelmista saadut järjestelmälle annetut huipputehot vaikuttivat suurilta verrattuna muuhun suunnitteluohjeistukseen.</p> <p>Kylmäjärjestelmän tehon käyttäytymistä tutkittiin suorien mittausten avulla järjestelmästä lämpimänä päivänä, hyvin lähellä mitoitusolosuhteita. Mukaan otettiin myös koko kaupan tehontarve päivän aikana, jotta nähdään, miten kylmäjärjestelmän ottama teho heijastuu koko kaupan toimintaan. Nämä koko kaupan tehoa koskevat mittaustulokset saatiin verkko-yhtiön kautta. Opinnäytetyössä tutkittavia kohteita oli kolme, itse esimerkkikohta, eli supermarket-kokoluokan kauppa ja kaksi samantyyppistä vertailukohta.</p> <p>Opinnäytetyössä tehdyistä mittaustuloksista ilmeni, että kylmäjärjestelmälle suunnittelussa ilmoitetut huipputehot eivät vastanneet todellisuutta. Mittaustuloksien mukaan järjestelmän huipputeho oli alle puolet siitä, mitä suunnitteluvaiheessa oli ilmoitettu. Mittausmenetelmiä voidaan soveltaa muihinkin supermarket-kauppoihin ja kylmäjärjestelmän tehontarvetta niissä voidaan arvioida. Tämän opinnäytetyön mittaustulosten pohjalta kauppaketju voi miettiä lisätutkimuksen tarvetta itse kylmäjärjestelmän mitoituksen kannalta, sekä kylmäsuunnitteluohjeistuksen päivittämisen tarvetta.</p>	
Avainsanat	kylmäjärjestelmä, huipputeho, CO <sub>2</sub> -booster, kaupan kylmäjärjestelmä, kylmäjärjestelmän mitoitus

Author Title Number of Pages Date	Ville Tapio Electrical Peak Power of Commercial Refrigeration System (CO <sub>2</sub> -booster) 46 pages + 7 appendices 15 September 2020
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	Electrical Building Services
Instructors	Matti Antinmaa, CEO Jarno Nurmio, Senior Lecturer
<p>This Master's thesis studied the peak power demand of a commercial refrigeration systems with carbon dioxide as a refrigerant and a so called "booster connection" between the medium- and low temperature sides of the system. The study looked at three supermarkets of a one chain, a case store and two comparison ones. The goal was to discuss the sizing of peak power of refrigeration systems critically. The thesis aimed at giving an electrical designer a better understanding of the power demand of the refrigeration systems because designers tend to exaggerate the peak power demand.</p> <p>The peak power was measured directly from the system on a warm summer day to ensure circumstances as close to the maximum as possible. Power measurements from the main supply of the store were included. The measurements showed how the power demand of the refrigeration system reflected to the power demand of the whole store.</p> <p>It was established that the instructions for determining the peak power of the system come from the grocery store chain, not the designers. The measurements strongly suggest that the actual peak power of the system is much lower than expected; on a hot day under half of what was reported in the designing stage.</p>	
Keywords	commercial refrigeration system, peak power, CO <sub>2</sub> -booster

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tutkimuksesta ja menetelmistä	2
2.1	Tavoitteet	2
2.2	Ongelmien kuvaus ja tutkimuksen näkökulma	3
2.3	Tutkimuksen rajaus	4
2.4	Tutkimusmenetelmät	4
3	Kylmäjärjestelmä, CO <sub>2</sub> -booster-koneikko	5
3.1	Kylmäaineen kulku järjestelmässä	5
3.2	Kompressorit	7
3.3	Lauhdutin	8
3.4	Sähkönsyötöt	9
4	Suunnittelusta määräytyvät tekijät	10
4.1	Jäähdytystehontarve	10
4.2	Kompressorien mitoitus ja valinta	13
4.3	Sulatusvastukset	16
4.4	Lauhdutin	18
4.5	Koko kaupan huipputeho	18
5	Kompressorit	19
5.1	Suunnittelussa määritellyt vaatimukset	20
5.2	Mitoitusajot	20
5.3	Kompressorien ohjaukset	22
6	Mittaukset	24
6.1	Kylmäjärjestelmän mittausjärjestelmä	25
6.2	Todelliset huipputehot ja kulutus	26
6.2.1	Verkkoyhtiön kulutustiedot	27

6.2.2	Kylmäjärjestelmän mittaustiedot	29
6.2.3	Ensimmäinen vertailukohde	36
6.2.4	Toinen vertailukohde	40
7	Yhteenveto ja taloudellisuus	42
	Lähteet	46

#### Liitteet

- Liite 1. Valmistajan tekninen esite, Optigo CS -ilmanjäähdytin, Alfa Laval
- Liite 2. Ote kauppaketjun kylmän suunnitteluohjeesta
- Liite 3. Ote kauppaketjun sähkön suunnitteluohjeesta
- Liite 4. Laitetoimittajan kompressorijat esimerkkikohteesta (Viessmann Oy)
- Liite 5. Ote esimerkkikohteen laiteluettelosta
- Liite 6. Ote esimerkkikohteen kylmlaitoksen käyttö- ja hoito-ohjeesta
- Liite 7. Liittymishinnasto, Tampereen sähkölaitos, vyöhyke V1

## Lyhenteet

- COP Coefficient of Performance. Luku, joka ilmaisee järjestelmän kykyä luoda kylmää tai lämmintä verrattuna järjestelmään syötettyyn sähköenergiaan.
- LT Low temperature. Kylmäjärjestelmän matalapaine -osio eli pakastepuoli. Kylmäaineen höyrystymislämpötila höyrystimillä noin  $-33\text{ °C}$ . Esim. pakastimet.
- MT Medium temperature. Kylmäjärjestelmän korkeapaine -osio eli kylmäpuoli. Kylmäaineen höyrystymislämpötila höyrystimillä noin  $-8\text{ °C}$ . Esim. jääkaapit.

## 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkin kaupan kylmäjärjestelmän sähköisen tehon käyttäytymistä mittausten avulla. Opinnäytetyössä tutkin nimenomaan järjestelmän ottamaa sähköistä huipputehoa. Vertaan mitattuja tehoja kylmäsuunnitelmissa ilmoitettuihin, järjestelmältä odotettaviin tehoihin. Kylmäjärjestelmästä puhuttaessa tarkoitan kaupan kylmälaitteita (jääkaapit, pakastimet, kylmätilat ja kylmät varastot jne.). Kylmäjärjestelmään kuuluu myös kylmäkoneikko, joka tuottaa itse jäähdytystehon kylmälaitteille. Kylmäkoneikolla tarkoitan ns. CO<sub>2</sub> -koneikkoa booster-kytkennällä. Luvussa 3 esittelen kylmäjärjestelmän tarkemmin niiltä osin kuin se on tarpeellista opinnäytetyön osalta.

Esimerkkikohteeksi otin Supermarketin Pirkkalassa, joka saneerattiin syksyn 2019 ja kevään 2020 aikana. Saneerauksen yhteydessä uusittiin myös kylmäjärjestelmä. Kohde on pinta-alaltaan kokonaisuudessaan noin 2 200 m<sup>2</sup>, josta myymälää on noin 1 500 m<sup>2</sup>. Tutkin myös kahta vertailukohtetta, jotka ovat esimerkkikohteen kanssa saman kokoisia, jotta opinnäytetyössä tehdyille johtopäätöksille saataisiin enemmän luotettavuutta ja todisteita. Vertailukohteissa on käytössä samanlainen kylmäjärjestelmä. Kauppaketjulta sain opinnäytetyön tekemistä varten kylmäsuunnitelmia ja sähkösuunnitelmia sekä muita tarpeellisia tietoja, kuten esimerkiksi suunnitteluohjeita kylmäsuunnitteluun ja sähkösuunnitteluun. Kylmäjärjestelmän suunnitteluprosessista en työni puolesta tiennyt aiemmin mitään mainitsemisen arvoista, mutta opinnäytetyötä tehdessä tuo prosessi on tullut hieman paremmin tutuksi.

Tarkastelussa oleva ruokakauppa on hyvä esimerkkikohde siksi, että olemassa olevaa sähköliittymää ei haluttu uusia. Sähkön riittävyys oli kysymysmerkillä projektin alussa ja edetessä, joten suurimpien sähkönkuluttajien käyttäytymistä jouduttiin tutkimaan tarkemmin. Projektin edetessä eri osapuolten välillä oli havaittavissa myös pientä väärinkäsitystä huipputehon merkityksestä. Esimerkiksi kylmäjärjestelmälle asennetut keskuskeskukset olivat nimellisvirroiltaan 200 A ja 125 A, ja niiden yhteiseksi huippuvirraksi ilmoitettiin urakoitsijan mukaan 325 A. Tämä yhteenlasku ei tietenkään oikeasti tarkoita vielä välttämättä huippuvirtaa, sillä keskuksista pitää määrittää tarkemmin yhtäaikainen virta, joka niiden läpi kulkee. Tuo sekaannus ei kuitenkaan vaikuttanut itse kylmäsuunnittelussa

ilmoitettuun kylmäjärjestelmän sähköiseen huipputehoon, johon tässä opinnäytetyössä syvennyn.

Käyn opinnäytetyössä läpi aika tarkasti kaikki pääasiat, jotka vaikuttavat kylmäjärjestelmän ottamaan sähköiseen huipputehoon. Keskityn kuitenkin järjestelmän sähköisiin komponentteihin, joten itse kylmäprosessia en kovin syvällisesti aio esittää. Kylmäprosessista on olemassa kirjallisuutta ja lukuisia opinnäytetöitä, mikäli lukija haluaa siihen syventyä enemmän. Hyvä lähtökohta kylmäjärjestelmään tutustumiselle voisi olla esimerkiksi Pertti Hakalan ja Esko Kaappolan kirja, *Kylmälaitoksen suunnittelu*.

Lopuksi tarkastelen vielä todellisia mittaustuloksia lämpimältä kesäpäivältä, jolloin kulutus on kylmäjärjestelmän osalta suurinta. Mittaustulokset sain luettua esimerkkitilanteesta itse kylmäjärjestelmästä, mutta otin opinnäytetyöhön mukaan myös verkkoyhtiön ilmoittaman kulutuksen päämittauksen osalta. Verkkoyhtiön ilmoittama kulutus pitää sisällään koko kaupan ottaman tehon.

## 2 Opinnäytetyön tutkimuksesta ja menetelmistä

### 2.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa kiinteistön sähkösuunnittelijalle ymmärrystä kylmäjärjestelmän toiminnasta ja siitä, minkälaisia huipputehoja voidaan järjestelmältä odottaa. Tekemäni päätelmät ja saamani mittaustulokset ovat yksinkertaisia, ja lukija saa niistä vähintään suurpiirteisen käsityksen kylmäjärjestelmän sähköisen tehon käyttäytymisestä. Esittämäni mittaustulokset ovat pääasiassa tarkkoja, mutta lukija tulee huomaamaan, että jopa pelkästään kymmenien kilowattien tarkkuus riittäisi perustelemaan tekemiäni johtopäätöksiä. Opinnäytetyön mittaustuloksien ja päätelmien pohjalta voidaan pohtia, olisiko kauppaketjulla syytä tarkentaa kaupan tarvitseman kylmätehon mitoittamisprosessia itse kylmäsuunnittelun pohjalta. Tarkoituksena on luoda kriittinen katsaus kaupan kylmäjärjestelmän sähköisen huipputehon mitoittamiseen suunnitteluvaiheessa.

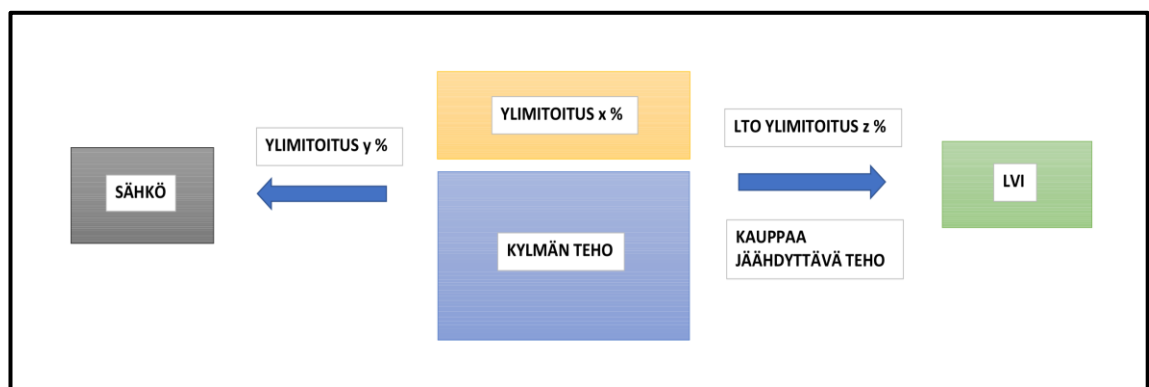


## 2.2 Ongelmien kuvaus ja tutkimuksen näkökulma

Lähdin tekemään tätä opinnäytetyötä siitä syystä, että yleisesti minulle vastaan tulleet ruokakaupoille tehdyissä kylmäsuunnitelmissa annetut sähköiset huipputehot vaikuttivat kovin suurilta. Olen tehnyt sähkösuunnittelua eräälle valtakunnalliselle kauppaketjulle. Kauppaketjun ohjeistuksen mukaisesti laskettu koko kaupan huipputeho miltei ylittyisi jo pelkästään näissä kylmäjärjestelmän suunnitelmissa ilmoitetun kylmäjärjestelmän ottaman huipputehon takia. Muutamassa kohteessa kylmäjärjestelmälle ilmoitettu huipputeho jopa ylitti koko kaupalle ennustetun huipputehon.

Kylmäjärjestelmän, tai minkä tahansa yksittäisen alan, ylimitoitus suunnittelussa vaikuttaa myös muiden suunnittelualueiden ylimitoitukseen. Sähkön puolella liittymät ja keskkukset voidaan suunnitella turhan isoiksi kylmäsuunnittelusta saatujen tietojen perusteella. Toisaalta myös esimerkiksi kylmäjärjestelmän lämmöntalteenotossa ei välttämättä saavuteta tavoiteltuja säästöjä, mikäli järjestelmä pyörii aina vain osateholla.

On hyvä pitää mielessä se, että muiden suunnittelualueiden on ikään kuin pakko seurata kylmäsuunnittelun ylimitoitusta. Esimerkiksi jos sähkösuunnittelija kokemusperäisesti alimitoittaisi sähköjärjestelmän verrattuna kylmäjärjestelmän teoreettiseen huipputehoon, ei kylmäjärjestelmän ylimitoitetusta tehosta olisi edes teoriassa hyötyä. Suunnittelualueiden yhteyttä voitaisiin karkeasti esittää kuvan 1 avulla.



Kuva 1. Suunnittelualueiden välinen yhteys.

Ylimitoitus kylmäsuunnittelussa nostaa teoreettista sähköntarvetta. LVI-suunnittelu taas saa vääristäviä odotuksia lämmöntalteenotosta saatavista tehoista. Myös käsitys

kylmälaitteiden kauppaa jäähdyttävästä tehosta vääristyy. Nämä vaikuttavat LVI-suunnittelussa mitoituksiin muun muassa kaupan lämmitystä ja viilennystä suunniteltaessa.

Opinnäytetyö on tehty sähkösuunnittelun näkökulmasta ja itse kaupan kokonaisvaltaisen toimivuuden näkökulmasta.

### 2.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimuksessa keskityn itse kylmäkoneikon osalta vain CO<sub>2</sub>-koneikkoon booster-kytkennällä. Tässä opinnäytetyössä keskityn yhden tietyn kauppaketjun toimintaan. Tutkimani kauppaketju asentaa uusiin ja saneerattaviin kohteisiin paljon hiilidioksidikylmäjärjestelmiä ja näihin törmään suunnittelutyössäni eniten. Tästä syystä olen rajannut tämän opinnäytetyön koskemaan juuri näitä kylmäjärjestelmiä. Muitakin koneikkomalleja, kytkentätyyppejä ja käytettyjä kylmäaineita on laajalti käytössä, mutta muun tyyppisten järjestelmien tutkimisesta saisi aikaiseksi oman opinnäytetyönsä.

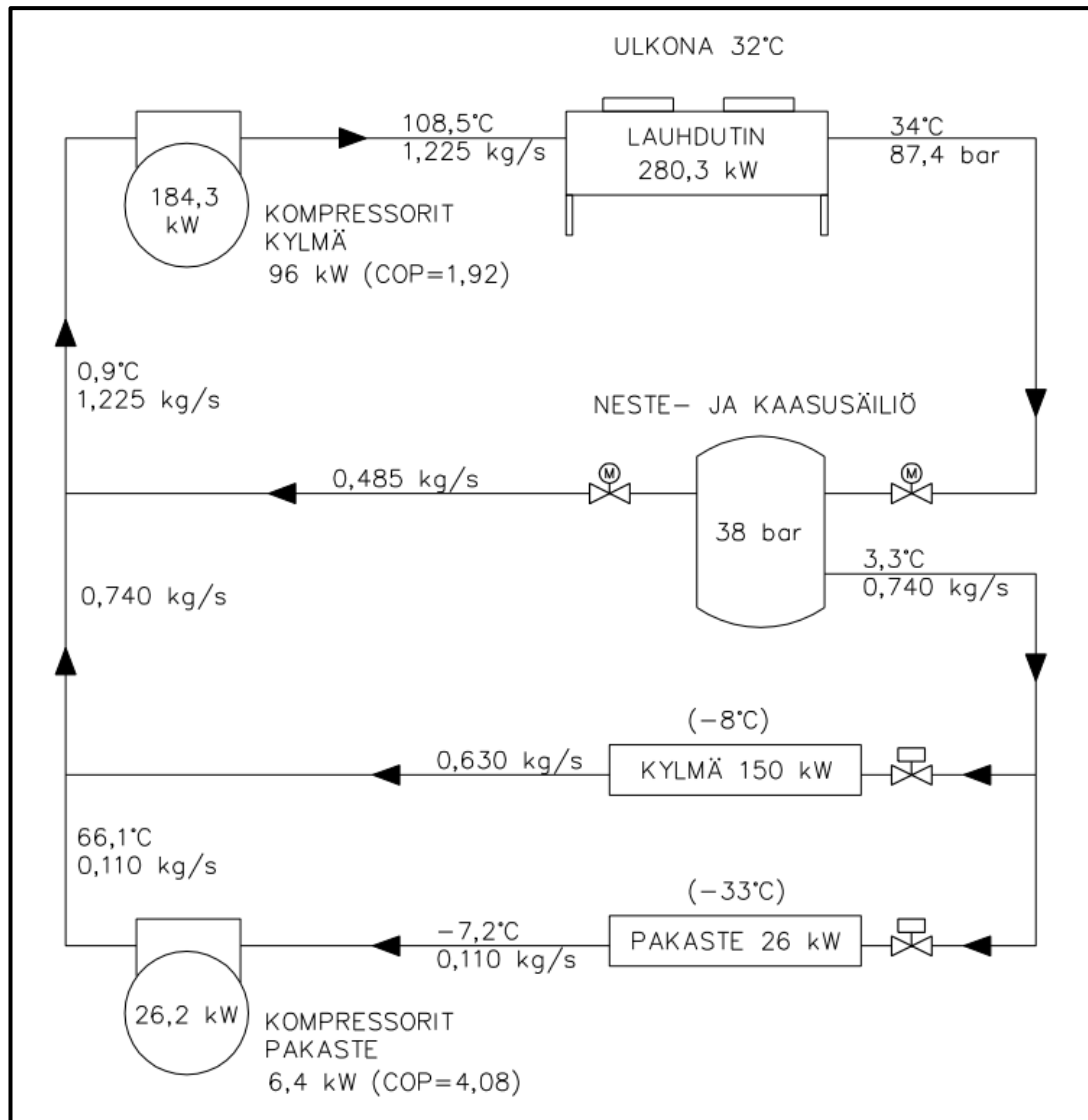
Tarkastelukohteiden koossa pitäydyn supermarket-kaupoissa. Kauppojen pinta-alat ovat hieman yli 2 000 m<sup>2</sup>. Kauppaketjulla on omat suunnitteluohjeet supermarketeille, ja tarkastelen kylmäsuunnittelua ja sähkösuunnittelua niiden ohjeistusten mukaan.

Itse kylmäjärjestelmän sisällä tarkastelen suurimpien sähkönkuluttajien käyttäytymistä ja ohjausta. Esimerkiksi kylmäjärjestelmän pumput ja valaistus vievät niin vähän sähköä, ettei niitä ole mielekästä käsitellä tarkemmin tässä opinnäytetyössä.

### 2.4 Tutkimusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä käytetään enimmäkseen empiiristä tutkimusta. Kylmäjärjestelmän tehon käyttäytyminen todetaan erilaisilla suorilla mittauksilla itse järjestelmästä. Empiirisen tutkimuksen taustalla käytän myös kirjallisuudesta sekä haastatteluista saamaani tietoa.





Kuva 2. Yksinkertaistettu malli kylmäjärjestelmän tärkeimmistä komponenteista.

Kuvan 2 viivat kuvaavat kylmäaineputkia ja nuolet kylmäaineen kulkusuuntaa järjestelmässä. Putkiin on kirjoitettu kylmäaineen massavirta, paine ja lämpötila prosessin eri vaiheissa. Esimerkiksi pakastepuolen höyrystimiltä poistuessaan kylmäaineen lämpötila on  $-7,2\text{ °C}$ , mutta viimeisiltä kompressoreilta lähtiessään lämpötila on  $+108,5\text{ °C}$ . Kuva on piirretty opinnäytetyössä esitetyn kompressorien mitoitusajon pohjalta. Käsittelyn mitoitusajoja luvussa 5.2.

Kylmäaine kulkeutuu nestemäisenä höyrystimille, jotka sijaitsevat itse kylmälaitteissa myymälässä ja myymälän takatiloissa (jääkaapit, pakastimet ja varastuhuoneet jne.).

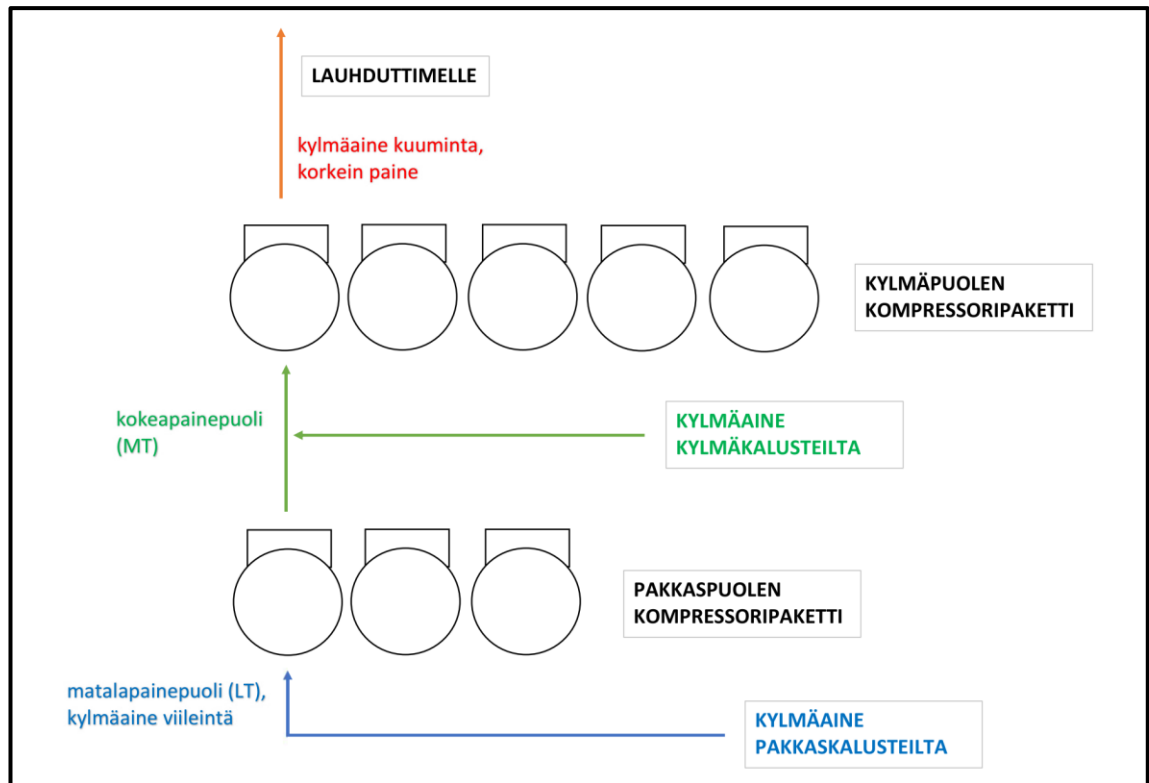
Höyrystimissä kylmäaine kaasuuntuu, ja tämä olomuodon muutos sitoo lämpöenergiaa ympäröivästä tilasta viilentäen tilaa. Kompressorit imevät höyrystyneen kylmäaineen ja puristavat sen tiiviimmäksi kaasuksi. Tiivis kaasu viedään lauhduttimelle, joka viilentää ja nesteyttää kaasun. Mikäli kaasu ei ehdi nesteytyä, se viedään neste- ja kaasusäiliön kautta takaisin kompressoreille ja lauhduttimille. Nestemäinen kaasu jatkaa taas kylmälaitteiden höyrystimille sulkién syklin.

Kuvassa 2 esitetyt venttiilit reagoivat paine-eroihin. Todellisuudessa jokaisella kylmälaitteella on omat venttiilit, mutta kuvassa järjestelmää yksinkertaistaen molemman, kylmä- ja pakastepuolen, venttiilit on piirretty vain yhdellä symbolilla. Yksinkertaistaen, kun yksittäisen kylmälaitteen (pakastin, jääkaappi, kylmävarasto jne.) lämpötila-anturi ilmoittaa, että tarvitaan lisää kylmää, se ohjaa kylmäaineputken venttiiliä auki, jotta nestemäistä kylmäainetta pääsee höyrystimelle. Kun kylmäaine kiehuu höyrystimellä ja kylmälaitte jäähtyy tarpeeksi, lämpötila-anturi ohjaa kylmäaineputken venttiiliä kiinni kylmälaitteella.

### 3.2 Kompressorit

Jäähdytysteho muodostuu kylmäjärjestelmässä kompressorien tekemästä työstä ja kylmäaineen olomuodonmuutoksista. Edellisessä kuvassa 2 kompressoripaketin tuottama jäähdytysteho on merkitty ympyrän sisälle. Kuitenkin itse kompressoripaketin sähköteho on pienempi kuin saavutettu jäähdytysteho. Tähän vaikuttaa järjestelmän COP-arvo. COP-arvo (Coefficient of Performance) kertoo, kuinka paljon saadaan tuotettua jäähdytystehoa (tai lämpöä) verrattuna käytettyyn sähkötehoon [1]. Sähköteho on merkitty kuvassa 2 tekstillä kompressoripaketin viereen. Kuvaan on piirretty vain yksi kompressorit, mutta symbolilla tarkoitetaan kuitenkin useampaa kompressorit, jotka ovat kytketty rinnakkain kylmäaineputkistoon.

Esimerkkikohteessa kompressoreita oli 184,3 kW:n jäähdytystehon kohdalla (kylmäpuolella) 3 kpl rinnakkain ja 26,2 kW:n jäähdytystehon kohdalla (pakkaspuolella) 3 kpl rinnakkain. Kuvassa 3 on esitetty kylmäaineen kulkua kompressoripakettien läpi.



Kuva 3. Kylmäaineen kulku kompressoripakettien läpi.

Pakkaspuolen kylmäainetta puristaa oma, pienempi kompressoripaketti. Se nostaa kylmäaineen painetta sopivalle tasolle, jotta se voidaan sekoittaa kylmäpuolen kylmäaineeseen. Sen jälkeen kaikki kylmäaine imetään vielä kylmäpuolen suuremman kompressoripaketin läpi ja johdetaan lauhduttimelle.

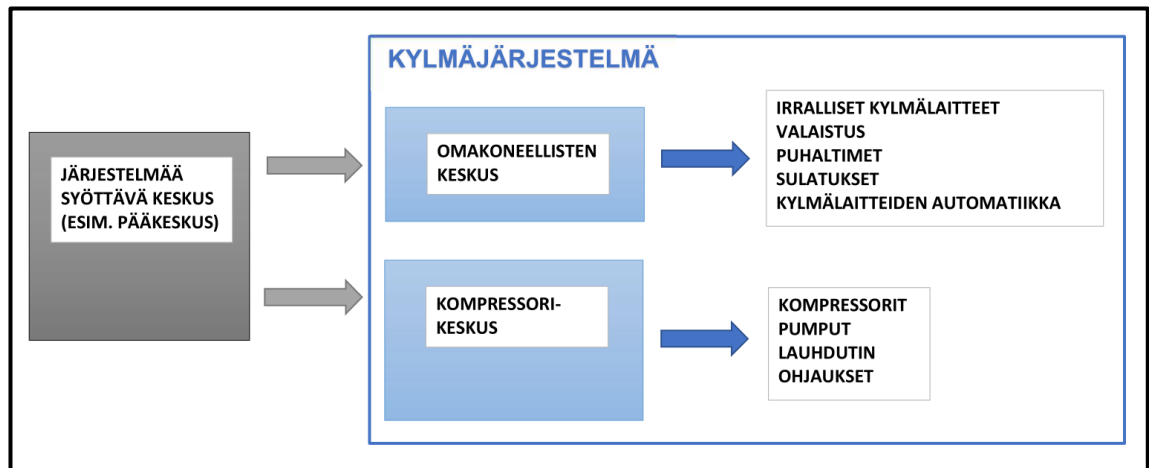
### 3.3 Lauhdutin

Kompressorien puristama kaasu viedään kaupan ulkopuolella sijaitsevalle lauhduttimelle, joka jäädyttää kaasun ulkoilman avulla. Kaasun jäähtyessä lauhduttimella tarpeeksi, se nesteytyy. Tässä järjestelmässä kaikki kaasu ei välttämättä ehdi nesteytyä. Neste- ja kaasusäiliöstä neste jatkaa matkaa kylmälaitteiden höyrystimelle sulkien syklin, ja kaasu johdetaan takaisin kylmäpuolen (MT) kompressoreille ja sitä kautta taas lauhduttimelle.

Lauhduttimen tehtävä on siirtää kylmäaineeseen kylmäkalusteista johtunut lämpö ulkoilmaan. Lämpö siirtyy kylmäaineeseen itse kylmälaitteista sekä kompressoreista niiden tekemän puristustyön seurauksena. Lauhdutustehon täytyy kattaa kylmäaineeseen siirtynyt kokonaislämpöenergia. Lauhduttimen puhaltimien ottama teho ei kuitenkaan ole merkittävä kylmäjärjestelmän ottaman huipputehon kannalta. Mainittakoon kuitenkin, että puhaltimet on varustettu ns. EC-moottoreilla, joiden pyörimisnopeutta ohjataan kulloinkin tarvittavan lauhdutustehon mukaan.

### 3.4 Sähkönsyötöt

Kohteen kylmäjärjestelmän sähkönsyötöt on jaettu kahteen sähkökeskukseen. Kuvassa 4 on esitetty yksinkertaistettu malli kylmäjärjestelmän sähkönsyötöstä.



Kuva 4. Kylmäjärjestelmän sähkönsyöttö ja keskusten tehtävät.

Kylmäkoneikon sähkökeskukseen (kompressorikeskus), joka syöttää kompressoreita, kylmäkoneikon ohjauslaitteita ja pumppuja sekä lauhdutinta ulkona, toisin sanoen kaikkia kylmäjärjestelmän konehuoneessa sijaitsevia komponentteja sekä lauhdutinta, joka esimerkkikohteessa sijaitsee kaupan katolla. Toinen keskus on ns. ”omakoneellisten keskus”. Siitä syötetään mahdollisia järjestelmästä irrallisia olevia omakoneellisia kylmälaitteita, jotka yksittäin hoitavat oman toimintansa. Samasta keskuksesta syötetään myös kaikkien kylmälaitteiden valaistus, ohjauslaitteet, yöverhot sekä sulatusvastukset ja puhaltimet. Molemmille keskuksille tulee siis paljon kuormaa, mutta kylmäkoneikon

keskuksella on huippukuormitustilanteessa suunnitelmien mukaan noin kaksinkertainen kuormitus omakoneellisten keskukseseen verrattuna.

#### 4 Suunnittelusta määräytyvät tekijät

Kylmäsuunnittelija ilmoittaa rakennuksen sähkösuunnittelijalle

- kompressorien, eli kylmäkoneikon ottotehon mitoitusolosuhteissa
- lauhduttimen ottotehon mitoitusolosuhteissa
- kylmäkalusteiden valaistustehon
- kylmäkalusteiden puhaltimien ottama tehon
- kylmäkalusteiden reunalämmityksien tehon
- kylmäkalusteiden sulatuksien yhtäaikaisen tehon.

Tarkastelen tässä luvussa, miten nuo arvot mitoitetaan kylmäsuunnittelussa. Tärkeimpänä asiana käyn kuitenkin ensin läpi itse jäähdytystehontarpeen mitoittamisen. Kaupassa tarvittava jäähdytysteho vaikuttaa suurimpana tekijänä kylmäjärjestelmän tarvitsemaan sähkötehoon.

##### 4.1 Jäähdytystehontarve

Kylmäsuunnittelija laskee kylmäjärjestelmän huipputehon myymäläpohjan sekä sovittujen kalusteiden ja kylmävarastojen jne. mitoituskylmätehojen mukaan sovituissa mitoitusolosuhteissa. Niihin lisätään varaukset mahdollisia kalustelisäyksiä varten. Näiden tehojen avulla mitoitetaan kylmäkoneikko ja lauhdutin. Näistä saadaan maksimiolosuhteen sähkötehoon tarve koneikon kompressoreille ja lauhduttimelle. Koneikon ohjaus saattaa



kompressorit yksitellen ylös taajuusmuuttajalla, joten käynnistysvirtoja ei tässä ole huomioitu. [2]

Yleisestikin kaupan kylmäjärjestelmän jäähdytystehon tarpeet lasketaan maksimitehon mukaan siten, että kaikkien kylmäkalusteiden sekä varastojen ja kylmähuoneiden tehontarpeet lasketaan yhteen. Laskennassa huomioidaan kylmäkalusteiden käyntiaikasuhde. Suomessa valmistajat ilmoittavat kalusteen kylmätehontarpeen pääasiassa sisälämpötilassa +25 °C, ilmankosteuden ollessa 60 % ja käyntiaikasuhde 80 %. [3, s. 45.]

Kuvaan 5 on taulukoitu kohteeseen asennetut kylmälaitteet ja niiden tarvitsemat jäähdytystehot mitoitusolosuhteissa. Taulukon ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty kylmälaitteen positio. Sillä ei ole tämän opinnäytetyön kannalta merkitystä, mutta suunnittelussa se helpottaa tunnistamaan kylmälaitteen nopeammin. Tyhjät positiot ovat jääneet pois kohteesta jossain kohtaa suunnittelua, joten niitä ei tarvitse huomioida laskennassa. Seuraavassa sarakkeessa on ilmoitettu kylmälaitteen tarvitsema sähköteho. Kyse ei ole jäähdytykseen liittyvästä tehosta, vaan sulatusvastuksien, puhaltimien ja valaistuksen tarvitsemasta sähkötehosta. Siihen asiaan palaan otsikon 4.3 alla. Kolmannessa sarakkeessa on itse jäähdytysteho, jonka kylmälaite tarvitsee mitoitusolosuhteissa. Neljännessä sarakkeessa on ilmoitettu, minkä tyyppinen kylmälaite on kyseessä. Viimeiseen sarakkeeseen on merkitty, onko kylmälaite pakkaspuolen laite "P" vai kylmäpuolen laite "K". Pakkaspuoli (LT) ja kylmäpuoli (MT) ovat eri kompressoripaketin takana, mutta loppujen lopuksi molempien tehot lasketaan yhteen, kun kylmäjärjestelmän kokonaistehontarve määritetään.

POSITIO	Sähköteho (kW)	Jäähdytysteho (kW)	Laitteen tyyppi	Kylmä/Pakaste
1	6,2	5,8	pakasteh.	P
2	3,1	2,9	pakasteh.	P
3				
4				
5	16,3	2,9	allas/kaappi	P
6	9,3	3,4	allas/kaappi	P
7	6,4	2,4	allas/kaappi	P
8	17,5	6,3	allas/kaappi	P
9				
10				
11	10,7	19,5	maitoh.	K
12	2,2	3,9	kylmäh.	K
13	1,3	2,2	kylmäh.	K
14	4,8	9,6	kylmäh.	K
15		2,7	kylmäh.	K
16	2,4	2,4	kylmäh.	K
17		2,7	kylmäh.	K
18	2,4	2,4	kylmäh.	K
19				
20				
21	2,7	11,2	kylmäh.	K
22	5,5	12,6	allas/kaappi	K
23	3,8	14,8	allas/kaappi	K
24	1,5	2	allas/kaappi	K
25	2,5	3,4	palveluallas	K
26	2,7	10	allas/kaappi	K
27	3,8	14,8	allas/kaappi	K
28	3,2	12,8	allas/kaappi	K
29	2,3	12	allas/kaappi	K
30	5	17,6	allas/kaappi	K
31	4,4	15,2	allas/kaappi	K
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>120</b>	<b>195,5</b>		
<b>Kylmä</b>	<b>61,2</b>	<b>171,8</b>		
<b>Pakaste</b>	<b>58,8</b>	<b>23,7</b>		

Kuva 5. Esimerkkikohteen kylmälaitteiden sähköteho ja jäähdytystehon tarve +25 °C:n sisälämpötilassa laitetoimittajan mukaan.

Jäähdytystehontarpeen kautta mitoitetaan siis kylmäkoneikon kompressorit. Suunnittelussa kylmäpuolelle annettiin kylmäkoneikon jäähdytystehoksi **150 kW** (sis. varaukset) ja pakkaspuolen koneikolle jäähdytystehoksi **26 kW** (sis. varaukset). Edellisen taulukon mukaan lopulta kohteeseen asennettujen kylmäpuolen kylmälaitteiden yhteen laskettu kylmätehontarve on 171,8 kW ja pakkaspuolen kylmälaitteiden 23,7 kW.

Kuvissa 6 ja 7, jotka ovat otteita kohteen konekortista, on edellä mainitut varaukset mukana. Sen mukaan on kohteeseen valittu kylmäpuolen ja pakkaspuolen koneikot. Laitetoimittajan konekortista ko. laskenta näkyy valitettavasti hieman heikosti, mutta johtopäätökset voidaan niistä lukea. Kuvissa on kylmäpuolen (MT) ja pakkaspuolen (LT) valittu koneikkokokoko näkyvissä.

Kakusteiden tehot: katsottu lämpötilassa 25 C ja kosteudessa 60%				MT Yhl.	181,9	
				koneikko	150	kW (-8/+34)
				koneikko	157	kW (-7/+34)
				Paineilmatimit:		

Kuva 6. Kylmäpuolelle valittu kylmäkoneikon jäähdytysteho laitetoimittajan konekortista.

		3,0	
LT Yhl.		26,7	
		koneikko 26 kW (-33/+8)	
		Jäähdytysteho (kW)	

Kuva 7. Pakkaspuolelle valittu kylmäkoneikon jäähdytysteho laitetoimittajan konekortista.

Kylmäpuolelle on siis valittu 150 kW:n koneikko ja pakkaspuolelle 26 kW:n koneikko. Kaiken kaikkiaan kylmäpuolen jäähdytystehontarve muodostuu suunnittelussa annettusta jäähdytystehosta ja pakkaspuolen aiheuttamasta lauhdetehontarpeesta, jonka kylmäpuoli hoitaa lisäkuormana. Kylmäsuunnittelussa koko järjestelmän jäähdytystehoksi ilmoitettiin **153 kW + 33 kW + 26 kW = 212 kW**. 153 kW:n jäähdytystehotarve tulee kylmäpuolelta. 33 kW on pakkaspuolen lauhduttamisesta aiheutuva kuorma kylmäpuolen koneikolle, ja 26 kW on pakkaspuolella tarvittava jäähdytysteho.

#### 4.2 Kompressorien mitoitus ja valinta

Kylmäpuolella esimerkkikohteessa on viisi kompressoria ja pakkaspuolella kolme kompressoria. Edellä mainitun jäähdytystehontarpeen mukaan kohteeseen on valittu kuvan 8 taulukon mukaiset kompressorit. Taulukossa on esitetty kompressorityypit ja niiden sähköiset arvot laitevalmistajan mukaan [4, s. 8; 5, s. 9]. Kellertävällä pohjalla on esitetty

kylmäpuolen kompressorit (5 kpl) ja sinertävällä pohjalla pakkaspuolen kompressorit (3 kpl).

	Kompressorityyppi	Max. Virta (A)	Max. Teho (kW)
Kylmäkompressori	Bitzer 4JTC-15K 30-70Hz	30,2	21,4
Kylmäkompressori	Bitzer 4HTC-20K 30-70Hz	39,2	27,9
Kylmäkompressori	Bitzer 4FTC-20K 50Hz	42	29,7
Kylmäkompressori	Bitzer 4FTC-20K 50Hz	42	29,7
Kylmäkompressori	Bitzer 4FTC-20K 50Hz	42	29,7
<b>Kylmä yhteensä</b>		<b>195,4</b>	<b>138,4</b>
Pakastekompressori	Bitzer 2FME-4K 30-70Hz	4	4,6
Pakastekompressori	Bitzer 2GME-3K 50Hz	6,9	3,6
Pakastekompressori	Bitzer 2GME-3K 50Hz	6,9	3,6
<b>Pakaste yhteensä</b>		<b>17,8</b>	<b>11,8</b>
<b>Kaikki yhteensä</b>		<b>213,2</b>	<b>150,2</b>

Kuva 8. Kylmäpuolelle ja pakkaspuolelle valitut kompressorit ja niiden sähköiset arvot.

Tämän opinnäytetyön luvusta "Mitoitusajot" selviää, että mitoitusasteessa kylmäpuolen COP-arvo on 1,92 ja pakkaspuolen 4,08. Koko koneikon COP-arvo on 1,72, eli kylmä- ja pakkaspuoli yhteensä.

Kuvan 8 mukaan siis kylmäpuolelle on valittu yhteismaksimitohon 138,4 kW kompressorit ja pakkaspuolelle yhteistehon 11,8 kW kompressorit puhuttaessa sähkötehosta. Maksimivirrat ovat 195,4 A kylmäpuolella ja 17,8 A pakkaspuolella. Tarkoitus ei kuitenkaan ole ajaa kaikkia kompressoreita täysillä. Kyseisen valmistajan saatavilla olevista kompressorityypeistä ei voida yhdistellä juuri kylmäjärjestelmän tarvetta vastaavaa kokoonpanoa. Tehoa säädetään taajuusmuuttajilla tarkemmin sopivaksi. Kuva 9 on valokuva esimerkkikohteen kylmäkoneikon kompressoreista.



Kuva 9. Kylmäkoneikon kompressorit.

Ylärivissä on pakkapuolen kolme kompressoria ja alarivissä kylmäpuolen viisi kompressoria. Oikealla kuvassa näkyvät taajuusmuuttajat ja niiden vieressä pieni osa kompressoreita syöttävää sähkökeskusta. Esimerkkikohteen kylmäjärjestelmässä käytetään mäntäkompressoreita. Kompressorien runkotyypinä käytetään kylmäjärjestelmissä puolihhermeettisiä kompressoreita. Kompressorit voidaan siis tarvittaessa avata huoltoa varten.

Kohteessa käytettyjen kompressorien valmistaja ilmoittaa valittujen kompressorien olevan

- nimenomaan CO<sub>2</sub>-käyttöihin soveltuvia
- korkean paineen kestäviä
- sopivia taajuusmuuttajakäyttöön (30...70 Hz) [4, s. 2 ja 3].

### 4.3 Sulatusvastukset

Sulatusvastukset, puhaltimet ja valaistus syötetään omasta sähkökeskuksesta ”omako-neellisten keskus”, joka on siis erillinen kompressorikoneikon keskuksesta. Tälle keskuk-selle on annettu kylmäsuunnittelussa oma sähkötehotarve. Esimerkkikohteessa suun-nittelun alkuvaiheessa keskuksen tehoksi annettiin 80 kW, jonka lisäksi pitäisi huomioida mahdolliset varaukset tulevaisuuden lisäyksii varten. Myöhemmässä vaiheessa tehon-tarvetta tarkennettiin ja varauksista luovuttiin, sillä kyseessä oli saneerauskohte ja säh-könsaataavuus oli rajallista. Loppujen lopuksi kylmäsuunnittelussa päädyttiin noin **50 kW**:n sähkötehoon (80 A).

Aiemman luvun ”Jäähdytystehontarve” kuvasta 5 voidaan nähdä, että pakkaspuolen kyl-mäkalusteet saattavat tarvita jopa enemmän sähkötehoa kuin jäähdytystehoa. Tähän voidaan verrata esimerkiksi positiota 6, joka tarvitsee jäähdytystehoa 3,4 kW mutta säh-kötehoa 9,3 kW. Tämä johtuu siitä, että sähköisten sulatusvastuksien täytyy sulattaa höyrystimen päältä jää nopeasti lämmittämättä turhaan kylmätilaa ja tuotteita sen sisällä. Tämä johtaa sulatusvastusten suureen tehoon. Kylmälaitteen tarvitsema sähköteho tau-lukossa määräytyy puhallinten, valaistuksen ja sulatusvastusten tehosta, mutta sulatus-vastusten teho kattaa suurimman osan sähkötehosta. Kuvissa 10 ja 11 on esimerkki kylmähuoneen höyrystimestä. Tekninen esite on kokonaisuudessaan nähtävissä liit-teessä 1. Esite on valmistajan, Alfa Lavalin, ilmajäähdytinmallista Optigo CS.

<b>Fan data <sup>(3)</sup></b>			
ErP 2015	Yes	Fan Type	EC
Air flow:	0.5941m <sup>3</sup> /s	Fans/Motor	4
Air Throw	1 x9 m	Fan diameter	300.0mm
Rotation speed	900 rpm	Voltage	230V
Total Nominal Power	<u>68 W</u>	Phase	1ph
Total Nominal current(2)	<u>0.6 A</u>	Connection	-
Sound Pressure Level(3.0 m)(1)	39.49 dB(A)	Sound Power Level	60.00 dB(A)
Frequency	50 Hz	Working Temperature	/50.0 °C

Kuva 10. Kylmähuoneen höyrystimen puhaltimen ottama teho.

Noofheaters			1
Total El.Consumption			<u>2170W</u>
Re-Heating coil	No		
<b>Electrical</b>			
ServiceSwitch	No	Connection box EC connection	Yes
<b>Summary</b>			
Type	Qty	Item Id	Price(€)
Configured Unit	1		2154
Total price			2154
Description 1		CSXL304CS BO ALE CB	
Description 2		AL 7.0 CU	
Program version	5.72	Data update	2019-03-25

Kuva 11. Kylmähuoneen sulatusvastusten ottama teho.

Puhaltimet kuluttavat vain 68 W, kun sulatusvastukset kuluttavat 2 170 W. Sulatuksia ohjataan kylmäjärjestelmässä kuitenkin siten, että niistä on päällä enintään 1/3 kerralla. Siten taulukossa oleva sähköteho voidaan jakaa kolmella, jotta päästään lähelle suunnittelussa huomioitavaa sähkötehoa.

Sähkötehoa siis tarvitaan esimerkkikohteessa edellisen luvun kuvan 5 mukaan sulatusvastuksille jne. yhteensä noin  $1/3 \times 120 \text{ kW} \approx \mathbf{40 \text{ kW}}$ .

Omakoneellisten kylmäkalusteiden (eli sellaisten, jotka jäädyttävät itsensä eivätkä ole kytketty kylmäkoneikkoon) sähköntarve määräytyy jäädytystarpeesta, sulatusvastusten, valaistuksen ja puhallinten sähköntarpeesta. Niitä ei ohjata mitenkään, ja ne ovat kaupan kylmäjärjestelmästä ja toisistansa riippumattomia yksiköitä. Nämä omakoneellisten kylmäkalusteiden sähkötehot pitäisi lisätä ko. keskuksen sähkötehoon, mutta tässä esimerkkikohteessa ei kuitenkaan ollut yhtäkään omakoneellista kylmäkalustetta.

#### 4.4 Lauhdutin

Kylmäjärjestelmän huipputehoon tulee vielä lisätä lauhduttimen puhaltimien ottama teho mitoitusilanteessa. Ulkona katolla sijaitsevan lauhduttimen lauhdutustehoksi annettiin suunnittelussa 300 kW. Lauhdutin on mitoitettu tilanteeseen, jossa ulkona on helle +32 °C [liite 2, s. 2]. Lauhduttimen sähkötehoksi annettiin kylmäsuunnittelussa 5 kW, mutta asennettu lauhdutin näkyy kuvassa 12.

<b>Puhallintiedot <sup>(3)</sup></b>			
ErP 2015	kyllä	Fan Type	EC
Ilma määrä:	28.27m³/s	Fans/Motor	6
Rotation speed (AL Factory)	640 rpm	Puhallinhalkaisija	1000.0mm
Rotation speed (user)	566 rpm	Jännite	400V
Operating power cons.(user)	4155 W	Working Temperature	-25.0/65.0 °C
Kokonaisteho(Max RPM)	15240 W	Phase	3ph
Total Nominal current(2)(Max)	<u>23.4 A</u>	Äänen tehotaso	83 dB(A)
Äänen painetaso(10.0 m) (1)	50 dB(A)		

Kuva 12. Laitetoimittajan ilmoittamia teknisiä tietoja lauhduttimen osalta.

Lauhdutin tuo siis noin 15 kW (23,4 A) lisää huipputehoa kylmäjärjestelmälle mitoitusilanteessa. Lauhduttimella käytettyjen puhallinten moottorit ovat EC-moottoreita, joiden nopeutta ohjataan kylmäaineen jäädytystarpeen mukaan [liite 2, s. 2]. Lauhduttimen huipputeho siis tulee vastaan vain lämpiminä päivinä.

#### 4.5 Koko kaupan huipputeho

Edellisten lukujen mukaan siis kylmäjärjestelmän sähköiseksi huipputehoksi ilmoitettiin suunnittelussa kompressorikoneikon 110 kW + ”omakoneellisten keskuksen” 50 kW, eli



yhteensä **160 kW**. Yksi tämän opinnäytetyön liikkeellepanevista voimista oli se, kun huomasi, ettei kauppaketjun suunnitteluohjeitten mukaan itse kaupalle jäisi enää paljoa sähköä, jos kylmäjärjestelmä pyörisi mitoitusilanteessa ja kaikki laskelmat pitäisivät paikkansa. Kauppaketjun sähkön suunnitteluohjeessa nimittäin on maininta, että koko kaupan huipputeho on noin 70 W/m<sup>2</sup> supermarket-kokoluokassa [liite 3]. Kyseisen kohteen pinta-ala on noin 2 500 m<sup>2</sup>.

Näin ollen huipputeho olisi koko kaupalle 2500 m<sup>2</sup> x 70 W/m<sup>2</sup> = **175 kW** (noin 250 A).

Tässä kohteessa siis kaupan muille sähkölaitteille jäisi kuumana hellepäivänä 175 kW – 160 kW = 15 kW. Se ei ole paljon tuon kokoiselle kaupalle. Minulla on tullut myös kohteita vastaan, joissa kylmäjärjestelmälle suunnittelussa ilmoitettu sähköteho ylittäisi koko kaupalle lasketun huipputehon edellä mainitulla laskentatavalla. Sitten muille kaupan sähkölaitteille ei jäisi mitään sähkötehoa käytettäväksi kylmäjärjestelmän mitoitusolosuhteissa.

Kylmäjärjestelmä on kaupassa suurin yksittäinen kuluttaja [6, s. 5]. Mainittavia muita isoja sähkönkuluttajia kesäaikana ovat uunit, lämpöpumppu / ilman jäähdytys ja kuivaus, lämminvesivaraaja sekä näistä ehkä pienimpänä ilmanvaihdon puhaltimet. Uuneja esimerkkikohteessa on 4 kpl (jokainen uuni teholtaan 11 kW tai yli). Ilman kuivauksen / jäähdytyksen tehoa en osaa arvioida, mutta laitteen liitântäteho on noin 40 kW ja kesäaikana laite ottaa suurimman tehon. Valaistus ei esimerkkikohteessa ota suurta virtaa, sillä saneerauksen yhteydessä kauppaan uusittiin LED-valaistus DALI-ohjauksella. Esimerkkikohteessa valaistuksen kulutus on noin 10 kW. Näiden lisäksi kaupassa on tietenkin suuri määrä pienempiä sähkölaitteita käytössä päivän aikana.

## 5 Kompressorit

Luvun ”kompressorien mitoitus ja valinta” kuvasta 8 nähdään kohteeseen valitut kompressorit. Aiemmin esitellyt COP-arvot on ilmoitettu kompressoreille mitoitusilanteessa, ulkoilman ollessa 32 °C ja sisäilman 25 °C [7]. Kompressoreista aiheutuvan loistehon kompensointi on toteutettu esimerkkikohteessa pääkeskuksella. Kylmäsuunnittelussa ilmoitettu kylmäjärjestelmän loisteho on 60 kVAr. Seuraavaksi käyn läpi

Kylmäsuunnittelusta aiheutuvat vaatimukset kylmäjärjestelmässä käytettäville kompressoreille sekä itse mitoitusajot, joissa laskennallisesti määritetään, minkä tehoiset kompressoripaketit (MT- ja LT-puolet) kylmäkoneikolle tarvitaan. Lopuksi esittelen, miten kompressoreita ohjataan kylmäjärjestelmässä.

### 5.1 Suunnittelussa määritellyt vaatimukset

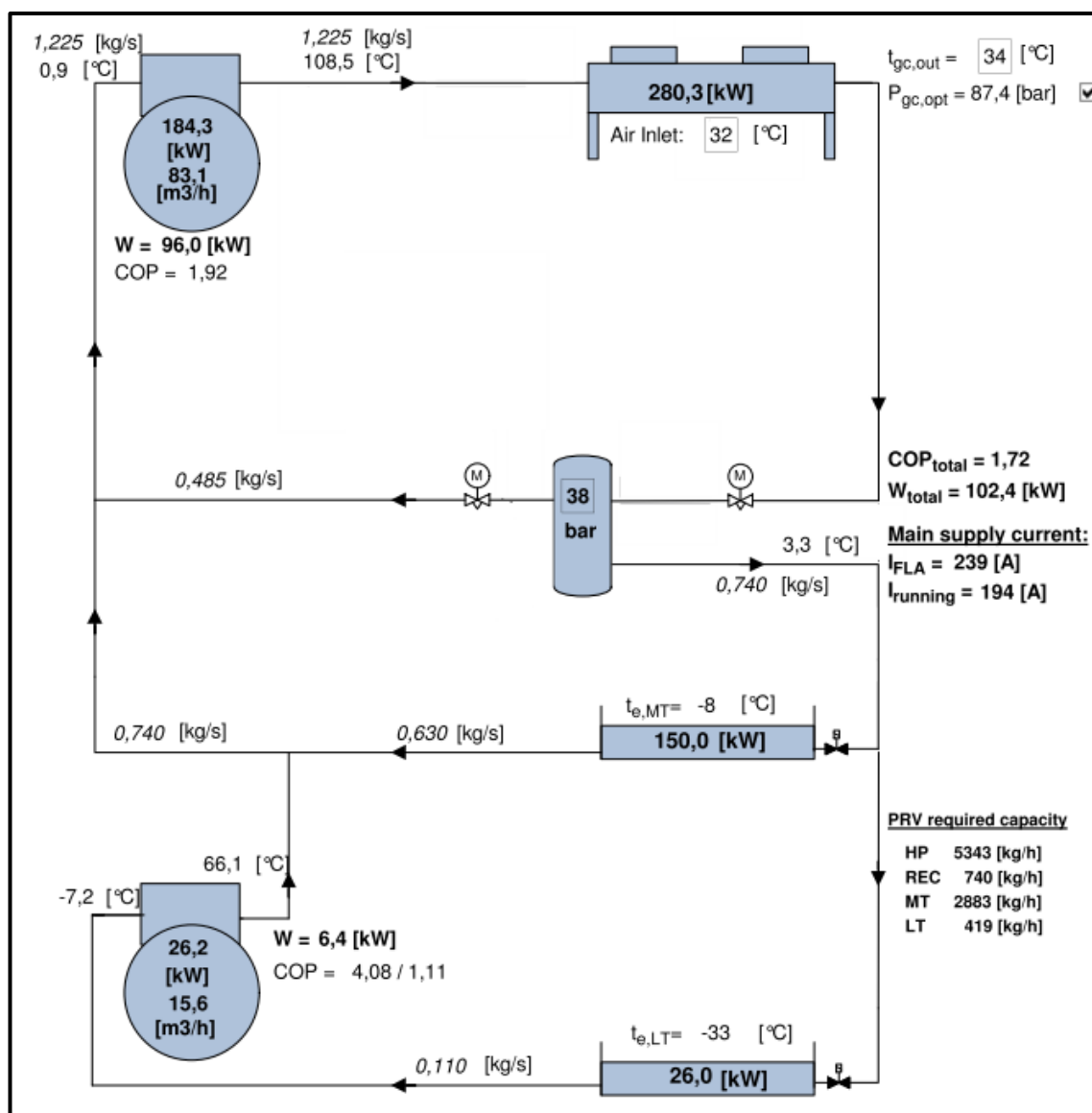
Kylmäsuunnitelmissa asetetaan vaatimuksia kompressoreille ja kompressoripaketeille. Kompressoripakettien tehoa pitää pystyä säätämään portaittain. Kylmäpuolelle (MT) säätöportaita vaaditaan minimissään neljä ja pakkaspuolelle minimissään kolme porrasta [Liite 2, s. 1]. Säätöportaita tarvitaan, jotta saadaan vaihtelevan jäähdytystarpeen mukainen jäähdytysteho aikaiseksi. Kylmälaitteiden tarvitsema jäähdytysteho vaihtelee mm. ovien avaamisen, tuotteiden lisäämiseen sekä kaupan sisälämpötilan ja ilmankosteuden muutosten seurauksena. Esimerkkikohteessa on kylmäpuolella viisi ja pakkaspuolella kolme säätöportasta jo pelkästään kompressorien lukumäärän takia. Kompressoreita ohjaavilla taajuusmuuttajilla saadaan tarkempi säätö aikaiseksi.

Pääasiassa kompressoreista halutaan taajuusmuuttajaohjattuja, mutta kompressoripaketissa voi olla myös normaaleita kompressoreita, jos muita kompressoreita pystytään ohjaamaan taajuusmuuttajalla. Kylmäpuolella (MT) sekä pakkaspuolella (LT) halutaan kompressoripaketista saatavan minimitehon olevan 20 % maksimitehosta. [Liite 2, s. 1] Tämä siis tarkoittaa koko kompressoripaketin tehoa eikä yksittäistä kompressoria. Esimerkkikohteessa käytettävien taajuusmuuttajaohjattujen kompressorien säätöalue on 30...70 Hz.

### 5.2 Mitoitusajot

Kylmäsuunnittelun määräämien tehotarpeiden avulla voidaan laskennallisesti katsoa, minkälaiset kompressoripaketit kylmäjärjestelmään voidaan valita. Esimerkkikohteen laitetoimittaja kertoi sähköpostihaastattelussa, että laitetoimittaja tekee kompressorijot suunnittelijan määrittämässä mitoitusolosuhteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että kompressorit käyvät käytännössä aina mitoitusolosuhteita pienemmillä tehoilla ja niitä paremmilla

hyötysuhteilla. [8] Kuvassa 13 on ote esimerkkikohteen kompressorijosta. Laskenta on tehty tietokoneella, laitetoimittajan laskentaohjelmalla.



Kuva 13. Kompressorijot kohteesta [liite 4].

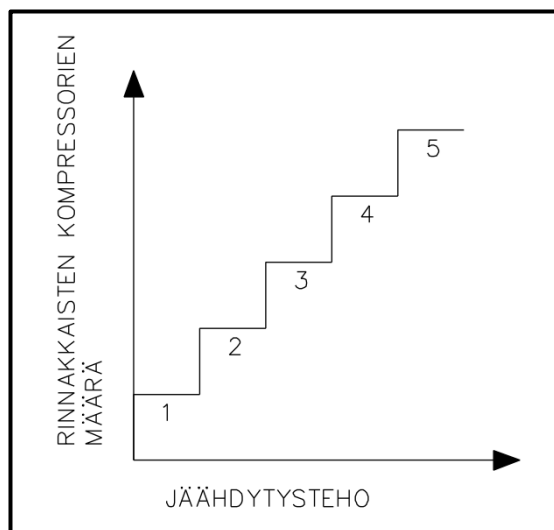
Pyöreähkö symboli kuvassa tarkoittaa kompressoripakettia. Symbolin sisälle on merkitty kompressoripaketin tuottama jäähdytysteho. Kylmäpuolella on 184,3 kW jäähdytystehoa ja pakkaspuolella 26,2 kW. Symbolin viereen on merkitty COP-arvo ja sähköteho. Kylmäpuolella sähkötehoa tarvitaan 96 kW (COP = 1,92) ja pakkaspuolella 6,4 kW (COP = 4,08). Valitut kompressoritehot vastaavat suurin piirtein kylmäsuunnitelmassa annettua 110 kW:n sähkötehoa (96,0 kW + 6,4 kW = 102,4 kW). Kylmäsuunnitelmassa

annettuun 110 kW:n sähkötehoon on laskettu mukaan ulkona sijaitsevan lauhduttimen ottama teho.

Laitetoimittajan laiteluettelossa toimitetun kompressorikoneikon maksimivirraksi on ilmoitettu 239 A ja käyntivirraksi 195 A. Mainituissa virroissa on huomioitu lauhduttimen puhaltimet kaupan ulkopuolella katolla sekä loisvirta. [Liite 5] Loisvirtaa ja loistehoa ei kannata sekoittaa kylmäsuunnitelmissa ilmoitettuun huipputehoon, sillä tehosta puhuttaessa kylmäsuunnitelmissa tarkoitetaan pätötehoa. Kompensointitarve on ilmoitettu kylmäsuunnitelmissa erikseen.

### 5.3 Kompressorien ohjaukset

Kompressorit vievät kylmäjärjestelmässä eniten tehoa. Lisäksi kompressorit suoraikäynnisteisinä ottavat suuren käynnistysvirran. Tämän takia kompressorien ohjaukseen kylmäkoneikolla kiinnitetään paljon huomiota. Automaation avulla saadaan kompressoripaketin antama teho vastaamaan kylmäjärjestelmässä kulloinkin tarvittavaa tehoa, sekä käynnistysvirtoja voidaan pienentää. Kompressoreita voidaan ohjata monella tapaa. Yksinkertaisin tapa on jakaa kylmäjärjestelmän kuorma monelle rinnakkaiselle kompressorille ja käynnistää aina seuraava kompressori edeltävän rinnalle kuorman kasvaessa. Tätä ohjaustapaa on havainnollistettu alla kuvassa 14.



Kuva 14. Rinnakkaisten kompressorien yksinkertainen ohjaus jäähdytystehotarpeen muuttuessa.

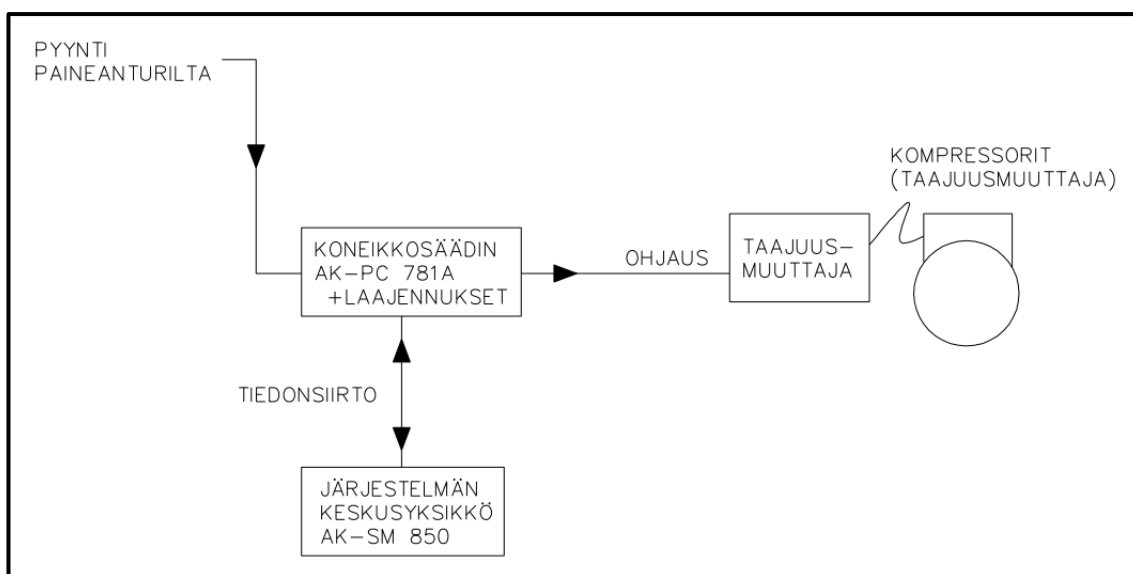
Kuvassa esitetyssä ohjaustavassa kompressorit käynnistetään vuorollaan ja käynnistysvirrat pysyvät siedettävänä. Kovin tarkkaa hienosäätöä ei kuitenkaan saada aikaiseksi, ja käynnistyskertoja tulee monia yhtä kompressoria kohden, mikäli jäähdytystehontarpeessa on nopeita muutoksia. Tämä on kuitenkin suuri parannus verrattuna siihen, jos käytössä olisi vain yksi iso kompressor. Jos käytössä olisi vain yksi iso kompressor, olisi sillä suuri käynnistystaajuus ja lyhyt käyntiaika. Tällainen jatkuva käynnistys kuluttaa kompressoria, ja toisaalta on myös energiamielessä kallista käyttää verrattuna porrastettuun kokoonpanoon.

Kompressorien käynnistystä voidaan vuorotella, jolloin yksi kompressor ei pääse kulumaan muita enemmän (käyntiaikojen tasaus). Tällöin ensimmäistä tehoporrasta ei aina hoida kompressor 1, vaan seuraavalla kerralla sen hoitaa kompressor 2, sitten kompressor 3 jne. Yksinkertaisimmillaan järjestelmän säätöportaiden määrä on sama kuin rinnakkaisten kompressorien lukumäärä. Jotta käytettävien kompressorien tuottama jäähdytysteho saadaan vastaamaan tarkemmin kulutusta, ohjataan esimerkkikohteessa vielä kompressorien pyörimisnopeutta taajuusmuuttajilla.

Esimerkkikohteessa kylmäpuolella kaksi taajuusmuuttajaa hoitaa viiden kompressorin ohjauksen. Yksi taajuusmuuttaja ohjaa yhden moottorin kierrosnopeutta. Näin saadaan aikaiseksi tehon hienosäätö. Kun tehontarve kasvaa, taajuusmuuttaja jättää ensiksi ohjatun moottorin suoralle syötölle ja käynnistää seuraavan moottorin rinnalle, sekä säätää sen pyörimisnopeutta. Näin voidaan tehdä, kunnes kaikki koneikon kompressorit ovat käynnissä ja maksimiteho saavutettu. Pakkaspuolella (LT) yksi taajuusmuuttaja hoitaa kolmen kompressorin ohjauksen. Tällä kokoonpanolla saadaan riittävä tehonsäätö kylmäjärjestelmään ja käynnistysvirrat pysyvät pieninä. Taajuusmuuttajien ohjauksesta vastaa kylmäjärjestelmän koneikkosäädin.

Kompressorien ohjausta säädetään kompressorin matalapainepuolen (imupuolen) anturien sekä korkeapainepuolen anturien mukaan. Paineanturien lisäksi molemmilla puolilla on lämpötilamittaukset, jotka osallistuvat tehonsäätöön. [Liite 6] Yksinkertaistettuna kylmälaitteessa höyrystyvä kylmäaine kasvattaa painetta kompressorin imupuolella. Paineen kasvaessa imupuolella tarpeeksi, paineanturi ilmoittaa järjestelmälle tehontarpeesta. Jos kompressoreita ei ohjattaisi päälle, kylmäaineen paine tasaantuisi koko

järjestelmässä. Siinä tapauksessa kylmäjärjestelmä ei jäädyttäisi enää. Kuvassa 15 on esitetty yksinkertaistettu kaavio kompressorien ohjaukseen osallistuvista laitteista.



Kuva 15. Kylmäjärjestelmän kompressoreita ohjaavat laitteet.

Koneikkosäädin AK-PC 781A säättää kompressorin tehoa taajuusmuuttajan kautta. Säätimessä on myös varotoimintoja koskien kompressorin käyntiä (esimerkiksi ylipaineen valvonta). Tarvittaessa säätimellä voidaan myös rajoittaa kompressorin maksimitehoa. Laajennuksilla kuvassa tarkoitetaan laajennusmoduuleita, joilla saadaan esimerkiksi lisää sisään- ja ulostuloja koneikkosäätimeen. [9, s. 3; 26.] Järjestelmän keskusyksikkö AK-SM 850 valvoo ja ohjaa koko kylmäjärjestelmää ja sen komponentteja. Itse keskusyksiköltä voidaan myös lukea mittaustietoja ajassa taakse päin. [10, s. 4.] Myös jännitekatkot on huomioitu ohjauksessa siten, että kylmäaineen syöttöä kompressoreille jaksotetaan. Tällöin kompressorit eivät kuormitu liikaa täydellisen toimintakatkon jälkeen. [Liite 6]

## 6 Mittaukset

Seuraavaksi käydään läpi todellisia mittaustuloksia, joita esimerkkikohteesta saatiin. Alun perin tarkoitus oli laittaa energia-analysaattori esimerkkikohteeseen mittaamaan kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta. Keväällä 2020 virusepidemian takia kuitenkin, ko.

mittarilisäyksestä luovuttiin. Analysaattori ei kuulunut alkuperäisiin sähkösuunnitelmiin, ja se olisi pitänyt lisätä jälkeen päin. Mielestäni energia-analysointia kannattaa käyttää ainakin päämittauksessa sekä muissakin isommissa järjestelmissä. Analysointia seuraamalla saadaan selville tarkemmin, miten kohteen kulutus käyttäytyy. Analysointia tallentaa omaan muistiin esimerkiksi huipputehon sekä huippuvirran. Normaali sähkömittari tallentaa muistiinsa vain kumulatiivisen energiamäärän. Normaaleita sähkömittareita esimerkkikohteessa on asennettuna paljon valvomaan erilaisia kulutuskohteita.

Mittauksissa tarkastelin kylmäjärjestelmän antamia huipputehoja sekä sähkölaitoksen ilmoittamia kulutustietoja. Kylmäjärjestelmän molemmissa sähkökeskuksissa on keskuskohtainen päämittaus.

Esimerkkikohteessa on kauppaketjun oma mittausjärjestelmä sähkön osalta. Mittausjärjestelmään on liitetty myös kylmäjärjestelmän sähkömittarit. Mittausjärjestelmän tiedot viedään internetiin, jota kautta niistä tallennetaan lukemia muistiin. Tämän opinnäytetyön tekohetkellä tuo järjestelmä ei ollut vielä kytketty verkkoon viivästymisien takia, joten sitä kautta ei kulutustietoja voitu tarkastella. Osasyynä viivästymisiin oli se, että muutama mittari käytti väärää tiedonsiirtoprotokollaa. Keskusvalmistaja oli laittanut osittain väärä mittareita sähkökeskuksiin, ja niiden vaihtaminen viivästyi. Uusia mittareita ei ollut nopeasti saatavilla. Mittareita pystyi kyllä lukemaan esimerkkikohteessa paikan päältä, mutta itse mittari ilmoittaa vain kumulatiivisen lukeman, joka ei ole mielenkiintoinen tämän opinnäytetyön osalta. Itse kylmäjärjestelmän keskusyksiköltä sain siis kuitenkin luettua myös tarkkoja mittaustietoja molemmilta kylmäjärjestelmän keskuksilta.

## 6.1 Kylmäjärjestelmän mittausjärjestelmä

Kylmäjärjestelmää ohjaa Danfoss AK SM 850 -keskusyksikkö. Tuo keskusyksikkö myös vastaanottaa ja tallentaa monia mittauksia järjestelmästä.

Keskusyksikköön on liitetty

- järjestelmän valvontayksiköt ja säätimet

- kylmäkoneikon toiminnan mittaukset
- lauhduttimen toiminnan mittaukset
- lämmöntalteenoton piirin meno- ja paluulämpötilat
- sisäilman mittaustiedot
- kWh-mittaukset.

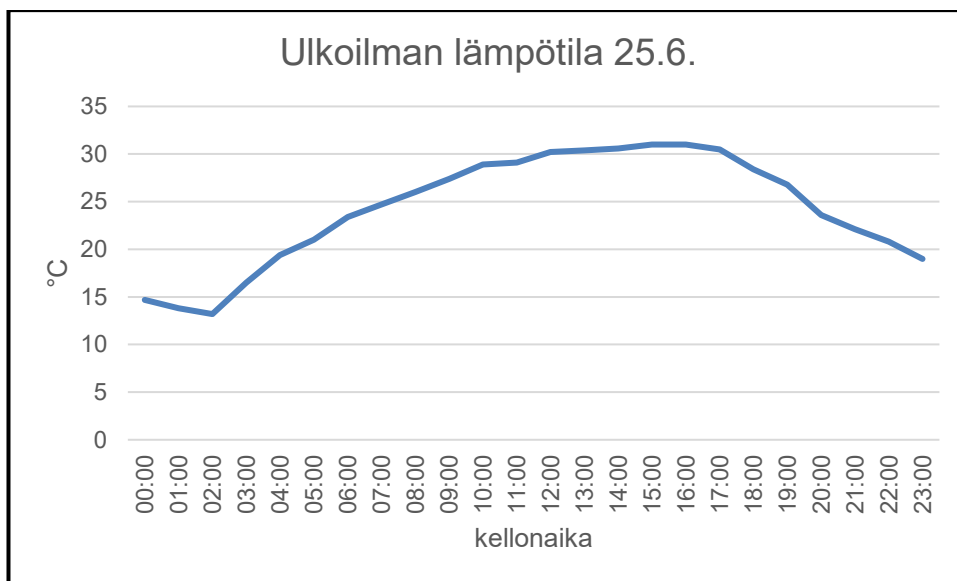
Tämän opinnäytetyön kannalta tärkeimmät mittaukset ovat kylmäjärjestelmän molempien sähkökeskusten päämittaukset, sekä sisälämpötila- ja sisäilmankosteusmittaukset. Molemmissa keskuksissa on siis tiedonsiirtoväylään liitetyt päämittaukset. Näin ollen kylmäkoneikon keskukselta ja omakoneellisten keskukselta saadaan kulutustiedot keskusyksikölle. Keskusyksikkö tallentaa tiedot ja ne saadaan tulostettua siitä ulos. Mittaustietoja voidaan tarkastella pitkälle menneisyyteen, mutta kiinnostuksen kohteena oli yksi tietty lämmin päivä kesäkuussa. Kylmäjärjestelmä saatiin esimerkkikohteessa toimintakuntoon kevättalvella 2020.

## 6.2 Todelliset huipputehot ja kulutus

Luvussa 4.1 määriteltiin kylmäsuunnittelusta suunnitteluvaiheessa saatu kylmäjärjestelmän sähköinen huipputeho 160 kW. Mittauksien perusteella saadaan todellinen huippuvirta selville vallitsevissa olosuhteissa.

Kesän 2020 viikko 26 oli lämmin viikko laajalti Suomessa. 25. päivä kesäkuuta oli kuumin päivä kyseessä olevasta viikosta. Silloin päästiin esimerkkikohteen paikkakunnalla Pirkkalassa iltapäivällä +31 °C:n lämpötilaan [11]. Se on hyvin lähellä kylmäjärjestelmän mitoituslämpötilaa (ulkona +32 °C). Tuo päivä on siis mielenkiintoinen kulutustietoja tarkasteltaessa ja onni sinänsä, että tuollainen lämmin viikko sattui heti kesän alkuun tämän opinnäytetyön kannalta. Tuon päivän mittaustulokset olivat luonnollinen valinta tämän opinnäytetyön pohjalle. Kuvassa 16 näkyvät ulkoilman lämpötilatiedot esimerkkikohteen paikkakunnalta päivän 26.6. osalta tunneittain.



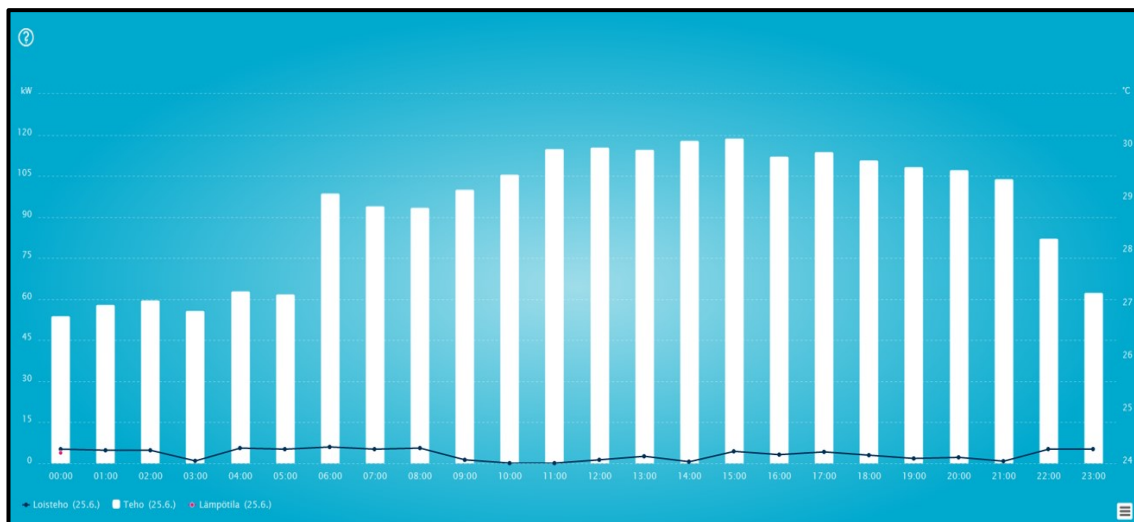


Kuva 16. Lämpötila tunneittain 26.6.

Kylmäjärjestelmän kulutuksen kannalta iltapäivä näyttäisi vaativan eniten jäähdytystehoja. Kulutuksen olettaisi kasvavan aamusta iltapäivään ja sitten taas laskevan iltaa kohden.

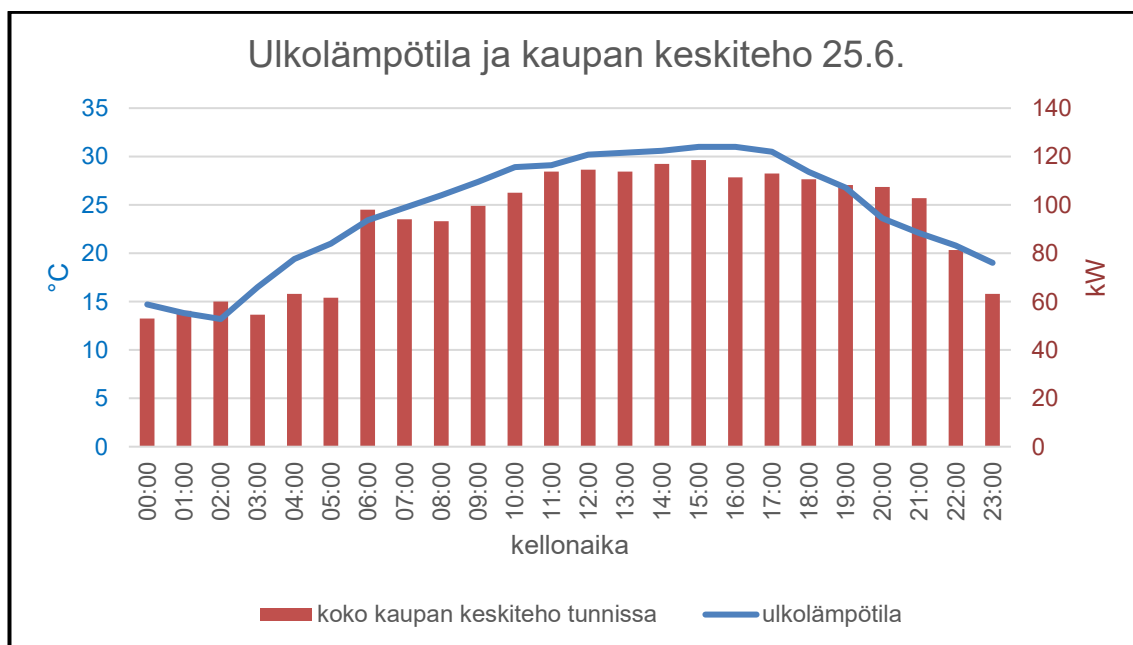
### 6.2.1 Verkkoyhtiön kulutustiedot

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni, tarkasteltiin myös verkkoyhtiön ilmoittamia kulutustietoja kaupan osalta. Kauppias ystävällisesti toimitti nämä tiedot. Ko. verkkoyhtiö ilmoittaa keskimääräisen tehon tunneittain, ja sitä voidaan tarkastella ajassa taakse päin. Nämä tiedot voidaan hakea netistä tunnuksien takaa. Nämä kulutustiedot ovat päämittauksesta ja siis käsittävät koko kaupan kulutuksen. Kuvassa 17 esitetään kuvaaja kulutuksesta päivän 25.6. ajalta.



Kuva 17. Koko kaupan kulutus (kWh) tunneittain 25.6.

Kuvassa 17 vaalealla palkilla on ilmoitettu keskikulutus joka tunnilta. Musta viiva kuvaa loistehon kulutusta tunneittain. Kello 15:00 päästään noin 120 kW:n tehoon, joka on päivän maksimi. Tein hieman selvemmin luettavan kuvaajan kulutuksesta joka on esitetty kuvassa 18. Kuvaajassa on mukana ulkoilman lämpötila ko. päivän osalta. Kuvassa ulkolämpötila on esitetty sinisellä viivalla ja kaupan ottama teho punaisilla palkeilla.



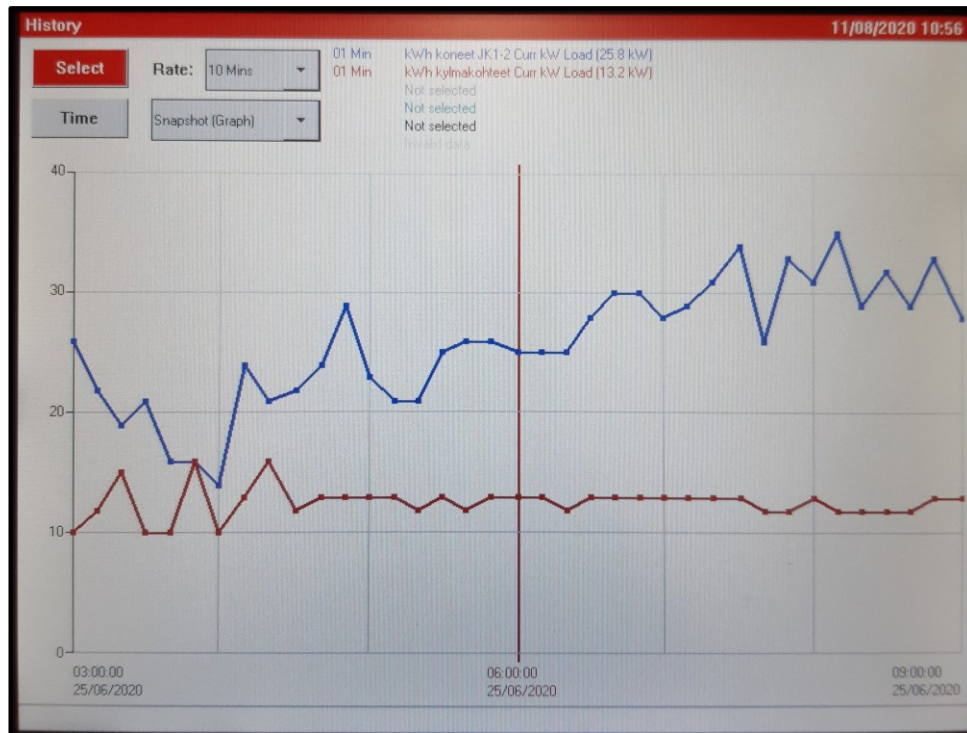
Kuva 18. Päämittauksen antama huipputeho (punaisella) sekä ulkoilman lämpötila (sinisellä) 25.6.

Iltapäivällä kylmäjärjestelmän pitäisi pyöriä melkein mitoitustilanteessa. Kuvista 17 ja 18 nähtävä koko kaupan 120 kW:n huipputeho on kuitenkin huomattavasti odotettua pienempi, jos sitä verrataan kylmäsuunnittelussa ilmoitettuun pelkästään kylmäjärjestelmän 160 kW:n huipputehoon. Yöllä kylmä pyörii kaupassa miltei yksinään, kun keskitytään sähkönkulutukseen. Yöllä myös ulkona on viileämpi, joten silloin kylmäjärjestelmä ei pyöri mitoituslämpötilassa.

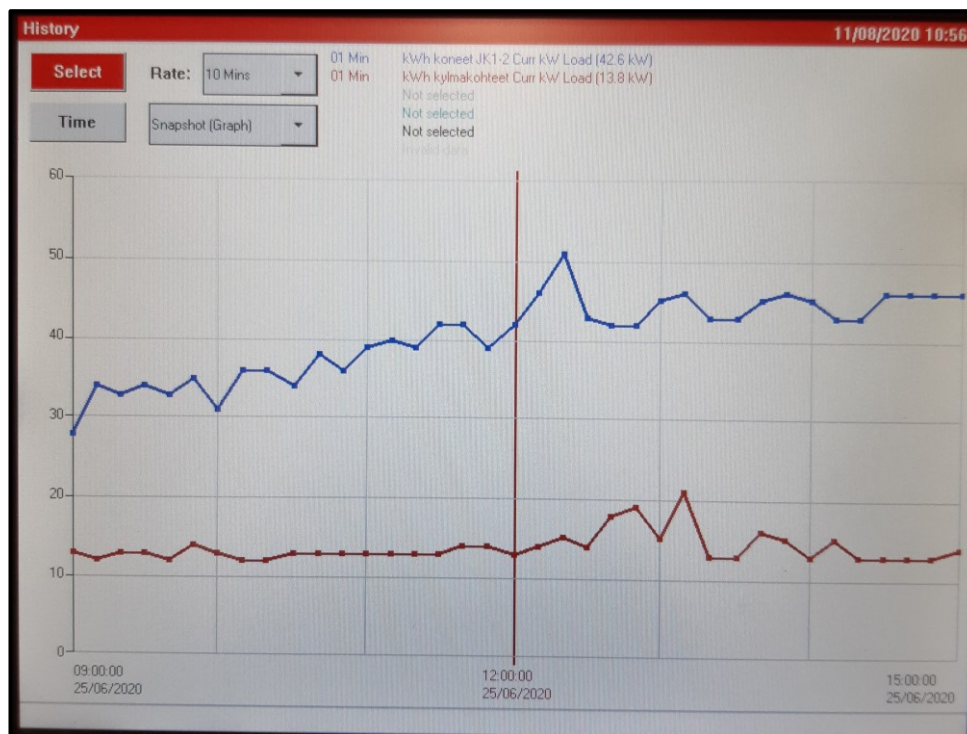
Aamulla noin klo 05:00–06:00 avataan avonaisten kylmäkalusteiden yöverhot sekä laitetaan uunit päälle. Tämä näkyy kokonaiskulutuksen nousuna aamulla. Päivän aikana uunit ja muut sähkölaitteet ovat käytössä kaupassa satunnaisesti. Kaupan mennessä kiinni kello 22:00, yöverhot suljetaan. Tämä näkyy tehontarpeen laskuna illalla. Kaupan sähkönkulutuksesta ja päivärutiineista kertoi kauppias haastattelussa [12]. Kylmäjärjestelmän tehontarpeen nousu ja lasku päivän aikana vaikuttaa paljon kaupan kokonaiskulutukseen.

#### 6.2.2 Kylmäjärjestelmän mittaustiedot

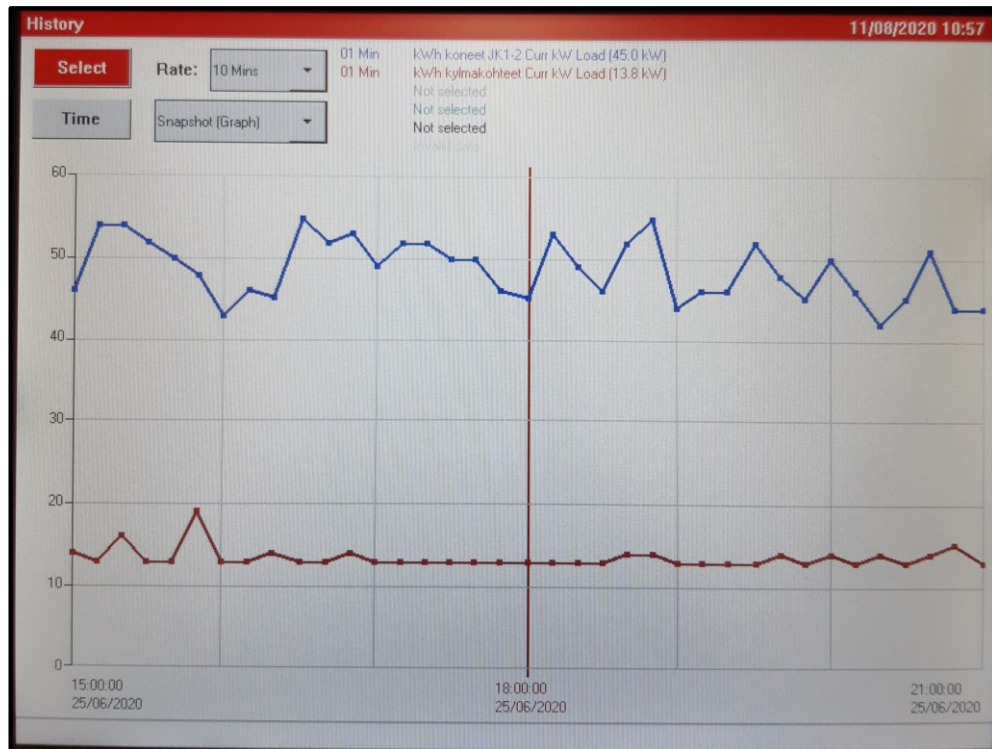
Seuraavaksi tarkastellaan itse kylmäjärjestelmästä saatavia mittaustuloksia. Kuvissa 19–22 on esitetty kylmäjärjestelmän kahden sähkökeskuksen kulutus päivän 25.6. ajalta. Kompressorikeskus eli kylmäkoneikon keskus on nimetty kylmäjärjestelmässä ”koneet JK1-2”, ja sen teho näkyy kuvissa sinisellä viivalla. Omakoneellisten keskus on nimetty ”kylmakohteet” ja ko. keskuksen teho on merkitty kuvissa punaisella viivalla.



Kuva 19. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 03:00–09:00.



Kuva 20. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 09:00–15:00.

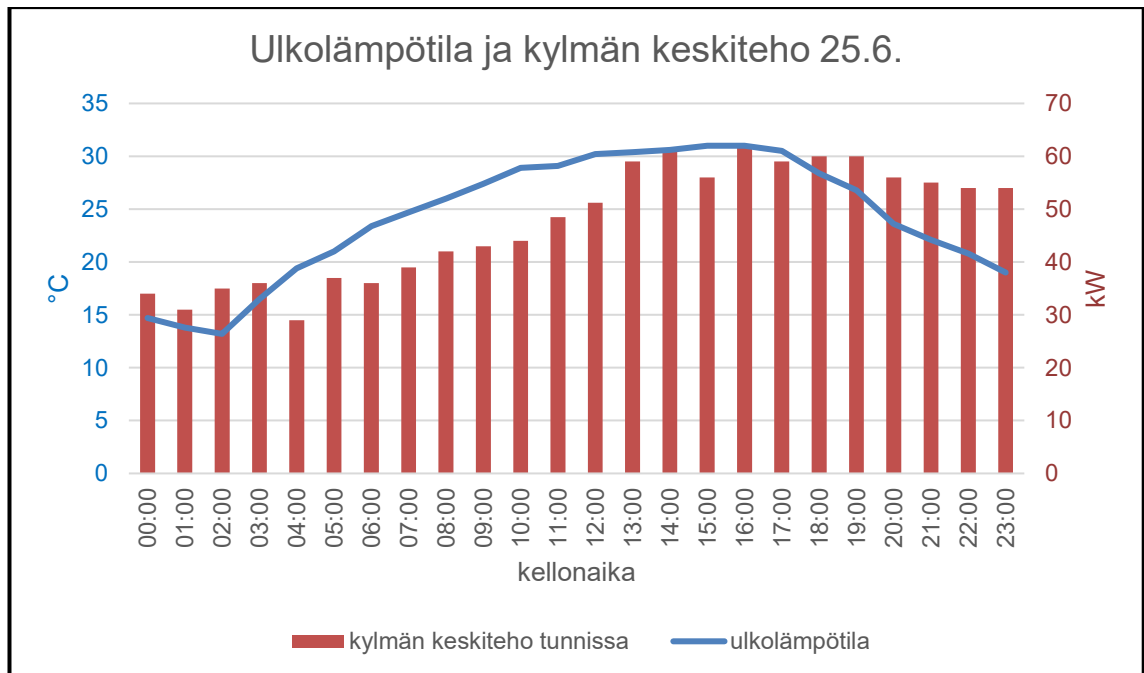


Kuva 21. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 15:00–21:00.



Kuva 22. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 17:00–23:00.

Kuvissa 19–22 on selvyiden vuoksi esitettyä mittaustiedot koko päivän ajalta 25.6. Kuvista voi kuitenkin nähdä, että kompressorikeskuksen huipputeho saavutetaan kello 18:00 jälkeen huipputehon ollessa noin 55 kW. ”Omakoneellisten keskuksen” huipputeho saavutetaan kello 13:00 jälkeen huipputehon ollessa hieman yli 20 kW. Molemissa keskuksissa ei siis saavuteta huipputehoa samaan aikaan. Kuvaajista voidaan lukea yhteinen maksimi, noin **70 kW**, joka saavutetaan kello 15:00 jälkeen. Kuvassa 23 on ilmoitettu molempien keskusten yhteisteho ja ulkolämpötila päivän 25.6. ajalta.



Kuva 23. Kylmäjärjestelmän antama teho (punaisella) sekä ulkoilman lämpötila (sinisellä) 25.6.

Kylmäjärjestelmän ottama kokonaisteho näyttäisi seuraavan ulkolämpötilaa pienellä viiveellä. Tarkastellaan vielä kaupan sisälämpötilaa ja ilmankosteutta. Sisälämpötila vaikuttaa kylmäjärjestelmän kokonaistehoon enemmän kuin ulkolämpötila, sillä nimenomaan sisälämpötila lämmittää kylmäkalusteita. Suuri sisäilmankosteus nostaa kylmälaitteiden tarvitsemaa jäähdytystehoa, mutta alla olevista kuvista nähdään, että ilmankosteus ei pääse huipputehon aikana mitoitussuhteeseen eli 60 %:iin. Ulkolämpötila taas vaikuttaa suuremmin itse lauhduttimen ottamaan tehoon. Kuvissa 24–27 on esitetty sisälämpötila ja ilmankosteus päivän 25.6. ajalta. Sisälämpötila on ilmoitettu harmaalla viivalla ja ilmankosteus sinivihreällä viivalla.



Kuva 24. Kaupan sisälämpötila ja ilmankosteus 25.6. klo 00:00–06:00.



Kuva 25. Kaupan sisälämpötila ja ilmankosteus 25.6. klo 06:00–12:00.



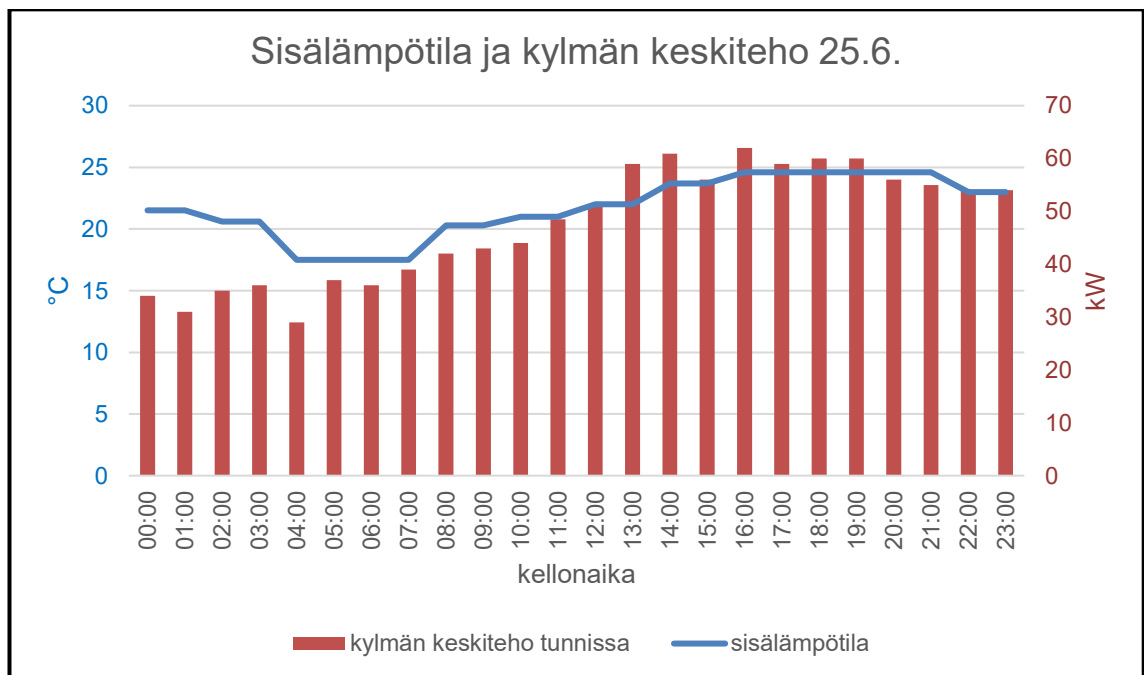
Kuva 26. Kaupan sisälämpötila ja ilmankosteus 25.6. klo 12:00–18:00.



Kuva 27. Kaupan sisälämpötila ja ilmankosteus 25.6. klo 18:00–23:40.

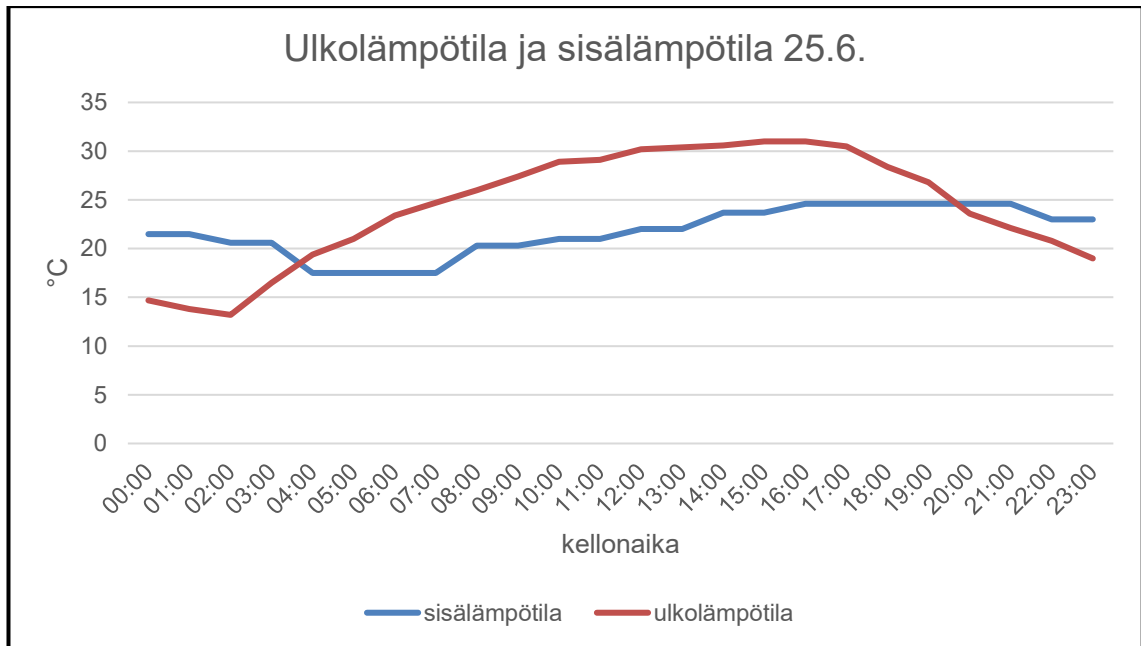


Sisällä on viileämpää yöllä ja lämpötila nousee hitaasti iltaa kohden. Lämpimintä on kello 16:00:sta eteenpäin ja maksimilämpötila on 24,6 °C sisällä. Sisälämpötilan osalta ollaan siis maksimissaan erittäin lähellä kylmäsuunnittelussa käytettyä mitoituslämpötilaa 25 °C. Ilmankosteus nousee yön aikana ja laskee päivän aikana. Maksimi on kello 06:00 jälkeen hieman yli 60 %. Ilmankosteutta alentaa muun muassa se, että avonaisten kylmäkalusteiden yöverhot avataan aamulla. Varsinkin avoimet (ovettomat) kylmäkalusteet sitovat vettä ilmasta kondensaation takia. Katsotaan vielä kylmäjärjestelmän tehoa verrattuna sisälämpötilaan. Kuvassa 28 on esitetty kylmäjärjestelmän teho ja sisäilman lämpötila päivän 25.6. ajalta.



Kuva 28. Kaupan sisäilman lämpötila ja kylmäjärjestelmän teho 25.6.

Kylmäjärjestelmän ottama sähköteho näyttäisi seuraavan sisälämpötilan muutoksia hieman selkeämmin, kuin ulkolämpötilan muutoksia. Yllä olevista kuvaajista voidaan päätellä, että kylmäjärjestelmän kulutus nousee, kun on lämmintä. Tämä korrelaatio on helppoa jopa maalaisjärjellä todeta ja ennakoida. Sisälämpötilan muutokset tapahtuvat ulkolämpötilan muutoksien perässä viiveellä. Kuvassa 29, jossa on esitetty ulkolämpötila ja sisälämpötila päivän 25.6. ajalta.



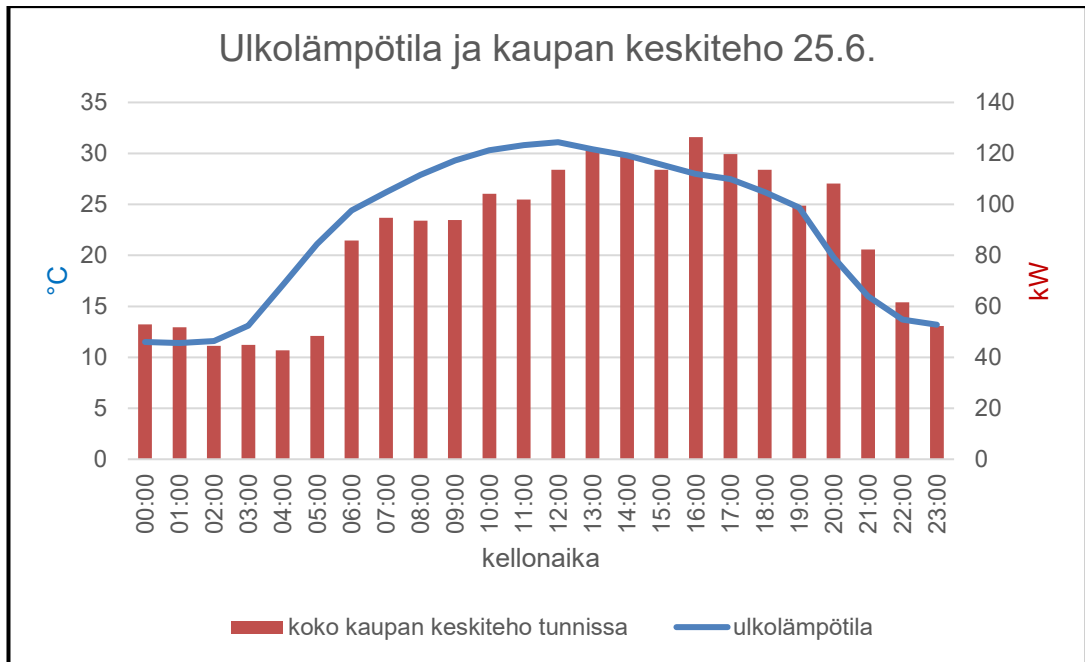
Kuva 29. Ulkoilman lämpötila ja kaupan sisäilman lämpötila 25.6.

Kuvan 29 kuvaajasta nähdään ulkolämpötilan nousun ja sisälämpötilan nousun ajallinen ero. Rakenteet ja lähinnä eristeet vaikuttavat sisälämpötilan nousun viiveeseen verrattuna ulkolämpötilaan.

Seuraavaksi esittelen vielä mittaustuloksia kahdesta vertailukohteesta, jotka ovat kylmäsuunnitelmissa annetuilta huipputehoiltaan ja kaupan kokoluokaltaan hyvin samanlaisia esimerkkikohteen kanssa. Mittaustulokset niihin otin saman päivän ajalta, sillä kyseessä oleva päivä 25.6. oli myös vertailukohteiden paikkakunnilla lämmin ja lähellä kylmäsuunnittelussa käytettyä mitoituslämpötilaa. Kohteissa oli saman kokoluokan CO<sub>2</sub>-boosterkoneikot.

### 6.2.3 Ensimmäinen vertailukohde

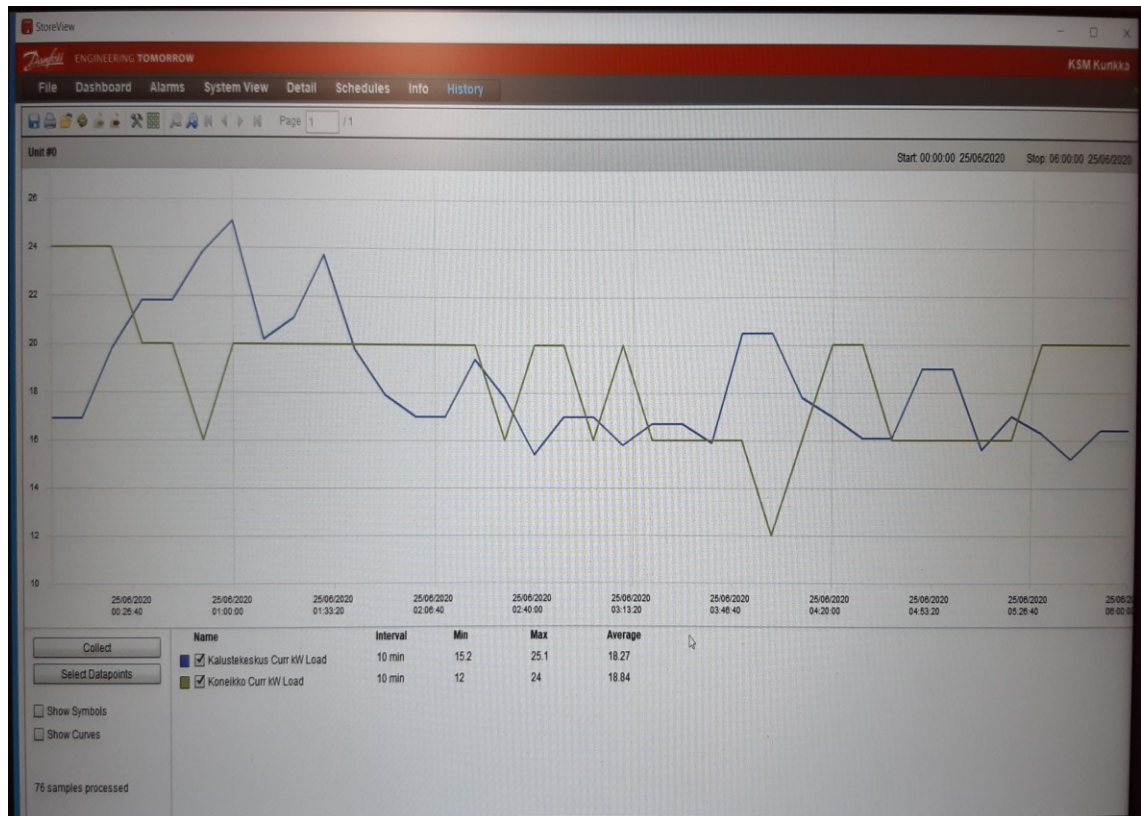
Ensimmäinen vertailukohde oli supermarket Kurikassa. Kohteen pinta-ala on noin 1 500 m<sup>2</sup>. Kuvassa 30 on esitetty ensimmäisen vertailukohteen koko kaupan keskiteho tunneittain ja ulkolämpötila päivän 25.6. ajalta.



Kuva 30. Ensimmäisen vertailukohteen koko kaupan ottama teho sekä ulkoilman lämpötila päivän 25.6. ajalta.

Koko kaupan tehontarve näyttäisi käyttäytyvän hyvin samanlailla kuin esimerkikohteesakin. Ensimmäisessä vertailukohteessa ei ollut sisäilman jäähdytystä. Sisäilma nousi yli 27 °C:n lämpötilaan päivän 25.6. osalta, mutta mittausten antamat lukemat olivat hyvin samanlaisia kuin esimerkikohteessa, jossa siis oli korkeimmillaan hieman yli 24 °C:n sisälämpötila. Ensimmäisen vertailukohteen huipputeho 25.6. oli 126 kW.

Kuvissa 31–34 on esitetty ensimmäisen vertailukohteen kylmäjärjestelmän kahden sähkökeskuksen kulutus päivän 25.6. ajalta. Kompressorikeskus eli kylmäkoneikon keskus on nimetty kylmäjärjestelmässä ”koneikko”, ja sen teho näkyy kuvissa vihreänruskealla viivalla. Omakoneellisten keskus on nimetty ”kalustekeskus” ja ko. keskuksen teho on merkitty kuvissa sinisellä viivalla.



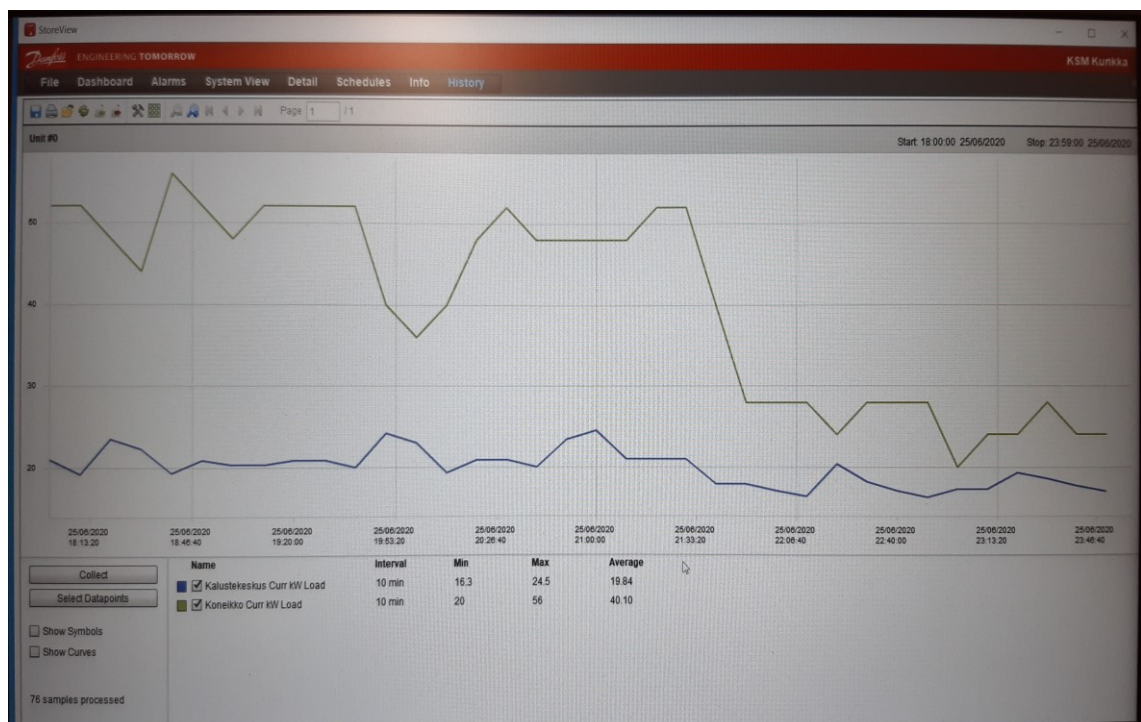
Kuva 31. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 00:00–06:00.



Kuva 32. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 06:00–12:00.

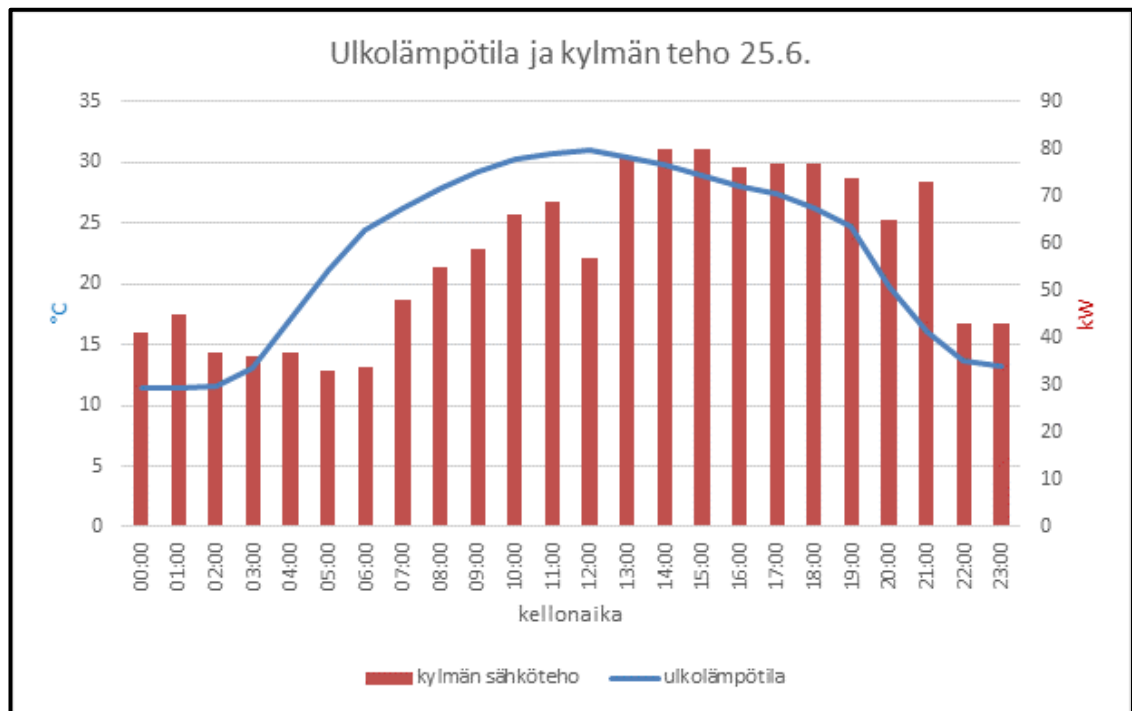


Kuva 33. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 12:00–18:00.



Kuva 34. Kylmäjärjestelmän keskusten tehot 25.6. klo 18:00–23:50.

Esitin tästä vertailukohteestakin mittaustiedot koko päivän ajalta 25.6., jotta voidaan nähdä, miten kylmäjärjestelmän teho käyttäytyy. Kuvista 31–34 on ehkä hieman vaikea lukea tarkkoja arvoja. Kuitenkin kompressorikeskuksen huipputeho saavutetaan noin kello 14:00 huipputehon ollessa noin 60 kW. ”Omakoneellisten keskuksen” huipputeho saavutetaan noin kello 07:30 huipputehon ollessa noin 30 kW. Molemmissa keskuksissa ei tässäkään kohteessa siis saavuteta huipputehoa samaan aikaan. Tein selvemmän kuvaajaan mittaustiedoista, jossa on ilmoitettu kylmäjärjestelmän kokonaisteho palkeilla tasatunneittain ja sisäilman lämpötila sinisellä viivalla. Tämä kuvaaja näkyy alla.



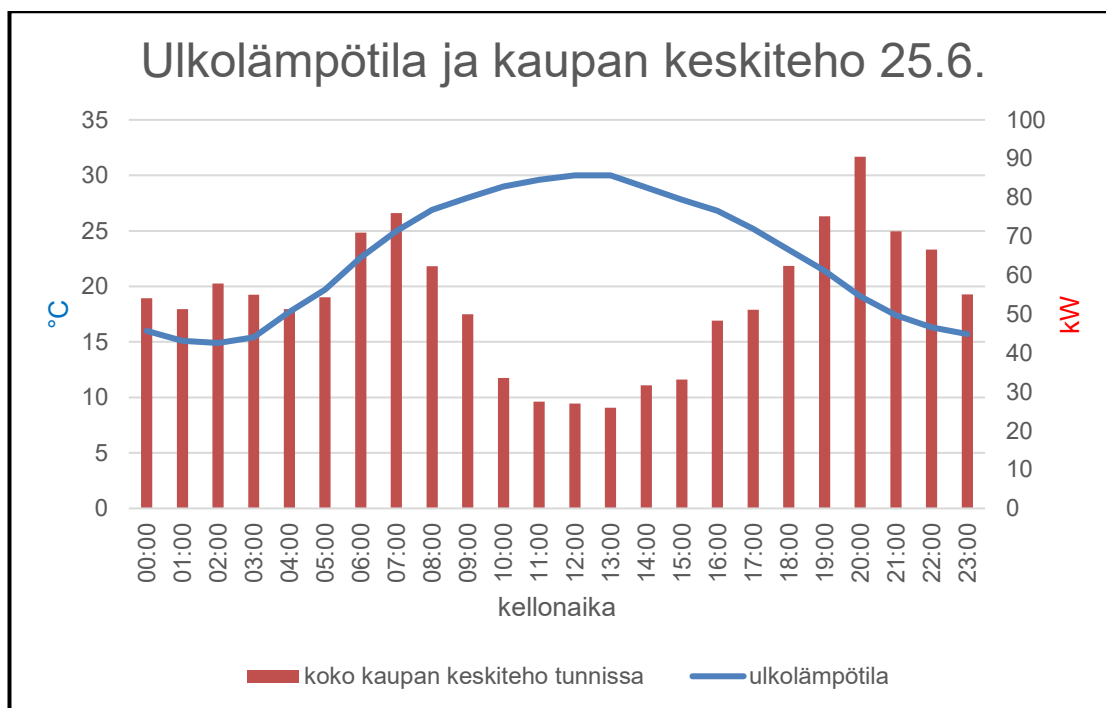
Kuva 35. Kylmäjärjestelmän antama teho (punaisella) sekä ulkoilman lämpötila (sinisellä) 25.6.

Kylmäjärjestelmän kokonaishuipputeho saavutetaan noin kello 14:00. Huipputeho on silloin noin 80 kW. Ulkolämpötila Kurikassa 25.6. klo 14:00 oli +29,8 °C ja kaupan sisälämpötila hieman alle +24 °C.

#### 6.2.4 Toinen vertailukohde

Toinen vertailukohde oli supermarket Karkkilassa, pinta-alaltaan noin 2 200 m<sup>2</sup>. Tähän kohteeseen oli asennettu sisäilman jäähdytys. Itse kylmäjärjestelmästä ei saatu luettua

mittaustietoja, sillä mittareiden liittäminen kylmäjärjestelmän keskusyksikölle oli kesken. Verkkoyhtiön kautta saatiin kuitenkin koko kaupan yhteiskulutus luettua päivän 25.6. osalta. Kuvassa 36 on esitetty toisen vertailukohteen koko kaupan keskiteho tunneittain ja ulkolämpötila päivän 25.6. ajalta.



Kuva 36. Toisen vertailukohteen koko kaupan ottama teho sekä ulkoilman lämpötila päivän 25.6. ajalta.

Toisen vertailukohteen teho käyttäytyy eri tavalla verrattuna esimerkkikohteeseen sekä ensimmäiseen vertailukohteeseen. Keskipäivällä tässä kohteessa kulutus on pienintä, vaikka ulkona on silloin helle.

Päiväajan pienempi kulutus selittyy sillä, että tähän kohteeseen on asennettu aurinkopaneeleita 107 kW:n nimellistehon verran. Kohteen aurinkopaneelien toimittaja kertoi, että kesän aurinkoisena päivänä saadaan asennetusta tehosta noin 80 % talteen ja kaupan sähköverkon käyttöön [13]. Tämä tarkoittaa toisessa vertailukohteessa noin  $107 \text{ kW} \times 0,8 = 85 \text{ kW}$ . Jos tuo 85 kW lisätään kohteen keskipäivän kulutukseen (kesäaikaan klo 13:00 aurinko on suurin piirtein korkeimmillaan), saadaan tunnin keskiarvoksi koko kaupan teholle  $26 \text{ kW} + 85 \text{ kW} = 111 \text{ kW}$ . Tuo 111 kW vastaa paremmin kahden muun kohteen kulutusta. Aurinkosähkö toimii hyvin jäähdytyksen kulutuksen

kompensointina, sillä kylmäjärjestelmän kulutus on suurimmillaan kuumana kesäpäivänä. Silloin myös aurinkosähköä saadaan talteen eniten. Tämä on mielenkiintoista, mutta sinänsä sivuhuomaus tässä opinnäytetyössä. Aurinkosähköstä saatava hyöty ja kannattavuus on oma suunnittelu- ja laskenta-alansa.

## 7 Yhteenveto ja taloudellisuus

Esimerkkikohteen mittaustuloksista huomataan, ettei kylmäjärjestelmän ottama todellinen huipputeho vastaa kylmäsuunnittelussa määriteltyä huipputehoa lähellä mitoitustilannetta. Lämpimän päivän 25.6. osalta kylmäjärjestelmä otti noin puolet suunnittelussa ilmoitetusta tehosta. On mahdollista, että kylmäjärjestelmän kahden eri keskuksen tehoiikkit osuisivat päällekkäin samaan aikaan ajan saatossa. Siinäkin tilanteessa kylmäjärjestelmän ottama todellinen teho, tämän opinnäytetyön mittausten valossa, olisi siis paljon pienempi kuin suunnittelussa ilmoitettiin.

Yksi selitys suunnittelussa ilmoitetusta suuresta tehosta on siinä, että yksittäisten kylmälaitteiden jäähdytystehontarpeet lasketaan suoraan yhteen. Supermarket-kokoluokan kaupassa on kuitenkin varmasti jo jonkinlaista vuorottelua kylmälaitteiden jäähdytystehontarpeessa. Siten kaikki pakastimet ja jääkaapit jne. eivät tarvitse yhtä aikaa täysillä jäähdyttämistä. Oikein pienessä kaupassa se voisi olla todennäköisempää.

Kuvassa 37 on esitetty vielä yksinkertainen vertailu kaikista kolmesta kohteesta päivän 25.6. osalta. Taulukoin ensimmäiseen sarakkeeseen kohteen ja nimen. Toisessa sarakkeessa on ilmoitettu kylmäsuunnitelmista saatu kylmäjärjestelmälle ilmoitettu kokonaishuipputeho. Kolmanteen sarakkeeseen kirjasin mittaustuloksista saadun kylmäjärjestelmän huipputehon ja neljänteen sarakkeeseen verkkoyhtiön ilmoittaman koko kaupan huipputehon. Neljännessä sarakkeessa on suluisa ampeerimäärä, jota kaupan huipputeho suurin piirtein vastaa.



Kohde	Kylmäjärjestelmän teho kylmäsuunnitelmissa	Mitattu huipputeho kylmäjärjestelmästä	Mitattu koko kaupan huipputeho
Esimerkkikohde (Pirkkala)	160 kW	70 kW	120 kW (175 A)
Vertailukohde 1 (Kurikka)	171 kW	80 kW	126 kW (185 A)
Vertailukohde 2 (Karkkila)	200 kW	ei saatavilla	111 kW (160 A)

Kuva 37. Esimerkkikohteen ja vertailukohteiden tehotiedot.

Kuvasta 37 nähdään, että kulutuksen lukemat ovat hyvin lähellä toisiaan, kun huomioidaan aurinkosähkön vaikutus toisessa vertailukohteessa. Kaikissa kohteissa kylmäsuunnittelussa ilmoitettu kylmäjärjestelmän ottama sähköinen huipputeho ylitti mitatun tehon yli 100 %:lla.

Kylmäjärjestelmä on varmasti hyvä hieman ylimitoittaa, jopa senkin takia, että mahdollisiin poikkeustilanteisiin on varauduttu. Esimerkiksi jos joku kompressori hajoaa, voivat muut, rinnalla olevat, kompressorit hoitaa hajonneenkin tehtävät. On hyvä kuitenkin pitää mielessä, että asennettu teho ei ole sama asia kuin järjestelmän ottama huipputeho.

Ensimmäisessä vertailukohteessa (Kurikka) koko kaupan huipputeho oli 25. noin 126 kW, ja huippuvirta siis noin 180 A. Kohteeseen on asennettu pääkeskus 630 A:n rungolla ja liittymän pääsulakkeina on yhteensä 600 A sulakkeet. Liittymisjohtoina on 3 kpl AXMK 4x150S -kaapelit. Tämä nostaa sähköurakan hintaa, jos verrataan siihen, että kohteessa olisi pienempi, mutta vieläkin turvallista kokoluokkaa oleva 400 A:n pääkeskus ja kaksi liittymiskaapelia. Esimerkiksi Tampereen alueella 630 A:n liittymän hinta on hieman yli 23 500 € ja 315 A:n liittymän hinta hieman yli 13 500 € [liite 7]. Sähköliittymien kuukausimaksut ovat samat mainituissa kokoluokissa. Muita energian hinnasta johtuvia kustannuksia voidaan kilpailuttaa. Kauppaketjulla voi myös olla omia erikoissopimuksia sähkölaitosten ja verkkoyhtiöiden kanssa. Liittymien hinnat on kuitenkin esitelty suuntaa antavasti.

Pelkästään sähkösuunnittelun näkökulma on kylmäjärjestelmän huipputehon mitoittamisen kannalta ehkä siltikin rahallisesti verrattaen pieni. Katsotaanpa koko rakennusta ja talotekniikkaa. Itse kylmäkoneikko maksaa tässä opinnäytetyössä esillä olleessa kokoluokassa noin 100 000 € [14]. On vaikea arvioida, kuinka paljon hinta laskee, jos jäähdytystehosta tingitään. Suurin muutos on ehkä pelkästään kompressorien määrä

koneikolla. Voisi kuvitella, että hinta laskisi joitakin tuhansia pelkästään kompressorien vähentyneen määrän takia. Toisaalta kylmäjärjestelmän muitakin komponentteja voitaisiin varmaan pienentää.

Suuri vaikutus rahallisesti ja rakennuksen toiminta mielessä pitäen on se, että jos kylmäjärjestelmä ylimitoitetaan vaikuttaa tämä myös kylmäjärjestelmän lämmöntalteenottoon.

Kylmäsuunnittelusta saadaan LVI-suunnittelun pohjalle mm.

- höyrystystehot
- suurin mitoittava lauhdutusteho
- kylmäjärjestelmän lämmöntalteenotosta saatava teho päivällä
- kylmäjärjestelmän lämmöntalteenotosta saatava teho yöllä
- konehuoneen ylitämpö
- kylmäjärjestelmän kauppaa jäähdyttävä vaikutus päivällä ja yöllä.

Lämpöpumpun investoimiseen kylmäjärjestelmän lämmöntalteenottoon voidaan suunnitteluvaiheessa ajautua jo senkin takia, että kylmäjärjestelmästä lasketun lämmöntalteenoton antaman energian oletetaan olevan tarpeeksi kattava taloudellisesti. Lämpöpumppu maksaa tässä kokoluokassa jo paljon, noin 120 000–180 000 €.

Lämpöpumpun ja lämmöntalteenoton kannattavuus kylmäjärjestelmästä lasketaan LVI- ja energiasuunnittelussa suunnitteluvaiheessa. Jos tuo laskelma jo suunnitteluvaiheessa antaa vääristäviä tuloksia, joudutaan laitteiden hankinnassa ja jopa rakennusprojektin kannalta energia-taloudellisesti väärille poluille. Lämpöpumpun hankintapäätökseen voivat vaikuttaa myös kauppaketjujen sisäiset strategiset päätökset. Kauppaketju voi esimerkiksi panostaa hiilijalanjäljen pienentämiseen, jolloin kohteeseen saatetaan joka tapauksessa hankkia lämpöpumppu. Toinen tapa on miettiä takaisinmaksuaikaa, jolloin

lasketaan tarkemmin, kuinka kannattavaa lämpöpumppu on hankkia kylmäjärjestelmän lämmön talteenottoon.

Joka tapauksessa, itse kauppiasta kiinnostavat kaikki säästöt, jotka voidaan saada aikaiseksi kylmäjärjestelmää ja sen lämmöntalteenottoa hankittaessa. Kylmäsuunnitelma tulee kauppaketjun järjestämänä, mutta itse kylmäjärjestelmän ja mahdollisen lämpöpumpun omistaa ja kustantaa kauppias. [14] Mahdolliset kymmenien tuhansien eurojen säästöt ovat sinänsä jo merkittäviä, ja toisaalta ei ole myöskään itse kauppaketjun intressi ylimitoittaa kaupan järjestelmiä ja niissä käytettyjä laitteita.

Mielestäni kylmäjärjestelmän käyttäytymistä olisi syytä tutkia lisää itse järjestelmän asiantuntijoiden toimesta. Sähkösuunnittelijana en kokenut sen olevan tietämysalaani, mutta jonkinlaista pohjaa tästä opinnäytetyöstä sellaiseen tutkimukseen saadaan. Mittausten pohjalta voitaisiin sanoa, että kylmäsuunnitelmissa ilmoitettu teho voitaisiin kertoa 0,6:lla ja oltaisiin silti ”turvallisella puolella”.

## Lähteet

- 1 Kolme tärkeää tekijää, jotka vaikuttavat lämpöpumpun valintaan. Verkkoaineisto. Thermia Finland Oy. <<https://www.thermia.fi/hyodyllista-tietoa/osta-lampopumppu/lampopumppu-kolme-tekijaa/>>. Luettu 30.8.2020.
- 2 Karppinen, Eerik. 2020. Kylmäsuunnittelu ja projektinjohto, Granlund Tampere Oy, Tampere. Sähköpostikeskustelu 16.6.2020.
- 3 Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2011. Kylmälaitoksen suunnittelu. Tampere: Opetushallitus.
- 4 Semi-hermetic reciprocating compressors for CO<sub>2</sub>. 12.2016. BITZER GmbH.
- 5 GROENE CATALOGUS. 1.2020. UNIECHEMIE.
- 6 Motiva Oy, Puputti, Timo. Kylmää tehokkaasti Päivittäistavarakaupalle. Verkkojulkaisu. Työ- ja elinkeinoministeriö. <[motiva.fi/yritykset/ohjeita\\_ja\\_vinkkeja\\_tehokkaaseen\\_energian\\_ja\\_materiaalien\\_kayttoon/kylmajarjestelma](https://motiva.fi/yritykset/ohjeita_ja_vinkkeja_tehokkaaseen_energian_ja_materiaalien_kayttoon/kylmajarjestelma)>. Luettu 30.8.2020.
- 7 Hakala, Antti. 2020. Projekti-insinööri, kylmälaitosmyynti, Viessmann Oy, Porvoo. Sähköpostikeskustelu 14.5.2020.
- 8 Hakala, Antti. 2020. Projekti-insinööri, kylmälaitosmyynti, Viessmann Oy, Porvoo. Sähköpostikeskustelu 1.4.2020.
- 9 Koneikkosäädin lämmöntalteenottotoiminnolla AK-PC 781A, User Guide. 7.2017. Danfoss.
- 10 AK-System Manager, AK-SM 800 Series, User Guide. 2.2018. Danfoss.
- 11 Havaintojen lataus. 3.7.2020. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus/>>.
- 12 Itälinna, Petri. 2020. Kauppias, K-Supermarket Pirkanpoika. Pirkkala. Haastattelu 8.7.2020.
- 13 Lehmuskoski, Antti. 2020. Myynti- ja markkinointipäällikkö, Solnet Finland Oy. Helsinki. Puhelinkeskustelu 4.9.2020.
- 14 Ahola, Harri. 2020. Kauppias, K-Supermarket Karkkila. Karkkila. Haastattelu 21.8.2020.

## Valmistajan tekninen esite, Optigo CS -ilmanjäähdytin, Alfa Laval

## Technical specification



## Air Coolers High Pressure - 50 Hz

Date	11.7.2019		
Customer			
Reference			
<b>Operating Mode</b>	<b>Unit type</b>	<b>Model</b>	
Direct Expansion	Optigo CS	CSXL304CS BO ALE CB	
Type of calculation	Design	Margin	12.1 %
Required Capacity	3.50 kW		
Calculated capacity	3.92 kW		
<b>Dimensions***</b>			
Length	2365 mm	Dry weight (approx. +/-5%)	29 kg
Height	283 mm		
Depth	565 mm		
Packing	Box	Shipping Volume	0.64 m <sup>3</sup>
<b>Thermal Data</b>			
Refrigerant	Carbon dioxide	Sensible Heat Ratio	0.67
Air Temperature	4.0 °C / 0.5 °C		
Relative Humidity	85.0% / 92.1%		
Evaporation Temp	-3.0 °C		
DT1 (Air Inlet Temp.Difference)	7.0 K		
DTM (Room Temp. Difference)	5.26 K		
Air Velocity	m/s		
Condensate	1.8 kg/h		
<b>Fan data <sup>(3)</sup></b>			
ErP 2015	Yes	Fan Type	EC
Air flow:	0.5941m <sup>3</sup> /s	Fans/Motor	4
Air Throw	1 x9 m	Fan diameter	300.0mm
Rotation speed	900 rpm	Voltage	230V
Total Nominal Power	68 W	Phase	1ph
Total Nominal current <sup>(2)</sup>	0.6 A	Connection	-
Sound Pressure Level(3.0 m) <sup>(1)</sup>	39.49 dB(A)	Sound Power Level	60.00 dB(A)
Frequency	50 Hz	Working Temperature	/50.0 °C
<b>Coil data</b>			
Tube Material	Copper	Fin Material	Aluminium
Fin Spacing	7.0 mm	Number of Circuits	6
Surface	16.9 m <sup>2</sup>	Internal Volume	3.0 l
Connections (In-Out)	12mm - 14 mm	Connection Side	Same
Design Pressure	80 bar	Test Pressure	114 bar
<b>Frame and casework</b>			
Casematerial	Aluminium		
Coil Frame Material	Aluminium		

## NOTES

<sup>(1)</sup> By using EN 13487 at 3 m in free field conditions

<sup>(2)</sup> Nom. current at Tair = 20°C. Variations occur due to different voltage or Tair

<sup>(3)</sup> EC Motor

<sup>(5)</sup> Single electrical heater 230 V

**(\*\*\*)** Dimension and weight are not valid for all possible options. Drawings are only preliminary and indicative.



## Ote kauppaketjun kylmän suunnitteluohjeesta

Asiakirjan omistaja	Asiakirjan nimi	Pvm.
Kesko Oyj / PT	Kauppan kylmätekniikan suunnitteluohje	5.9.2019

- kussakin tilanteessa käytetyn kylmäaineen määrä ja tyyppi (uusi, uudelleen käytetty tai puhdistettu) katso myös EN 378-4, kohta 6
- jos on suoritettu kylmäaineen analyysi, tulokset käyttöpäiväkirjaan
- jos on suoritettu kompressoriohjlyn analyysi, tulokset käyttöpäiväkirjaan
- käytetyn kylmäaineen alkuperä
- koneiston komponenttien vaihdot ja uusimiset
- muut suoritettavat toimenpiteet ja ajankohdat, jolloin järjestelmä ei ole ollut käytössä
- energian kulutustietojen kirjaaminen päiväkirjaan
- toimenpiteiden ajankohta
- toimenpiteiden suorittaja

Takuuajan tehtäviin sisällytetään paineastioiden käytönvalvojan tehtävät ja kunnan seurantaohjelman ylläpito (katso liite 5). Takuuajalla huolto- ja korjaustoimenpiteiden vasteaika enintään 4 tuntia. Urakoitsijalla tulee olla 24/7-päivystys ja etävalvonta ja – käyttöjärjestelmä toiminnassa koko takuuajan.

### G 4110 Kompressorit ja koneikkopaketit

Kylmäkoneisto suunnitellaan, rakennetaan, asennetaan, hoidetaan, kunnossa pidetään ja poistetaan käytöstä voimassa olevien painelaite, kone- ja pienjännitedirektiivien tai muun CE-merkityn laitekokonaisuuden mukaisesti.

Kompressoreista ja kompressorikoneikoista on oltava käytettävissä kylmä- ja kuormitustehotiedot kompressorien käyttöalueella sekä tehojen korjauskertoimet nesteen alijäähdytyksen, imukaasun tulistuksen ja muuttuvan kierrosluvun funktiona. Kylmä- ja kuormitustehotiedot esitetään taulukko- tai käyrämuotoisina. Tehonsäädöllä varustetuista kompressoreista tulee olla osatehojen korjauskertoimet ja tehontarvetiedot.

Koneistoille asennetaan metalliset muotokehikot, joiden tukijalkojen korkeus on säädettävissä. Tukijalkojen alle asennetaan värinänvaimentimet. Koneikon alle asennetaan vettä, öljyä ja kylmäainetta kestävä reunallinen valuma-allas. Valumaltaan tulee yltää kaikkien kompressoreiden alle ja siihen tulee mahtua kompressoreissa olevan öljyn verran nestettä. Koneikkopaketien kompressorien tulee olla valmiiksi sisäisesti sähköjohdotettuina kehikossa olevalle kytkentärasialle. Koneikko tulee olla sisäisesti putkitettu tulevien ja lähtevien putkien sulkuventtiileille. Putkituksessa on huomioitava öljyn kierto. Putkistovarusteiden tulee olla kaavioiden mukaisia. Materiaalit, jotka ovat kosketuksessa keskenään, eivät saa muodostaa galvaanisia pareja. Paineohjausjohdot on tehtävä teräs- tai muoviputkesta. Öljyn välisäiliö on sijoitettava öljyn annostelulaitteen yläpuolelle. Nesteen pääsy kompressoreille on estettävä (esim. lämmönvaihdin imukaasussa). Kuuma kaasun lämpötilaa täytyy pystyä rajoittamaan (esim. nesteen ruiskutus). Komponentit sijoitetaan kehikkoon siten, että ne voidaan huoltaa tai vaihtaa. Tyypillisesti pitkä sivu on huoltosivu.

Riittävästi tehonsäätöportaita

- Plussassa pienet myymälät minimissään neljä porrasta, isot kuusi porrasta
- Pakkasessa pienet myymälät minimissään kolme porrasta, isot viisi porrasta

Pääsääntöisesti käytetään taajuusmuuttajaohjattua johtokompressoria ja kaikkien kompressoreiden tulee olla taajuusmuuttajakäyttöön soveltuvia. Minimiosatehon tulee olla plussassa ja pakkasessa maksimissaan 20% maksimitehosta.

Jäähdytystehon laajennusvara

- Varataan konepaketille hankintavaiheessa varatehoa tai kompressorin varapaikka.
- Kaasunjäähdyttimeltä palaavan kylmäaineen alijäähdytys ylikriittisessä tilanteessa kasvattaa kylmäkoneikon kapasiteettia ja voi alentaa koneikon sähkönkulutusta

Optiona kylmäkoneistot ristiinkytetään, jos kylmäkoneistoja on kaksi. Kylmäkoneiston on tällöin tarpeen mukaan (esim. huolto- ja käyttökäytötilanteissa) pystyttävä palvelemaan myös toisen kylmäkoneiston kylmäjärjestelmiä. Kylmäkoneistojen neste- ja imuputket liitetään yhteen putkilla, joissa on sulkuventtiilit. Sulut merkittävä selkeästi,

Asiakirjan omistaja	Asiakirjan nimi	Pvm.
Kesko Oyj / PT	Kauppan kylmätekniiikan suunnitteluohje	5.9.2019

ettei niitä tarpeettomasti avata. Poissa käytöstä olevan kylmäkoneiston imu- ja nestelinjat on suljettava ristiinkäyttötilanteessa, ettei kylmäaine imeydy kylmäkoneikkopaketilta toiseen kylmäjärjestelmään. Liitosputkistot on varustettava tarpeenmukaisesti varoventtiileillä tai muuten varmistettava, ettei kylmäaine jää suljettujen venttiilien välille loukkuun.

Koneikon osat, jotka voivat normaaleissa käyttöolosuhteissa aiheuttaa kondensoitumista tai palovamman vaaran, tulee eristää ko lämpötilaa ja käyttöolosuhdetta kestäväällä eristeellä tai muuten estää vaara tai kondenssi.

Erilliskoneikkojen asennuspaikan on oltava huoltoa varten esteetön, lauhdutusken ilman saanti on varmistettava ja puhallusilma ei saa haitata muuta tekniikkaa tai ihmisiä. Erilliskoneikkojen alla tulee olla ilmarako (asennus telineelle tms irti lattiasta, katosta).

#### G 4120.00.00.00 Lämmönsiirtimet

Kaasunjäähdyttimien, lauhduttimien, höyrystimien ja lämmöntalteenottosiirtimien on oltava painelaitemääräysten mukaisia. Lämmöntalteenottosiirtimet tulee olla eristettyjä.

#### G 4121.00.00.00 Lauhduttimet / kaasunjäähdyttimet

Lauhduttimen tehon tulee vastata suorapainehöyrystä poistettavaa kokonaislämpötehoa, joka koostuu kylmätehosta ja käyttömoottorin tehosta. Kylmätehona käytetään korkeimman kylmälaitoksessa esiintyvän höyrystyslämpötilan mukaista kylmätehoa. Ulkolämpötilana käytetään lähtökohtaisesti Etelä-Suomessa lämpötilaa +32°C ja Keski- ja Pohjois-Suomessa +30°C. Palaavan hiilidioksidin ja ulkoilman lämpötilojen mitoitusero on 2 K.

Hiilidioksidijärjestelmässä kaasunjäähdytin toimii alikriittisessä tilanteessa lauhduttimena ja ylikriittisessä tilassa kaasunjäähdyttimenä. Lauhdutin/kaasunjäähdytin tulee valita sen mukaan kumpi tilanne (lauhutus, kaasunjäähdytys) vaatii suuremman tehon. Vaadittava kaasunjäähdytysteho on kesäajan ylikriittisessä mitoitustilanteessa tarvittava teho. Vaadittava lauhdutusteho määritetään ulkolämpötilassa +0°C ja järjestelmältä vaadittava lauhdutusteho lauhdutuslämpötilassa +10°C. Massavirtana ja lauhdutustehon tarpeena lauhdutus tilanteessa käytetään vähintään 75% ylikriittisen tilanteen massavirrasta ja kaasunjäähdytystehosta.

Kylmälaitoksen kiertoprosessissa on sekä lämpöä ottava että lämpöä luovuttava vaihe. Niistä edellinen tapahtuu höyrystimessä (kylmähuoneen ja -kalusteen sisällä) ja jälkimmäinen lauhduttimessa/kaasunjäähdyttimessä. Lauhduttimen tehtävänä on näin ollen siirtää höyrystimeen jäähdytettävästä kohteesta tullut ja kompressorin suorittamaa mekaanista työtä vastaava lämpömäärä lauhdutinta ympäröivään ilmaan tai jäähdytysveteen.

Lauhduttimella on näin ollen hyvin tärkeä tehtävä kylmälaitoksessa. Lisäksi kylmälaitoksen taloudellisuus ja käyttövarmuus riippuu suuresta määrin lauhdutinmitoituksesta ja lauhduttimen sijoituspaikasta. Käytännössä lauhdutinpaikan valinnalla on ratkaiseva tehtävä kylmälaitoksen hyvinvoinnin kannalta. Lauhduttimen paras paikka on vesikatolla korkeimmalla kohdalla jolloin, ilmankierto lauhduttimen läpi on varmistettu tai seinälle pohjoisen puolelle, näin välttyään suoralta auringon paisteelta.

#### G 4121.20.00.00 Ilmajäähdytteinen lauhdutin / kaasunjäähdytin

Puhaltimina käytetään ensisijaisesti nopeussäädettyjä EC-mootoreita. Puhaltimia lähtökohtaisesti vähintään 3 kappaletta (toimintavarmuus). Mootorin ohjauksessa tulee olla mahdollisuus minimi- ja maksiminopeuden rajoitukseen ja sen muuttamiseen. Mootoreiden toimintakunto on varmistettava myös kovilla pakkasilla. Jos puhallinmootorin pyörimissuunnan säätöön käytetään taajuusmuuttajia, tulee komponenttien ja niiden asennuksen täyttää EMC -direktiivin 89/336/ETY häiriösuojavaatimukset. Puhaltimissa on oltava puhallinkohtaiset huoltokytkimet.



## Ote kauppaketjun sähkön suunnitteluohjeesta

Asiakirjan omistaja  
Ruokakesko Oy, Jari Suuronen

Asiakirjan nimi  
KSM Sähkötekniikka

Sivu  
15 /48

Tapaukset, joissa urakoitsija lista-asennuksilla ja pinta-asennuksilla sekä peitelistoilla haluaa korvata uppoasennuksia, hyväksytetään tapauskohtaisesti rakennuttajalla.

### S 2 SÄHKÖNJAKELU JA SIIHEN LIITETYT KUORMITUKSET

#### S211SÄHKÖLIITTYMÄ

##### S2111 Sähköliittymäkaapeli

Kiinteistö liittyy paikallisen energialaitoksen keskijänniterengassyöttöverkkoon tai pienjännitejakeluverkkoon jakeluverkkoon maakaapelein. Liittymässä noudatetaan Energiateollisuus ry:n kulloinkin suosittelemia liittymisehtoja (nyt LE 05). Rakennuttaja laatii urakoitsijan avustuksella liittymissopimuksen hyvissä ajoin ennen liittymistä.

Kaapelireitti on esitetty suunnitelmissa. Urakoitsija mitoittaa reitin loppudokumentteihin käyttäen riittävästi kiintopisteitä.

Liittymiskaapelit asennetaan suunnitelman ja jakeluverkkoyhtiön ohjeiden mukaan. Kaapelit asennetaan mekaanisesti hyvin suojattuina ja suunnitelmien mukaan palonkestävästi.

Liittymiskaapelit hankkii, asentaa ja kytkee sähkölaitos tilaajan laskuun.

Liittymiskaapelointi tontin rajalta pääkeskushuoneeseen sisältyy urakkaan.

Urakoitsija tarkistuttaa putkitusreitit sähkölaitoksella ennen asennusten aloittamista.

### S 22 SÄHKÖENERGIAN PÄÄJAKELU

#### S 221 KESKIJÄNNITEJAKELUJÄRJESTELMÄ

Kiinteistöön ei hankita kuluttajamuuntamoita.

Mikäli sähköverkkoyhtiö vaatii kiinteistöön asennettavaksi sähköverkkoyhtiön muuntamon, sisältyy muuntamotilan yleissähköistys sähköurakkaan.

Muuntamotilan lattiakanavaan asennetaan sähköurakkaan sisältyvänä kosteuden / vedentunnistin, joka liitetään hälytyspisteinä kiinteistövalvontaan.

Sähköverkkoyhtiö hankkii ja asentaa muuntamotilan keski- ja pienjännitekojeistot.

#### S 222 PÄÄJAKELUJÄRJESTELMÄ

Supermarket-myymäläkiinteistön arvioitu sähkön kokonaishuipputeho on 70 W/m<sup>2</sup>.

Suunnittelija laatii hupputeholaskelman ja tarvittavat selektiivisyystarkastelut ja oikosulkulaskelmat.

##### S 2222 Sähköpääkeskukset

Keskukset toimitetaan tehdasvalmisteisina, korroosiosuojattuina ja pintakäsiteltyinä.



25.9.2015



## Laitetoimittajan kompressorijat esimerkkikohteesta (Viessmann Oy)

### ADVANSOR Calculator rev.10.89C

Project: **KSM Pihkan Polka**  
Client: \_\_\_\_\_

**Medium Temperature Side (MT)**

MT Calculation according to:  
 Selected MT Compressors  
 Selected MT Evap. Capacity

Evaporation temperature:  [°C]  
 Superheat in evaporator(s):  [K]  
 Suction line superheat:  [K]

**Low Temperature Side (LT)**

LT Calculation according to:  
 Selected LT Compressors  
 Selected LT Evap. Capacity  
 No LT group

Evaporation temperature:  [°C]  
 Superheat in evaporator(s):  [K]  
 Suction line superheat:  [K]

**MT Compressor brand: Bitzer**

1 x 70 Hz 4HTC-15K - 9,2m³/h	20,0 [kW]	30,2 [A]
1 x 70 Hz 4HTC-20K - 12,0m³/h	26,5 [kW]	39,2 [A]
3 x 50 Hz 4FTC-20K - 17,8m³/h	39,7 [kW]	42,0 [A]

Vol<sub>MT</sub> = 83,1 [m³/h]  
**MT Required evap. capacity**  
 Q<sub>ev</sub> = **153 [kW]** **Margin = -2,0 [%]**

**LT Compressor brand: Bitzer**

1 x 70 Hz 2FME-4K - 6,36m³/h	10,7 [kW]	8,4 [A]
2 x 50 Hz 2GME-3K - 5,05m³/h	8,3 [kW]	6,9 [A]
0 x 50 Hz 2FME-4K - 6,36m³/h	0,0 [kW]	0,0 [A]

Vol<sub>LT</sub> = 19,0 [m³/h] **Margin = 21,5 [%]**

**LT Required evap. capacity**  
 Q<sub>ev</sub> = **26 [kW]**

**Internal/external Heat Exchangers**

Receiver pressure control:  
 Gas bypass  
 Parallel Comp.  
 Parallel Comp. + 2nd MT group  
 Parallel Comp. + Ejector  
 Low Pressure Receiver

MT internal exchanger  
 LT internal exchanger  
 GC subcooling  
 LT desuperheater

Heat Recovery  
 Lqd injection

**Rack size: 5x3**

**184.3 [kW]** **83.1 [m³/h]**  
**W = 96.0 [kW]**  
**COP = 1.92**

**26.2 [kW]** **15.6 [m³/h]**  
**W = 6.4 [kW]**  
**COP = 4.08 / 1.11**

**150.0 [kW]** **t<sub>ev,MT</sub> = -8 [°C]**  
**0.630 [kg/s]**

**26.0 [kW]** **t<sub>ev,LT</sub> = -33 [°C]**  
**0.110 [kg/s]**

**38 bar**

**3.3 [°C]**  
**0.740 [kg/s]**

**102.4 [kW]**  
**COP<sub>total</sub> = 1.72**  
**W<sub>total</sub> = 102.4 [kW]**

**280.3 [kW]**  
**t<sub>cond</sub> = 34 [°C]**  
**P<sub>gas,cond</sub> = 87.4 [bar]**

**PRV required capacity**  
 HP 5343 [kg/h]  
 REC 740 [kg/h]  
 MT 2883 [kg/h]  
 LT 419 [kg/h]

**Main supply current:**  
 I<sub>FLA</sub> = 239 [A]  
 I<sub>turning</sub> = 194 [A]

PRV = 1/1/1/1

Help text  US units

Calculate (F2) **More Results**

Save Load defaults

# ADVANSOR

8 companies

## Ote esimerkkikohteen laiteluettelosta

JK1/2

5.9.2019

Rlo/MK

**KSM Pirkanpoika - Advansor compSUPER L**

Bitzer  
5+3  
31,3  
162,2  
298,0

Maksimi kompressorimäärä

Mitoitusteho  $Q_{LT}$  (-33/-7) kWMitoitusteho  $Q_{MT}$  (-7/+32 paluu) kWLauhdeteho  $Q_L$  (-7/+32 paluu) kW

Mitoituslämpötila, 32°C ulos CO2 kaasunjäähdyttimeltä, 85 bar

Eristykset: kyllä

Sisätilaan asennettava

Korkeus/Pituus/leveys: 2,3 / 5,9 / 0,8m

Kokonaispaino n.1100kg

1 x Bitzer 4JTC-15K 30-70Hz (Kylmäkompressori)

1 x Bitzer 4HTC-20K 30-70Hz (Kylmäkompressori)

1 x Bitzer 4FTC-20K 50Hz (Kylmäkompressori)

Pienin tehoporras 7%

Kampikammionlämmitysvastus, termistori

Suunnittelupaine matala/korkea: 60 / 120 bar

Kompressorit varustettu varoventtiilein ja painekeykimin

Kompressorikohtainen öljypinnansäätö

Digitaalinen öljypinta-anturi, magneettiventtiili öljylle

1 x Bitzer 2FME-4K 30-70Hz (Pakastekompressori)

2 x Bitzer 2GME-3K 50Hz (Pakastekompressori)

Kampikammionlämmitysvastus, termistori

Suunnittelupaine matala/korkea: 60 / 60 bar

Kompressorit varustettu varoventtiilein ja painekeykimin

Kompressorikohtainen öljypinnansäätö

Digitaalinen öljypinta-anturi, magneettiventtiili öljylle

Öljyvaraaja ja säätöjärjestelmä

Kylmäainevaraaja 2x130 litraa, suunnittelupaine 75bar (&lt;10000barL)

Elektroninen korkeapaineensäätöventtiili ja kaasunohitusventtiili

UPS pääventtiilien sulkemiseen sähkökatkon ajaksi

Imusuodatin, kuivain ja öljynsuodatin

Liittimet teräs / kupari

Kaikki huollossa tarvittavat sulkuventtiilit

Koneikkoon kiinnitetty sähkökeskus, jossa koneikon ja kaasunjäähdyttimen sähkökomponentit

Syöttö 3x400 VAC +N + PE (TN-S) 50 Hz, max. 239A, käynti 195A

Säädin: Danfoss 2xAK-PC 781

EN 60 204-1, EN 378, EN 60 439-1, EN 378 ja CE-merkitty.

Lämmöntalteenottosiirrin: Alfa Laval AXP-112-150L 150kW

## Ote esimerkkikohteen kylmälaitoksen käyttö- ja hoito-ohjeesta



### MYYMÄLÄN KYLMÄLAITOKSEN KÄYTTÖ- JA HOITO-OHJE

#### K-Supermarket Pirkanpoika Pirkkala

#### TOIMINNAN KUVAUS

Kylmälaitos on R-744 CO2 kylmäaineella toimiva ja Danfoss AdapKool-automaatiikalla varustettu suoraohjrystyslaitos.

**Koneikot:** Kylmälaitokseen kuuluu yksi booster-tyyppinen pakaste- ja kylmäkoneikko rinnankytketyillä kompressoreilla. Pakastehuoneita ja pakastekalusteita jäähdyttää koneikko JK1 ja kylmäkalusteita ja kylmähuoneita jäähdyttää koneikko JK2. Koneikkojen varusteet, automaatiikka ja vaikutusalueet selviävät putki- ja sähkökaavioista. Lisäksi konehuoneessa sähkökeskuksen vieressä on myymälän pohjakuva, jossa on väritetty koneistoihin liitetyt kohteet koneistokohtaisilla väreillä.

Öljyn palautus kylmäainekierrosta kompressoreille tapahtuu öljynerottimien, öljynsuodattimien, öljysäiliön ja kompressorikohtaisten öljyn pinnansäätimien kautta.

Kompressorien ohjaus tapahtuu koneikkojen ryhmäkeskukseen sijoitettujen AK-PC konesäätimien avulla sekä kunkin koneikon yhden pakkas- ja kahden pluskompressorin taajuusmuuttajan tehoportilla. Säädot tapahtuvat matala- ja korkeapainelähtemien sekä imu-että paineputken lämpötilojen mittaustulosten perusteella.

#### Jäähdytysjärjestelmän käynnistys ja pysäytys:

Jäähdytysjärjestelmä voidaan kokonaisuudessaan pysäyttää ja käynnistää konesäätimen ohjauksen pääkytkimen avulla. Jäähdytyskohteiden kylmäainesyöttö ja kompressorien ohjauspiirit katkeavat, kun pääkytkin avataan. Kun kytkin suljetaan, käynnistyvät kompressorit yksitellen säädetyn hidastusajan välein. Säädin jaksottaa jäähdytyskohteiden kylmäainesyöttöä siten, että kompressorit eivät kuormitu liikaa käynnistykseen tai jännitekatkon jälkeen. konesäädin vuorottelee kompressorien käyntiä siten, että niiden käyntiajat muodostuvat yhtä pitkiksi. Säätimelle on määritelty kompressorien käynnistymisvälien minimipituudet siten, ettei kompressorin käämi kuumene liikaa käynnistymisten aikana.

#### Sulkuventtiilien käyttö:

Nestemäinen hiilidioksidin loukkuunjääminen putkistoon on estettävä. Lämmitessään hiilidioksidi laajenee voimakkaasti ja rikkoo putkiston. Lukittuja ja työkaluilla käytettäviä venttiilejä saa käyttää vain tehtävään opastettu henkilö. Toimintaohjeita antaa tarvittaessa painelaitteen käytönvalvoja (kts. painelaitekirja) tai Jäämatic Oy (kts. luovutuskansio/yhteystiedot).

#### Kaasujäähdyttimet ja lämmöntalteenotto:

Kaasujäähdytys/lauhdutus tapahtuu vesikatolla sijaitsevan kaasujäähdyttimen avulla. Lämpöä otetaan talteen yhteen piiriin ennen kaasujäähdytintä asennetun lämmönsiirtimen avulla.

## Liittymishinnasto, Tampereen sähkölaitos, vyöhyke V1

Liityntäluokka	Pääsulake	Asemakaava-alue	
		Alv. 0 %	Alv. 24 %
	A		
L025Y	1 x 25	868 €	1 076,01 €
L025	3 x 25	1 465 €	1 816,60 €
L035	3 x 35	1 685 €	2 089,40 €
L050	3 x 50	2 015 €	2 498,60 €
L063	3 x 63	2 301 €	2 853,24 €
L080	3 x 80	4 344 €	5 386,56 €
L100	3 x 100	4 924 €	6 105,76 €
L125	3 x 125	5 649 €	7 004,76 €
L160	3 x 160	7 414 €	9 193,36 €
L200	3 x 200	8 574 €	10 631,76 €
L250	3 x 250	10 024 €	12 429,76 €
L320	2 x(3 x 160)	13 500 €	16 740,00 €
L400	2 x(3 x 200)	15 820 €	19 616,80 €
L630	2 x(3 x 315)	23 594 €	29 256,56 €
L750	3 x(3 x 250)	29 392 €	36 446,08 €
L1000	4 x(3 x 250)	38 202 €	47 370,48 €