



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Niko Hämäläinen

Kylmäjärjestelmän optimointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

15.04.2021

Tekijä Otsikko	Niko Hämäläinen Kylmälaitoksen optimointi
Sivumäärä Aika	51 sivua + 2 liitettä 15.04.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Mikko Niemi automaatioasiantuntija Matti Kauppinen lehtori Markku Inkinen
<p>Insinööriyössä on dokumentoitu ja kehitetty kylmäjärjestelmien optimointiprosessia sekä tutkittu aikaisempia optimointikohteita ja arvioitu optimoinnilla saavutettu hyöty tulevia optimointikohteita varten.</p> <p>Työssä on käyty läpi kylmäjärjestelmien toimintaperiaate ja pääkomponentit, optimointiprosessi, optimoinnin työkalut, kylmä-automaatiikan optimointiasettelut sekä optimoinnin tuloksia sähkön kulutuksen sekä sähkön hinnan suhteen.</p> <p>Kylmäjärjestelmien optimoinnista ei ole aikaisemmin ollut tarkkaa ja ajallaan olevaa dokumentointia. Projektin aikana on käyty läpi optimoinnin eri vaiheet sekä menetelmät ja luotu dokumentointi jokaisesta osa-alueesta.</p> <p>Työn yksi tarkoituksista oli luoda arviointilaskelmat tulevista optimointikohteista niiden kokoluokkien ja käytössä olevan automatiikan mukaan, mutta rajallisen saatavilla olevan datan vuoksi tulokset eivät ole niin tarkkoja, kuin oli haluttu. Tästä huolimatta tutkimustuloksia voi käyttää jatkossa optimoinnin tuloksien arviointiin ennen optimoinnin aloittamista.</p>	
Avainsanat	Imupaine, tulistus, kellutus, modulointi, konesäädin, kylmäjärjestelmä, jäähdytys, optimointi

Author Title	Niko Hämäläinen Optimization of refrigeration systems
Number of Pages Date	51 pages + 2 appendices 15 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Programme in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation
Instructors	Mikko Niemi, CEO Matti Kauppinen, automation specialist Markku Inkinen, lecturer
<p>The purpose of the thesis work is to document and further develop the process of optimizing refrigeration systems, study earlier optimization projects and estimate the benefits of future optimization projects.</p> <p>In this thesis work it is explained how refrigeration systems work and what are its main components, optimization process, tools for optimization, different setting options for refrigeration automation and the results of optimization regarding electrical energy consumption and the price of electricity.</p> <p>There has been no proper documentation for optimizing refrigeration systems before from an automation standpoint. In this thesis work all different steps and methods of the process are explained and documented.</p> <p>One of the purposes for this work was to create calculations to estimate the potential benefits of optimization for future optimization projects depending on their size and the automation technology they use. Amount of precise documentation and data from earlier optimization work hindered the precision of the calculations. Regardless this study can be used to estimate the potential benefits of optimization in future projects.</p>	
Keywords	suction pressure, superheat, float, modulating, device manager, refrigeration system, refrigeration, optimization

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto	1
2 Kylmäjärjestelmän toiminta ja automaatio	1
2.1 Höyrystin	2
2.2 Lauhdutin	3
2.3 Paisuntalaite	3
2.4 Kompressori	3
2.5 Kylmäjärjestelmän energiakulutuksen jakautuminen	4
3 Optimointiprosessi yleisesti	
3.1 Optimoinnin tavoitteet	5
3.2 Optimointiprosessin kuvaus	5
3.3 Optimoinnin haasteet	9
4 Optimoinnin menetelmät	
4.1 Danfossin säätimet automaatiojärjestelmään	10
4.2 Danfossin huolto-ohjelmistot ja automaatiotekniikka	11
4.3 Muita kylmä-automaation ohjelmistoratkaisuja	14
4.4 Optimoinnin seurannan työkalut	15
4.5 PI-säätö	23
4.6 Automatiikan asettelut konesäätimille	25
4.7 Käytännön optimointi	38
5 LTO (Lämmön talteenotto)	39
6 Optimoinnin arviointilaskenta	43

7 Optimoinnin tulokset ja seuranta	46
Lähteet	49
Liitteet	
Liite 1. Optimoinnin tulokset- Excel taulukko	
Liite 2. Kylmäkalusteet	

Lyhenteet

CO ₂	Carbon Dioxide. Hiilidioksidi.
K	Kelvin. Lämpötilan mittayksikkö.
LT	Low temperature. Pakkaskylmäpuoli.
MT	Mid temperature. Kylmäpuoli eli "plussakalusto".
SH	Superheat. Tulistus.
SM	System Manager. Kylmälaitoksen master-säädin.

1 Johdanto

Insinööriyön aiheena on kylmälaitosten optimointi automatiikan avulla. Työssä esitellään optimointiprosessi ja siinä käytettävä automatiikka sekä tehdään optimoinnilla saavutettujen hyötyjen arviointilaskelmat. Laskennassa arvioidaan sähkönkulutuksen vähenemisestä toteutuvat säästöt asiakkaalle erilaisissa ympäristöissä, eri kalusteilla sekä koneistoilla. Työn tilaaja on Kylmä-2000 Oy. Esimerkeissä käytetään CO₂:ta kylmä-aineena käyttäviä järjestelmiä Advansorin koneikoilla, joita ohjataan Danfossin automaatiolla. Kylmäkalusteet (kylmätasot, -kaapit, -altaat ja -huoneet) ovat Viessmannin valmistamia.

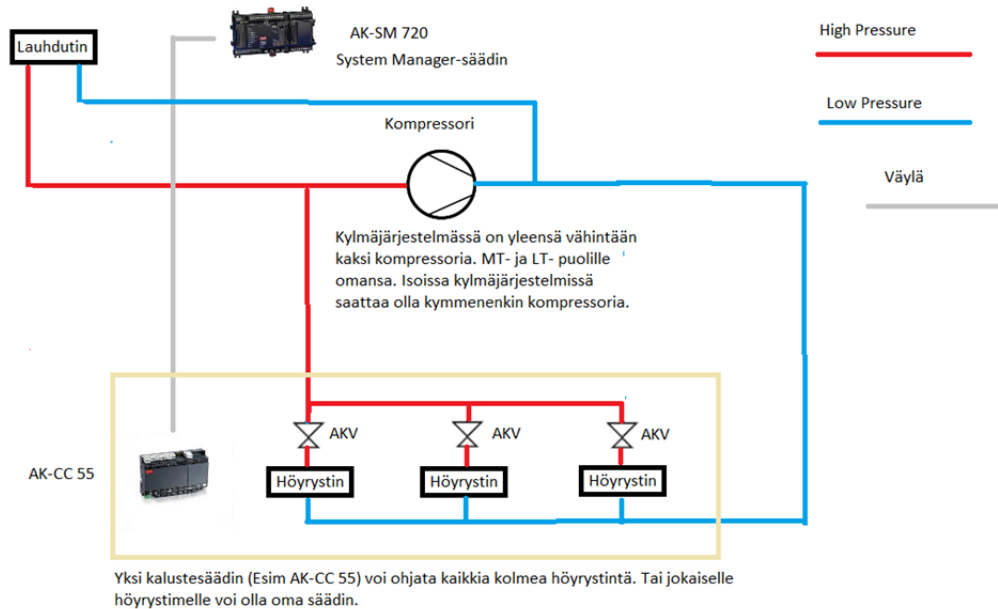
Yleisimmät Suomessa käytössä olevat säätimet sekä automatiikka ovat Danfoss A/S:n valmistamia. Tässä insinööriyössä keskitytään yleisimpiin Danfossin säätimiin sekä automatiikkaohjelmistoihin.

Insinööriyön tarkoituksena on myös kehittää hiilidioksidia kylmä-aineena käyttävien kylmäjärjestelmien automaation optimointia sekä dokumentoida prosessi, jonka mukaan se suoritetaan. Perustana prosessille käytetään asiakkaiden toiveita sekä terveysturvallisuuden suosituksia.

2 Kylmäjärjestelmän toiminta ja automaatio

Kylmälaitos koostuu kylmäkoneikosta, joka sisältää kompressoreita ja jäähdytettävistä kohteista kuten kylmähuoneista ja kalusteista. Tätä järjestelmää ohjataan System Manager -säätimellä. Kohteen kokoluokasta riippuen pakaste- ja kylmäkalusteiden kompressorit on jaettu LT- ja MT-puoliin, jotka ovat omien konesäätimiensä alla. Kylmälaitoksessa CO₂-kylmäaine kulkeutuu varaajasta putkistoa pitkin jäähdytettävälle kohteelle. Höyrystimille kylmäaine ruiskutetaan automaatiolla ohjatun paisuntaventtiilin läpi. Höyrystimellä nestemäinen kylmäaine kaasuuntuu, ja tämä faasimuodonmuutos viilentää jäähdytettävän kohteen. Höyrystimiltä kylmäaine palaa lauhduttimelle, jossa se jäähdytetään ja nesteytetään patoventtiilin kautta nestevaraajalle. Nesteeksi lauhdutettu kylmäaine palaa takaisin kiertoon.

Säätöautomatiikalla mahdollistetaan tehonsäätö kompressoreille, jonka avulla saadaan aikaan adaptiivinen imupaine. Automatiikan avulla voidaan kylmäjärjestelmän imupainetta säätää kylmäkalusteiden tarpeiden mukaan.



Kuva 1. Kylmäjärjestelmän toimintaa havainnollistava kuva

2.1 Höyrystin

Höyrystin vastaanottaa matalassa lämpötilassa ja paineessa olevaa kylmäainetta. Lämpöenergia sidotaan kylmäaineeseen höyrystimessä. Kylmäaineen höyrstyessä se sitoo lämpöenergiaa höyrystimen putkien metalliseinistä. Tästä kaasu jatkaa matkaansa lauhduttimelle kompressorin imemänä. Tämä nostaa painetta höyrystimessä, ja lämmönsiirto loppuu. Kylmälaiteella on kaksi faasia: neste- ja kaasufaasi. Faasimuutoksella tarkoitetaan kylmäaineen olotilanmuutosta nesteen ja kaasun välillä. [1.]

2.2 Lauhdutin

Lauhduttimelle kylmäaine saapuu korkeassa paineessa ja lämpötilassa. Lauhduttimen tehtävänä on poistaa kaasusta lämpöenergiaa. Lämpöenergian siirtyessä pois kylmäai-

neesta tapahtuu faasinmuutos kaasusta takaisin nesteeseen. Kun kylmäaine on jäähtynyt, se tuodaan takaisin kiertoon. Lauhdutin kuluttaa sähköenergiaa puhaltimen kautta. Lauhdutinpuhaltimen virrankulutus on suoraan verrannollinen ulkolämpötilaan. Ympäristön ilmanlämpötilamittauksella saadaan lauhdutinpaine säätymään automaattisesti minimiin. Tyypillinen lauhtumislämpötila on 8K-12K ympäristön lämpötilan yläpuolella. Jokainen lämpöaste mitä lauhtumispaine alenee, alentaa myös energiankulutusta 2-3 %. [2.]

2.3 Paisuntalaite

Paisuntalaitteen eli paisuntaventtiilin tehtävä on varmistaa kylmäaineen täydellinen ja riittävä höyrystyminen päästämällä sopivan määrän kylmäainetta höyrystimelle. Modernissa CO₂-kylmäjärjestelmissä käytetään AKV-venttiileitä, joita löytyy ennen jokaista höyrystintä. AKV-venttiilin avautumisastetta voidaan myös seurata ja ohjata automaattisesti käyttöliittymästä esim. Service Toolin kautta. Kun AKV on täysin auki, kylmäaine virtaa maksimiteholla. AKV:ta voidaan ohjata pulssittamalla tai jatkuvasti säätävänä. Pulssittamalla on keskimäärin 4 % parempi lämmönsiirto kyky. Pulssittaminen taas vaikuttaa negatiivisesti massavirtauksen tasaisuuteen. [2.]

2.4 Kompressori

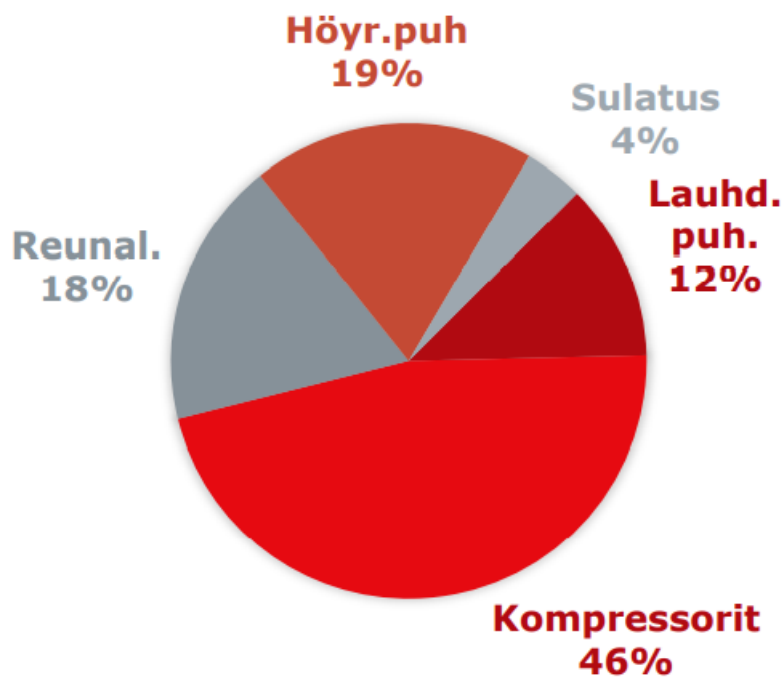
Kompressori tai kompressorit luovat kylmäaineen kierron kylmäjärjestelmään. Kompressori imee kylmäainekaasun höyrystimeltä ja puristaa kaasun korkeampaan paineeseen sekä lämpötilaan, jotta lämpö voidaan siirtää ympäristöön lauhduttimella. [3, s: 24.]

Kompressorien ohjaus taajuusmuuttajilla (esim. FC-103 Refrigeration Drive) tarjoaa paremman tehonsäädön kompressoreille sekä pidentää niiden käyttöikä. Taajuusmuuttajaohjaus on nykypäivänä käytössä melkein jokaisessa modernissa kylmäjärjestelmässä ja taajuusmuuttajia lisätään vanhoihin kylmäjärjestelmiin, kun tavoitteena on vähentää kylmälaitoksen sähkönkulutusta perusparannustoimenpiteenä. [1.]

2.5 Kylmäjärjestelmän energiakulutuksen jakauma

Kylmäjärjestelmä kuluttaa arviolta 40 % sähköstä elintarvikeliikkeessä. Suurin yksittäinen komponentti, joka energiaa käyttää, ovat kompressorit, joiden osuus on lähes puolet kylmäjärjestelmän sähkökulutuksesta. Suurimmat energiaa kuluttavat komponentit kompressorien jälkeen ovat höyrystimien puhaltimet sekä reunavastukset. Lauhduttimien puhaltimet ja sulatukset kattavat yhteensä vain viidesosan kylmäjärjestelmän sähkökulutuksesta, mutta optimoinnin kannalta tämäkin on asia, mikä pitää ottaa huomioon optimointia suoritettaessa ja näiden asetuksia muokkaamalla saadaan vielä tuntuvaa säästöä sähkön kustannuksissa. [2.]

Kylmäjärjestelmän energiankulutus



Kuva 2. Kylmäjärjestelmän energiakulutus Danfoss Energiaoptimointi, Kasper Hedberg

3 Optimointiprosessi yleisesti

3.1 Optimoinnin tavoitteet

Optimoinnin tavoite on vähentää kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta ja sen avulla säästää asiakkaan kylmäjärjestelmän rahallisia kustannuksia pitkällä tähtäimellä. Lisäksi sillä varmistetaan, että kaikki jäähdytystä vaativat tuotteet ovat riittävän kylmässä säilytyksessä. Sivutuotteena optimointia tehdessä saattaa paljastua ongelmia kylmäjärjestelmässä, jotka muuten olisivat jääneet huomaamatta. Optimoinnin avulla säästetty sähkönkulutus todistetaan asiakkaalle optimoinnin jälkeen sähkönkulutuksen mittaustietojen avulla.

3.2 Optimointiprosessin kuvaus

Optimointi aloitetaan paikan päällä tapahtuvalla kartoituksella. Kartoitukseen sisältyy kalusteiden tyyppien, säädinten sekä koneiston kartoitus. Ylös kirjataan kalusteiden tyypit, lämpötilaluokat ja mahdolliset viat ja ongelmat. Varsinkin anturointiin liittyvät ongelmat tuottavat vaikeuksia optimoinnissa.

Yleensä kalusteista löytyy vähintään S3- ja S4-anturit, joista S3-anturi mittaa imuilman lämpötilaa ja S4 puhallusilman lämpötilaa. Useimmista moderneista kylmäkalusteista löytyy myös sulatusanturi S5, jonka tehtävä on mitata höyrytimen lämpötilaa. S5-anturin pitäisi joka kalusteessa olla kalusteen kylmimmässä kohdassa, jotta voidaan varmasti estää jään muodostuminen kalusteeseen. Kalusteista voi myös löytyä S6-tuotetila-anturi, jonka tehtävänä on seurata tuotteiden lämpötilaa ja sitä käytetään automatiikan ohjaukseen vain poikkeustilanteissa. Lämpötilamittauksiin käytetään yleensä pt1000-antureita. Lämpötilanohjaukseen käytetään painotettua S3- tai S4-anturia, ja samaa anturia käytetään lämpötilahälytyksien ohjaukseen. Uudemmissa kalustesäätimissä on usein integroitu näyttö, johon anturitieto lämpötilasta tuodaan. Tätä näkymää pystyy manipuloimaan automatiikan kautta, mutta optimoidussa kohteessa sen pitäisi aina vastata anturitietoa.

Toinen vaihe on tarkistaa konesäätimien asetukset. Yleisimmät asiat, jotka vaativat muutoksia koneikon asetuksissa, ovat parametrit tai asetellut automatiikan puolella, jotka

ovat jääneet tehdasasetuksiksi tai muuttamatta koneikkoremontin yhteydessä. Koneikkoremontin esimerkkinä voidaan käyttää taajuusmuuttajaohjauksen lisääminen kompressoreihin.

Yksi tärkeimpiä asetuksia on kompressorien asetettu teho automatiikalla, joka näkyy suhdelukuna eikä yksiköllä ei ole merkitystä.

Taajuusmuuttajien maksimi- ja minimitaajuus ovat mallista riippuvaisia. Yleisimmissä kylmäkoneistoissa on käytössä Danfossin VKV-taajuusmuuttajat, ja niiden minimi- ja maksimiarvot ovat 25 Hz ja 70 Hz.

Taajuusmuuttajien ohjaukseen kompressorien käytölle on kolme vaihtoehtoa. Vaihtoehtoista yleisimmät ovat "Cyclic" tai "Best fit", joista ensimmäinen käyttää jokaista kompressoria x ajan kerrallaan, ja jälkimmäinen hyödyntää automatiikkaa ja käyttää kompressoreita tehontarpeen mukaan, ja mahdollisuuksien mukaan tasaa niiden käyttötunteja.

Optimoimattomassa koneikossa usein kompressorit käyvät ns. "pätkeä" ja käyvät lyhyitä aikoja päällä ja pois. Tämä kasvattaa sähkönkulutusta ja lyhentää kompuroiden toimintakäikää sekä voi aiheuttaa lämpenemisongelmia kompressoreissa. [4, s. 49.]

Tämä estetään asettelemalla koneikon automaatiolta joko minimi on- ja off-ajat kompressoreille, tai jos mahdollista "recycle time", joka on käytännössä on- ja off-aikaparametrit yhdistettynä. Jos kompressorien käynnistymiselle ei aseteta rajoja, on mahdollista, että koneiston käydessä virrattomana syntyy ongelmia uudelleenkäynnistyksessä. Uudelleenkäynnistyksessä usein kylmäkalusteet ovat ehtineet lämmitä, mikä aiheuttaa pii-kin tehontarpeessa, kun kaikki kompressorit käyvät täydellä teholla pyrkiessään nopeasti palauttamaan kylmäkalusteet asetettuun lämpötilaan. Tämän tapahtuessa korkeapainenousee hälytysrajoihin asti, ja turvalaitteet katkaisevat kompressorien käynnin. Tämä sykli toistuu, kunnes kompressorien käynnistysrajoihin tehdään muutoksia. PI-säätöä muuttamalla voidaan myös osittain ratkaista tämä ongelma, mutta optimoiduissa kohteissa suositaan nopeita PI-säätöjä, jotta kalusteet pysyvät mahdollisimman tarkasti asetuissa lämpötiloissa.

Nämä asetellut on parasta tehdä paikanpäältä vikatilaa varalta, mutta tästä eteenpäin voidaan säätimiä ohjata myös etänä TeamViewerin välityksellä.

Konesäätimien asettelut on käyty tarkemmin läpi luvussa 4.6.

Kolmas vaihe on asetella kalustesäätimet, jotka ohjaavat kylmäkalusteiden höyrystimien AKV-venttiileillä kylmäaineensyöttöä. Ideaalitalanteessa käytössä oleva säädinmalli tukee moduloivaa tilaa, jonka avulla voidaan määrittää kylmäkalusteelle setpoint, eli tavoitelämpötila, johon automaatio koittaa kalusteen ohjausanturia säätää. Setpoint säädetään kalusteen tuotesisällön mukaan. Eri asiakkailta on erilaisia ohjeistuksia lämpötilaluokille, mutta kaikki noudattavat terveysviranomaisten asettamia säädöksiä. Usein myös kalusteiden korkea- ja matalalämpötilahälytysten rajat pitää asettaa, sillä ne ovat tehdas-asetuksilla huollon ja optimoinnin seurannan näkökulmasta liian laajat, ja vikatilanteet tulevat ilmi liian myöhään. Hälytysrajoissa HOK:illa on ohjeena ala- ja ylärajan asetus -2K ja +2K tuotteen lämpötilaluokasta ja tätä voidaan soveltaa jokaiseen optimoituun kohteeseen. Pakastepuolella hälytysrajat ovat -14°C korkealämpötilahälytyksiin ja -28°C matalalämpötilahälytyksiin. Jopa tiukemmat hälytysrajat optimoidussa kohteessa olisivat mahdollisia. Tarkempaa tietoa automatiikan asettelusta kalustesäätimille löytyy luvusta 4.7.

Jos säädin tukee kellutusryhmiä, myös ne luodaan. Kellutuksessa luodaan rajat koneikkosäätimen alla oleville kalustesäätimille parametrit, joiden mukaan se saa "kellua" eli imupaine saa muuttua x määrän kelvineitä korkeammaksi tai matalammaksi. Tätä kutsutaan differenssiksi. Koska optimoinnin tarkoitus on säästää sähkökustannuksia, imupaineiden kellutukset asetetaan poikkeustapauksia lukuun ottamatta kellumaan korkeammaksi. Kellutuksissa noudatetaan myös asiakkaan ohjeita, jos sellaiset on annettu. Kellutusryhmät ovat konesäädinkohtaisia ja yhdessä kellutusryhmässä olevat kalustesäätimet pitää olla saman konesäätimen alla, jotta kellutustoiminto toimii oikein.

Jos säädin ei tue moduloivaa tilaa sitä ohjataan termostaatin cut-in ja cut-out rajoilla. Termostaattikatkaisun avulla ohjatessa seurataan anturien lämpötilaa, ja kylmäaineensyöttö alkaa tai katkeaa asetettujen lämpötilan ala- ja ylälämpötilarajojen mukaan. Cut-in ja cut-out-rajoja määritetään automatiikasta riippuen myös setpointin avulla. Setpointin asettamalla automatiikka laskee itse cut-in ja cut-out-lämpötilat.

Automatiikan asettelujen jälkeen kylmäjärjestelmä asetetaan seurantaan. Järjestelmää seurataan joko suoraan huolto-ohjelmistojen kautta, tai jonkin ulkoisen lokijärjestelmän avulla kuten Zeecoren Krispi-järjestelmä. Kun etäseuranta on suoritettu sopiva aika ja

todettu, että optimointi on onnistunut ja kalusteet pysyvät halutuissa lämpötiloissa anturitietojen mukaan, tai selvät ongelmakalusteet on tunnistettu, suoritetaan tarkastuskäynti. Tarkastuskäynnillä raportoidaan tuloksista, ja jos kohteessa on havaittu ongelmallisia kalusteita, ehdotetaan toimenpiteitä optimoinnin ulkopuolelta näihin. Mahdollisia toimenpiteitä ovat vikakorjaukset kalusteisiin, ongelmallisten kalusteiden ovitus tai muu perusparannus. Lisätietoa löytyy luvusta 4.8.

Optimoinnin jälkeen tutkitaan mitkä kalusteet ovat ns. heikoimpia lenkkejä. Tämä saadaan selville säätimen PO Optimize valikosta. PO Optimize-valikosta nähdään, mitkä kalusteet ohjaavat imupaineen kellutusta prosentuaalisesti. Jos yksittäinen kaluste ohjaa suurinta osaa kellutusta, pitää se tarkistaa vikakorjauksen tarpeen varalta. Jos kalusteessa ei itsessään ole vikaa ja sen sähkönkulutusta ei voida vähentää perusparannuksilla, voidaan se ottaa pois kellutusryhmistä. Esimerkiksi palvelutiskit usein jätetään pois kellutusryhmistä tästä syystä.

Po optimize group 1		
Controller	Section	Top 10
1 01:107 1.7abAPK...	A	86 %
2 01:102 1.2ab APK...	B	7 %
3 01:108 1.8a APKOKS	B	4 %
4 01:103 1.3ab APK...	B	1 %
5 00:000	None	0 %
6 00:000	None	0 %
7 00:000	None	0 %
8 00:000	None	0 %
9 00:000	None	0 %
10 00:000	None	0 %

Kuva 3. PO Optimize -näkyvä Service Toolilla.

Tarkastuskäynnin jälkeen optimoitu järjestelmä asetetaan vielä seurantaan pidemmäksi aikaa, lähtökohtaisesti puoleksi vuodeksi, jotta saavutettu säästö sähkönkulutuksessa voidaan todeta ja todistaa asiakkaalle.

3.3 Optimoinnin haasteet

Optimoinnin suurimpia haasteita ovat vanhanaikaisen suunnittelutavan ja vanhempien kalusteiden tehontarpeen mukaan mitoitettut koneistot. Koneistojen kompressorien teho tai vanhanaikainen automaatio tuo optimoinnille rajoituksia.

Kompressorien koko voi olla niin suuri, että optimoidussa kohteessa koneiston minimiteho on liian suuri pitämään kylmäjärjestelmän imupaineet tarpeeksi alhaisina optimoitujen parametrien mukaisina. Pienissä kohteissa voi ongelmana olla kompressorien määrä. Jos kompressoreita on vain yksi, ja se on joko päällä tai pois päältä, on optimoinnin osalta hankalaa tai mahdotonta saada suuria säästöjä aikaan koneikon osalta. [4. s. 49-50.]

Vanhoissa säätimissä yhtenä rajoitteena voi olla kellutustoiminnon puute. Osa säätimistä jotka eivät tue kellutusta kuitenkin sisältävät ohjelmistopuolella kellutusryhmän toiminnot. Tämä tarkoittaa, että vaikka kellutuksen ohjaus ei toimi, niillä voidaan seurata, mikä kaluste ohjaisi kellutusta eniten. Tämä kaluste on ns. heikoin lenkki ja yleensä siitä löytyy vikaa tai se on perusparannuksen tai poikkeuksellisten asettelujen tarpeessa. Kellutusryhmä, joka toimii oikein, saattaa silti ohjautua esim. kylmä- tai pakastehuoneesta, jonka ovi on usein auki.

Sähkönkulutuksen mittarointiin liittyy myös omat haasteensa. Jos kohteessa on mittarointi vain koko kiinteistölle, pystytään kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta vain arvioimaan ja optimoinnin tuloksia todetessa tutkia kokonaissähkönkulutuksen laskua. Myös virheelliset mittaroinnin asetukset voivat tuoda omia haasteitaan, jos esimerkiksi sähkön mittarointiin on asetettu kerroin. Jos kohteessa on LTO käytössä, on tarpeen vertailla koko kiinteistön sähkönkulutusta pelkän kylmäjärjestelmän sijasta, koska LTO:n optimaalinen käyttö tarkoittaa lievää nousua kylmäjärjestelmän sähkönkulutuksessa, mutta selvästi pienempää kokonaiskulutusta, kun kiinteistön lämmityskulut laskevat. LTO:sta ja sen vaikutuksesta sähkönkulutukseen on tarkempaa tietoa luvussa 5. [5.]

4 Optimoinnin menetelmät

4.1 Danfossin säätimet automaatiojärjestelmään

Tässä kappaleessa on listattu eniten käytössä olevat Danfossin kone- ja kalustesäätimet. Jokaiseen säätimeen on myös saatavilla lisämoduuleita, joilla voi lisätä analogi- ja digitaalioutputteja ja -inputteja.

4.1.1 AK-SM 850

Danfossin uusinta lippulaivatuotetta hallitaan StoreView-ohjelmalla. System Manager ohjaa koko kylmäjärjestelmää, ja kaikki muut säätimet ovat kytketty väylällä System Manageriin. System Managerin saa yhteyden fyysisesti huoltoportin kautta kiinnittämällä huoltokaapelin huoltoporttiin. Kun esiasetukset on tehty ja säädin on verkossa, voidaan siihen ottaa yhteys etänä IP-osoitteen avulla. AK-SM 850:ssä on myös uutena ominaisuutena integroitu näyttö ja sen graafinen käyttöliittymä josta kalustesäätimiltä tuodut anturitiedot näkee nopeasti yhdellä näkymällä. SM-850 -säätimestä löytyy tiedonsiirtoliitännät Ethernetille, LON RS458:lle, RS458:lle sekä Modbusille. Väylä kylmäjärjestelmässä toteutetaan LON:illa. Ethernet on internetyhteyttä varten etäyhteyksiin. Modbusilla voi kytkeä lisää moduuleja kiinni säätimeen. [6.]

4.1.2 AK-SM 720

Vanhempi, mutta vieläkin suosituin Danfossin System Manager säädin on AK-SM 720. AK-SM 720:sta löytyy myös huoltoportti, johon saa yhteyden huoltokaapelilla, jos etäyhteys ei toimi. Tätä säädinmallia hallitaan Service Tool -ohjelmalla. Tiedonsiirtoa varten AK-SM 720:ssä on liitännät LON:ille, Modbusille, RS232:lle sekä TCP/IP:lle. [7.]

4.1.3 AK-SM 350

AK-SM 350 on vanhempi kuin AK-SM 720, eikä se tue kellutusryhmiä, vaikka huolto-ohjelmiana on Service Tool. Näissä kohteissa voi kuitenkin säätää kalusteiden lämpötilan ja kellutustoiminnolla voi tarkistaa, mikä kaluste ohjaisi kellutusta eniten, vaikka itse ohjaus ei toimi. Tämä kaluste on niin sanottu heikoin lenkki. AK-SM 350 sisältää myös integroidun kaksivärisen näytön. Säätimessä on liitännät LON:ille, Modbusille, RS232:lle, TCP/IP:lle ja TP BUS:ille tiedonsiirtoa varten. [8.]

4.2 Danfossin huolto-ohjelmistot ja automaatiotekniikka

Danfossilta löytyy kolme eri automaatio- tai huolto-ohjelmistoa, jotka löytyvät esiasennettuna säätimiltä. Nämä ovat AKM, Danfoss Service Tool sekä Danfoss Storeview.

4.2.1 AKM

AKM on ohjelmistoista vanhin, josta löytyy etäohjaus ja on käytössä vanhemmilla säätimillä. Vanhat AKM:ää käyttävät säätimet eivät välttämättä tue kellutustoimintoa, mutta ohjelmistopuolelta se löytyy jo tästä ohjelmasta. AKM myös tukee ilman hiirtä tai muuta osoitinlaitetta käyttämistä, kun taas uudemmat ohjelmat vaativat ne ollakseen käyttökelpoisia. AKM-käännökset suomeksi sisältävät lukuisia virheitä, joten sen käyttäminen englanniksi olisi suotavaa.

AKC säätimet - valintalista

Järjestelmän osoite	ID-koodi	Koodi nro.	
241:001	1-Pakastehuone	084B6171	1.50
241:002	2 Kombi allas	084B6176	1.50
241:003	3 Kombi kaappi	084B6176	1.50
241:004	4 Kombi allas	084B6174	1.50
241:005	5 Kombi kaappi	084B6174	1.50
241:006	6 Kombi allas	084B6174	1.50
241:007	7 Kombi kaappi	084B6173	1.50
241:008	8 Pakaste allas	084B6172	1.50
241:009	9 Pakaste allas	084B6174	1.50
241:010	10 Pakaste allas	084B6174	1.50
241:011	11 Kombi allas	084B6174	1.50
241:012	12 Kombi kaappi	084B6174	1.50
241:013	13 Kombi allas	084B6174	1.50
241:014	14 Kombi kaappi	084B6174	1.50
241:015	15 Kombi allas	084B6176	1.50
241:016	16 Kombi kaappi	084B6176	1.50
241:017	17 Pakaste allas	084B8030	1.917
241:023	23-Koiran pakast	084B8030	1.917
241:030	30-Maituhuone	084B6174	1.50
241:031	31-Maituhuone	084B6174	1.50

Tietoerko... OK Sulje

Kuva 4. AKM kalustesäätimen valintanäkymä.

AKC säätimet - toiminnot

241:009 9 Pakaste allas

Alarms

Thermostats

Air temperature alarms

Injection control

Defrost control

Defrost schedules

Display Fan Railheat DI

Alarm destinations

Extended functions

Service mode

For DANFOSS only

AKC teksti

Editoitu

Rekisteröinnit...

Häilytykset...

OK

Sulje

Kuva 5. AKM-kalustesäätimen päävalikko.

4.2.2 Service Tool

Danfoss Service Tool on yleisin käytössä oleva automaatio/huolto-ohjelmisto tällä hetkellä. Jopa uusimissa SM-850-säätimissä konesäätimien asetukset suoritetaan Service Toolilla. Tällä ohjelmistolla hallitaan säätimiä ja muokataan konesäädinten ja kalustesäädinten asetuksia. Service Toolilla asetukset voi tallentaa tiedostoon ja kopioida tätä kautta muihin vastaaviin säätimiin.

4.2.3 StoreView

Danfoss Storeview on Danfossin uusi automaatio-ohjelmisto, joka on myös suunniteltu asiakkaan käyttöön. Konesäädinten asetuksia ei pysty tällä ohjelmalla muokkaamaan. Uutena toimintona tässä mallissa on Copy Wizard -toiminto, jolla yhden kalustesäätimen parametrit voidaan kopioida useampaan säätimeen, mutta toiminnon huonon toimivuuden vuoksi tätä suositellaan käyttämään varoen. [5.]

The screenshot shows the StoreView software interface with the following sections:

- Alarms:** A table with columns: Unit, Device Name, Address, Alarm Type, Occurred. It is currently empty.
- Refrigeration:** A table with columns: Unit, Name, Address, Status, Value, Setpoint, Alarm. It lists various refrigeration units and their parameters.
- Energy:** A table with columns: Unit, Name, Value, Alarm. It shows energy consumption for 'Koneikko kWh' and 'Kalustekeskus kWh'.

Unit	Name	Address	Status	Value	Setpoint	Alarm
0	AK-PC 781A MT	101	Normal Ctrl			
0	AK-PC 781A MT	101	Normal Ctrl	-2.0 °C	-2.0 °C	
0	2.1aEMHOS	40	Modulating temp	5.6 °C	4.0 °C	
0	2.1bEMHOS	41	Modulating temp	5.2 °C	4.0 °C	
0	2.2aEMHOS	42	Modulating temp	5.6 °C	4.0 °C	
0	2.2bEMHOS	43	Modulating temp	4.9 °C	4.0 °C	
0	2.3aEKHUS	44	Modulating temp	4.8 °C	4.0 °C	
0	2.4aGRHUS	45	Modulating temp	6.9 °C	6.0 °C	
0	2.5aBRHUS	46	Modulating temp	1.7 °C	0.0 °C	
0	2.6aBRHUS	47	Modulating temp	3.1 °C	1.0 °C	
0	2.7aDRHUS	48	Adaptive SH ctrl	4.5 °C	2.0 °C	
0	2.15aFKHS	50	(s19) Normal	7.7 °C	6.0 °C	
0	2.15bFKHS	51	(s19) Normal	7.6 °C	6.0 °C	
0	2.16aFKHS	52	(s19) Normal	7.3 °C	6.0 °C	
0	2.16bFKHS	53	(s19) Normal	6.9 °C	6.0 °C	
0	2.17aEKHS	54	(s19) Normal	4.7 °C	4.0 °C	
0	2.17bEKHS	55	(s19) Normal	5.2 °C	4.0 °C	
0	2.18aFKHS	56	(s19) Normal	7.1 °C	6.0 °C	

Unit	Name	Value	Alarm
0	Koneikko kWh	11413.4 kWh	
0	Kalustekeskus kWh	6620.0 kWh	

Kuva 6. StoreViewin perusnäky

StoreView'n perusnäky, joka tulee esille joko heti etäyhteydellä yhdistäessä tai hieman eri tavalla skaalattuna integroidussa näytössä, näyttää hälytykset, kalusteiden lämpötilat sekä kokonaisenergiankulutuksen.

4.3 Muita kylmä-automaation ohjelmistoratkaisuja

Myös muita vaihtoehtoja kylmä-automaatioon on käytössä ja ne on kuvailtu lyhyesti tässä luvussa.

4.3.1 LDS

Vanha ohjelmisto on käytössä lähinnä R404A:ta kylmäaineena käyttävissä laitoksissa. Optimointiin on rajalliset työkalut automaation osalta tässä ohjelmistossa, jonka myös huomaa luvussa 6, kun optimoinnin tuloksia vertaillaan. LDS-kohteet eivät tue kellutus-toimintoa. [1.]

4.3.2 Carel

Uusi tulokas markkinoilla ja ominaisuuksia on vielä valmisteilla joten harvaa kohdetta jossa, Carel on käytössä optimoidaan. Tulevaisuudessa Carelin tuotteet tulevat yleisty-mään kylmäautomaatioissa. [1.]

4.3.3 Dixell

Dixell on italialainen kylmäautomaation valmistaja. Optimoinnin suhteen käyttökelpoi-nen, mutta huomattavasti harvinaisempi kuin Danfoss johtuen heikosta tietoturvasta, laa-dunvalvonnasta sekä varaosien saatavuudesta. Dixellin käyttöliittymä on selainpohjai-nen ja muutettavia parametrejä on huomattavasti enemmän kuin Danfossin vastaavissa säätimissä. Dixelliltä löytyy myös pelkästään tulistuksella ohjaus ja anturitiedot päivitty-vät säätimelle kerran 30 sekunnissa. [5.]

4.3.4 Fidelix

Joissain pienemmissä kohteissa kylmäautomaatio on integroitu Fidelixin kiinteistöauto-maation, joka on usein toteutettu ohjelmoitavalla logiikalla kone- ja kalustesäätimien si-jasta. Näitä kohteita harvoin optimoidaan.

4.4 Optimoinnin seurannan työkalut

Optimoinnin tulosten seuranta vaatii lämpötilojen, imupaineiden ja sähkönkulutuksen mittarointia. Lämpötiloja ja imupaineita seuraamalla voidaan tarkistaa asettelujen toimivuus ja varmistua asettelujen toimivuudesta kohteessa. Jos jokin tietty kaluste ei pysy asetelluissa lämpötilarajoissa saadaan siitä melkein reaaliajassa tietoa ja voidaan tarkistaa asettelut vielä kerran. Sähkönkulutuksen seurannalla voidaan todeta optimoinnista aiheutuva säästö sähkönkulutuksessa.

4.4.1 Krispi-järjestelmä

Krispi-järjestelmässä voidaan seurata kylmäkalusteiden ja koneikkojen paineita ja lämpötiloja. Optimoinnin jälkeen tällä työkalulla on helppo seurata optimoinnin vaikutuksia ja varmistaa optimointiasetusten toimivuuden. Krispi on käytössä melkein jokaisessa HOK:in kohteessa. Krispissä on kolme eri näkymää. Positiokartasta voi avata yksittäisen kalustesäätimen lämpötilahistorian. Tekninen raportti -näkyseen jossa on listattu kalusteiden lämpötilat ja kuinka usein ne ovat ylittäneet tai alittaneet asetetut lämpötilat. Kolmantena näkymänä on asetusnäkyminen, josta voidaan valita kyseiset lämpötilarajat ja anturitieto, mikä Krispiin on tuotu. Krispi on käytössä myös asiakkailta heidän omaan kylmälaitteiden seurantaan varten.

Kalustesäädinkohtaisesti voidaan myös avata kuvaaja, josta selviää myöskin kellonajat sekä ajallinen kesto lämpötilojen ylityksille tai alituksille. Kuvaajassa on myös otettu huomioon sulatukset. Tätä kuvaajaa tutkiessa voi tehdä johtopäätöksiä ja päätellä syitä miksi jokin kaluste ei pysy halutussa lämpötilassa. Esimerkiksi jos sulatuksen jälkeen kestää pitkä aika kalusteen palautuessa haluttuun lämpöön ja tämä johtaa lämpötilan ylityksiin, voidaan ongelman syitä rajata. [5.]

Kalusteet

Näytä kaikki

Positio	Lämpötila	Yläraja	Alaraja	AKV %	Aitukset	Ylitykset	Laitetyyppi
10.A Kombiallas	-18.91	-18	-21	8	7	7361 l	Pakastekaluste
10.B Kombiallas	-18.92	-18	-21	7	4	7354 l	Pakastekaluste
13.A Kombikaapp	-18.37	-18	-21	0	21	3438 l	Pakastekaluste
13.B Kombikaapp	-18.1	-18	-21	0	314	2998 l	Pakastekaluste
14.A Kombiallas	-19.91	-18	-21	0	3611	6155 l	Pakastekaluste
14.B Kombiallas	-17.74	-18	-21	54	4089	5768 l	Pakastekaluste
16A. Lihahuone	4.31	4	1	19	0	5952 l	Kylmähuone
17.A Kalahuone	1.46	2	-1	9	0	6593 l	Kylmähuone
18.A Terminaali	3.86	6	3	0	0	757214	Pakastekaluste
19.A Palvelun Hu	5.62	6	3	14	0	109 l	Kylmäkaluste
1.A Pakastehuone	-19.72	-18	-21	26	0	5663 l	Pakastehuone
20.A Maituhuone	4.79	6	3	10	0	2537 l	Kylmähuone
20.B Maituhuone	5.02	6	3	12	0	2769 l	Kylmähuone
20.C maituhuone	5.02	6	3	12	0	3391 l	Kylmähuone
20.D maituhuone	5.06	6	3	14	0	5712 l	Kylmähuone

Kuva 7. Zeecoren Krispi-järjestelmän tekninen näkymä

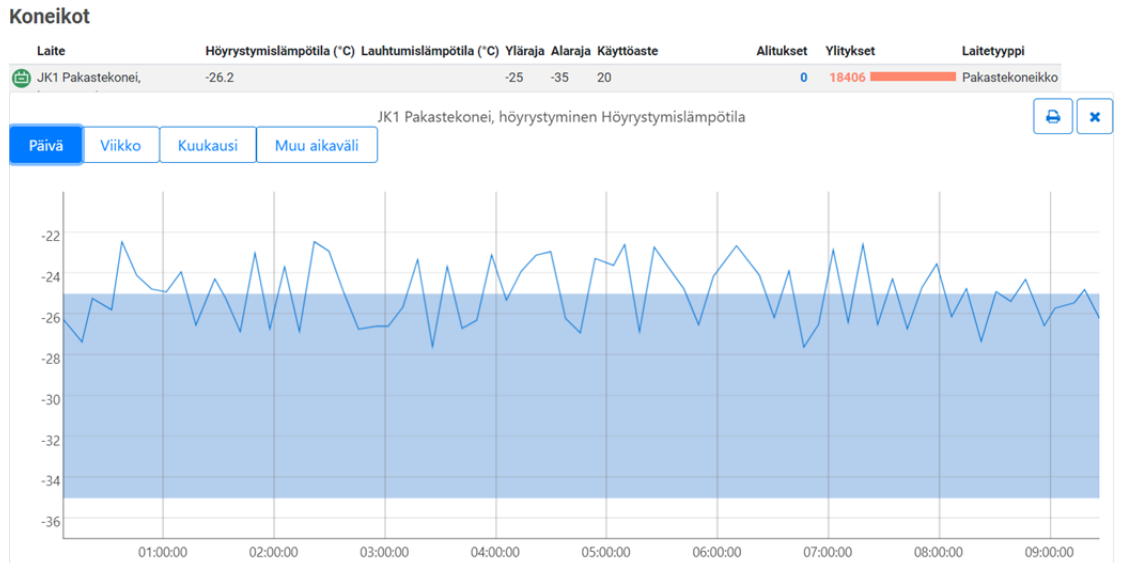
Krispi toimii kokonaan selaimessa, joka tekee siitä helpokäyttöisen etäseurantaan. Avaamalla tietyn kalusteen tiedot saa näkyviin lämpötilahistorian, josta voi valita päivä-, viikko- tai kuukausinäkymän.

7A.Kombikaappi (-19.2 °C)



Kuva 8. Krispin kalustesäätimen päivänäkymä

Kuvassa 3 näkyvässä kalustesäätimen päivänäkymässä selviää, että kello 06:00 kaluste on tehnyt sulatuksen. Sulatus on merkitty keltaisella palkilla. Esimerkkikuvassa sulatuksen jälkeinen aika näkyisi ylityksenä, vaikkei pitäisi, ja tämän vuoksi Krispiä pitää käyttää ajatuksen kanssa ja tarkastella kalusteiden lämpökäyriä.



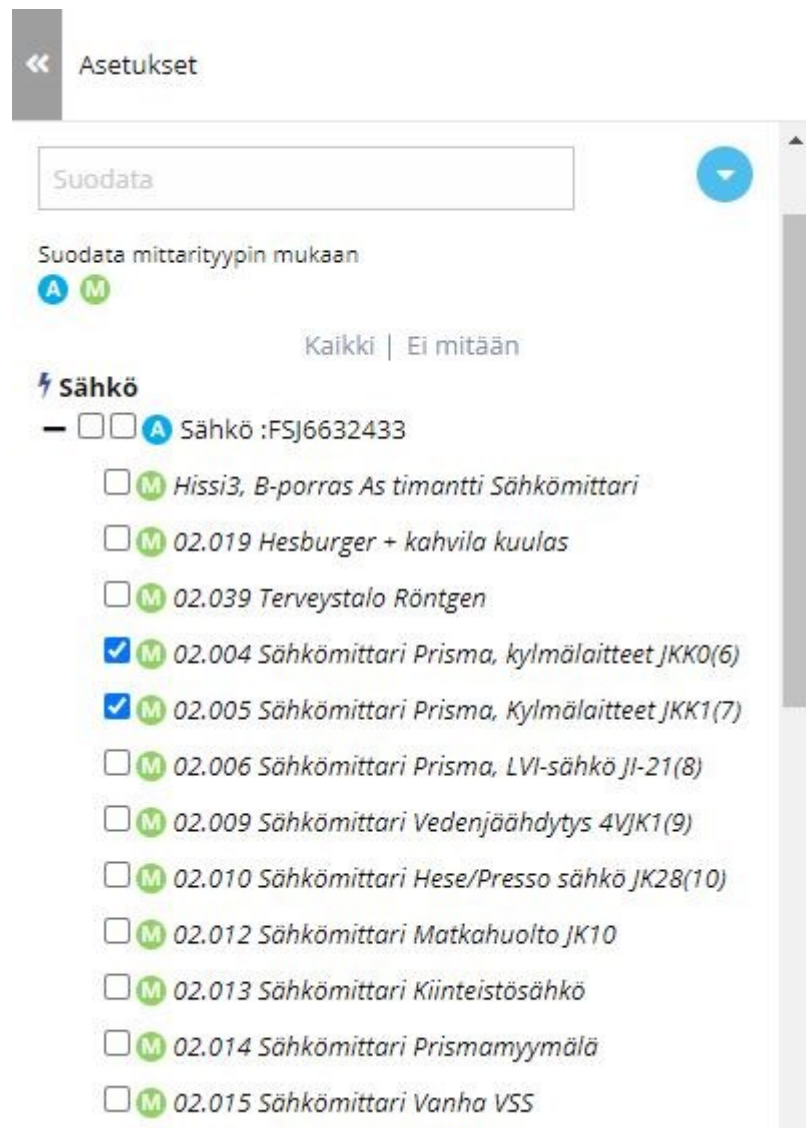
Kuva 9. JK1-pakastekoneikon päivänäkymä Krispissä

Kuvassa 5 näkyy saman kohteen pakastekoneikon lämpötila. Tästä näemme, että pakastekoneikko on käynyt Krispissä asetettujen lämpötilarajojen ulkopuolella tasaista tahtia.

Krispi on erinomainen työkalu, mutta vaatii käyttäjältä usein optimointia tehdessä, että itse käy asettamassa lämpötila-alueet kalusteille, jotta ylitysten ja alitusten seuraamisesta on hyötyä.

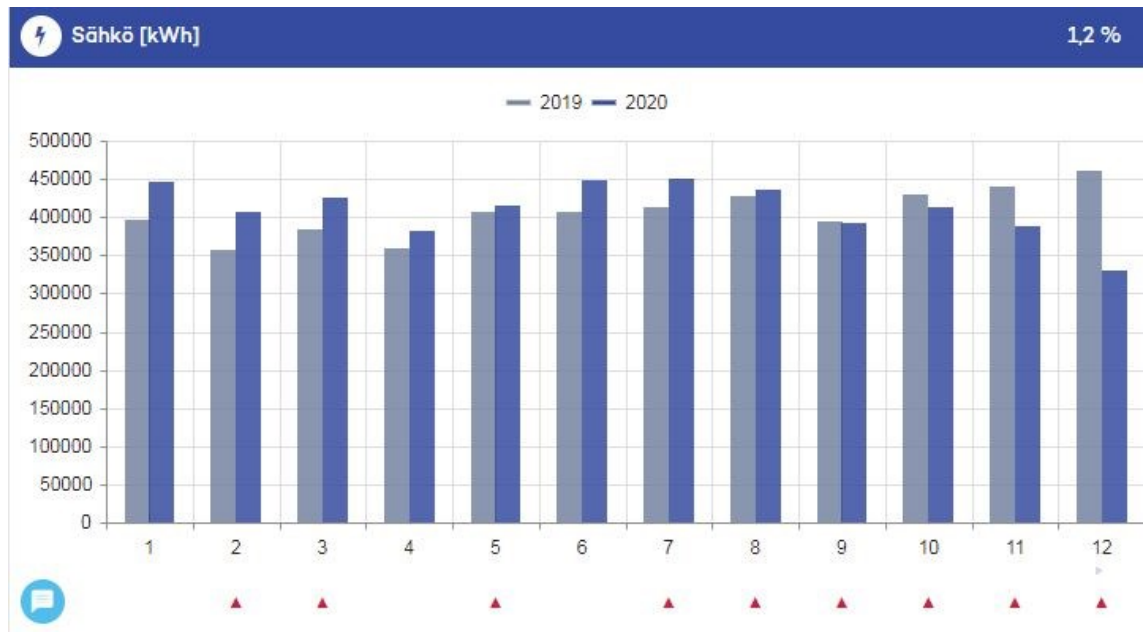
4.4.2 EnerKey-järjestelmä

EnerKey on selaimessa toimiva sähkön mittaroinnin seurantajärjestelmä. Jos kohteessa on erillinen mittarointi kylmäjärjestelmälle, EnerKey on tarkin sähkönkulutuksen seurannan työkalu optimointiin. Jos mittarointi on koko kiinteistölle, kylmäjärjestelmän kuluttama sähkö pitää arvioida kokonaiskulutuksesta.



Kuva 10. Kohteen sähkönkulutuksen mittaroinnin valintanäkymä

Kuvassa 10 näkyy valintanäkymä, josta voidaan tuoda näkyviin erikseen pelkästään kylmälaitteiden sähkönkulutus. Jos kylmälaitteille ei ole erikseen mittarointia, voidaan koko kiinteistön sähkönkulutus silti tuoda näkyviin Kuvan 11 osoittamalla tavalla, ja siitä voidaan arvioida kylmälaitteiden sähkönkulutus.



Kuva 11. Kohteen kokonaiskulutuksen sähkönseuranta 2019-2020.

Kuvassa näkyvässä taulukossa voidaan seurata kahden vuoden sähkönkulutusta koko kiinteistössä. Vuoden 2020 tummansinisestä palkista näemme selvästi, että lokakuussa toteutettu optimointi on vähentänyt sähkönkulutusta. Koska emme voi olla varmoja, onko sähkönkulutuksen lasku kokonaan optimoinnin ansiota, emme voi olettaa, että kaikki saavutettu säästö on optimoinnin ansiota. Tämä pitää ottaa huomioon asiakkaalle raportoinnissa ja koittaa arvioida asiakkaalle optimoinnin ansiota oleva säästö sähkönkulutuksessa.

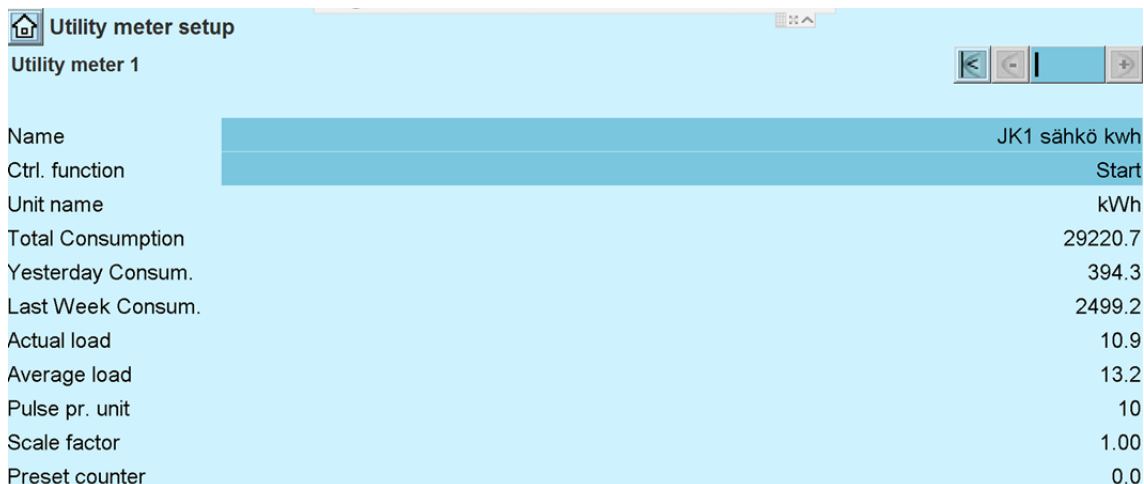
Vie Exceliin			
▼	Sähkö [kWh]		
	■ 2019	■ 2020	■ → ■%
1	397 166	445 559	12,2 %
2	357 697	406 988	13,8 %
3	382 884	424 336	10,8 %
4	358 378	382 149	6,6 %
5	405 703	415 174	2,3 %
6	407 442	447 992	10,0 %
7	413 796	449 821	8,7 %
8	427 771	436 489	2,0 %
9	393 416	391 472	-0,5 %
10	428 470	412 888	-3,6 %
11	439 554	387 538	-11,8 %
12	461 607	330 328	-28,4 %
Yhteensä	4 873 884	4 930 734	1,2 %
Minimi	357 697	330 328	-28,4 %
Maksimi	461 607	449 821	13,8 %
Keskiarvo	406 157	410 895	1,8 %

Kuva 12. Kohteen sähkönkulutus lukuina. Toteutunut säästö näkyy prosentuaalisesti.

4.4.3 Service Toolin sähkönkulutusmittari

Jos kumpikaan edellä mainituista ei ole käytössä, niin Krispi-järjestelmän tueksi voi kohteen System Managerille olla tuotuna kWh-mittariston tiedot. Tätä kautta voidaan myös seurata sähkönkulutusta. Service Toolilla valitettavasti vaihtelee seurantajakson tarkkuus, ja sieltä voi joissain kohteissa tarkastaa vain kokonais-, viikko- ja päiväkulutus.

Joissain versioissa tiedot voidaan tuoda csv-tiedostolla Excel-taulukkoon kuvaajaksi pidemmällä aikavälillä.

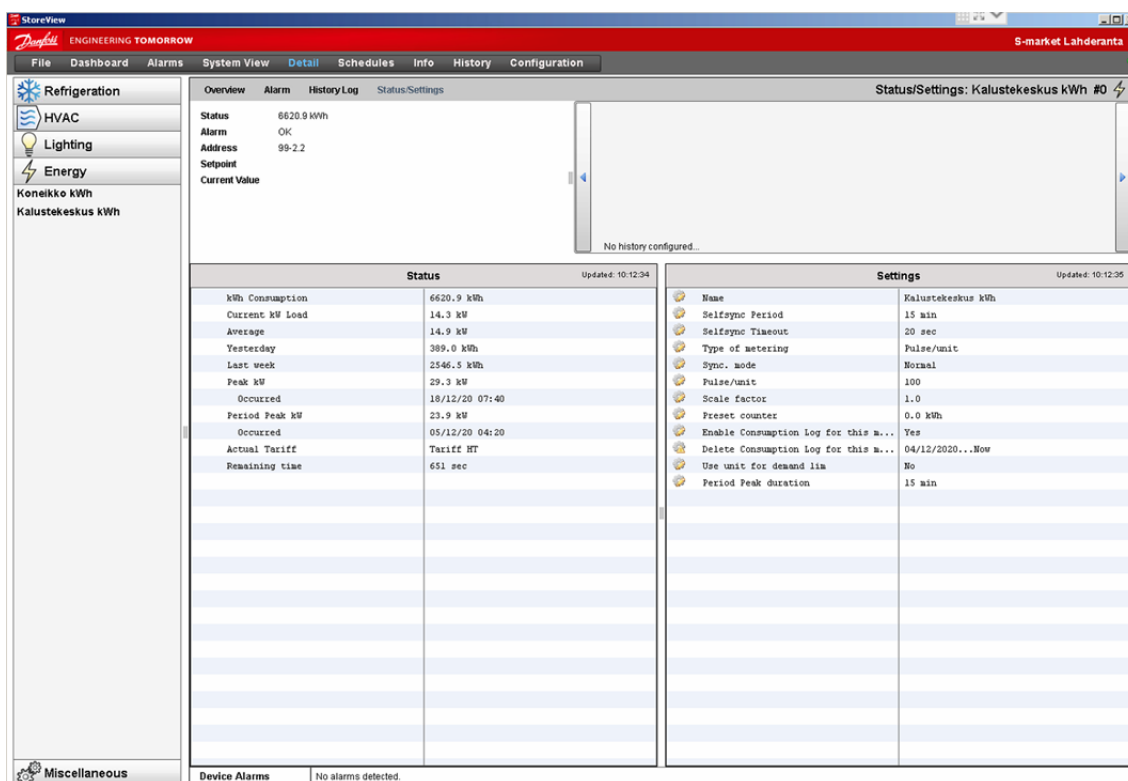


Name	JK1 sähkö kwh
Ctrl. function	Start
Unit name	kWh
Total Consumption	29220.7
Yesterday Consum.	394.3
Last Week Consum.	2499.2
Actual load	10.9
Average load	13.2
Pulse pr. unit	10
Scale factor	1.00
Preset counter	0.0

Kuva 13. JK1-sähkönkulutuksen seurantanäkymä Service Toolilla.

4.4.4 StoreView'n sähkönkulutusmittari

StoreViewillä voi myös tarkastella samalla tavalla sähkönkulutusta. StoreView'illä sähkönkulutusta tarkastellessa pitää erikseen asetella historiakonfiguraatio, jotta sähkönkulutuksesta saa kuvaajan näkyviin. Oletuksena kun kWh-mittariston tiedot tuodaan System Manager -säätimelle nähdään kuitenkin kokonais-, viikko- ja päiväkulutus. StoreView'ssä on myös loistava päänäkymä kohteen kalusteiden lämpötilojen seurannalle, josta saa myös lämpötilahistorian näkyviin, jos se on säätimelle konfiguroitu.



Kuva 14. StoreViewin kWh mittarointi. Historiaa ei konfiguroitu.

4.5 PI-säätö

Moduloiva termostaatti on PI-säädin. Moduloivalla lämpötilansäädöllä minimoidaan turha lämmönsiirto ja pidetään massavirta sekä tuotteiden lämpötilanvaihtelu tasaisena.

Konesäätimistä löytyvän PI-säädön arvoja muokkaamalla kaluste voidaan ohjata haluttuun lämpötilaan tarkemmin ja nopeammin. Säädön nopeudeksi Danfossin säätimillä on tarjolla vain asteikko 1...10, jotka kuvaavat säädön nopeutta hitaimmasta nopeimpaan. Oletuksena CO₂-kylmäjärjestelmissä halutaan nopein mahdollinen säätö MT-puolelle. Myös LT-puolella halutaan nopea säätö, mutta 7 on riittävän nopea. Poikkeuksena jos koneikon käynnistyessä korkeapaine nousee turvarajoihin asti, voidaan käyttää hidasta PI-säätöä. Muilla kylmäaineilla käytetään hitaampaa PI-säätöä.

Kp-arvo on PI-säädön vahvistuskerroin ja Tn-arvo tarkoittaa PI-säädön integraatioaikaa.

PI-säätöä varten konesäätimen asetuksista asetetaan myös NZ eli Neutral Zone. Kun lämpötila on tällä alueella PI-säätö, on normaalissa toiminnassa. NZ:n lisäksi on myös -Zone ja +Zone, kun lämpötila on alle tai yli halutun. Nämä alueet määritellään kelvineissä. Eri alueille asetetaan myös aikamääre. Jos ollaan tietty aika +Zonella tai -Zonella, vähennetään tai lisätään kompressorien tehoa lisäämällä PI-säädön sääntelynopeutta. [5]

Danfossin kylmäautomaatiikalta PI-säätöä voidaan ohjata ”Easy PI selection” -parametrilla. Parametri on asteikko 1-10, joista jokainen arvo vastaa esimääritettyä PI-säädön parametriryhmää. Parametrit ovat K_p vahvistuskerroin, T_n integraatioaika, +zone acceleration ja -zone acceleration. Alueiden kiihtyvyydet toimivat seuraavasti. Jos säädettävä arvo on asetusarvoa ylempänä, T_n jaetaan $A+$ -arvolla. Jos säädettävä arvo on asetusarvoa alempana, T_n jaetaan A -arvolla. Tällä pyritään mahdollisimman tasaiseen PI-säätöön. Easy PI selectioniin voidaan valita myös vaihtoehto ”user defined” eli käyttäjän valinta, jolloin jokainen edellämainittu parametri voidaan määrittää itse. [9, s: 52, 88.]

Taulukko 1. Easy PI selectionin asetusten parametrien arvot eri asetuksilla

Nopeat asetukset	Säätöparametrit			
	K_p	T_n	$A+$	$A-$
1 = hitain	1,0	200	3,5	5,0
2	1,3	185	3,5	4,8
3 = hitaampi	1,7	170	3,5	4,7
4	2,1	155	3,5	4,6
5 = oletus	2,8	140	3,5	4,4
6	3,6	125	3,5	4,2
7 = nopeampi	4,6	110	3,5	4,1
8	5,9	95	3,5	4,0
9	7,7	80	3,5	3,8
10 = nopein	9,9	65	3,5	3,5
Käyttäjän määrittämä	1,0 - 10,0	10 - 900	1,0 - 10,0	1,0 - 10,0

4.6 Automatiikan asettelut konesäätimille

Konesäätimiä on yleensä kohteessa kaksi; yksi LT- ja yksi MT-puolelle. On myös ratkaisuja, missä on yksi säädin, joka ohjaa molempia löytyy. Konesäätimien optimoinnille tärkeät asetukset käydään tässä luvussa.

4.6.1 Imupaineen kellutus

Konesäätimiltä asetetaan imupaine kellutukselle ja sille annetaan setpoint. CO₂-laitoksissa setpoint on LT-puolelle -28°C ja MT-puolelle -5°C. Tämä setpoint on siis imupaineen lämpötila, joka on suoraan verrannollinen sen paineeseen. Differenssiksi asetetaan 2K. Myös 4K-differenssiä käytetään joissain kohteissa tarpeen mukaan. Jokainen 1K-muutos imupaineessa kattaa noin 2-3 % energiankulutuksesta kylmäjärjestelmästä. [10.]

4.6.2 Kompressorin käyttötyyppi

Kompressorille asetetaan automatiikalla käyttötyyppi, jonka asetus on nimeltään ”Compressor applications” automatiikalla. Sen oletus on 2xVariable+Single Step, joka käytännössä tarkoittaa, että kompressoria ohjataan taajuusmuuttajalla ja LT- ja MT-puolille on omat taajuusmuuttajansa.

4.6.3 Kaasujäähdyttimen asetukset

Kaasujäähdyttimen ohitusta ei yleensä käytetä, ja asiakkaiden ohjeissa yleisesti kielletty käyttämästä. Kaasujäähdyttimen ohituksesta olisi hyötyä, kun ilmanlämpötila on kovasti pakkasella, jotta LTO:sta saataisiin maksimaalinen hyöty irti.

Kaasujäähdyttimen paluulämpötilan minimiksi asetetaan +6°C ja maksimiksi +32°C.

4.6.4 LTO-paineet

LTO:n p_{gc} LTO-minimi eli "pressure gas cooler" asetetaan 50 bariin CO₂-kohteissa. P_{gc} HR-poikkeutus asetetaan 5-30 bariin. Monet asiakkaat, jotka eivät itse omista kiinteistöä, missä kylmäjärjestelmä sijaitsee, rajaavat maksimipaineen 70 bariin vähentääkseen kylmäjärjestelmän sähkönkulutuksen nousua. Korkeampi maksimipaine tarkoittaisi suurempaa säästöä kiinteistön kokonaissähkössä, mutta kylmäjärjestelmän sähkönkulutus nousisi hieman.

4.6.5 Taajuusmuuttajien asetukset

Taajuusmuuttajille asetetaan koneikon asetuksista samat minimi- ja maksimitaajuudet kuin taajuusmuuttajille on asetettu. Suurimmassa osassa kylmäautomaatiossa käytössä olevissa taajuusmuuttajissa nämä arvot ovat 25 Hz ja 70 Hz, mutta poikkeuksiakin löytyy.

Taajuusmuuttajalle annetaan myös käynnistysnopeus. Oletusasetus tälle on 50 Hz. Asetukset ovat automatiikalla nimeltään VSD min speed, VSD max speed sekä VSD start speed.

4.6.6 Ohjaustyyppi

Ohjaustyypiksi valitaan optimointikohteessa poikkeuksetta "Best fit" -asetus, jos kompressorit ovat eri kokoisia. Toinen vaihtoehto, jota käytetään, jos kompressorit ovat saman kokoisia on "Cyclic" eli syklinen asetus. Syklisellä asetuksella jokaista kompressoria pidettäisiin päällä "x" ajan, jotta kaikille tulisi tasainen määrä käyttötunteja. Nopeussäädetyt kompressorit kytketään aina ennen kierrossäädettäviä kompressoreita ja ensimmäiseksi käynnistetty kompressori myös sammutetaan ensimmäisenä, mutta isommalla prioriteetilla noudatetaan kompressorien turvakatkaisuviiveitä sekä lepoaika-asetuksia.

Kompressorien Best fit -asetus ohjaa kompressoreita järjestelmän todellisen tehontarpeen mukaan, kuitenkin huomioiden kompressorien käyttötunnit mukaan. Best fit -asetus






ei kuitenkaan pakota yhtä kompressoria käymään "x" määrän tunteja, vaan ensimmäisenä prioriteettina on sopivan tehoportaan löytyminen järjestelmälle. Best fit -asetusta käytetään lähtökohtaisesti kohteissa, joissa on useampi erikokoinen kompressori, ja se on sähkönkulutuksen kannalta paras ratkaisu.

Best fit -asetuksella nopeussäädetyt kompressorit kytketään ensimmäiseksi ja vasta niiden jälkeen kierrossäädettäviä kompressoreita kytketään päälle täyttämään aukot tehoportaiden välillä.

Kolmas ohjaustyyppi on käyttöaikojen tasaus. Käyttöaikojen tasausta käytetään, kun kompressorit ovat samankokoisia. Tätä asetusta käytetään samalla tavalla kuin syklistä ohjaustyyppiä, mutta kompressorien käyttöajat otetaan huomioon ja käynnistys- ja sammutusperiaatteena vähiten käyttötunteja omaava kompressori käynnistetään ensimmäisenä ja eniten käyttötunteja omaava kompressori sammutetaan ensimmäisenä. [9, s: 89.]

4.6.7 Kompressorien mitoitukset

Kompressoreille asetetaan suhdeluku automatiikalle. Yleisesti käytössä on tyyppikilvessä lukeva teho, mutta yksiköllä ei ole merkitystä tässä tapauksessa, koska kyseessä on vain suhdeluku, joka kuvaa kompressorien kokoeroa toisiinsa verrannollisena.

Compressors	
Nominal displacement	
	9.40 m ³ /h
	12.00 m ³ /h
	17.50 m ³ /h
	17.50 m ³ /h
	17.50 m ³ /h

Kuva 14 Kompressori suhdeluvut Service Toolilla.

4.6.8 Koneikon turva-asetukset

Koneikolle asetetaan minimi- ja maksimihälytysarvot lämmölle, paineelle sekä tulistukselle. Nämä ovat koneikkokohtaisia. Esimerkkitapauksessa voidaan käyttää esimerkiksi Sd max temp 105°C, To min limit -25°C, To max lim +5°C Pc Max limit 107bar, SH max alarm 60K ja SH min alarm 4K. Hälytyksille asetetaan myös viiveet, joilla hälytys lähtee. Koneikon hälytyksissä käytetään erittäin lyhyitä viiveitä kuten 1 tai 2 minuuttia. Myös uudelleenkäynnistykselle annetaan aikaväli vikatilanteen sattuessa. Oletuksena on 10 minuuttia.

Kompressoreille määritetään erikseen turva-asetukset, jotka ovat ”kyllä tai ei” -muotoisia. Oletuksena ”common safety” ja ”motor protection safety” asetetaan ”kyllä” -tilaan. Tämä tarkoittaa sitä, että jos yleinen- tai moottorin turvapiiri katkeaa koneikko menee OFF -tilaan ja lähettää hälytyksen eteenpäin.

4.6.9 Kompressorien ajastukset

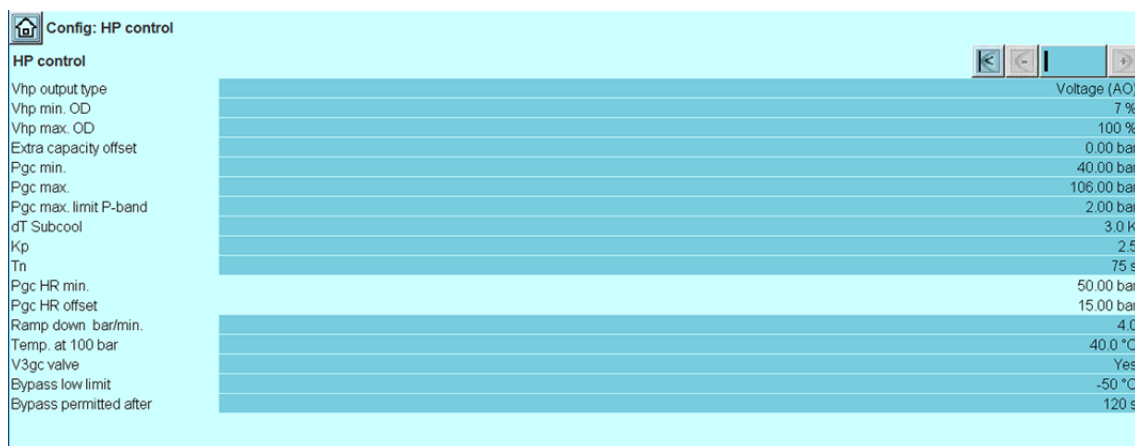
Kompressoreille asetetaan myös ajastukset, jotka määrittävät kompressorien minimikäynnissäoloajat, minimiajan, jonka kompressori on poissa päältä, minimiuudelleenkäynnistysajan sekä viiveen uudelleen käynnistäessä turvakatkaisun tapahtuessa. Minimi -OFF aika voi olla 1-5 minuuttia riippuen koneikosta. Myös eri kompressoreille voi asettaa eri ajastukset, jotta koneikko varmasti lähtee käyntiin ilman, että katkaisee korkeapaineen noususta, kun kaikki kompressorit käynnistyvät yhtä aikaa.

Nämä viiveet ovat isoissa koneikossa tärkeitä, koska on mahdollista, että sähkökatkon tapahtuessa koneikko ei enää käynnisty kunnolla, jos minimiaikoja ei ole määritetty vaan koneikko yrittää nopeasti päästä tavoiteltuun imupaineeseen ja korkeapaine nousee turvarajoihin asti, mikä johtaa turvakatkaisuun.

4.6.10 Koneikon varaajan paineen ja säädön asettelut

Valikosta ”HP control” löytyy varaajan paineasettelut koneikolle. Suurimmaksi osaksi nämä ovat tehdasasetuksiltaan toimivia, mutta pgc-maksimi ja -minimi pitää säätää, sekä pgc max limit P-band. Kuvassa 15 on varaajapainevalikon asetukset nähtävissä.

Varaajapainetta säädetään PI-säädöllä ja sen Kp- ja Tn-arvot määritetään tässä valikossa myös. Myös referenssipaine ja paineen maksimi ja minimiarvot määritellään tässä.



Parameter	Value
Vhp output type	Voltage (AO)
Vhp min. OD	7 %
Vhp max. OD	100 %
Extra capacity offset	0.00 bar
Pgc min.	40.00 bar
Pgc max.	106.00 bar
Pgc max. limit P-band	2.00 bar
dT Subcool	3.0 K
Kp	2.5
Tn	75 s
Pgc HR min.	50.00 bar
Pgc HR offset	15.00 bar
Ramp down bar/min.	4.0
Temp. at 100 bar	40.0 °C
V3gc valve	Yes
Bypass low limit	-50 °C
Bypass permitted after	120 s

Kuva 15 HP control -valikko Service Toolilla.

4.6.11 Lauhdutinpuhaltimen säädöt

Lauhdutinpuhaltimen säädöillä voidaan vaikuttaa myös sähkönkulutukseen. Sgc-anturilla ohjataan lauhdutinpuhallinta ja sille asetetaan kelluva tila. Minimi- ja maksimiarvot säädetään 6°C- ja 32°C-asteeseen. Sgc-anturi mittaa ulkoympäristön lämpötilaa. Toimintoa voidaan verrata muuttuvaan Kp-arvoon, joka on korkeampi lämpiminä jaksoina ja matalampi kylminä jaksoina. Sähkönkulutusta kelluvalla lauhdutinpainella voidaan säästää noin 2 % per kelvin.

Vaihtoehtoisesti lauhdutinta voidaan ohjata myös kiinteällä asetusarvolla, jos saatavilla ei ole anturia, jolla voidaan seurata ulkoympäristön lämpötilaa. Optimointikohteessa suositetaan aina kelluvaa lauhdutinpainetta ja anturiohjausta. Jos kohteessa ei ole Sgc anturia, mutta muut valmiudet kelluvaan lauhdutinpaineseen löytyy, voidaan anturin lisäämistä ehdottaa.

Puhaltimen säätötilalle asetetaan Kp- ja Tn-arvot. Kuten muissakin PI-säädöissä, Kp tarkoittaa vahvistuskerrointa ja Tn integraatioaikaa.

Konfig. Lauhd.puh. säätö	
Pc ohjearvo	
Säätöanturi	Sgc
Asetusarvon tila	Kelluva
Min. tm	1,0 K
Mitoitus tm	2,0 K
Min. asetusarvot	6,0 °C
maks.. asetusarvot	32,0 °C
Tehosäätö	
Puhaltimien lukumäärät	1
Puh. varoiminto	Kyllä
Tehosäätötila	Nopeus
Puh. säädön tyyppi	EC moottori
EC käynnistysteho	10,0 %
EC min. jännite	0,0
EC maks. jännite	10,0
EC maks. abs. jännite	10,0
Absolut.max Tc	35,0 °C
Puh. säätötila	PI-säätö
Kp	5,0
Tn	240 s
Tehorajoitus yöllä	100,0 %

Kuva 16. Lauhduttimen puhaltimen esimerkkiasetukset.

4.6.12 Nesteruiskutus imulinjaan

Nesteruiskutuksen ohjaus imulinjaan ei varsinaisesti kuulu optimointiin, mutta sitä ohjataan automatiikan kautta ja tämän vuoksi usein tarkistetaan optimoinnin yhteydessä. Nesteruiskutuksen imulinjaan tarkoituksena on laskea kuumakaasulämpötilaa (Sd) imulinjassa. Liian korkea lämpötila voi aiheuttaa vikatiloja koneikossa. Ruiskutusta ohjataan joko suoraan tulistuksen lämpötilalla tai kuumakaasulämpötilalla sekä tulistuksella.

Jos ruiskutusta ohjataan tulistuksella asetetaan kaksi arvoa; lämpötila jossa ruiskutus aloitetaan ja differenssi jossa ruiskutus lopetetaan. Kun ruiskutusta ohjataan Sd-arvolla sekä tulistuksella, ruiskutusta ohjataan neljällä arvolla. Sd-lämpötila sekä tulistuslämpötila, joista kun molemmat saavuttavat asetetun arvon, ruiskutus aloitetaan. Molemmille asetetaan myös differenssi, ja kun joko Sd tai tulistus saavuttaa halutun differenssin, ruiskutus katkaistaan. [9 s: 96.]

4.6.13 Lämpötila ja tulistus

Lämpötilan setpoint valitaan asiakkaan toiveita noudattaen Eviran säädöksiä rikkomatta. Jos asiakkaalla ei ole toiveita lämpötilan suhteen, esimerkiksi HOK:n ohjesäännöt ovat käyttökelpoiset tähän tarkoitukseen. Setpoint määritellään 2 K kylmemmäksi kuin haluttu lämpötila ja differenssiksi määritetään 2 K. Differenssi annetaan moduloivaa termostaatiohjausta varten. Tämä antaa halutun lopputuloksen ja antaa automatiikalle hieman liikumavaraa lämpötilansäädössä.

Setpoint käytännössä tarkoittaa asetettua arvoa lämpötilalle, johon säädin pyrkii lämpötilan säätämään mahdollisimman tarkasti. Säädön tarkkuus riippuu PI-säädön asetuksista ja ulkoisista tekijöistä sekä anturoinnista.

o (A) Pakasteet max. -18 °C	(setpoint -20 °C)
o (B) Kala max. +2 °C	(setpoint +0 °C)
o (C) Vakuumikala max. +3 °C	(setpoint +1 °C)
o (D) Kana, jauheliha max. +4 °C	(setpoint +2 °C)
o (E) Maidot, einekset, lihat, makkarat, kalasäilykkeet, mehut, eläinruoat, Kylmä HEVI max. +6 °C	(setpoint +4 °C)
o (F) juustot, jogurtit ja viilit, konditoriatuotteet max. +8 °C	(setpoint +6 °C)
o (G) HEVI, viileä max. +8 °C	(setpoint +6 °C)
o (H) Panimojuomakalusteet max. +10 °C	(setpoint +8 °C) ja yö korotus +8K

Kuva 17. HOK:in optimointiohjeitus vuodelta 2019.

Ruiskutusasetuksista määritetään tulistuksen (SH eli superheat) asetukset. HOK:in optimointiohjeet toimivat tässäkin tapauksessa jokaisessa kohteessa. Tulistuksen tehtävä on kuumentaa CO₂-kylmäainetta varmistaakseen, että kaasusta ei muutu yksikään pisara nesteeksi.

Adaptiivisella tulistuksen säädöllä jokaiseen kylmäkalusteeseen syötetään tarkalleen tarvittava määrä kylmäainetta sen tarpeen mukaisesti. Tällä minimoidaan hukkaenergia ja saadaan maksimaalinen hyötysuhde. Elektronisilla AKV-venttiileillä tulistusta saadaan 2K.-5K alemmaksi kuin perinteisillä.

- **Ruistutuksen asetuksista:**
 - o min. tulistus 2 K
 - o max. tulistus 8 K (6 K haasteellisissa tapauksissa)
 - o SH close 0 K

Kuva 18. Tulistuksen asetukset HOK:in ohjeiden mukaan.

Eri automatiikkaohjelmistoilla näkymät ja valikot ovat erilaisia, ja asetukset voivat olla eri nimellä.

Thermostats

253:002 Kombiallas_2

Mittaukset	Asettelut
AKC Error	MainSwitch 1
Ther Air A	Ther. Sx A 1
RegCond. A	CutOut A°C -21.0
Ther Air B	Diff A K 2.0
RegCond. B	S4A Day % 0
Ther Air C	S4A Night% 0
RegCond. C	S4MinLim A -35
S3 A °C	Ther. Sx B 1
S4 A °C	CutOut B°C -21.0
CutOut A°C	Diff B K 2.0
CutIn A°C	S4B Day % 0
NightCond.	S4B Night% 0
RunTime A	S4MinLim B -35
S3 B °C	Ther. Sx C 1
S4 B °C	CutOut C°C -21.0
CutOut B°C	Diff C K 2.0
CutIn B °C	S4C Day % 0
RunTime B	S4C Night% 0
S3 C °C	S4MinLim C -35
S4 C °C	Ther. Mode 2
CutOut C°C	Day/Night 0
CutIn C °C	Dt Night K 0
RunTime C	Mo day h 6
	Mo night h 18

AKC teksti

Oletus Trendi Muuta Sulje

Kuva 19 AKM-ohjelmalla lämpötila-asetukset.


Thermostat A



Reg. condition	Modulating
Ther. Air temp.	-19.0 °C
S3A air on temp.	-18.3 °C
S4A air off temp.	-19.7 °C
Cutout 1	-20.0 °C
Diff. 1	2.0 K

Kuva 20. Setpoint ja differenssi Service Toolilla.

Injection A



Superheat (S2-Te)	5.2 K
Superheat ref.	8.0 K
SH close	0.0
Superheat min.	3.0 K
Superheat max.	8.0 K
MOP control	No

Kuva 21. Ruiskutusasetukset Service Toolilla. (Tulistus)

4.6.14 Hälytysrajat ja viiveet

Automaatiikalle syötetään hälytysrajat ja hälytysviiveet kalustesäätimille. Kalustesäätimistä löytyvät anturit, joiden mittaustietojen perusteella hälytykset lähtevät kylmähuololle. Jos kohteesta löytyy harvinaisempi S6-anturi, sitä voidaan käyttää tähän. Yleensä kyseessä on kuitenkin S4-anturi.

Hälytysrajat asetetaan setpointista +2 K ja -2 K ylös- ja alaspäin. Hälytysviiveet asetetaan tilanteen mukaan ja optimoidussa kohteessa yleensä lasketaan hälytysten viiveitä. Hälytysviiveet ovat yleensä 30...90 minuuttia kohteesta ja hälytyksen tyypistä riippuen. HOK:in ohjeiden mukaan tämä olisi 60...90 minuuttia, mutta optimoidussa kohteessa ei ole tarvetta näin pitkiä käyttää, muuten kuin asiakkaan erityisestä pyynnöstä. Esimerkiksi korkean lämpötilan hälytys olisi hyvä pitää lyhyellä viiveellä kuten 30 minuuttia.

Pull down delay on viimeinen lämpötilahälytysrajojen asetus, ja se tarkoittaa viivettä hälytykseen sulatuksen jälkeen. Tämäkin on asiakkaan toiveiden mukaisesti asetettuna usein turhan pitkä aika kuten 120 minuuttia. Optimoidussa kohteessa 90 tai 60 minuuttiaakin riittäisi.

Sulatuksen hälytysrajoiksi asetetaan maksimisulatuksen aika. Eli jos tavoitelämpötilaan ei päästä asetetussa maksimijassa. Ylipitkiä sulatuksia ei pitäisi tapahtua ilman, että kalusteessa tai sen asetteluissa on jotain vialla.

4.6.15 Kastepisteanturi ja karmivastukset

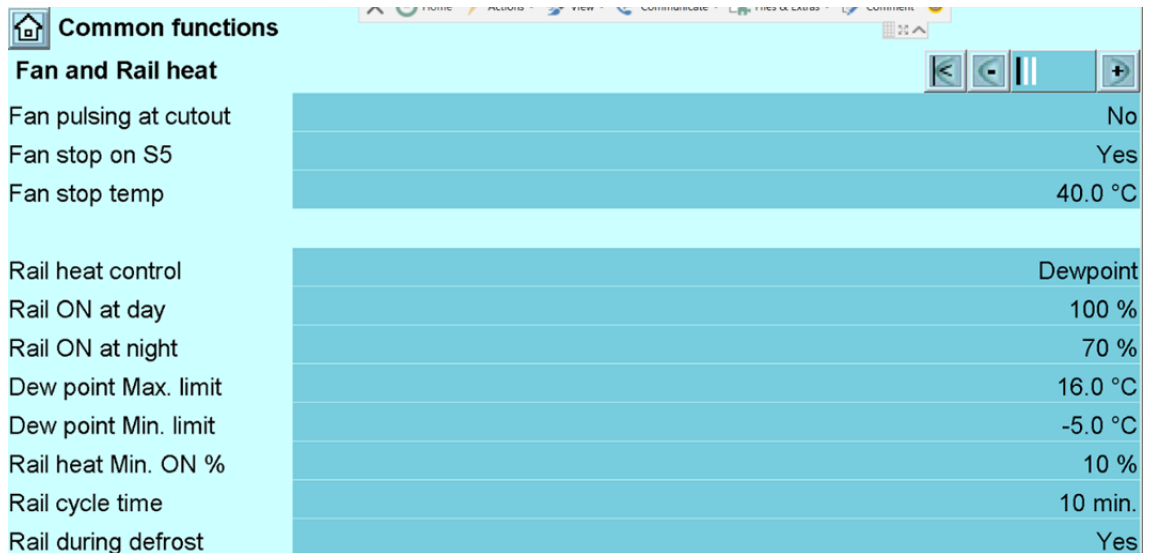
Kylmälaitteissa voi olla karmivastukset, joilla estetään jään muodostumista ovien tiivisteisiin ja niiden ympärille.

Kastepisteanturilla voidaan ohjata karmivastusten pulssituksia. Ohjesääntönä on, että kun kastepistelämpötila on -5°C , karmivastus toimii 5 %:n teholla. Kun kastepistelämpötila on 16°C karmivastus toimii 100 %:n teholla. Oletusasetuksena tehtaalta tullessaan karmivastukset ovat aina täydellä 100 %:n teholla.

Kastepisteanturi tuo ilmankosteudesta ja lämpötilasta tiedon säätimelle ja säätimelle määritetään laskukaava, jolla se laskee tarvittavan tehon.

Jos kohteessa ei ole kastepisteanturia tai automatiikka ei tue sitä, käytetään manuaalisesti kausivaihtelua. Kesällä (huhtikuu-lokakuu) karmivastuksen teho asetetaan 100 % ja talvella (lokakuu-huhtikuu) karmivastuksen teho asetetaan 30 %.

Jo pelkästään adaptiivisilla reunavastuksilla voidaan saavuttaa hypermarket kokoluokassa satojen eurojen säästöt sähkönkulutuksessa kuukaudessa. [2.]



Common functions	
Fan and Rail heat	
Fan pulsing at cutout	No
Fan stop on S5	Yes
Fan stop temp	40.0 °C
Rail heat control	Dewpoint
Rail ON at day	100 %
Rail ON at night	70 %
Dew point Max. limit	16.0 °C
Dew point Min. limit	-5.0 °C
Rail heat Min. ON %	10 %
Rail cycle time	10 min.
Rail during defrost	Yes

Kuva 21. Tuulettimien ja kastepisteanturien asetukset Service Toolilla.

4.6.16 Sulatukset

Sulatusten tehtävänä kylmäjärjestelmässä on estää kalusteisiin jään muodostumista. Sulatusryhmät pitää asettaa mahdollisimman pieniksi ja sulatukset päälle eri aikaan, jotta kompressorikoneikon massavirta pysyisi mahdollisimman tasaisena.

Sulatuksille asetetaan aikataulu kalustetyypin mukaan. Pakastehuoneille ja pakasteal-
taille ja -kaapeille riittää yksi sulatus viikossa. Kylmäkalustolle 2 tai 3 sulatusta päivässä
on sopiva. Jos kalusteet ajavat pitkiä sulatuksia, se on mahdollisesti jäässä ja sille voi-
daan lisätä sulatuksia.

Sulatuksen lopetusaste, jota mitataan sulatusanturilla S5 ohjaa sulatuksen lopetusta. Sähkösulatuksella toimivissa kalusteissa MT- ja LT-puolilla lopetuslämpötila asetetaan +10...+14 asteeseen. Kylmä- eli MT-puolella luonnollisesti sulavissa kalusteissa tuot-
teen maksimisäilytyslämpötilaan.

Sulatuksille voidaan myös määrittää pump-down delay, jolla määritetään viive sulatuk-
sen jälkeen ennen kuin kylmäaineensyöttö kytketään takaisin päälle. Jos puhaltimet esi-
merkiksi halutaan heti sulatuksen jälkeen päälle, tätä asetusta kuuluu käyttää.

Myös maksimisulatuksen aika asetetaan. Sen arvoksi määritellään 45 minuuttia sähkösulatuksilla toimivissa kalusteissa. Luonnollisesti sulavissa se voi olla pidempi kuten 60 minuuttia.

Joissain kalusteissa useampaa lohkoa ohjataan yhdellä säätimellä. Näissä kalusteissa on myös yhteinen ajastus sulatuksille. Lohko B sulattaa vasta, kun lohko A on saavuttanut sulatuslämpötilan. Nämä asetukset otetaan optimoiduissa kohteissa pois päältä. Ne aiheuttavat ongelmia hälytyksien sekä sulatuksien pituuksien kanssa.

Adaptiivinen sulatus on myös mahdollista, mutta asiakkaiden toive ja yrityksen oma käytäntö on yleisesti ollut, että sitä ei käytetä, joten se on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

Korkea sisäilman kosteus myös lisää sulatuksien tarvetta ja tätä kautta lisää kylmäjärjestelmän energiankulutusta sulatusten tarpeen lisääntyessä. [4, s 41.]

4.6.17 Melt interval eli lepotauko

Kalusteelle voidaan säätää lepotauko, joka pakottaa kylmäaineen syötön kiinni tietyin aikavälein. Sähkösulatuksilla toimivissa kalusteissa sulatusvastukset eivät käynnisty tämän aikana toisin kuin sulatuksissa. Oletusasetus optimoidussa kohteessa on kahden tunnin välein 5 minuutin tauko. Optimoinnin kannalta tämä asetusta edesauttaa sähkösulatuksellisilla kalustoilla vastusten sähkökulutuksen vähenemistä.

4.6.18 Anturien painotukset

S4-anturia käytetään kalusteen lämpötilanohjaukseen. Se ei kuitenkaan lue suoraan tuotteen lämpötilaa, jonka mukaan lämpötila halutaan säätää. Tämän vuoksi anturin antamaa arvoa painotetaan automatiikalla. Painotus on yleensä 50 % tai jopa 100 % riippuen kohteen kalustetyypistä.

4.6.19 Puhaltimet

Kalusteista voi löytyä puhaltimet, joilla höyrystimen jäähdytysteho saadaan siirrettyä jäähdytettäviin tuotteisiin tehokkaasti. Nämä puhaltimet halutaan pitää päällä pakasteal- taissa aina, mutta esimerkiksi pakastehuoneissa ne otetaan pois päältä sulatuksen ajaksi, koska ne levittävät sulatusvastuksien tuottaman lämmön koko huoneeseen, jol- loin sulatusaika olisi huomattavasti pidempi. Pakastekaapeissa ja plussapuolen kalus- teissa ne eivät yleensä ole päällä. [11.]

4.6.20 Päivä/yö-tila

Kalustesäätimille voidaan myös asettaa automaattinen yö- ja päivätilan säätö. Esimer- kiksi juomakalusteille, jotka pidetään kylmässä lähinnä myynnin edistämiseksi voidaan säätää 10 K korkeampi lämpötila yöksi. Ovitetut kalusteet, joita ei avata öisin, pitävät hyvin lämpötilansa ja tällä saadaan lisää säästöä sähkökustannuksissa. Yö/päivätieto voidaan joko tuoda erillisellä anturilla tai käyttää säätimen asetetun kellonajan mukaan.

4.6.21 Moduloiva tila

Automatiikalta löytyy asetus ”Thermal mode”, jolla säädetään säätimen termostaatin oh- jaus. Moduloiva termostaattiohjaus toimii PI-säädöllä. Optimoinnissa pyritään aina käyt- tämään moduloivaa tilaa. Moduloivassa tilassa AKV-venttiilin avautumisastetta ohjataan automatiikalla S4-anturin lämpötilan mukaan. Jos ollaan alle halutun lämpötilan, AKV- venttiili katkaisee kylmäaineen syötön tai vähentää sitä. Jos ollaan yli halutun lämpötilan, AKV-venttiiliä avataan PI-säädön mukaisesti ja pyritään viilentämään S4-anturin lämpö- tila haluttuun. Nopealla PI-säädöllä AKV avataan usein täysin, tai melkein täysin, kun anturin lämpötilatieto on kaukana optimaalisesta, mutta nopeallakin PI-säädöllä pyritään siihen, että AKV aukeaisi tasaisesti, jotta massavirta pysyisi tasaisena. Optimoinnissa käytetään lähes aina moduloivaa tilaa jos mahdollista, sillä se on energiatehokkain rat- kaisu.

4.7 Käytännön optimointi

Optimointiin vaikuttaa myös monia muita tekijöitä kuin automaatiotekniikka. Esimerkiksi anturoinnilla on suuri merkitys optimoinnissa, sillä niistä saadulla datalla kylmäjärjestelmää ohjataan. Jos anturi, jolla kalusteen lämpötilaa säädetään, näyttää väärää arvoa, se vaikuttaa suoraan myös optimointiin ja sitä kautta sähkönkulutukseen.

Esimerkkitalanteena voidaan käyttää tilannetta, missä ilmanvaihdon lämminilmapuhallus puhaltaa suoraan kylmäkalusteen sisällä olevaa anturia kohti. Tämä nostaa anturin lukemaa lämpötila-arvoa, ja automatiikka saa tiedon, että kaluste on lämpimämpi kuin mitä se oikeasti on. Tämän seurauksena käytetään lisää tehoja kalusteen kylmempänä pitämiseen, kuin mitä sen normaalitilanteessa tarvitsisi olla. Tämänkaltaisen tilanteen voi ratkaista joko ohjaamalla ilmanvaihdon ilmavirran toiseen suuntaan tai suojaamalla anturin ilmavirralta.

Kalusteiden ovituksilla voidaan myös säästää sähkönkulutuksessa. Lisäämällä kalusteisiin ovet, kylmä ilma ei pääse poistumaan kylmäkalusteesta eikä kylmäjärjestelmän tarvitse käyttää tehoja pitämään kalusteen kylmänä. Ovitettujen kalusteiden eroja ovittomisiin tarkastellaan luvussa 5. Seuraava taulukko havainnollistaa myös saatuja säästöjä energiankulutuksessa.

Taulukko 2. Komponenttien vaikutus jäähdytystehontarpeeseen.

Komponentti	Alennus jäähdytystehontarpeessa	Alennus jäähdytystehontarpeessa
	Päivä	Yö
Hyllykön ovet	50%	80%
Hyllykön liukuovet	40%	75%
Altaan kannet	50%	60%
Hyllykön yöverhot, perus	0%	55%
Hyllykön yöverhot, energiatehokas	0%	75%

[12.]

Vanhoissa kylmälaitoksissa voi olla tarvetta lisätä kompressoreille taajuusmuuttaja ohjaamaan niiden pyörimisnopeutta sähkönkulutuksen pienentämiseksi. Toinen vaihtoehto on tehonsäätökannet. Taajuusmuuttajien mitoitus ja tehonsäätökansien tarpeen arviointi on rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

Myös henkilökunnan ohjeistuksella on merkitystä kylmäjärjestelmän toiminnan kannalta. Virheellisesti tai liian täyteen täytetyillä kylmäkalusteissa ilmankierto heikkenee eikä kylmäjärjestelmä toimi oikein. [13.]

5 LTO (lämmön talteenotto)

LTO on kylmäjärjestelmään liitetty järjestelmä, jossa lauhdutuslämmöllä lämmitetään kiinteistöä. Tämä energia menisi muuten hukkaan. LTO ei sinällään kuulu kylmäjärjestelmän optimointiin, mutta jo sen olemassaololla saavutetaan säästöjä kiinteistön lämmityskuluissa kylmäjärjestelmää hyväksikäyttäen. LTO:n tehokkuus on yksi CO₂-kylmäjärjestelmän suurimmista eduista muihin kylmäaineisiin verrattuna, sillä se mahdollistaa paljon tehokkaamman lämmöntalteenoton.

LTO:n optimaalinen käyttöaste on maksimi, mutta kiinteistön ja kylmäjärjestelmän omistuskuviot yleensä haittaavat LTO:sta hyötymistä, jollei kiinteistöllä sekä kylmäjärjestelmällä ole sama omistaja. Kylmälaitteen korkeapainetta voi myös nostaa mikä nostaa kaasun lämpötilaa ja talteen otettua lämpöenergiaa. Kompressorilta vaadittu lisätyö paineen nostamiseksi on huomattavasti pienempi kuin saatu lämpöenergia kuumemmasta kaasusta. Kohteen maantieteellinen sijainti vaikuttaa myös ulkolämpötilan kautta LTO:lla säästettyyn energiaan lämmityskuluissa. [13, s.18; 16.]

Jäähdytystehon tarve on pienimmillään talvisin ulkolämpötilan ollessa pakkasen puolella. Tällöin lämmitystehontarve taas on suurimmillaan. Kesällä, kun ulkolämpötila on suurimmillaan, tilanne on päinvastainen. [14, s. 66.]

LTO:ta ohjataan 0V-10V signaalilla ja kärkitiedolla. Signaali tulee Sheat-lämpötila-anturilta, joka mittaa ulkoympäristön lämpötilaa. Automatiikalta määritellään rajat 0V-10V:lle jossa 10 V:n input-tieto tarkoittaa LTO:n maksimitehoa. Ulkoinen lämpötila-anturi mittaa lämpötilaa ja sen mukaan konesäätimelle lähetetään analogisignaali 0V-10V, jolla automatiikkaa LTO:n osalta ohjataan. LTO:lla on venttiili, jonka avautumisastetta automatiikka ohjaa 0-100% analogisignaalin jännitteen mukaan. Näin saadaan asetettua kelluva lauhdepaine. Kärkitieto antaa LTO:lle käyntiluvan.

LTO:n ohjaaminen tarkoittaa V3hr-venttiilin ohjaamista. Kun lämmitystä vaaditaan venttiilin asentoa, muutetaan ja kylmäaine ohjataan lämmönsiirtimen läpi. Kun lämpötila nousee, asetusarvon plus puolitetun arvon yli ohjataan kylmäaine lämmönsiirtimen ohi. LTO:ssa käytetään kierrossäädettyä pumppua, jotta säätö on liukuva eikä paine vaihtelee. FShr-virtauskytkin toimii turvalaitteena ja katkaisee LTO-piirin vikatilanteen sattuessa.

LTO:ssa ovat antureina Shr2, Shr3, Shr4, Shr8 ja Stwd2/Sd. LTO:n säätöä voidaan ohjata antureilla Shr4, Shr8 tai lämmönsiirtimeen deltaT Shr4-Shr3, mutta silloin Shr8 käytetään yhä termostaattitoimintoa varten. [9, s:109]

Taulukko 3. Anturointi LTO:ssa

Anturi	Anturin tieto
Shr2	Kaasujäähdyttimelle lähtevän kaasun lämpötila.
Shr3	Lämmönsiirrin tulo
Shr4	Lämmönsiirrin ulostulo
Shr8	Varaajalämpötila ja termostaattitoiminto
Sd/Stwd2	Kylmäaineen lämpötila

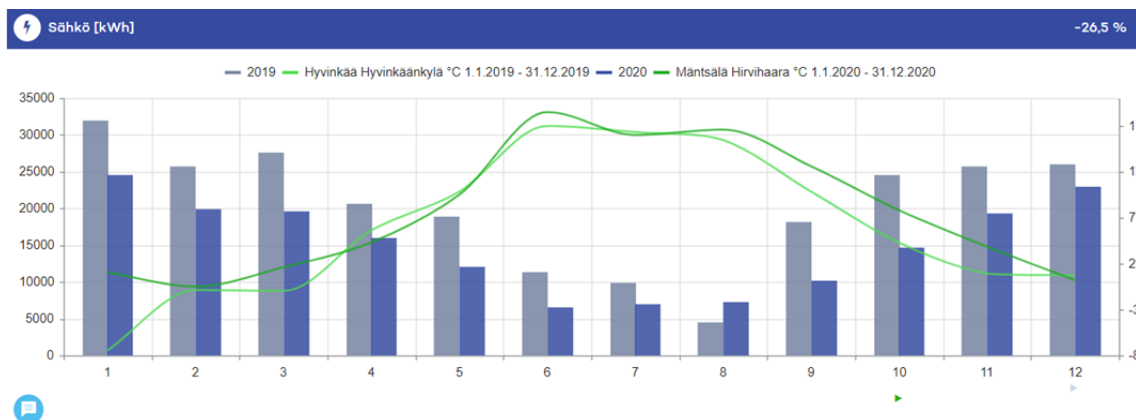
Lämmöntalteenoton tarkat parametrit ja asetelut ovat erittäin laaja aihe ja täten rajattu opinnäytetyön ulkopuolelle.

Kuvassa 22 tarkastellaan Enerkeyn avulla optimointikohdetta, jossa LTO:lla on paineenkorotus otettu käyttöön tammikuun loppupuolella 2020 supermarketkokoluokan koh- teessa.

	Oma lämpö [MWh]			Lämpötila [°C]	
	■ 2019	■ 2020	■ → ■%	■ 1.1.2019 - 31....	■ 1.1.2020 - 31....
1	0,44	0,53	21,7 %	-7,4	1,0
2	0,35	0,90	158,2 %	-0,9	-0,5
3	0,38	1,00	161,1 %	-1,0	1,6
4	0,32	0,84	163,6 %	5,6	4,3
5	0,37	0,98	161,8 %	9,8	9,5
6	0,46	0,75	62,5 %	17,0	18,5
7	0,57	1,06	85,5 %	16,3	16,0
8	1,14	1,02	-10,4 %	15,4	16,6
9	0,34	1,18	249,3 %	9,8	12,6
10	0,34	1,13	236,2 %	4,3	7,8
11	0,36	1,01	183,5 %	0,9	3,8
12	0,34	0,95	182,4 %	0,7	0,2
Yhteensä	5,40	11,36	110,2 %		
Minimi	0,32	0,53	-10,4 %	-7,4	-0,5
Maksimi	1,14	1,18	249,3 %	17,0	18,5
Keskiarvo	0,45	0,95	137,9 %	5,9	7,6

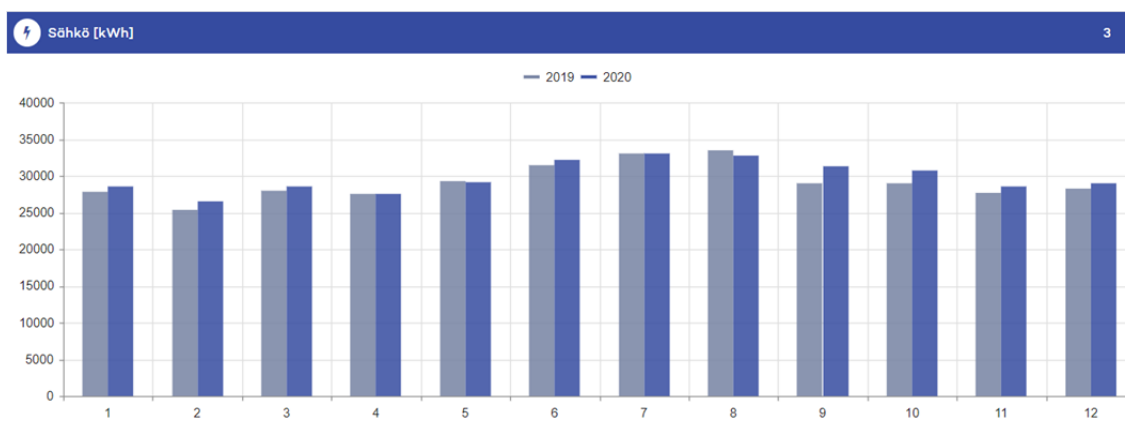
Kuva 22. LTO:n paineenkorotuksen vaikutus kiinteistön lauhdelämmitykseen.

Kuten kuvasta 22 näkee, on lauhdelämmöstä saatu energia noussut LTO:n paineenkorotuksen jälkeen selvästi. Vuonna 2019 lauhdelämmöstä on saatu 5, MWh energiaa ja vuonna 2020 vastaava lukema on 11,36 MWh. Prosentuaalisesti lukema on noussut 110,2%. Tammikuuta lukuun ottamatta ulkolämpötilat ovat lähellä toisiaan. Kuvasta 23 nähdään tämän vaikutus koko kiinteistön sähkönkulutukseen.



Kuva 23 Kiinteistön lämmitysenergia

Kuvasta 23 nähdään, että kiinteistön lämmityskulut ovat laskeneet 26,5% kun LTO:n paineenkorotus on otettu käyttöön eli noin 65000 kWh säästettyä energiaa vuoden aikana. Kuvasta 24 selviää paineenkorotuksen vaikutus kylmäjärjestelmän sähkönkulutukseen.



Kuva 24. Kylmäjärjestelmän sähkönkulutus.

LTO:n paineenkorotus nosti kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta vuositasolla 2,3% eli 8000 kWh vuodessa. Kun vähennetään kiinteistön lämmityskulutuksesta säästetystä energiasta 65000 kWh kylmäjärjestelmän sähkönkulutuksen 8000 kWh:n nousu LTO:n paineenkorotuksen seurauksena lopputuloksena on 77000 kWh säästettyä energiaa pelkästään LTO:n paineenkorotuksella. Jos oletetaan sähkön hinnaksi 0,08 euroa per kWh, tarkoittaa tämä vuositasolla noin 6160 euroa säästöä vuodessa. [15.]

6 Optimoinnin arviointilaskenta

Optimoinnin arviointilaskentaa tarkoitetaan tämän insinööriyön osalta laskentaa, jolla arvioidaan saavutettu sähkönkulutuksen säästö kohteessa ottaen huomioon eri kalustetyypit ja erityyppiset laitokset. Esimerkiksi ovelliset kalusteet vaativat huomattavasti vähemmän sähköä kuin avoimet kalusteet. Jos kalusteessa on sulatus sähkövastuksilla, se lisää sähkönkulutusta. Myös käytössä olevalla kylmäautomaatiolla ja kylmäaineella on vaikutusta optimoinnin tuloksiin. LTO:lla on suuri vaikutus kiinteistön sähkönkulutukseen, mutta kohteista, joista data tähän työhön on otettu, ei ole ollut LTO:n asetuksia tiedossa.

Ensimmäinen huomio, mikä optimoinnin tuloksia tarkastellessa tuli ilmi, on kohteen kylmämetrien määrän vaikutus optimointiin. Suuremmissa kohteissa on selvästi suuremmat säästöt per kylmämetri kuin pienissä. Tästä johtuen laskentaa varten kohteet on jaettu kolmeen eri kokoluokkaan, jotta hajonta keskiarvoissa ei vaihtelisi suuresti. Optimointikohteen aloitustila vaikuttaa oleellisesti myös optimoinnin tuloksiin. Jo pelkällä lämpötilasettelulla voidaan saada paljon säästöä aikaan, jos kohteen kalusteiden lämpötilat ovat olleet huomattavasti tarvittavaa matalammat. Tarkastelun kohteena olevat optimointikohteet löytyvät liitteestä 1.

Eri kokoluokat ovat hypermarketit: 355 kylmämetriä; supermarketit; 163 kylmämetriä, marketit:64 kylmämetriä. Kokoluokat on määritelty rajaamalla hypermarketit, supermarketit ja marketit omiin luokkiinsa ja laskemalla keskiarvo kylmämetreistä luokkien kesken kohteista, mistä kylmämetrit olivat saatavilla. Kylmämetrit on laskettu kylmäjärjestelmän putkikuvista. Jos kylmämetreistä ei ollut saatavilla tietoa on kokoluokka arvioitu kiinteistön koon tai sähkönkulutuksen mukaan. Hypermarket kokoluokassa säästö per kylmämetri on huomattavasti parempi kuin pienemmissä luokissa. Supermarket ja market kokoluokkien välillä ei ole niin merkittävää eroa, mutta market-luokan kohteet ovat kokoluokaltaan niin pieniä, että säästöt optimoinnista eivät enää ole merkittäviä.

Hypermarket-kokoluokassa optimoinnilla saaduilla säästöillä on saavutettu keskimäärin 14626 kWh:n säästöt kuukaudessa. Jos oletetaan sähkön hinnan kohteessa olevan 0,08 euroa per kWh, tarkoittaa tämä keskimäärin 1170 euron säästöjä kuukaudessa. Vastavat luvut supermarket kokoluokassa ovat 4101 kWh:n säästö kuukaudessa eli 328 euroa

kuukaudessa. Market-kokoluokassa keskimäärin 1139 kWh:n säästöt sähkökulutuksessa ja 91 euron säästö sähkölaskussa kuukausittain. Market kokoluokassa on selvästi isoin vaihteluväli optimoinnin säästöissä johtuen kohteen kompressorien lukumäärästä, käytössä olevasta automatiikasta ja investoinneista muuhun tekniikkaan kuten taajuusmuuttajiin.

Nämä luvut on otettu Kylmä-2000 Oy:n seurannassa olevista optimointikohteista. Sähkökulutuksen lukemat on dokumentoitu laskutuksen yhteydessä asiakkaalle ja tästä on laskettu keskiarvot kaikkien kohteiden välillä. Kaikista kohteista ei ollut saatavilla kaikkia tietoja. Esimerkiksi Hämeenmaan kohteista oli kylmämetrit jokaisesta kohteesta tiedossa, mutta tarkkoja lukuja sähkökulutuksesta ennen ja jälkeen optimoinnin ei ollut saatavilla, ainoastaan keskiarvo sähkökulutuksen vähänemisestä optimoinnin jälkeen.

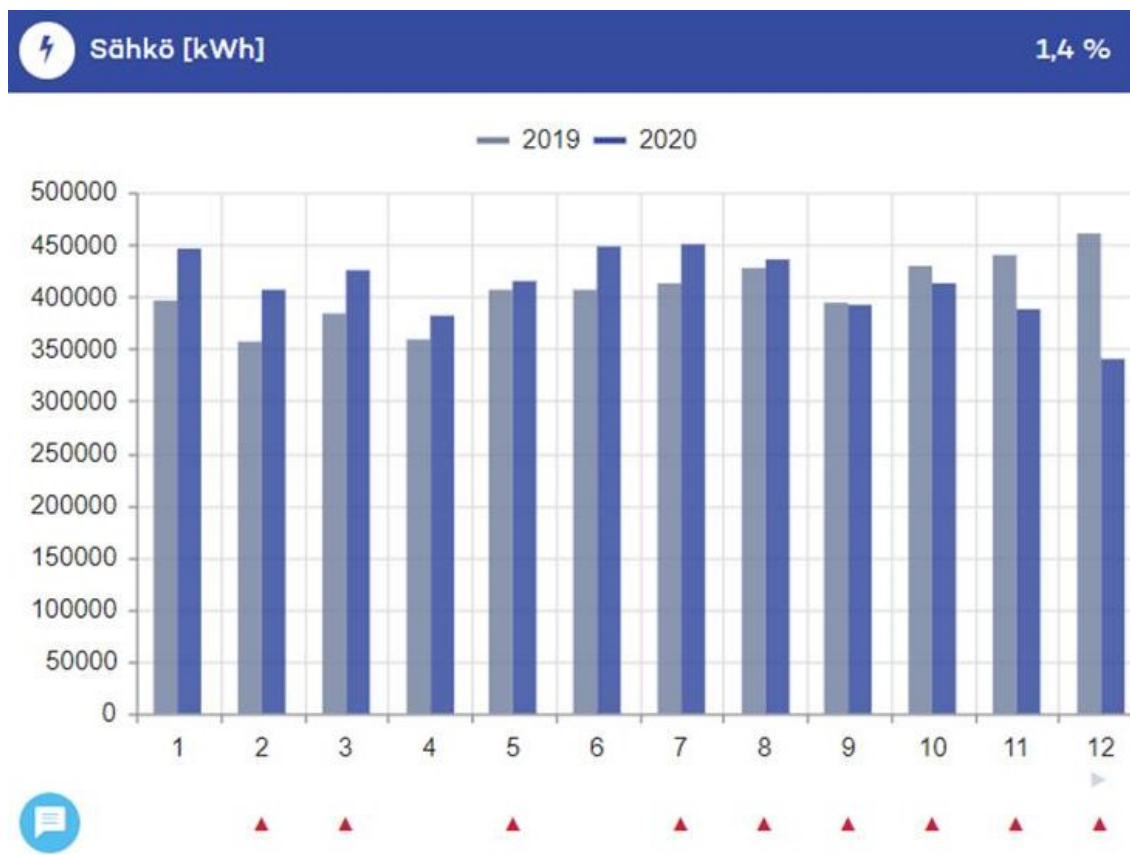
Uudenmaan kohteista ei ollut kylmämetreistä tietoja saatavilla, mutta sähkökulutuksen seuranta oli tarkempaa ja jokaisesta kohteesta oli tiedossa sähkökulutus vähintään 6 kuukauden ajalta ennen ja jälkeen optimoinnin, jonka pohjalta säästö sähkökulutuksessa ja sähkön hinnassa on laskettu.

Laskennasta selviää myös muita huomioita esimerkiksi käytössä olevan automatiikan vaikutus optimoinnin tuloksiin. Kohteet, joissa oli käytössä Service Toolia käyttävä säädin ovat selvästi tehokkaimpia sähkökulutukseltaan. Myös SM850-säätimellä on hyviä tuloksia sähkökulutuksen suhteen, mutta se on käytössä suurimmaksi osaksi uusissa kohteissa, joissa optimointi on tehty kylmäjärjestelmän käynnistyksen yhteydessä ja eikä ole ollut tarvetta seurata sähkökulutusta tarkasti.

R404A- ja CO₂- kohteet ovat molemmat sopivia optimointikohteita. Molemmilla kylmäaineilla on saatu hyviä tuloksia ja vaihteluvälit ovat pieniä. Kylmäaineella voi olla merkitystä optimoinnin kannalta, mutta muut tekijät vaikuttavat selvästi enemmän optimointiin kuin kylmä-aine. CO₂-kohteissa on selvästi pienempi sähkökulutus, mutta optimoinnissa verrataan saavutettua säästöä eikä kokonaiskulutusta. [16.]

Ovellisissa kohteissa on saavutettu parempi sähkökulutus kuin ovettomissa, mutta ovellisista kohteista ei ole kylmämetrejä tiedossa, jotta ovien vaikutusta voisi tehokkaasti seurata ja arvioida ovilla saavutettua säästöä kulutusta. [17]

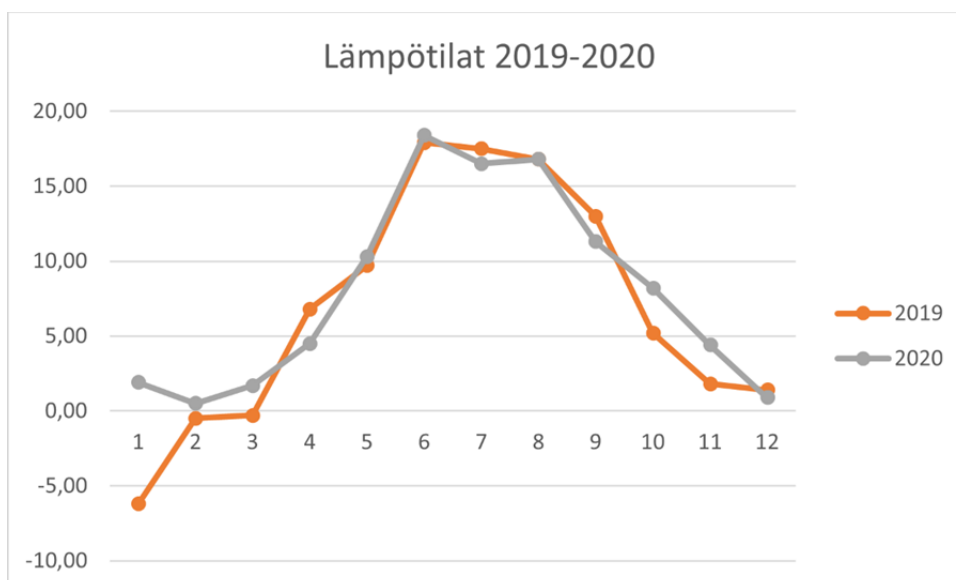
Ulkoilman lämpötilan vaikutusta voimme arvioida seuraavilla kaavioilla. Kuvassa 22 näkyy sähkönkulutus vuosilta 2019 ja 2020. Tätä voimme verrata kuvaan 25, jossa näkyy ympäristön lämpötila.



Kuva 25 Hypermarketin sähkönkulutus 2019 ja 2020.

Kuvaa 4 ja 5 vertailemalla huomaamme, että sähkönkulutus ja ulkoympäristön lämpötilat ovat toisistaan riippuvaisia. Kohteessa on suoritettu optimointi lokakuussa 2020, josta myös näemme optimoinnin vaikutuksia verratessa sään vaikutukseen.

Tammikuun erot sähkönkulutuksessa vuosien 2019 ja 2020 välillä havainnollistaa selkeästi lämpöeron vaikutusta sähkönkulutukseen.



Kuva 26. Lämpötilat vuonna 2019-2020 kuvan 25 kohteen alueelta.

Valitettavasti lämpötilavertailua varten suurin osa kohteista oli joko optimoitu, joka vaikutti suuresti energiankulutukseen, kohteen aukioloajat olivat muuttuneet, kohteessa oli suoritettu remontti, kohteesta puuttui reunavastukset, kohteessa oli LTO tai lämpötilat eri vuosina, joista mittarointi oli saatavilla, olivat liian lähellä toisiaan kunnollista vertailua varten.

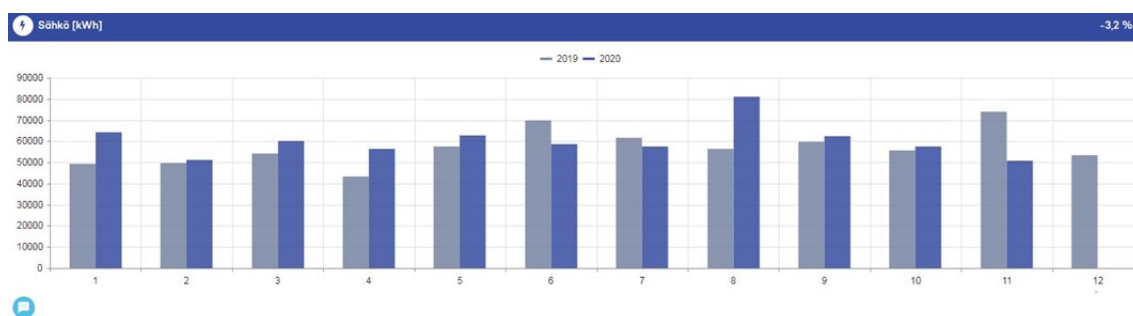
7 Optimoinnin tulokset ja seuranta

7.1 Seuranta

Kun optimointi on suoritettu kohteen, sähkönkulutusta seurataan. Useimmissa kohteissa on jonkinlainen sähkönkulutuksen seurantajärjestelmä, jonka tiedot on viety seurantajärjestelmään kuten EnerKey. Jos kylmäjärjestelmälle ei ole erikseen mittarointia, voi olla tarpeen laskea tai arvioida muu kiinteistön sähkönkulutus pois kokonaiskulutuksesta tai

seurata kokonaiskulutuksen pientymistä ja arvioida, vaikuttaako siihen muita tekijöitä kuten kohteen aukioloajat, jos kyseinen kohde on liiketila.

Ensimmäiset arviot toteutuneesta sähkönkulutuksesta ovat nähtävillä jo kuukauden jälkeen, mutta optimointia olisi hyvä seurata noin 6 kk, jotta sen vaikutukset ovat selvästi nähtävillä eri vuodenaikoina erilaisissa ilmankosteusolosuhteissa. Kohteissa, joissa ei ole kastepisteanturia, optimointi voidaan asiakkaan pyynnöstä asettaa seurantaan ja manuaalisesti käydä vaihtamassa reunavastusten asetukset talvi- ja kesäajan mukaisiksi.



Kuva 26. Kohteen kylmäkoneiston sähkönseuranta EnerKeyllä.

Edellä olevasta kuvasta näemme selvästi, että lokakuussa tehty optimointi on laskenut kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta. Tätä tietoa voimme käyttää, kun todistamme säästön sähkönkulutuksessa asiakkaalle. Y akselilla näkyy kWh-arvot 0-90000 kWh ja X-akselilla kuukaudet. Kuvassa ei ole vielä joulukuun mittaritietoja.

Vie Exceliin

		Sähkö [kWh]		
		■ 2019	■ 2020	■ → ■%
1		49 246	64 270	30,5 %
2		49 589	51 323	3,5 %
3		54 020	60 173	11,4 %
4		43 200	56 290	30,3 %
5		57 480	62 599	8,9 %
6		69 765	58 805	-15,7 %
7		61 635	57 641	-6,5 %
8		56 397	80 918	43,5 %
9		59 906	62 182	3,8 %
10		55 612	57 397	3,2 %
11		74 039	50 903	-31,2 %
12		53 545		
Yhteensä		684 434	662 500	-3,2 %
Minimi		43 200	50 903	-31,2 %
Maksimi		74 039	80 918	43,5 %
Keskiarvo		57 036	60 227	7,4 %

Kuva 27. Kohteen sähköseuranta lukuina EnerKey:llä.

Kuvassa 14 on kyseessä sama kohde kuin kuvassa 13, mutta tarkastelemalla numeroita näemme tarkat arvot sähkönkulutuksesta. Optimointi on kohteessa suoritettu 30.10.2020 ja verrattuna edelliseen vuoteen sähkönkulutus on tippunut 31,2 % tai 23 136 kWh. edellisiin kuukausiin verrattuna. Yksittäinen piikki sähkönkulutuksen vähenemisessä ei riitä todistamaan sähkönkustannuksen laskua, joten verrokkeina käytetään myös aiempia kuukausia ennen optimointia ja otetaan raportoidessa huomioon ilmankosteuden sekä lämpötilan vaikutus sähkönkulutukseen. Erityisen kuumat kesät tai leudot talvet vaikuttavat myös kylmäjärjestelmän kuluttamaan sähköön ja tämän vuoksi optimoinnissa ei aina voi suoraan vertailla kuukausia keskenään.

Lähteet

- 1 Mikko Niemi. Kylmä-2000 Oy. 03.02.2021. Keskustelu.
- 2 Hedberg, Kasper. 2020. Danfoss energiaoptimointi, kaupan kylmä. Danfossin energiaoptimointiesite. Luettu 22.12.2020.
- 3 Impiö, Lauri. 2010. Kylmälaitosten kartoitus ja kunnossapito-ohjelman laatiminen. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 15.12.2020.
- 4 Oona Niemelä. 2019. Energiatehokkuuden parantaminen päivittäistavarakauppojen kylmäjärjestelmän uusimisen yhteydessä. DI-työ. LUT School of Energy Systems. Luettu 22.01.2021.
- 5 Matti Kauppinen. Kylmä-2000 Oy. 13.01.2021. Keskustelu.
- 6 Danfoss. 2019 AK-System Manager, AK-SM 800 Series. User Manual. Verkkoaineisto. Luettu 18.12.2020.
- 7 Danfoss. Network control. AK SM-720. User Manual. Verkkoaineisto. Luettu 29.12.2021.
- 8 Danfoss. Monitoring unit with alarm function and data collection. AK SM-350. User Manual. Verkkoaineisto. Luettu 29.12.2020
- 9 Danfoss. 2015. Koneikkosäädin transkriittisiin CO₂ boosterjärjestelmiin. Käyttöopas. Luettu 05.01.2021
- 10 Kasper Hedberg. Hiilidioksidikoneiden ohjaus. Kylmätekniikan koulutuspäivät 2020-21. Luento. 28.01.2021.
- 11 Hannu Viikilä. Sulatukset ja niiden säätäminen. Kylmätekniikan koulutuspäivät 2020-21. Luento. 28.01.2021.
- 12 Norpe, nykyinen Viessmann. 2015. Norpen energiansäästökalusteet-esite. Luettu 28.12.2020.
- 13 Aleksi Hassinen. 2018. Päivittäistavarakauppojen lämmöntalteenoton vertailu booster-kylmälaitoksissa. Kandidaatin työ. LUT. Lappeenranta University of Technology. Luettu 02.02.2021.
- 14 Kajjaleena Manner. 2013. Hiilidioksidikylmälaitoksen ja maalämpöjärjestelmän optimointi liikennemyymäläkiinteistössä. Diplomityö. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Luettu 03.02.2021.
- 15 Kaipainen, Markus. 2020. Optimointien tulosten seuranta ja muistiinpanot. Excel-taulukko. Kylmä-2000 Oy. Luettu 19.12.2020.
- 16 Markus Kaipainen. Kylmä-2000 Oy. 03.02.2021. Keskustelu.

17 Motiva. 2009. Kylmää tehokkaasti päivittäistavara-kaupalle. Verkkajulkaisu. Luettu 05.01.2021

Liite 1 Optimointitulokset

1	Kohde	Kylmämetrit	Kylmä m2	KWH/kk	Ennen Opt. ka	KWH/kk opt. jälkeer	Optimoitu KWH	KWH/kk säästö	per kylmämetri	Säästö sähköhinnassa / kk	Kylmäaine	Automaatio
2	Hypermarket A	367,50	384				27360	74,44897959		2188,8	R404A	ST
3	Hypermarket B	337,5	225				19932	59,05777778		1594,56	CO2	Carel
4	Hypermarket C	321,25	196				13929	43,35875486		1114,32	R404A	ST
5	Hypermarket D	433,75	276				11366	26,20403458		909,28	R404A	Genus
6	Hypermarket E	318	255				8038,5	25,27830189		643,08	CO2	LDS
7	Supermarket A	240	96				14095	58,72916667		1127,6	R404A	LDS
8	Supermarket B	169	62				6600	39,05325444		528	R404A	LDS
9	Supermarket C	166	66				5633,4	33,93614458		450,672	CO2	LDS
10	Supermarket D	118	54				5100	43,22033898		408	R404A	LDS
11	Supermarket E	128,75	54				4530	35,18446602		362,4	CO2	LDS
12	Supermarket F	159	69				4500	28,30188679		360	CO2	LDS
13	Supermarket G	150	56				4290	28,6		343,2	R404A	LDS
14	Supermarket H	135	73				3210	23,77777778		256,8	CO2	LDS
15	Supermarket I	174	69				3030	17,4137981		242,4	R404A	LDS
16	Supermarket J	165	58				2670	16,18181818		213,6	CO2	LDS
17	Supermarket K	186	69				2292	12,32258065		183,36	CO2	LDS
18	Supermarket L	161,25	68				1854	11,49767442		148,32	CO2	LDS
19	Supermarket M	190	113				1074	5,652631579		85,92	R404A	LDS
20	Supermarket N	123	49				814	6,617886179		65,12	R404A	Genus
21	Supermarket O	186	82				683	3,672043011		54,64	R404A	LDS
22	Supermarket P	162	75				454	2,802469136		36,32	R404A	LDS
23	Market A	71,25	24				2580	36,21052632		206,4	CO2	StoreView
24	Market B	26	88,75				1520	58,46153846		121,6	R404A	LDS
25	Market C	60	18				1334	22,23333333		106,72	R404A	LDS
26	Market D	62,5	20				1280	20,48		102,4	CO2	LDS
27	Market E	80	28				1204	15,05		96,32	R404A	LDS
28	Market F	63,75	22				1150	18,03921569		92	CO2	LDS
29	Market G	78,75	25				1000	12,6984127		80	CO2	LDS
30	Market H	61	19				496	8,131147541		39,68	CO2	LDS
31	Market I	67,5	23				454	6,725925926		36,32	CO2	LDS
32	Market J	70	21				376	5,371428571		30,08	R404A	LDS
33	Hypermarket F							#DIV/0!				
34	Hypermarket G			56989	44591	12398		#DIV/0!		991,84	R404A	ST
35	Hypermarket H			50607	41242	9365		#DIV/0!		749,2	CO2	ST
36	Supermarket Q			23716	19968	3748		#DIV/0!		299,84	R404A	LDS
37	Supermarket R			26667	20154	6513		#DIV/0!		521,04	R404A/R44	ST
38	Supermarket S					5306		#REF!		424,48	R404A	Dixell

Hypermarketkokoluokan optimoitu kwh ka.	14626,9
Hypermarketkokoluokan säästöt ka	1170,15 euroa kuussa sähkönhinta 0,08snt/kwh
Supermarket kokoluokan optimoitu kwh ka.	4101,71
Supermarket kokoluokan sähkönhinta 0,08snt/kwh	328,136
Market kokoluokan optimoitu kwh ka.	1139,4
Market kokoluokan sähkönhinta 0,08snt/kwh	91,152

Kaluste	Selitys
Pakastekaappi	Pakastekaappi ovilla tai ilman. Pakkaspuolen kaluste. Setpoint -20.
Pakasteallas	Pakasteallas kansilla tai ilman. Pakkaspuolen kaluste. Setpoint -20.
Pakastekombikaappi	Pakastekaappi ja -allas yhteisellä höyrystimellä. Kansilla/ovilla tai ilman. Pakastepuolen kaluste. Setpoint -20.
Kylmähylly	Kylmähylly tasoilla. Yleisin malli 5-taso. Plussapuolen kaluste ovilla tai ilman. Setpoint tuotteen mukaan.
Kylmähuone	Ovellinen kylmähuone. Plussapuolen kaluste. Setpoint tuotteen mukaan.
Pakastehuone	Ovellinen pakastehuone. Pakastepuolen kaluste. Setpoint -20.
Ilmaverho	Ilmaverho, yleensä maitohuoneen tuotteiden kohdalla. Plussapuolen kaluste. Setpoint tuotteen mukaan. (+8 maitotuotteille.)
Maitohuone	Maitohuone ovilla tai ilman. Sisältää usein useamman kuin yhden höyrystimen. Setpoint tuotteen mukaan. (+8 maitotuotteille.)