

Jarkko Korhonen

Kerrostalokylmiön energiankäytön ja käyttötavan tehostaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

11.11.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jarkko Korhonen Kerrostalokylmiön energiankäytön ja käyttötavan tehostaminen 45 sivua + 2 liitettä 11.11.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja, Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tarkoituksena on kerätä tietoa vuonna 1967 valmistuneen kerrostalokylmiön toiminnasta ja pohtia sen tarkoituksenmukaisuutta tulevaisuudessa. Työssä selvitetään, millaisista materiaaleista tutkittavana ollut kerrostalokylmiö on rakennettu ja millaisia ovat rakenteiden lämmönläpäisykertoimet. Jäähdyttämisen kuluttama sähköenergian määrä lasketaan ja selvitetään, mitkä seikat siihen vaikuttavat. Mitataan ulkolämpötilan vaikutus kerrostalokylmiön kiertoprosessin hyötysuhteeseen ja kylmiön lämpötilaan. Lisäksi pohditaan, millaisia mahdollisuuksia sähkönkulutuksen pienentämiselle on ja miten laitteiston hukkaenergia voitaisiin hyödyntää.</p> <p>Lauhdutushuoneen lämpötilan havaittiin vaikuttavan, kompressorikoneikon katkokäyntiin ja siitä aiheutuvaan rasitukseen moottorille. Asukkaat hyötyisivät rahallisesti pienentyneestä energiankulutuksesta ja kylmiön tasaisemmasta toiminnasta.</p> <p>Insinööriyössä vaihtoehtoja sille, miten kylmäkellarin toiminta saataisiin paremmin palvelemaan asukkaita. Työssä kehitetään kylmäsäilytystä palvelutilamalliksi, joka linkittää sen osaksi elintarvikkeiden verkkokaupan toimitusketjua. Elintarvikkeiden verkkokauppiat olivat kiinnostuneita hyödyntämään insinööriyössä esitettyä palvelutilamallia. Palvelutilamalli vahvistaisi verkkokaupan toimitusketjua ja alentaisi tilauskynnystä</p>	
Avainsanat	kerrostalokylmiö, energiatehokkuus, elintarvikkeiden verkkokauppa

Author Title Number of Pages Date	Jarkko Korhonen Improved energy efficiency and use of cold rooms in apartment buildings 45 pages + 2 appendices 11 November 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Jukka Yrjölä Principal lecturer,
<p>The aim of this project was to gather information about the cold room of an apartment building from 1967, and to discuss the purpose of its use in the future. The materials used in the construction of the cold rooms in the apartment buildings were studied in relation to thermal transmittance of these materials. The electricity used for cooling was measured and compared to the total amount of energy used. The effect of outdoor temperature on the coefficient of performance of the vapor compression evaporation cycle and the temperature in the cold room was measured. Further, the maintenance costs of the cold storage rooms were calculated.</p> <p>The temperature in the room influenced the compressor by inducing fragmentary interruptions and the burden they lay on the motor. The residents would benefit economically from a lower consumption of energy and a more even use of the cold storage room.</p> <p>The final year project put forward a proposition for the cold rooms to be used as cold storage facilities for groceries companies that offer grocery shopping via the internet. The companies also showed interest in using such cold room storage services since they would be an asset to the delivery chain and lower the threshold for ordering groceries on the internet.</p>	
Keywords	cold room, apartment building, energy efficiency, grocery shopping on the internet

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Insinööriyön tavoitteet	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2	Kerrostalokylmiön energiakulutuksen tutkiminen	2
2.1	Tutkittavan kohteen tietoja	2
2.2	Kylmiön kylmäaine	3
2.3	Kylmähuone	4
2.4	Lauhdutinhuone	5
2.5	Laskelmat	6
2.6	Mittausjaksot	6
2.7	Dataloggereilla tehdyt mittausjaksot	7
2.8	Rakenteista johtuvan jäähdytystehontarpeen laskeminen	12
2.8.1	Rakenteiden U-arvon laskeminen	12
2.8.2	Seinät	12
2.9	Ovi	15
2.9.1	Ilmanvaihdon aiheuttama lämpökuorma	16
2.9.2	Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma.	16
2.9.3	Vuotoilmasta aiheutuva lämpökuorma	17
2.9.4	Oven avaamisesta aiheutuva ilmavirran lämpökuorma	18
2.9.5	Kylmäkellariin säilöttävien tuotteiden lämpökuorma	19
3	Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertaileminen	19
3.1	Hyötysuhde, Carnot-prosessi	19
3.2	Kylmäkerroin kylmäaineen R404A log p, h -tilapiirroksen avulla	20
3.3	Toteutuneen energiankulutuksen ja jäähdytystarpeen hyötysuhde	24
3.4	Yhteenveto hyötysuhteista	27
4	Sähköenergian kulutuksesta	27
4.1	Kompressorikoneiston energiankulutus	27

4.2	Yhteenveto sähkökulutuksesta.	29
5	Kylmäkellarin kustannuksista	29
6	Kylmäkellarin jäähdytysjärjestelmän putkistomitoitus	31
7	Mitä mahdollisuuksia on kehittää nykyistä laitteistoa paremmaksi?	32
8	Kylmiön tarve	32
8.1	Kylmiön tarpeellisuus	32
8.2	Yhtiöjärjestyksen vaikutus kylmäkellarin muutoksiin	32
9	Kylmiön kehitysidea	33
9.1	Yleistä verkkokaupasta	33
9.2	kerrostalokylmiö vahvistaa verkkokaupan toimitusketjua	33
10	Palvelutilaan suunnitellun kylmiön energiankulutus	34
11	Verkkokauppioiden näkemyksiä	38
11.1	Verkkokauppiasta ja näkemyksiä alasta	38
11.2	Puhelinhaastattelu	39
11.3	Verkkokauppioiden vastauksia	40
12	Yhteenveto	42
	Lähteet	43
	Liitteet	
	Liite 1. mollier diagrammi	
	Liite 2. Kylmä-aine R404A log p, h -tilapiirros	

Lyhenteet

GWP Global Warming Potential. Arvo kylmäaineen vaikutuksesta ilmastonmuutokseen

ODP Ozone Depletion Potential. Arvo kylmäaineen vaikutuksesta otsoniin

RakMK Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 Johdanto

1.1 Tausta

Putkiremontteja suunniteltaessa tarkastellaan taloyhtiön tiloja ja mietitään niiden korjaustarvetta ja tarpeellisuutta. Tila, joka aiheuttaa paljon pohdintaa tarpeellisuudesta ja kustannuksista, on taloyhtiön kylmäkellari. Kylmäkellarit ovat jääneet taloyhtiöissä tekniikaltaan ja käytettävyydeltään usein rakennusajankohdan tasolle. Kylmäkellareiden käyttöä hankaloittavat epätasainen huonelämpötila ja varkaudet sekä tilojen epähygienisyys. Käytön aktiivisuutta kuvaa hyvin se, kun tämän tutkimuksen esimerkkikiinteistössä 32 asunnon kylmäkellarin kylmälaitteet jouduttiin sammuttamaan. Kylmäkellarin tarpeellisuudesta ja mahdollisista jatkotoimista tehtiin kysely asukkaille. Kyselyssä selvitettiin asukkaiden halu siirtää elintarvikkeensa taloyhtiön toiseen kylmäkellariin. Talon asukkaista vain kahden kylmäkomeron omistajat halusivat siirtää elintarvikkeensa viereisen talon kylmäkellariin. Saneerauksia suunnittelevilta LVI-suunnittelijoilta ja arkkitehteiltä on pyydetty ideoita kylmäkellaritilojen kehittämiseksi. Kokemukseni mukaan asukkaat eivät nykyisin pidä kylmäkellaritiloja käytännöllisinä tai hyödyllisinä.

Nykyisin kylmäkellareissa säilytetään paljon muuta tavaraa kuin kylmäsäilytystä vaativia elintarvikkeita. Autonrenkaiden ja muiden vastaavien tuotteiden säilytys kylmäkellareissa tekee tiloista epäsiistejä ja alentaa niiden hygieniatasoa. Huolimatta vähäisestä elintarvikesäilytyksestä isoa tilaa silti jäähdytetään. Kylmäkellareiden poistaminen käytöstä ei ole kovinkaan helppoa omistusasunnoissa omistusoikeuksien takia. Erään haastatellun isännöitsijän mielipide kuvaa hyvin kylmiöiden kehittämisen vaikeutta. Hänen kokemuksensa mukaan saman vanhan toiminnan jatkaminen kylmäkellareissa on vaivattominta. Yleensä tilanne on se, että suurin osa asukkaista ei katso kylmäkellarin olevan tarpeellinen. Kaikki asukkaat osallistuvat silti kylmäkellarista aiheutuviin kustannuksiin. Kylmäkellareiden toiminnan jatkaminen pitää ne muutamat asukkaat tyytyväisinä, jotka pitävät tiloja vielä tarpeellisina. Toiminnan jatkaminen kylmäkellareissa hillitsee isännöitsijään ja taloyhtiön hallitukseen kohdistuvaa arvostelua. Isännöitsijä kertoi myös, että kun kylmäkellarista poistetaan sinne kuulumattomat tavarat, paranee asukkaiden aktiivisuus käyttää kylmäkellaria. (1)

1.2 Insinööriyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää kerrostalokylmiön vuotuinen energiankulutus ja sen jakauma sekä kesä- ja talvikuukausien energiankulutuksen ero. Työssä selvitetään myös esimerkkikohteen kylmäkellariin kohdistuvat huolto- ja ylläpitokustannukset. Lisäksi esimerkkikiinteistössä tutkitaan, miten ja mistä materiaaleista kylmäkellarin rakenteet on tehty. Lasketaan, millaisia lämpökuormia kylmäkellariin kohdistuu ja pohditaan, millä tavoin energiankulutusta voitaisiin pienentää ja mihin hukkaenergiaa hyödyntää. Taloyhtiön asukkaille annetaan taustatietoa heidän mieltiessään, kannattaako kylmäkellaria ylläpitää. Kerrostaloyhtiössä kannattaa miettiä, saadaanko kylmäkellaritalasta parempi käyttöarvo asukkaille muuttamalla sen käyttötarkoitusta. Miten kylmäkellari voitaisiin yhdistää osaksi netissä myytävien elintarvikkeiden toimitusketjua?

1.3 Tutkimusmenetelmät

Kylmähuoneen jäähdystystarvetta selvitettiin laskennallisesti mittaamalla pinta-alat, eristyskerrokset, seinien paksuudet ja viereisten tilojen keskilämpötilat. Lattian eristyskerros selvisi rakennepiirustuksista. Kylmäkellareiden kansantaloudellisia kustannuksia tiedusteltiin Motivasta, työ- ja elinkeinoministeriöstä ja ely-keskuksista. Kylmäkellareiden määrästä ei ole Suomessa tehty erillistä tilastoa. On vaikea arvioida, kuinka suuri on kylmäkellareiden yhteenlaskettu sähköenergiankulutus. Haasteellisin osuus työssä oli ideoida kylmäkellarille uusi käyttötarkoitus. Asiaa pohdittiin palaverissa ja haastatteleamalla isännöitsijöitä ja elintarvikkeiden nettikauppiaita.

2 Kerrostalokylmiön energiakulutuksen tutkiminen

2.1 Tutkittavan kohteen tietoja

Tässä insinööriyössä tutkittava kerrostalokylmiö sijaitsee Helsingin Kontulassa. Kerrostalo kuuluu kolmen talon kiinteistöosakeyhtiöön. Talot ovat kahdeksankerroksisia yhden rapun kerrostaloja. Talot on rakennettu vuonna 1967. Kaikissa kolmessa talossa on kylmäsäilytystilat, ja tilassa on numeroitu komero talon jokaiselle asunnolle. Talot on osoitteiltaan jaettu A-, B- ja C-taloihin. Energiamittauksia on tehty pelkästään A-talossa.

B-talon kylmiön kompressori rikkoutui vuonna 2008, ja sen uusiminen katsottiin liian kalliiksi. Kuvassa 1 on esitetty mittauksissa käytetty A-talo.



Kuva 1. Opinnäytetyössä tutkittu kylmäkellari sijaitsee kerrostalon alimmassa kerroksessa.

2.2 Kylmiön kylmäaine

Kylmälaitteistossa jäähdytysaineena on kylmäaine R404A. R404A on kylmäaineseos, jonka komponentteina ovat kylmäaineet R-125, R-134 ja R-143. Kylmäaine kuuluu HFC-aineisiin, jotka ovat otsonikerrokselle haitattomia. Niiden ODP-arvo on 0. Kylmäaineella on kuitenkin merkittävä kasvihuonevaikutus: sen GWP-arvo on 3 260 (global warming potential) (2, s. 43). Voiteluaineena käytetään polyesteriöljyä. Lämpötilaliukuuma kylmäaineella on noin 0,7 °C. Kylmäaine sopii hyvin matala- ja keskipainealueelle. (2.)

2.3 Kylmähuone

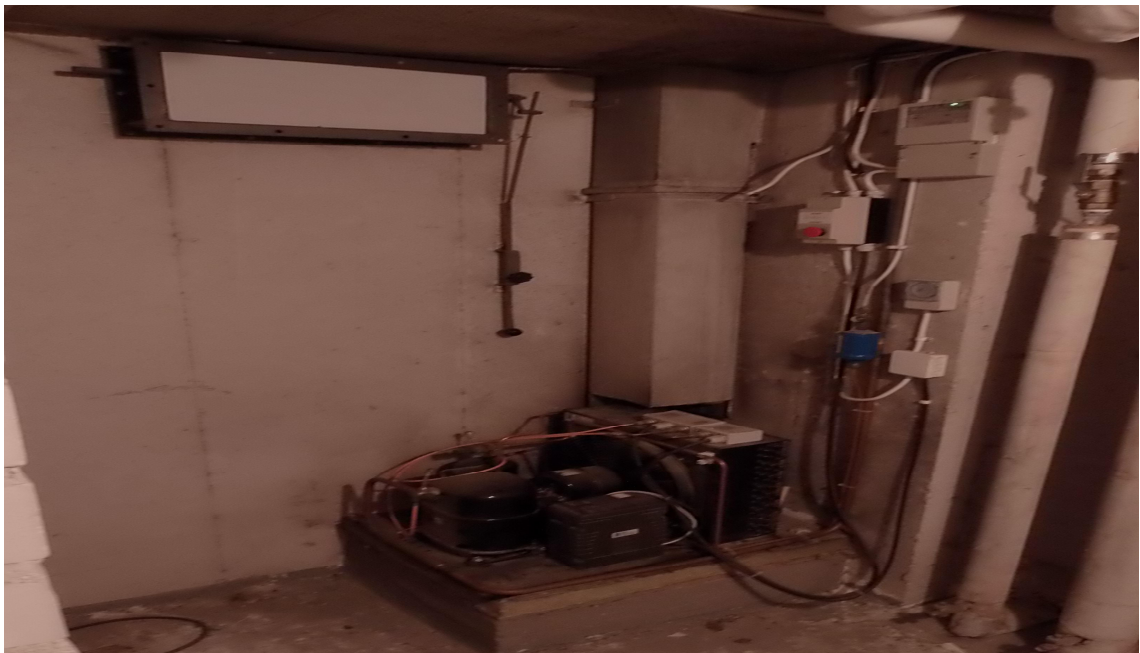
A-talon kylmäkellari sijoittuu osittain maan alle. Lattiapinta-ala on 49 m² ja tilavuus 100,5 m³. Kylmiön lämpötilan ylitettyä 7 °C kompressori käynnistyy. Kylmiön huonelämpötilan ollessa alle 5 °C kompressori sammuu. Kylmiön huonekorkeus on 2,05 m. Kylmiön seinät ovat ulkoseiniä, kellarikäytävän tai ryömintätilan vastaisia seiniä. Seinät ja katto on vuorattu 100 mm paksulla styroksilla ja lujalevyllä. Betonisen lattian alla on eristyskerros ja maapohja. Kylmiön yläpuolelle sijoittuvat talon saunatilat. Kylmäkellaria jäähdytetään luonnollisen ilmankierron höyrystimillä. Kompressorin käynti pysähtyy kesällä klo 5:30–7:20 ja 22:20–0:10 väliseksi sulatusajan jaksoiksi. Tällä estetään höyrystimen jäätyminen. Höyrystintä ei sulateta muulla energialla kuin kylmiön huonelämpötilalla. Kesällä tehtyjen mittausten perusteella pystyttiin toteamaan sulatusjaksojen kesto ja kellonaika. Mittaustuloksista todettiin kompressorin käyvän kesällä koko vuorokauden lukuun ottamatta ym. kahta jaksoa. Jaksot esiintyivät mittaustuloksissa jokaisena tarkemman mittauksen päivänä. Kuvassa 2 on opinnäytetyössä olleen esimerkki-kohteen kylmäkellarin sisätiloja.



Kuva 2. Kylmäkomoja on 32 kpl ja tilassa on 2 kpl luonnollisen ilmankierron höyrystintä. Poistoilmaventtiili näkyy kuvassa käytävän keskivaiheilla.

2.4 Lauhdutinhuone

Lauhdutinhuoneen tilavuus on 17 m³. Se on jaettu kahitiillisellä väliseinällä kahdeksi tilaksi 8,5 m³ + 8,5 m³. Lauhdutinhuoneen ja kellarin käytävän välinen ovi on kulma-raudan avulla käytävälle auki noin 20 cm. Oven pitämisellä osittain auki kellarikäytävälle lauhdutinhuoneeseen saadaan läpiveto. Kesällä seinässä olevasta säleiköstä ohjataan ulkoilmaa kanttikanavan avulla lauhduttimen päälle tehostamaan lauhdutusta. Talvella kanttikanavasta tuleva ulkoilman virtaus estetään sulkemalla se eristysvillalla. Lauhdutinhuoneessa on tuuletusikkuna, jonka vapaa pinta-ala on 0,125 m². Tuuletusikkuna suljetaan talveksi liikkuvan säleikön avulla, mikä estää lauhdutinhuoneen lämpötilaa laskemasta liian kylmäksi. Tuuletusikkunan väleistä vuotaa kylmää ilmaa sen verran, että lauhdutinhuoneen kautta menevät kylmävesijohdot ovat päässeet jäätymään ja rikkoutumaan. Nyt kylmävesiputkien jäätymistä estämiseksi on lauhdutinhuoneeseen asennettu sähköllä toimiva lämpöpatteri. Lauhdutinhuoneen lämpötilan laskiessa alle 17 °C:n lämpöpatteri käynnistyy. Kesällä lauhdutinhuoneen lämpötila nousee jopa 42 °C:seen kompressorikoneikon käydessä jatkuvasti. Ilmalauhdutteinen kompressorikoneikko on sijoitettu huoneen lattialle tuuletusikkunan alapuolelle. Kuvassa 3 näkyy lattialla kompressorikoneikko, ja lähimpänä takaseinää kanttikanavan alla on lauhdutin. Kompressorikoneikon yläpuolella valkoisena näkyvä suorakaide on tilan tuuletusikkuna.



Kuva 3. Lauhdutinhuone

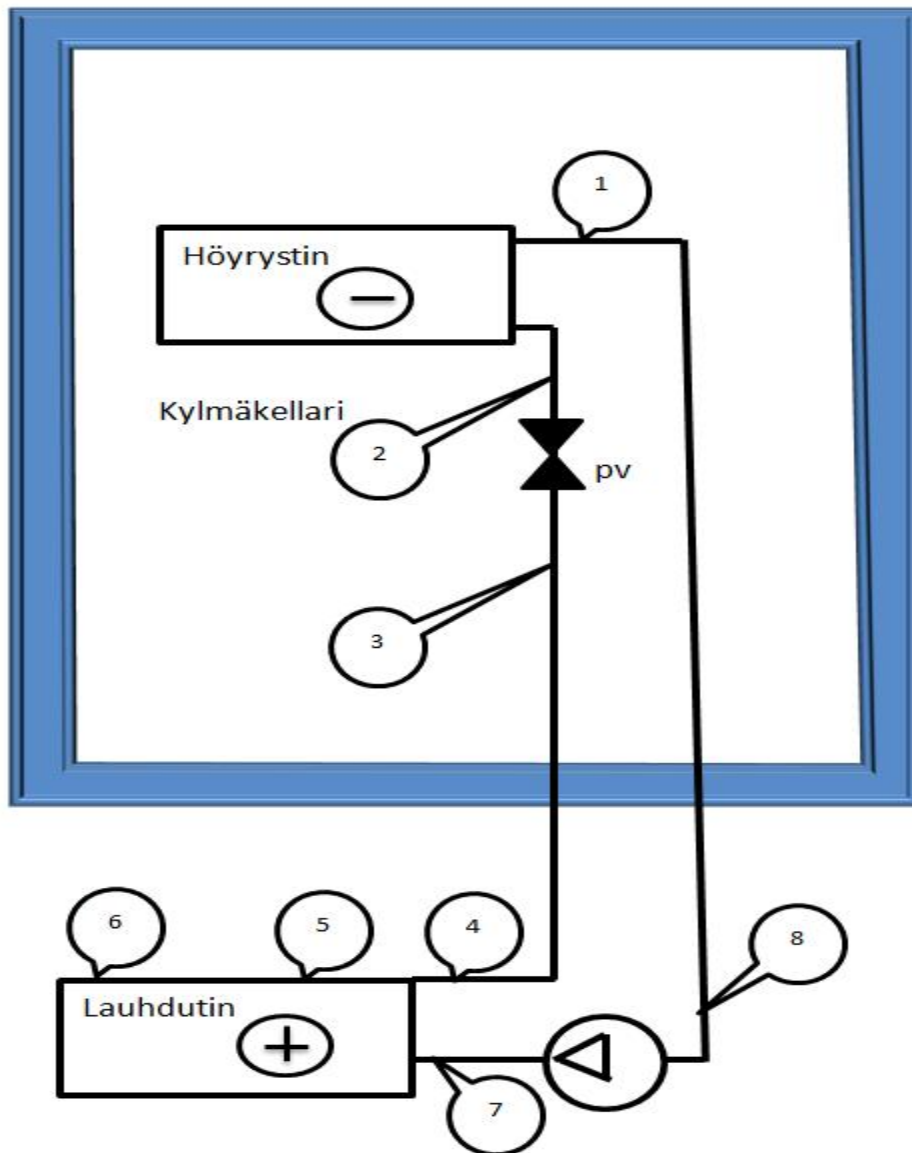
2.5 Laskelmat

Rakenteista johtuva jäähdytystehontarve lasketaan Suomen rakentamismääräyskoelman (RakMK) osan C4 ohjeiden (4) mukaisesti. Muu jäähdytystehotarpeen laskenta perustuu Opetushallituksen julkaisemaan kirjaan Kylmälaitoksen suunnittelu (7).

2.6 Mittausjaksot

Isännöitsijä antoi luvan aloittaa energiankulutuksen seurannan 32 kerrostaloasunnon kylmäkellarissa. Sähköasentaja asensi 9.6.2011 kompressorikoneikon sähkönkulutusta mittaavan kulutusmittarin lauhdutinhuoneeseen. Sähkönkulutuksen kulutusmittarin seuraaminen lopetettiin 7.10.2013. Energiankulutusta seurattiin kulutusmittarista satunnaisesti, minkä perusteella saatiin vuositasolla oleva energiankulutus (kWh). Kylmätilaan tehtiin kaksi tarkempaa noin viikon pituista seurantajaksoa. Ensimmäinen seurantajakso suoritettiin talvella 18.3.–25.3.2013 ja toinen tarkempi mittausjakso tehtiin 26.6.–1.7.2013. Nämä noin viikon pituiset seurantajakset suoritettiin dataloggerimittareilla. Dataloggereilla mitattiin kylmäprosessin eri putkien pintalämpötiloja sekä lauhdutinhuoneen ja kylmiön huonelämpötiloja. Putkien pintalämpötiloilla haettiin kylmäkellarissa käytettävän kylmäaineen R404A log p, h -tilapiirroksesta entalpia-arvot. Näillä arvoilla pystyttiin tutkimaan kylmälaitoksen hyötysuhteet kiertoprosessissa. Kuvassa 4 havainnollistetaan kiertoprosessiin laitetut dataloggerin mittauspisteet. Näiden mittauspisteiden lisäksi mitattiin kylmiön ja lauhdutinhuoneen lämpötilat. Alla olevassa luettelussa on kuvassa 4 esiintyvän kiertoprosessin mittauspisteiden putkien ja laitteiden termit.

- 1 Imuputki, kylmäkellari
- 2 Nesteputki
- 3 Lauhdeputki, kylmäkellari
- 4 Lauhdeputki, lauhdutinhuone
- 5 ja 6 Lauhdutin
- 7 Paineputki
- 8 Imuputki, lauhdutinhuone



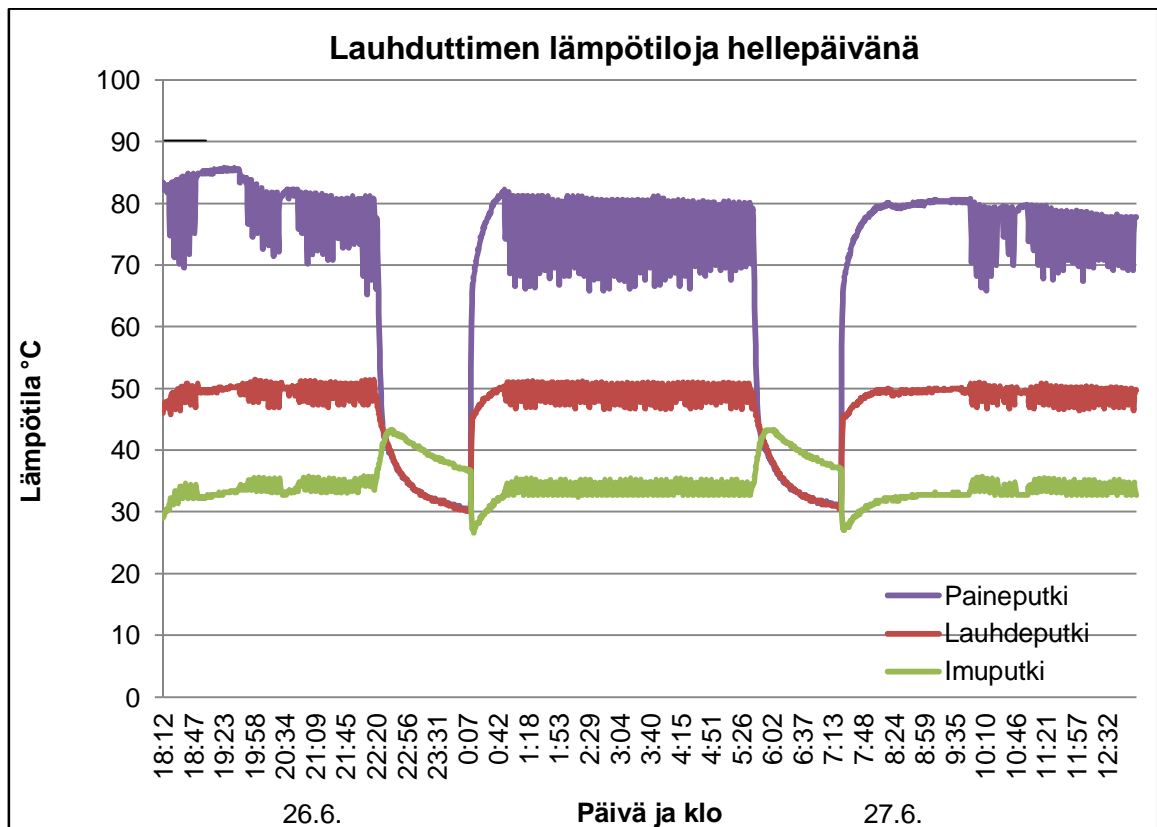
Kuva 4. Kylmäkellarin kiertoprosessin mittauspisteet (kuvassa pv = paisuntaventtiili)

2.7 Dataloggereilla tehdyt mittausjaksot

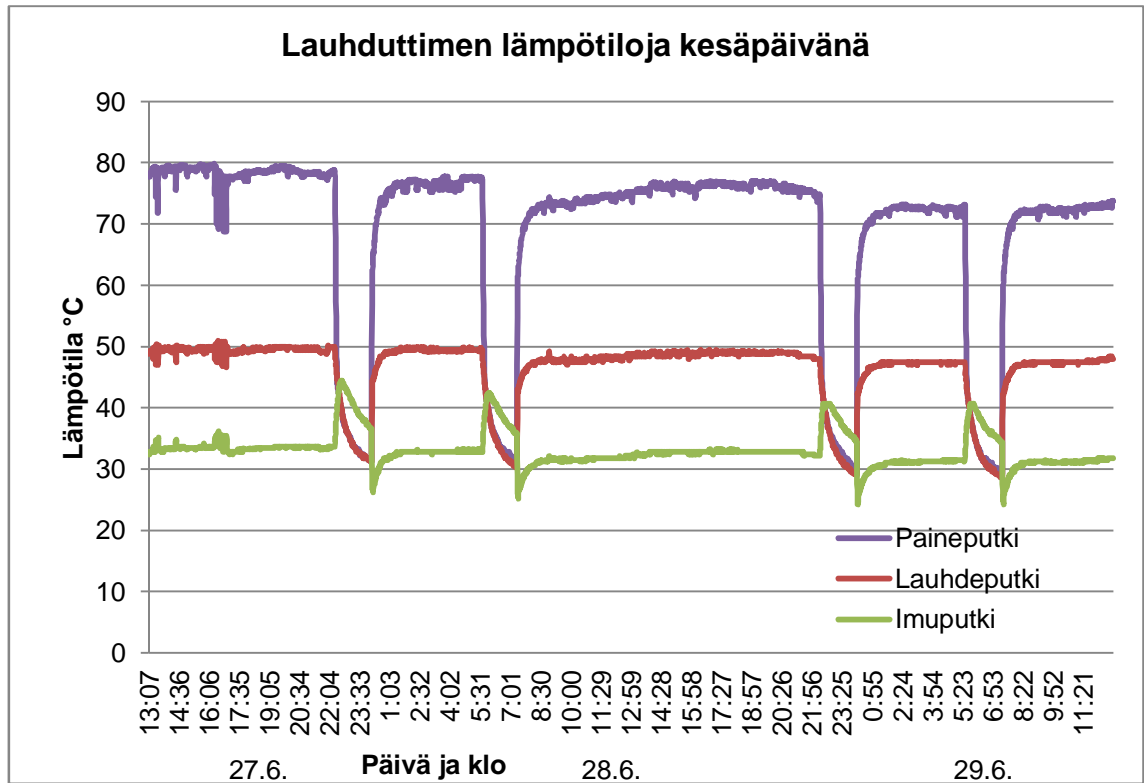
Talven mittaus suoritettiin 18.3.2013–25.3.2013 tarkemman mittauksen keston pituuden oltua 136 tuntia. Talven tarkemman mittausjakson keskiulkolämpötila oli $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ Forecan Kaisaniemen mittausaseman säätietojen perusteella. Kompressorikoneikon talven mittausjakson keskimääräinen sähkötehtarve on $0,223\text{ kWh}$. Kesän tarkempi mittausajanjakso tehtiin 26.6.2013–1.7.2013, jolloin mittauksen keston pituus oli 97 tuntia. Keskiulkolämpötila kesän tarkemmalla mittausjaksolla oli $21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kesän mittausjakson kompressorikoneikon keskimääräinen sähkötehtarve oli $1,35\text{ kWh}$. Kylmiön

sisälämpötila talven mittausjaksoilla oli keskimäärin 6 °C. Kesällä 6,3–7,9 °C:n vaihteluun vaikutti lauhdutinhuoneen lauhdutusilman lämpötila. Kylmiön sisälämpötilan tulisi olla keskimäärin 6 °C, mutta kesäajan lämpökuormista johtuen kylmiön jäähdytysjärjestelmä ei pystynyt pitämään lämpötilaa asetusarvoissa. Todellisen ja laskennallisen kulutuksen vertailemiseksi jäähdytystehon tarve lasketaan kylmäkellarin mittausjakson keskiarvon lämpötilalla.

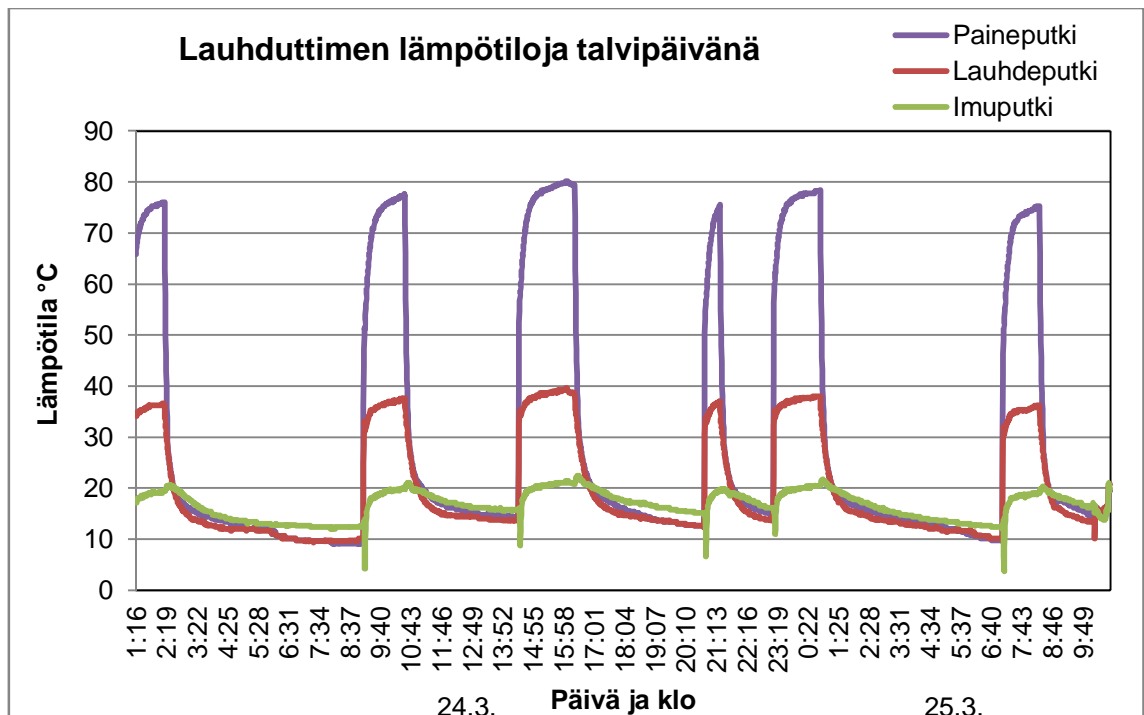
Kuvissa 5–7 havainnollistetaan mittausjaksojen lämpötiloja mitattuna lauhduttimelta. Kuvassa 5 kuvataan hellepäivän ulkolämpötilasta johtuva lauhduttimen yllilämpeneminen ja siitä seuraava koneiston jatkuva katkokäynti. Kuvassa 6 ulkolämpötilan ollessa 4 °C matalammalla kuin hellepäivänä kompressorikoneikko käy tasaisesti ja pysähtyy vain sulatusjaksojen ajaksi. Kuvassa 7 talvella kompressorikoneikon käyntijaksot ovat lyhyitä kylmäkellariin kohdistuvien vähäisten lämpökuormien vuoksi.



Kuva 5. Lämpötilojen sahaava liike johtuu kompressorikoneikon käynnistymisistä ja sammumisista

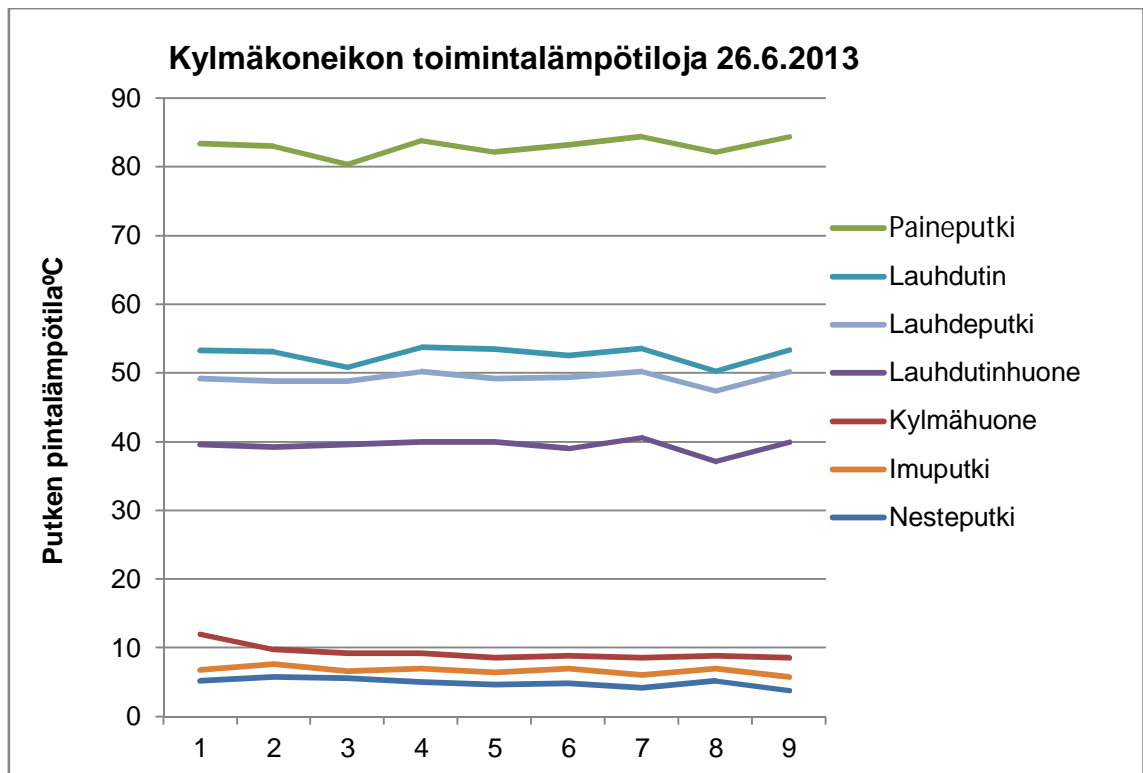


Kuva 6. Kesällä viileämmällä ilmalla lauhdutin toimii tasaisesti. Sulatusjaksot näkyvät poikkeamina lämpötiloissa

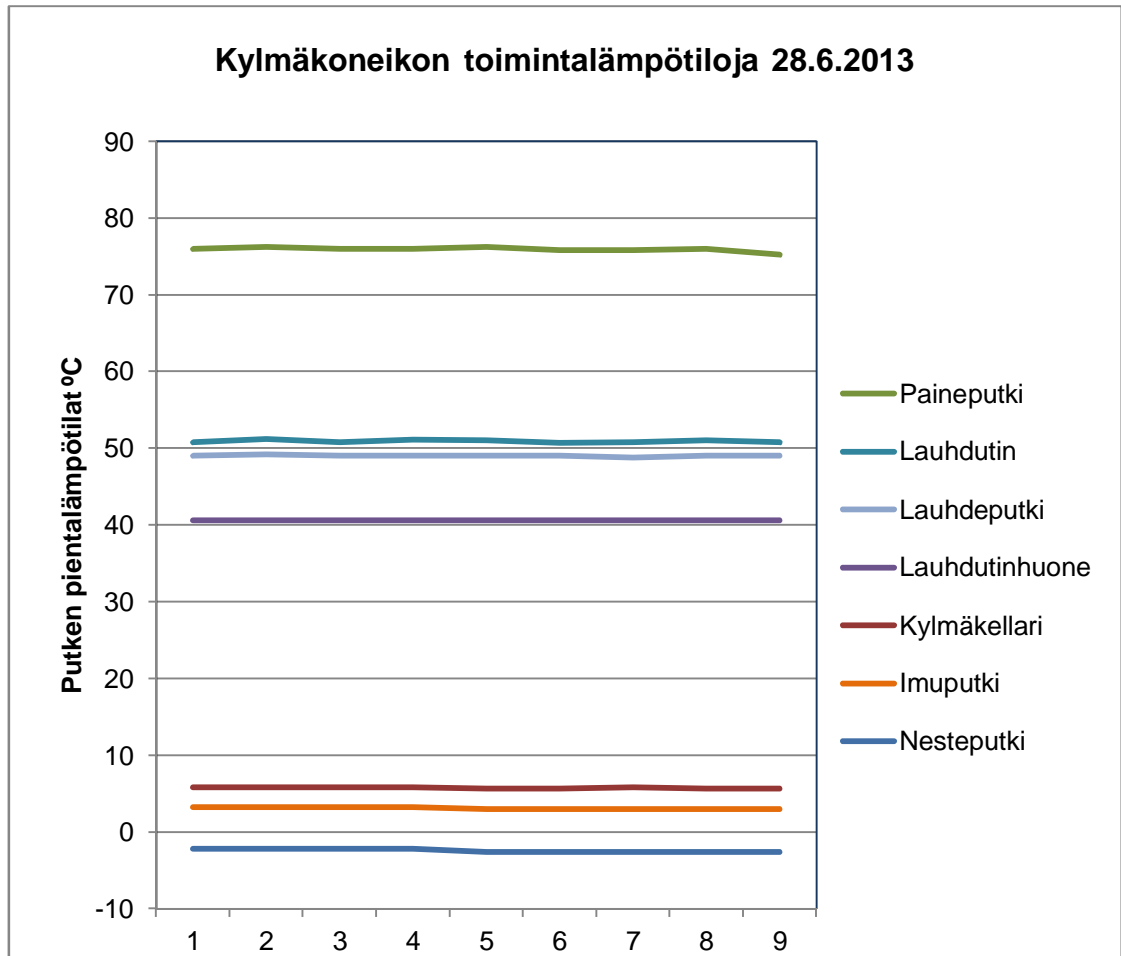


Kuva 7. Talvipäivänä kylmiötä tarvitsee jäähdyttää vain harvakseltaan.

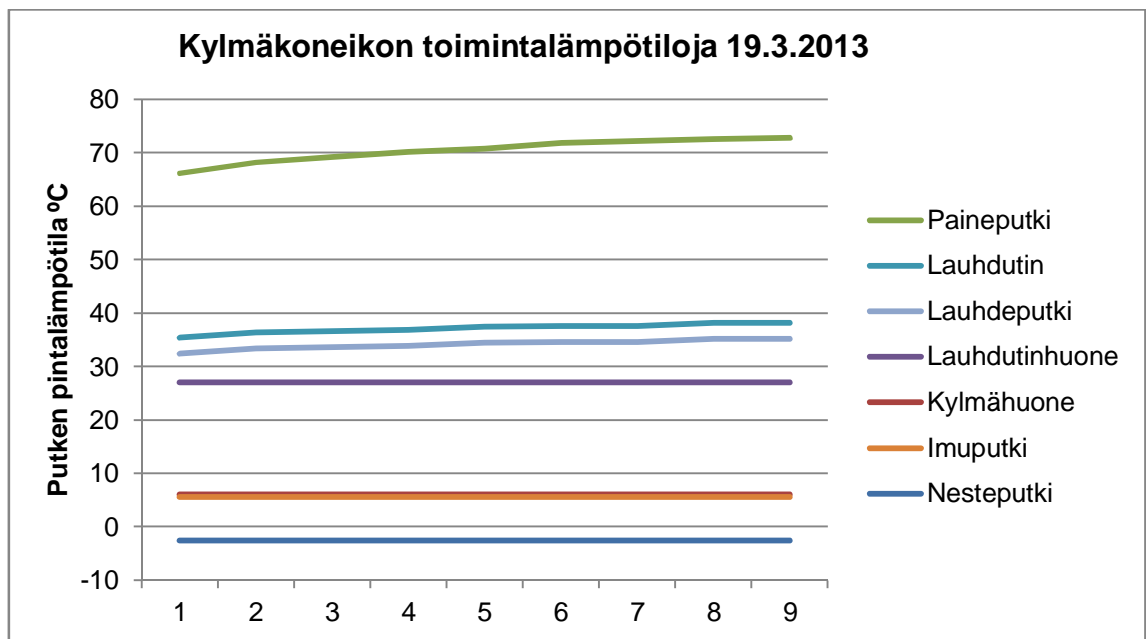
Kuvissa 8–10 on kiertoprosessin putkien pintalämpötiloja 30 minuutin mittausajan jaksoilta. Kuvassa 8 hellepäivänä kompressorikoneikon jäähdytysteho ei pysty laskemaan kylmähuoneen lämpötilaa 6 °C:seen. Hellepäivän lauhdutinhuoneen korkean lämpötilan takia lauhdutin ei pysty lauhduttamaan kylmäainetta tarpeeksi. Kiertoprosessin korkeiden lämpötilojen takia paine putkistossa nousee, ja yläpaineekytkin pysäyttää koneiston estääkseen vaurioiden syntymisen. Kylmähuoneen lämpötila nousee hellepäivän suurien lämpökuormien takia yli sille asetettujen lämpötilojen. Termostaatti pyrkii käynnistämään koneiston heti kun paineet sen sallivat. Tällaisena päivänä kompressorikoneikko toimii katkokäynnillä. Kuvassa 8 katkokäynti havainnollistuu putkien lämpötilaa kuvaavien käyrien epätasaisuutena. Kompressorikoneikon katkonaisen käynnin takia jäähdytyslaitteisto ei pysty jäähdyttämään kylmäkellarin lämpötilaa paljoa alle 10 °C:n. Kuvassa 9 kesällä ulkoilman ollessa hellepäivää viileämpi kompressorikoneikon katkokäynti loppuu. Jäähdytyslaitteiston käydessä tasaisesti kylmähuoneen lämpötila laskee ja saavuttaa sille asetetun 6 °C:n lämpötilan. Kuvassa 10 talven mittausjaksolla kompressorikoneikko ei ole käynnissä kovin pitkiä ajanjaksoja vähäisen jäähdytystehotarpeen takia. Talven kiertoprosessin lämpötilat eivät nouse niin korkealle kuin kesätilanteessa. Kylmäkellarin lämpötila pysyy talvella hyvin sille asetetuissa lämpötiloissa.



Kuva 8. Hellepäivänä mitattujen putkien pintalämpötiloja ulkolämpötilan ollessa 26,6 °C.



Kuva 9. Kesäpäivänä mitattujen putkien pintalämpötiloja ulkolämpötilan ollessa 21,9 °C



Kuva 10. Talvipäivänä mitattuja putkien pintalämpötiloja ulkolämpötilan ollessa -5,4 °C

2.8 Rakenteista johtuvan jäähdytystehontarpeen laskeminen

2.8.1 Rakenteiden U-arvon laskeminen

Monikerroksisen rakenteen lämmönläpäisykertoimeen eli U-arvoon vaikuttavat pintojen ja ilman väliset lämmönsiirtovastukset sekä rakennekerroksien paksuudet ja lämmönjohtavuudet. U-arvo voidaan laskea kaavalla 1.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + R_{se}} \quad (1)$$

U on lämmönläpäisykerroin W/m²K

R_{si} on sisäpuolinen pintavastus m²K/W

d₁ on rakenneaineen paksuus mm

λ₁ on rakenneaine d₁ lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo W/(m*K)

R_{se} on ulkopuolinen pintavastus m²K/W (4.)

2.8.2 Seinät

Kylmäkellarin ulkoseinä on osittain maanpinnan alapuolella (kuva, 11 seinä 1). Seinän maanpäällisen osan pinta-ala on 8 m² ja maanpinnan alapuolisen osan pinta-ala 12 m². Kylmiön lämmöneristys on rakennettu niin, että seinään on koolattu 50 x 100:n mm havupuulankkuja. Havupuu peittää seinästä 9 %, ja koolausten välinen tila on täytetty polystyreenillä (91 %). Kuvassa 11 on kylmäkellarin pohjapiirustus, jossa on numeroitu taulukoissa 1 ja 2 lasketut seinät. Kaavan numero 1 mukaisesti on taulukon alareunaan laskettu U-arvot. Taulukkoon 1 ja 2 on kirjattu seinien lämmönjohtavuus, materiaalin paksuus ja lämmönvastus. Maanpinnan alapuolinen lämpötila lasketaan RakMK D5:n kuukausikeskiarvojen mukaisesti. Alapohjan alapuolella olevan maan lämpötila lasketaan kaavalla 2. Taulukkoon 3 on kirjattu rakenteista johtuvat lämpökuormat talvi ja kesä tilanteessa.

$$T(\text{maa kuukausi}) = T_u, \text{vuosi} + \Delta t \text{ maa, vuosi} + \Delta t \text{ maa, kuukausi} \quad (2)$$

Kylmäkellarin alapuolisen maan lämpötila:

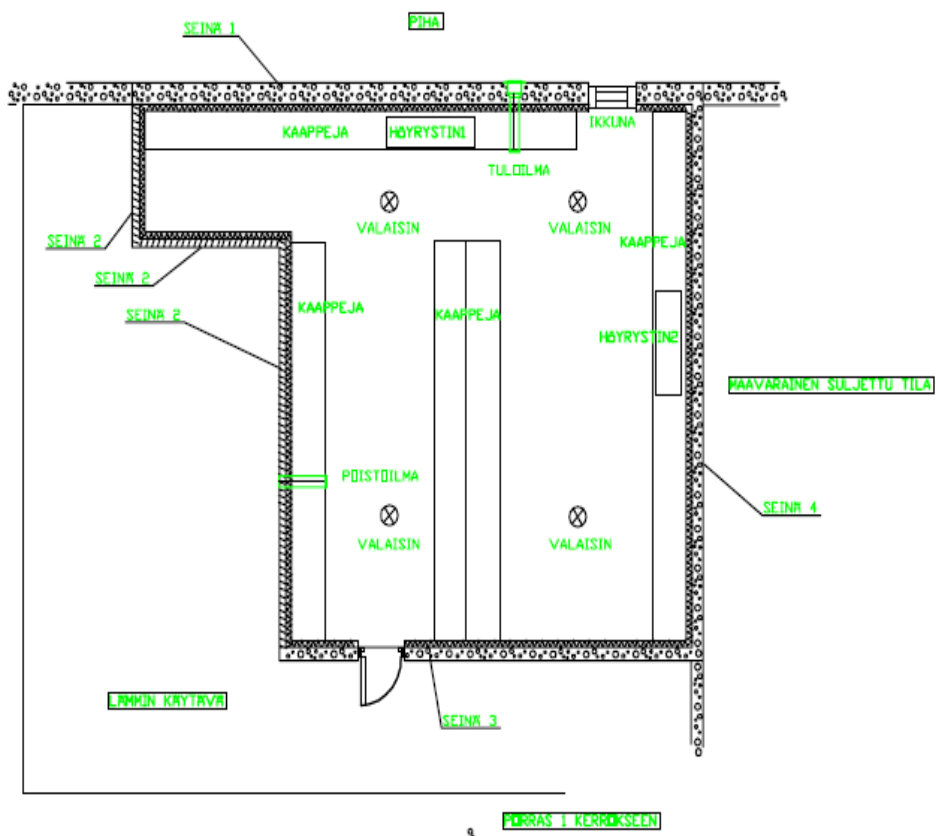
$$+8,29 \text{ °C} = 4,29 \text{ °C} + 6 \text{ °C} + (-2 \text{ °C})$$

Mittaustilanteen lämpötiloja kesällä ja talvella:

- Ulkoilma, talvi $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Ulkoilma, kesä $21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Käytävän lämpötila, talvi $15\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Käytävän lämpötila, kesä $23\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Maan alapuolisen maanpinnan lämpötila, maaliskuu ja kesäkuu $8,29\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Kylmäkellarin yläpuolisen saunatilan lämpötila $24\text{ }^{\circ}\text{C}$

U-arvo lasketaan ulkoseinän maan yläpuoliselle osalle (kuva 11, seinä 1) kaavan 1 mukaan:

$$U = \frac{1}{0,13 + \frac{0,335}{1,2} + \left(\frac{0,1}{0,05} * 0,91\right) + \left(\frac{0,1}{0,12} * 0,09\right) + \frac{0,02}{0,25} + 0,04} = 0,42 \quad (1)$$



Kuva 11. Kylmäkellarin pohjapiirros

Taulukko 1. Kylmäkellarin seinien lämmönjohtavuus ($\lambda_{10}W/m^*K$), lämmönvastus $R(m^2*K)/W$ ja seinien materiaalien paksuus (mm).

Materiaali	$\lambda_{10}W/(m^*K)$	Maan yläpuoli Seinä 1 mm	R ($m^2*K)/W$	Maanvastainen seinä 1	R ($m^2*K)/W$	Väliseinä Seinä 2	R ($m^2*K)/W$	Väliseinä seinä 3	R ($m^2*K)/W$
Sisäpuolinen pintavastus			0,13		0,13		0,13		0,13
Beton 2000 kg/m ³	1,2	335	0,28	335	0,28			200	0,17
Kahitiili	0,95					130	0,14		
Polystyreeni 91% +	0,05	100		100		100		100	
Havupuu 9 %	0,12	100	1,90	100	1,90	100	1,90	100	1,90
Lujalevy	0,25	20	0,08	20	0,08	20	0,08	20	0,08
Ulkopuolinen pintavastus			0,04				0,04		0,04
Maan lämmönvastus					0,4				
Yhteensä			2,38		2,79		2,29		2,32
U-arvo W/m ² K		0,42		0,36		0,44		0,43	

Taulukko 2. Kylmäkellarin seinien lämmönjohtavuus ($\lambda_{10}W/m^*K$), lämmönvastus $R(m^2*K)/W$ ja seinien materiaalien paksuus (mm).

Materiaali	$\lambda_{10}W/(m^*K)$	Väliseinä seinä 4	R ($m^2*K)/W$	Katto	R ($m^2*K)/W$	Lattia	R ($m^2*K)/W$
Sisäpuolinen pintavastus			0,13		0,1		0,1
Beton 2300 kg/m ³	1,7			200	0,12		
Beton 2000 kg/m ³	1,2	200	0,17			120	0,10
Polystyreeni 91% +	0,05	100		100		100	2,00
Havupuu 9 %	0,12	100	1,90	100	1,90		
Lujalevy	0,25	20	0,08	20	0,08	20	0,08
Ulkopuolinen pintavastus			0,04		0,04		0,04
Yhteensä			2,32		2,24		2,32
U-arvo W/m ² K		0,43		0,45		0,43	

Rakenteiden läpi johtuva jäädytystehon tarpeen laskukaava 3:

$$\dot{Q} = U * A * t_u - t_s \quad (3)$$

- \dot{Q} on jäädytystehontarve
- U on U-arvo
- A on ala
- t_u on kylmiön seinän ulkopuolen lämpötila °C
- t_s on kylmiön lämpötila

Ulkoseinän läpi johtuva jäähdytystehon tarve lasketaan kylmäkellarin seinälle 1 maanpinnan yläpuolelle. Kesän ulkoilman lämpötilalla 21,9 °C on laskettu lämpökuorma kaavalla 3.

$$0,42 \text{ W/m}^2\text{K} * 8 \text{ m}^2 * (21,9 - 6)^\circ\text{C} = 53 \text{ W}$$

Taulukko 3. Rakenteista kylmiöön tulevat lämpökuormat

	U-arvo	Pinta-ala m ²	kylmäkellarin lämpötila °C	talvi		kesä	
				vastakkaisen tilan lämp. °C	vastakkaisen tilan lämp. °C	talvella Ø (W)	kesällä Ø (W)
Maan yläpuoli Seinä 1	0,42	8	6	-5,4	21,9	-38	53
Maanvastainen seinä 1	0,36	12	6	-5,4	21,9	-49	68
Väliseinä Seinä 2	0,44	22	6	15	23	87	164
Väliseinä seinä 3	0,43	13	6	15	23	51	95
Väliseinä seinä 4	0,43	16,5	6	8,29	8,29	16	16
Katto	0,45	49	6	24	24	394	394
Lattia	0,43	49	6	8,29	8,29	48	48
Yhteensä						509	840

2.9 Ovi

Ovi on alkuperäinen vuodelta 1967, ja silloin RakMK C4:n ohjeiden mukaan kylmiön oven lämmönläpäisykerroin sai olla enintään 1,4 W/m²K. Vanhojen eristeiden ja oven käytössä saamien kolhujen takia sen lämmönläpäisykerroimeksi esimerkkikohteessa lasketaan 2 W/m²K. Kylmiön oven pinta-ala on 1,9 m². Kylmiön oven lämpimän puolen käytävän lämpötila on talvella 15 °C ja kesällä 23 °C. Oven ominaisuuksista johtuva lämpökuorma kylmiöön on talvella 19 W ja kesällä 34 W.

2.9.1 Ilmanvaihdon aiheuttama lämpökuorma

Ilmavirrat mitattiin ALNOR AXD-560 -merkkisellä mikromanometrillä. Kylmäkellarin ilmanvaihtoventtiilistä mitattu poistoilman määrä on 26 dm³/s. Tuloilma on kanavoitu kylmäkellarista ulkoseinälle, ja korvausilma otetaan suoraan ilmanvaihtosäleikön kautta ulkoilmasta. Kylmäkellariin vuotaa ulkoilmaa, vaikka tuloilman päätelaite on kierretty kiinni. Ilmanvaihdon päätelaitteen pintalämpötila oli pakkasen puolella talvella, koska kosteus oli jäänyt sen pintaan. Päätelin, että kaikki korvausilma tulee ulkoa. Talvella ilmanvaihto jäähdyttää kylmäkellaria 356 W, ja kesällä se tuo lämpökuormaa 486 W. Ilmanvaihdon lämpökuorma lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{Q}_{iv} = C_{pi} * q_{vtulo} * \rho_i * (t_u - t_s) \quad (4)$$

\dot{Q}_{iv} on ilmanvaihdon lämpökuorma.

C_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

q_{vtulo} on ilmavirta, m³/s

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

t_u on tuloilman lämpötila, °C

t_s on sisäilman lämpötila, °C

Kylmäkellariin talvipäivänä kohdistuva ilmanvaihdon lämpökuorma:

$$1000 \text{ Ws/(kgK)} * 0,026 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ kg/m}^3 * (-5,4^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}) = -356 \text{ W}$$

2.9.2 Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma.

Kylmiöön on asennettu 4 kpl 75 W:n hehkulamppua. Arvioin käyttäjäksi noin 1 tunnin vuorokaudessa, jolloin kylmiö lämpenee keskiteholla 13 W. Valaistuksen aiheuttama lämpökuorma lasketaan kaavalla 5.

$$\dot{Q}_{val} = \frac{4 \text{ kpl} * 75 \frac{\text{W}}{\text{kpl}} * 1 \text{ h/vrk}}{24 \text{ h/vrk}} = 13 \text{ W} \quad (5)$$

2.9.3 Vuotoilmasta aiheutuva lämpökuorma

RakMK D5:n kohdan 9.3.3 mukaan maanalaisissa kellaritiloissa ei ilmavuotoja yleensä tarvitse ottaa huomioon (5.) Esimerkkikohteen vuotoilmakertoimena käytetään vuotoilman lämpökuorman laskemisessa arvoa 0,16 1/h, koska ilmanpitävyyttä ei tunneta. Vuotoilman lämpökuorma lasketaan kaavalla 6.

$$\emptyset \text{ vuotoilma} = \rho_i * C_{pi} * \frac{n \text{ vuotoilma} * V}{3600} * (t_u - t_s) \quad (6)$$

\emptyset on vuotoilma Wh

C_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws / (kgK)

n vuotoilma on rakennuksen vuotoilmakerroin, kertaa tunnissa 1/h

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

t_u on tuloilman lämpötila, °C

t_s on sisäilman lämpötila, °C

V on rakennuksen ilmatilavuus, m³

3600 on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos m³/h -> m³/s

Vuotoilmasta aiheutuva kylmäkellaria jäähdyttävä vaikutus talvella:

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{kgK}} * \frac{0,16 \frac{1}{\text{h}} * 100,5 \text{ m}^3}{3600} * (6 - (-5,4))^\circ\text{C} = 61 \text{ Wh}$$

Vuotoilmasta aiheutuva lämpökuorma kylmäkellariin kesällä:

$$1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\frac{\text{kg}}{\text{K}}} * \frac{0,16 \frac{1}{\text{h}} * 100,5 \text{ m}^3}{3600} * (6,3 - 21,9) = 84 \text{ Wh}$$

2.9.4 Oven avaamisesta aiheutuva ilmavirran lämpökuorma

Painovoimainen ilman vaihtuminen perustuu lämpötilaerojen kylmäkellarin ja oven ulkopuolisen käytävän aiheuttamiin tiheyseroihin (6, s. 49.) Päätelmä: oven aukaiseminen aiheuttaa ilmavirran lämpökuormaa kylmiöön, kun asukkaat käyttävät tilaa 1 h vuorokaudessa ja ovi on auki tästä käyttöajasta 10 minuuttia. Kylmäkellarin ulkopuolisen käytävän lämpötilaksi on talvella mitattu 15 °C ja kesällä 23 °C. Avoimeen oveen vaikuttava ilmavirtaus lasketaan kaavalla 7:

$$qv = (ho * \frac{b}{3}) \sqrt{g * ho(Tk - Ts)/Ts} \quad (7)$$

qv on ovesta tuleva ilmavirta kylmiöön, m³/s
 ho on oven korkeus, m
 b on oviaukon leveys, m
 g on normaali putoamiskiihtyvyyys, m/s²
 Tk on käytävän lämpötila, K
 Ts on sisäilman lämpötila, K

Kylmiön oven (1,9 x 1)m ilmavirta talvella

$$\left(1,9m * \frac{1m}{3}\right) * \sqrt{9,81m/s^2 * \frac{1,9m * (288 - 279)K}{279K}} = 0,633 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kylmiön oven (1,9 x 1)m ilmavirta kesällä

$$\left(1,9m * \frac{1m}{3}\right) * \sqrt{\frac{9,81m}{s^2} * \frac{1,9m * (296 - 279)K}{296K}} = 0,499 \text{ m}^3/\text{s}$$

Käytävän lämpötila on talvella 15 °C ja kesällä 23 °C. Avoimesta ovesta aiheutuva lämpökuorma kylmäkellariin lasketaan kaavalla 8:

$$Q \text{ oven vuotoilma} = qv * \rho_i * C_{pi} * (t_u - t_s) * \frac{10 \text{ min}}{24h * 60min} \quad (8)$$

Q oven vuotoilma on Wh
 C_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws / (kgK)
 ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³
 t_u on tuloilman lämpötila, °C
 t_s on sisäilman lämpötila, °C
 qv on ilmavirta, m³/s

Oven Ilmavirran aiheuttama lämpökuorma kylmiöön talvipäivänä

$$0,499 \text{ m}^3 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\frac{\text{kg}}{\text{K}}} (15 - 6) * \frac{10\text{min}}{24\text{h}*60\text{min}} = 37 \text{ W}$$

Oven Ilmavirran aiheuttama lämpökuorma kylmiöön kesäpäivänä

$$0,633 \text{ m}^3 * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{Ws}}{\frac{\text{kg}}{\text{K}}} (23 - 6,3) * \frac{10\text{min}}{24\text{h}*60\text{min}} = 94 \text{ W}$$

2.9.5 Kylmäkellariin säilöttävien tuotteiden lämpökuorma

Kylmäkellarissa olevista tuotteista tulevaa lämpökuormaa ei ole noteerattu kesä- tai talvitilanteessa. Esimerkkikohteen kylmäkellarissa tavaroita ei käytännössä vaihdeta.

3 Toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertaileminen

3.1 Hyötysuhde, Carnot-prosessi

Useimmissa kylmäkoneistoissa kylmän tekeminen perustuu kiertoprosessiin, jossa koneistossa kiertävä kylmäaine höyrystyy ja lauhtuu (7). Tällaista prosessia noudattaa tässä opinnäytetyössä tutkittu kylmäkellarin kylmäkoneikko noudattaa. Prosessista vapautuu enemmän energiaa lämpönä ja jäähtymisenä kuin koneikon käyttö tarvitsee sähköenergiaa. Kylmäkerroin ja lämpökerroin ilmaisevat, kuinka moninkertaisesti lämpö- tai jäähtymisenergiaa saadaan verrattuna prosessiin syötettyyn sähköenergiaan. Ideali eli häviöttömän prosessin kylmäkerroimen hyötysuhde lasketaan kaavalla 9 ja häviöttömän prosessin lämpökerroin lasketaan kaavalla 10.

$$\epsilon_k = \frac{T_o}{(T_l - T_o)} \quad (9)$$

$$\epsilon_l = \frac{T_l}{(T_l - T_o)} \quad (10)$$

ϵ_k on kylmäkerroin

ϵ_l on lämpökerroin

t_l on lauhtumislämpötila kelvinasteina

t_o on höyrystymislämpötila kelvinasteina

(273,15 K on 0 °C)

Carnot-prosessin kaavalla lasketaan kylmäkerroin ja lämpökerroin kylmäkellarille talven ja kesän mittausjaksoille. Talvella kylmiön lauhduttimen lämpötila on 35 °C ja höyrystimen lämpötila –9 °C. Kesällä lauhduttimen lämpötila on 50 °C ja höyrystimen lämpötila –2 °C. Hellepäivä, ulkolämpötilan ollessa 26 °C, nostatti lauhduttimen lämpötilan 54 °C:seen ja höyrystimen lämpötilan 4 °C:seen. Kylmiön hyötysuhteet häviöttömässä prosessissa on laskettu alla, kylmäkerroin kaavalla (8) ja lämpökerroin kaavalla (9).

Kylmäkerroin talvella:

$$(-9\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (35\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (-9\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 6$$

Kylmäkerroin kesällä:

$$(-2\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (50\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (-2\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 5,2$$

Kylmäkerroin hellepäivänä:

$$(3\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (54\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (3\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 5,4$$

Lämpökerroin talvella:

$$(35\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (35\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (-9\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 7$$

Lämpökerroin kesällä:

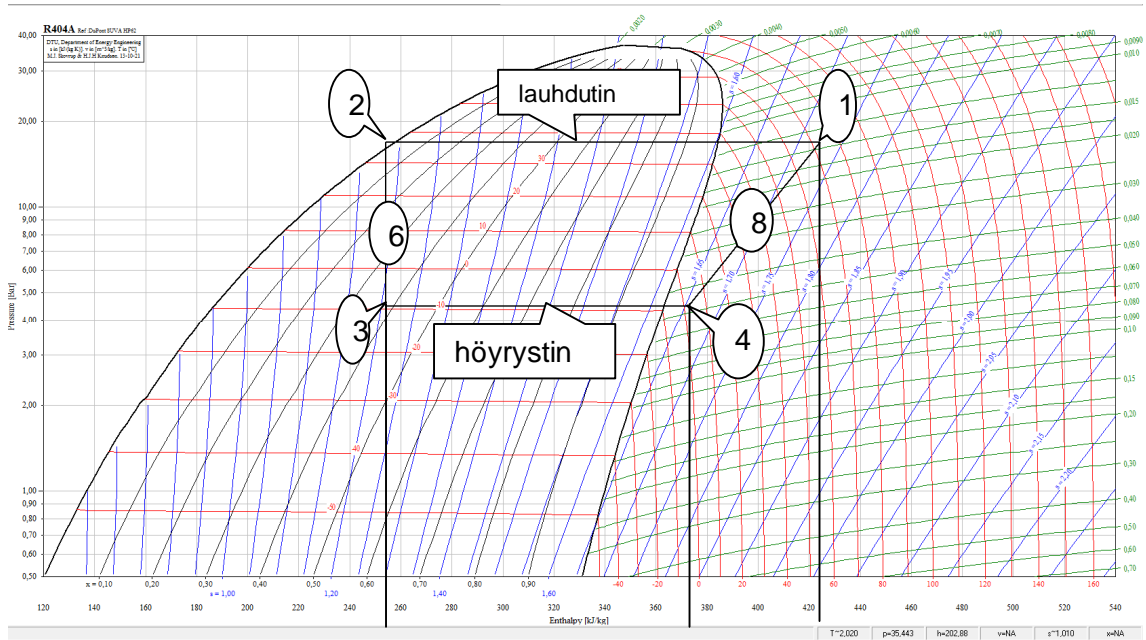
$$(50\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (50\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (-2\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 6,2$$

Lämpökerroin hellepäivänä:

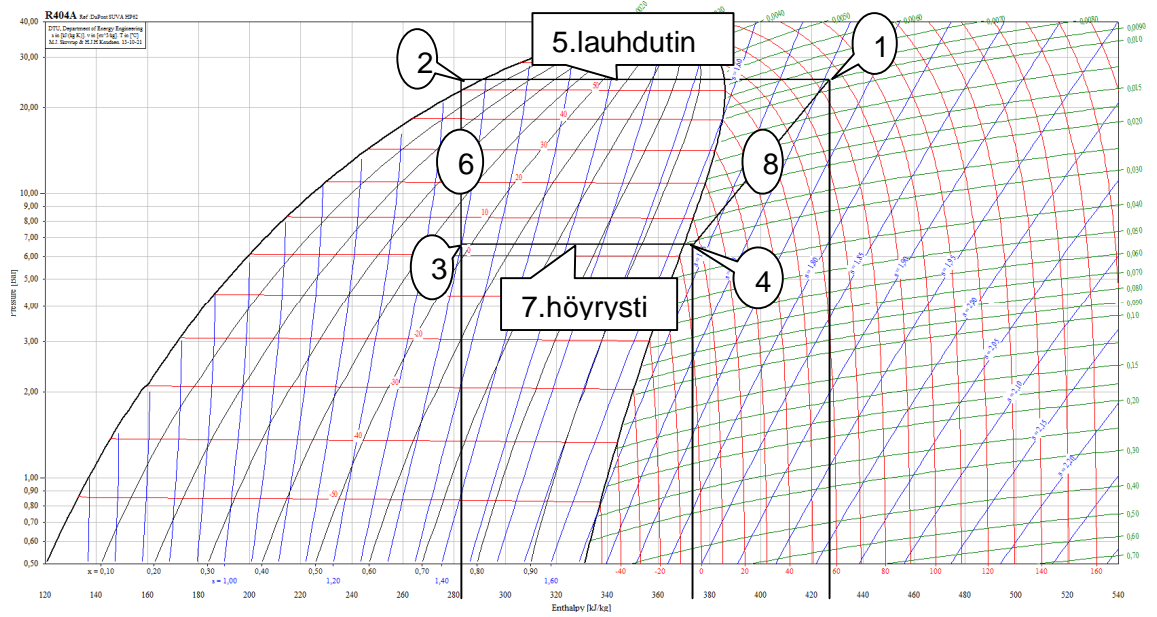
$$(54\text{ °C} + 273,15\text{ K}) / (54\text{ °C} + 273,15\text{ K} - (3\text{ °C} + 273,15\text{ K})) = 6,4$$

3.2 Kylmäkerroin kylmäaineen R404A log p, h -tilapiirroksen avulla

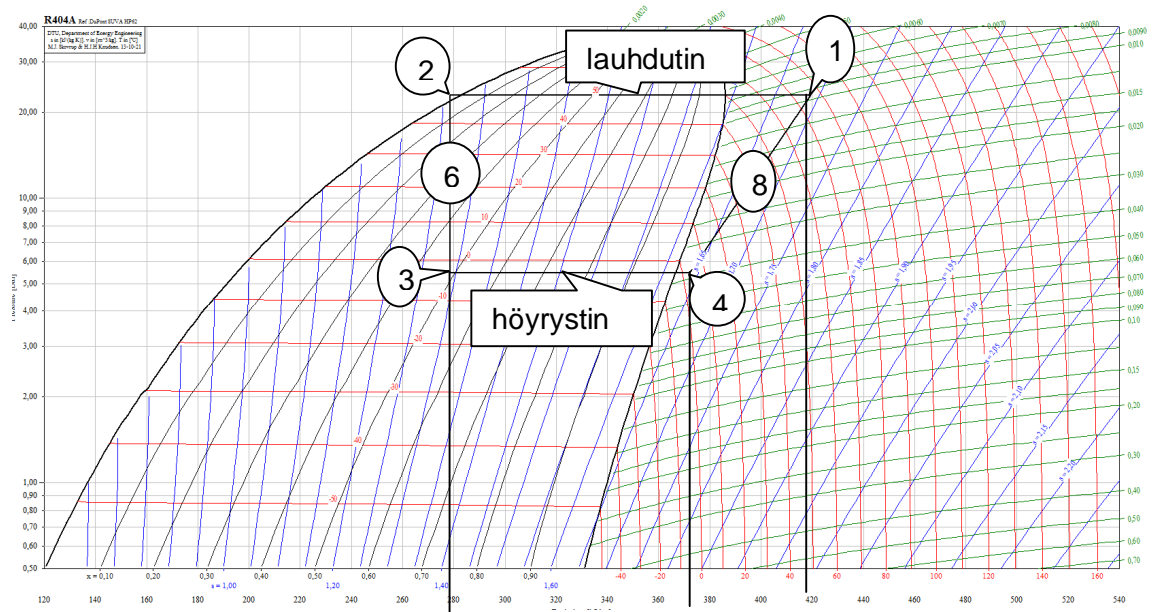
Hyötysuhde voidaan laskea piirtämällä kylmäaineen tilapiirroksen kiertoprosessi ja laskemalla se saaduista entalpia-arvojen suhteista. Kylmäkellarin talvipäivän ja kesäpäivän mittauksista valittiin hetkellinen tilanne, jolloin lämpötila-arvot olivat kiertoprosessissa pysyneet vakaina. Hellepäivän mittaustulokset otettiin tilanteesta, jona kompressorikoneikko kävi yhtenäisesti 40 min. Kuvissa 12–14 on teoreettinen kylmäprosessi piirrettynä log p, h -tilapiirroksiin. Kuvista näkyy ulkolämpötilan vaikutus prosessin lämpötiloihin. Kiertoprosessin lämpötilat ovat matalammat viileämmällä ulkoilmalla kuin ulkoilman ollessa lämmin.



Kuva 12. Kylmäaine R404A log p, h -tilapiirroksen piirretty talven kiertoprosessi



Kuva 13. Kylmäaine R404A log p, h -tilapiirroksen piirretty hellepäivän kiertoprosessi



Kuva 14. Kylmäaine R404A log p, h -tilapiirroksen piirretty kesäpäivän kiertoprosessi

Kuvien 12–14 mittapisteet

- 1 paineputken lämpötila
- 2 lauhdeputken lämpötila
- 3 nesteputken lämpötila
- 4 imuputken lämpötila
- 5 lauhduttimen lämpötila
- 6 paisuntaventtiilin sijainti prosessissa
- 7 höyrystimen lämpötila
- 8 kompressorin sijainti prosessissa

Taulukossa 4 on lueteltu kuvien 12–14 log p, h -tilapiirroksiin piirrettyihin kiertoprosesseihin oleellisin vaikuttavat lämpötilat.

Taulukko 4. Kiertoprosessin lämpötiloja eri päivinä

	1. Paineputki	2. Lauhdeputki	4. Imuputki	5. Lauhdutin	7. Höyrystin
Talvipäivä	73 °C	35 °C	2 °C	37 °C	−9 °C
Kesäpäivä	75 °C	48 °C	3 °C	50 °C	−3 °C
Hellepäivä	85 °C	50 °C	7 °C	54 °C	3 °C

Kylmälaitoksen tehokerroin on höyrystimen ottaman tai lauhduttimen luovuttaman lämpöenergian suhde puristustyön (kompressorin) ottamaan tehoon (8). Kuvista 12–14 saadaan kiertoprosessista eri laitteiden entalpia-arvot. Saaduilla entalpia-arvoilla lasketaan kylmäkertoimet kaavalla 11 ja lämpökertoimet lasketaan kaavalla 12.

ϵ_k on höyrystimessä tapahtuva entalpian muutos / kompressorissa tapahtuva entalpian muutos (11)

ϵ_v on lauhduttimessa tapahtuva entalpian muutos / kompressorissa tapahtuva entalpian muutos (12)

ϵ_k on kylmäkerroin.

ϵ_v on lämpökerroin.

entalpian muutos on kiertoprosessin entalpia-arvot log p, h -tilapiirroksista.

Kuvista 12–14 saaduilla entalpia-arvoilla lasketut hyötysuhteet:

Kylmäkerroin talvella:

$$(372 \text{ kJ / kg} - 252 \text{ kJ / kg}) / (425 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 2,3$$

Kylmäkerroin kesällä:

$$(372 \text{ kJ / kg} - 277 \text{ kJ / kg}) / (415 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 2,2$$

Kylmäkerroin hellepäivä:

$$(372 \text{ kJ / kg} - 283 \text{ kJ / kg}) / (425 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 1,7$$

Lämpökerroin talvella:

$$(425 \text{ kJ / kg} - 252 \text{ kJ / kg}) / (425 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 3,3$$

Lämpökerroin kesällä:

$$(415 \text{ kJ / kg} - 277 \text{ kJ / kg}) / (415 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 3,2$$

Lämpökerroin hellepäivä:

$$(425 \text{ kJ / kg} - 283 \text{ kJ / kg}) / (425 \text{ kJ / kg} - 372 \text{ kJ / kg}) = 2,7$$

3.3 Toteutuneen energiankulutuksen ja jäähdytystarpeen hyötysuhde

Laskemalla luvussa 2 esiintyvät jäähdytystehotarpeet yhteen saadaan selville, kuinka paljon jäähdytystehoa tarvitaan kylmäkellariin. Tätä laskelmaa vertailemalla toteutuneeseen energiankulutukseen saadaan selville hyötysuhde kierto-prosessille kaikkine häviöineen. Taulukkoon 9 on koottu luvussa 2 esiintyvät lämpökuormat, jotka kohdistuvat kylmäkellariin talvitilanteessa. Esimerkkikohteessa on hankalaa arvioida, tuoko vuotoilma jäähdyttävää ulkoilmaa vai tuleeko vuotoilma lämpimän käytävän puolelta. RakMK D5:n (9.3.3) mukaan maanalaisessa kellaritilassa ei ilmavuotoja yleensä tarvitse ottaa huomioon. Vuotoilmaa ei laskelmissa ole otettu huomioon.

Taulukko 5. Talvipäivän ulkoilman lämpötila $-5,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Kylmiön lämpötila $6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ovi	19 W
Ulkoseinät	-87 W
Sisäseinät	154 W
Katto	394 W
Ilmavaihto	-356 W
Valaistus	13 W
Vuotoilma	0 W
Oven aukaisu	37 W
Lattia	48 W
Tarvittava teho	222 W
Kompressorin mitattu keskiteho	-223 W

Taulukko 6. Kesäpäivän ulkoilman lämpötila 21,9 °C. Kylmiön lämpötila 6,3 °C

Ovi	34 W
Ulkoseinät	121 W
Sisäseinät	275 W
Katto	394 W
Ilmavaihto	486 W
Valaistus	13 W
Vuotoilma	0 W
Oven aukaisu	94 W
Lattia	48 W
Tarvittava teho	1465 W
Kompressorin mitattu keskiteho	-1 353 W

Kulutusmittarista luetun sähköenergian kulutuksen keskiarvo talvipäivänä on 223 W. Kesäpäivän sähköenergian kulutus keskiteholla oli 1 353 W. Toteutuneen sähkönkulutuksen kylmäkerroin lasketaan kaavalla (13).

$$\epsilon_{sk} = \frac{\varnothing_{säht}}{\varnothing_{sähk}} * \frac{t_u - t_m}{t_u - t_k} \quad (13)$$

ϵ_{sk} on sähkön kulutukseen verrattu kylmäkerroin

$\varnothing_{säht}$ on laskettu tehontarve kylmäkellarille

$\varnothing_{sähk}$ on kylmäkellariin käytetty keskiteho kulutusmittarista

t_u on ulkoilman lämpötila °C

t_m on mitattu kylmäkellarin keskilämpötila °C

t_k on kylmäkellarille asetettu keskilämpötila °C

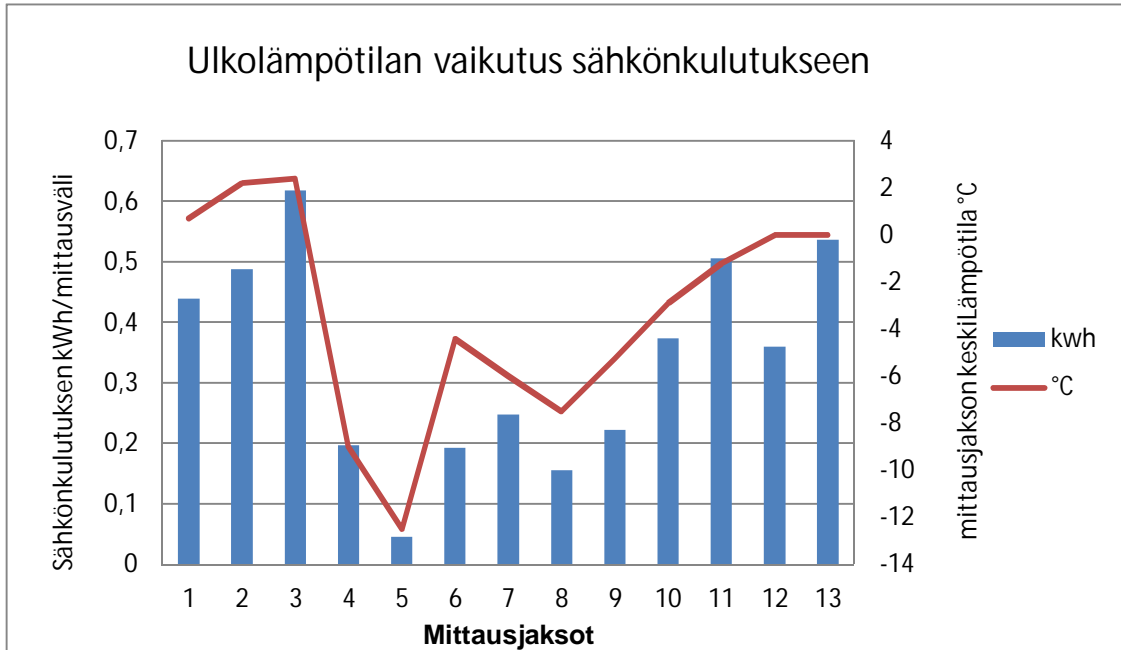
Kylmäkerroin laskettuna sähkön kulutuksella talvipäivänä.

$$\frac{222 \text{ W}}{223 \text{ W}} * \frac{-5,4 \text{ °C} - 6}{-5,4 \text{ °C} - 6} = 1$$

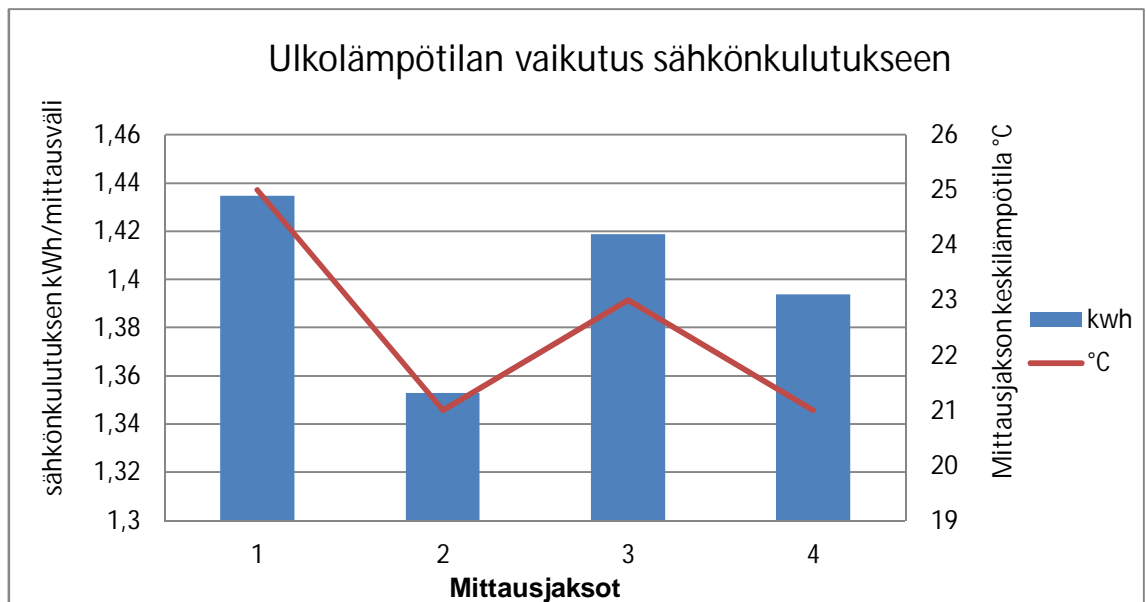
Kylmäkerroin laskettuna sähkön kulutuksella kesäpäivänä.

$$\frac{1465 \text{ W}}{1353 \text{ W}} * \frac{21,9 \text{ °C} - 6,3 \text{ °C}}{21,9 \text{ °C} - 6 \text{ °C}} = 1,06$$

Kuvassa 15 ja 16 havainnollistetaan ulkolämpötilan vaikutus sähkönkulutukseen. Kuvan 15 alareunassa näkyvät 13 mittausväliä eivät ole täydellisiä 24 tunnin jaksoja, vaan mittaria on luettu hieman eri aikoina päivän aikana.



Kuva 15. Talven mittausjakson lämpötilan ja sähkönkulutuksen seuranta.



Kuva 16. Kesän mittausjakson lämpötilan ja sähkönkulutuksen seuranta.

3.4 Yhteenveto hyötysuhteista

Kylmäaineen R404A log p, h -tilapiirroksista lasketut kylmäkertoimet ovat noin 2. Tarkasteltaessa hyötysuhdetta energiamittarista luetulla sähkön kulutuksella ja vertailemalla sitä laskennalliseen lämpökuormaan kylmäkertoimeksi saadaan 1. Tilapiirros ei anna tietoa kaikista prosessissa tapahtuvista häviöistä. Energiaa häviää prosessissa kompressorin käynnistymiseen ja mekaanisiin vastuksiin sekä sähkömoottorin hyötysuhteeseen. Energiaa kuluu myös putkiston painehäviöihin; esimerkiksi liian jyrkästi tehtyihin mutkiin, painumiin tai tukoksiin (7, s. 13). Lauhduttimessa oleva lika, rasva ja pöly nostavat lauhtumispainetta ja lisäävät energiankulutusta. Energiankulutuksen lisääntyminen voi johtua myös vähäisestä kylmäaineen määrästä. Höyrystimen likaisuus ja kasaan painuneet lamellit huonontavat jäähdytyksen tehoa ja lisäävät näin energiankulutusta (2, s. 199–214). Kompressorin on varustettu lämmitysvastuksella, joka on kytkettynä, kun kompressorin ei ole käynnissä. Lämmityksellä pyritään estämään kylmäaineen kerääntyminen kampikammioon kompressorin seisontajakson aikana ja pitämään öljy riittävän notkeana (2, s. 83–84). Lämmitysvastuksen energiankulutusta ei esimerkiksi pysty erittelemään. Kuvassa 15 mittausjaksolla 5 ulkoilman lämpötilan ollessa $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ kylmäkellariin ei kohdistu lämpökuormaa, mutta kompressorikoneikko käyttää myös tällöin sähköä. Talvitilanteessa tulisi pyrkiä saamaan jäähdytyslaitteisto käymään mahdollisimman pitkiä aikoja. Talvella voisi toisen höyrystimestä sulkea ja jäähdyttää kylmähuonetta vain yhdellä höyrystimellä. Tämä pidentäisi koneiston toiminta-aikaa ja vähentäisi lämmitysvastuksen tarvetta.

4 Sähköenergian kulutuksesta

4.1 Kompressorikoneiston energiankulutus

Kompressorikoneisto on sijoitettu sille erikseen valetulle noin 20 cm korkealle betonialustalle. Lauhduttimen jäähdyttäminen kesätilanteessa vaatii hyvän ilmanvaihdon lauhtutinhuoneeseen, varsinkin kun sen tilavuus on vain $16,8\text{ m}^3$. Lauhtutinhuoneessa on säleiköllä suljettava tuuletusikkuna. Tilaan tulee myös erillinen ilmastointikanava, joka tuo korvaavaa ilmaa lauhduttimen päälle. Ilmastointikanava suljetaan talveksi lämmöneristysvillalla. Talvella lauhtutinhuoneeseen virtaa kylmää ilmaa tuuletusikkunan säleikön välistä, ja siellä olevien vesijohtoputkien takia tilaan on sijoitettu sähköpat-

teri. Lauhdutinhuoneessa sähköllä toimivan lämpöpatterin käyttämä keskiteho on 570 W talven mittausjaksolla. Samalla mittaushetkellä kylmäkellarin kompressorin käyttämä sähkönkulutus keskiteholla on 223 W. Yhteensä energiaa kului 793 W tarkastellulla mittaushetkellä. Talvella lauhdutinhuoneessa sähkönkulutus on 57 % kesäpäivän sähkönkulutuksesta.

Esimerkkinä tarkastellaan, kuinka paljon sähköenergian kulutus on, jos kompressorikoneikko kävisi yhtäjaksoisesti kaikkina mittausjaksoina ja kylmiön lämpötila olisi sama. Kesäpäivänä kompressorin käy koko vuorokauden lukuun ottamatta sulatusjaksoja klo 22:20–0:10 ja 5:40–7:20. Kesäpäivänä lauhdutinhuoneen lämpötila on 37 °C, ja hellepäivänä lauhdutinhuoneen lämpötila nousee yli 40 °C:n. Hellepäivänä lauhdutin ei pysty jäädyttämään kylmäainetta riittävästi, jolloin kierto-rossin lämpötilat nousevat yli kriittisten rajojen. Hellepäivänä paineputkessa paine nousee yli 26 baarin, jolloin paine-kytkin pysäyttää kompressorin. Kahden minuutin päästä paine-kytkin on tasaantunut, ja kylmähuoneen termostaatti pyytää lisää jäädytystehoa kylmäkellariin. Kompressorin käynnistyy uudelleen. Hellepäivän tarkasteltuna 7 h:n käyntiajanjaksona kompressorin sammuu ja käynnistyy 50 kertaa. Voidaan laskea energiankulutus kylmäkellarin kompressorin käydessä, mutta ei pysähdyksissä oleville minuuteille. Tässä tarkastelussa hellepäivän mittausjakson pituus on 8 h eli 480 minuuttia. Tästä ajasta 64 minuuttia kompressorin oli pysähtynyt. Yhden kesäpäivän mittausjakson pituus on 8 h 30 min, ja kompressorin käy tasaisesti koko ajan. Talven mittausjakson pituus on 88 h 21 min, ja kompressorin käy 856 minuuttia. Lasketaan käyntiajalle energiankulutus ja kuinka paljon energiaa kuluisi siihen, että saataisiin kylmiön lämpötila 6 °C:seen. Sähköenergian kulutus käyntiajalle lasketaan kaavalla (14).

$$\epsilon_{ka} = \frac{\emptyset_{s\ddot{a}hk} * M_{min}}{K_{min}} * \frac{t_u - t_k}{t_u - t_m} \quad (14)$$

ϵ_{ka} on sähköenergian kulutus käyntiajalle

$\emptyset_{s\ddot{a}hk}$ on kompressorin mitattu keskiteho W

M_{min} on mittausjakson minuuttimäärä

K_{min} on mittausjakson kompressorin käynti aika minuutteina

t_u on ulkoilman lämpötila °C

t_m on mitattu kylmäkellarin keskilämpötila °C

tk on kylmäkellarille asetettu keskilämpötila °C

Sähköenergian kulutus käyntiajalle talvipäivänä:

$$\frac{223 \text{ W} \cdot 5301 \text{ min}}{856 \text{ min}} * \frac{-5,4^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}}{-5,4^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}} = 1\,361 \text{ W}$$

Sähköenergian kulutus käyntiajalle kesäpäivänä:

$$\frac{1353 \text{ W} \cdot 510 \text{ min}}{510 \text{ min}} * \frac{21,9^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}}{21,9^{\circ}\text{C} - 6,3^{\circ}\text{C}} = 1\,379 \text{ W}$$

Sähköenergian kulutus käyntiajalle hellepäivänä:

$$\frac{1250 \text{ W} \cdot 480 \text{ min}}{416 \text{ min}} * \frac{26,6^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}}{26,6^{\circ}\text{C} - 7,9^{\circ}\text{C}} = 1\,568 \text{ W}$$

4.2 Yhteenveto sähkönkulutuksesta.

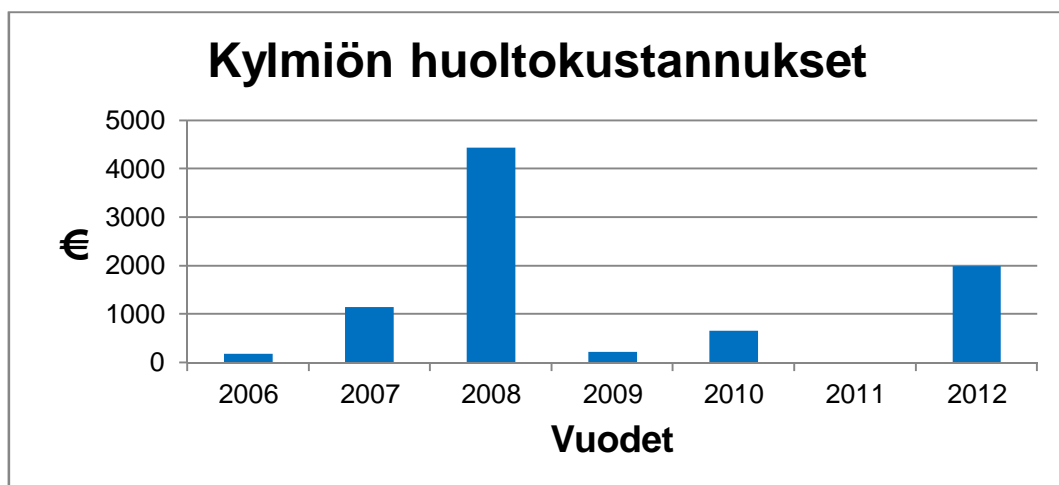
Hellepäivän useat kompressorin käynnistymiset ja sammumiset kuluttavat paljon energiaa verrattuna tavallisen kesäpäivän tasaiseen käyntiin. Pahimpina hetkinä kompressorilla hellepäivänä kävi viisi minuuttia ja oli sammuneena kaksi minuuttia, kunnes käynnistyi uudelleen. Tämän kaltaista katkokäyntiä jatkui useita tunteja. Hellepäivät varmasti kuluttavat kompressoria käynnistysten takia myös mekaanisesti, mikä aiheuttaa laitteen nopeamman rikkoutumisen. Lauhdutinhuoneen lämpötilan nousu 37 °C:sta 40 °C:seen kuluttaa energiaa 1,34 kertaa enemmän. Lauhdutinhuoneen ilmanvaihtuvuutta voitaisiin tehostaa puhaltimen avulla. Tämän tarkastelun avulla voidaan päätellä, että kompressorikoneikon sähkönkulutus on 1 400 W sen käydessä.

5 Kylmäkellarin kustannuksista

Kylmiön käyttäjinä on 32 asuntoa ja vuoden yhteenlaskettu energiankulutus on 7,3 MWh vuodessa ja kustannuksiltaan 820 €/a/talo. Asuntoa kohden kylmiön sähkön vuosikustannus on 26 €/asunto. Tyypillisen omakotitalon kotitaloussähkön vuosikäyttö on 5 MWh (9). Asuntoa kohden kustannus ei mielestäni ole niin korkea, että sähkönkulutuksen pienentämiseksi suuriin rakenteellisiin muutoksiin kannattaisi ryhtyä. Asun-

tokohtaisten jää/viileäkaappien ja pakastimien yleistymisen myötä voidaan kysyä, onko kerrostalokylmiö menettänyt tarpeellisuutensa tuotteiden jäähdyttämiseen?

Taloyhtiön kaikissa kolmessa rapussa on oma kylmiönsä. Kirjanpidossa ei pystytty erittelemään, mille kylmiölle kukin huoltolasku kohdistuu. Kylmiöiden huoltolaskuista löytyi tiedot vuosilta 2006–2012. Taloyhtiössä lopetettiin B-talon kylmäkellarin jäähdyttäminen vuonna 2008 kompressorin hajoamiseen. Huoltokustannukset jaettiin vuosina 2006–2007 kolmelle ja 2008–2012 kahdelle kylmähuoltopisteelle. Huoltokustannukset lisäsivät kylmiön kustannuksia vuosina 2006–2012 keskimäärin 685 €/a/talo. Huoltokustannukset olisivat nousseet sähkönkulutuksen tasolle, jos B-talon kompressorin olisi uusittu ja tämä kustannus olisi lisätty huoltokustannuksiin. Kylmiön energiankulutuksesta ja huolloista muodostuu taloyhtiölle 1 500 €n vuosikustannus, eli kustannuksena noin 50 €/huoneisto vuodessa. Kustannukset eivät ole niin suuret, että niitä saisi oleellisesti pudotettua korjaustoimenpitein. Haastatellun isännöitsijän mukaan kylmiön uudistaminen maksaa noin 10 000 € (1). Halvin ja paras vaihtoehto olisi liittää kesän ajaksi lauhdutinhuoneen ikkunaan puhallin, mikä tehostaisi ilmanvaihtoa hellepäivänä. Talvilanteessa kannattaisi sulkea ovirako kellarikäytävälle ja lisätä tuuletusikkunaan esimerkiksi villaeriste. Tämä edesauttaisi pitämään lauhduttimen luovuttama lämpö paremmin lauhdutinhuoneessa. Lauhdutuslämmön siirtymisen estäminen vähentäisi sähköisen lämpöpatterin käyttöä. Kuvassa 17 on huoltokustannusten jakautuminen eri vuosille.



Kuva 17. Huoltokustannusten jakautuminen eri vuosille

6 Kylmäkellarin jäähdytysjärjestelmän putkistomitoitus

Jäähdytysjärjestelmän putkiston asentaja on asentanut kupariputket, nesteputken ja imuputken kiinni toisiinsa noin 15 metrin matkalla höyrystimelle. Tästä seuraa se hyöty, että nesteputki siirtää lämpöä imuputkeen, joka tämän lämmön avulla tulistuu korkeampaan lämpötilaan ja lisää kylmätehoa ja varmistaa sen, että kompressorille tulee pelkkää höyryä. Nesteputken jäähtyminen alijäähdyttää kylmänestettä mikä taas auttaa paisuntaventtiilin toimintaa. Paisuntaventtiilille pitäisi tulla pelkkää nestettä, jolloin se toimii suuremmalla kylmä-ainevirtauksella ja tuottaa paisuntaventtiilille suunnitellun teho vaatimuksen. Alijäähdytys mahdollistaa suuremman putkistossa tapahtuvan painehäviön (pitempi putkimatka tai putkinousu) niin, että neste ei rupea kaasuuntumaan eikä vähennä putkistossa virtaavan aineen määrää (7, s. 18). Saksassa R404A-laitoksiin on pääsääntöisesti asennettu lämmönvaihdin neste- ja imukaasuputken välille. Saavutettu hyöty maksaa lämmönvaihtimesta aiheutuneet kustannukset hyvin nopeasti takaisin (8, s. 226).

Hellepäivänä kylmäkellarissa jäähdytysteho ei riittänyt pitämään lämpötilaa asetusravolueella 5–7 °C. Pahimmillaan kylmäkellarin lämpötila kohosi 12 °C:seen. Kylmäkellarin putkisto on tehty kupariputkesta. Putkien ulkomitat ja pituudet on esitetty taulukossa 11. Putkiston kapasiteetin riittävyttä tarkasteltiin Kylmälaitoksen suunnittelu -kirjan (7) mukaisesti, ja tarkastelun perusteella putkistossa pystyisi kulkemaan 1,5 kertaa nykyinen energiamäärä. Kylmäkellarin jäähdytystehon riittämättömyys hellepäivänä ei johdu väärästä putkistomitoituksesta. Taulukossa 7 on esitetty kylmäkellarin kupariputkien ulkomittoja ja pituuksia.

Taulukko 7. Kylmiön kiertoprosessin kupariputkien ulkohalkaisijat ja pituudet

	Ulkomitta	Pituus
Paineputki	10 mm	1,2 m
Lauhdeputki	10 mm	0,8 m
Yhteinen nesteputki	10 mm	8,2 m
Nesteputki höyrystin 1	6 mm	2,5 m
Nesteputki höyrystin 2	6 mm	6,7 m
Yhteinen imuputki	15 mm	8,2 m
Imuputki höyrystin 1	12 mm	2,5 m
Imuputki höyrystin 2	12 mm	6,7 m

7 Mitä mahdollisuuksia on kehittää nykyistä laitteistoa paremmaksi?

Mittaustulosten perusteella tärkein energiankulutusta ja huoltokustannuksia laskeva tekijä olisi lauhduttimen siirtäminen suurempaan tilaan. Talossa B olisi mahdollista sijoittaa lauhdutin pyykinkuivaushuoneeseen. Pyykkituvassa on sähköllä toimivat lämpöpatterilliset puhaltimet kuivaamassa pyykkiä ja lisäämässä ilman kiertoa. Lauhdutin voisi mahdollisesti korvata toisen puhaltimista.

8 Kylmiön tarve

8.1 Kylmiön tarpeellisuus

Kylmiön kehittämisessä kannattaisi lähteä liikkeelle siitä, onko kylmäsäilytystilalle oikeasti tarvetta. Onko tarve niin suuri, että sitä kannattaa ylläpitää 1 500 €n vuosikustannuksista huolimatta? Tiloja muuttamalla ne voidaan saada muunlaiseen hyötykäyttöön, esimerkiksi pienyritystoimintaan. Tällä tavoin kustannus voidaan muuttaa lähipalveluiksi ja tuloksi.

8.2 Yhtiöjärjestyksen vaikutus kylmäkellarin muutoksiin

Kylmäkellareiden poistaminen käytöstä tai muuttaminen muuhun tarkoitukseen ei ole kovin helppoa. Omistusasuntojen yhtiöjärjestyksessä oleva maininta kylmäkellarin kuulumisesta osakkeeseen vaatii käytännössä kaikkien osakkaiden hyväksynnän muutoksille. Yhtiöjärjestyksessä on määritelty määräenemmistövaatimus yhtiökokoukselle; usein se on 2/3 osakkeista, mutta vaatimuksena voi olla myös yksimielinen päätös. Määräenemmistöpäätöskään ei vielä tee päätöksestä laillista. Kylmiön muutoksiin tulee hakea vielä erillisuostumus niiltä osakkailta, jotka eivät osallistuneet päätöksen tekemiseen yhtiökokoukseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kylmiöihin tulevat muutokset vaativat kaikkien osakkeenomistajien suostumuksen. Enemmistöpäätöksellä varastotiloja voidaan uudelleen sijoittaa tai niihin tehdä kohtuullisia kokomuutoksia, mikäli kaikki muutokset tehdään yhdenvertaisesti kaikkien osakkaiden kesken. On mahdollista tehdä muutokset yhtiöjärjestyksessä olevan enemmistön päätöksellä, jos varastotilaa ei ole yksilöity osakkeeseen esimerkiksi merkitsemällä kellarikomero kuulumaan tiettyyn osakkeeseen merkinnällä 1 (kuuluu asuntoon 1).(10.)

Mikäli yhtiöjärjestyksessä ei mainita kylmiön kuulumisesta osakkeeseen, vaan taloyhtiö luovuttaa asukkaille käyttöoikeuden kylmäkellariin, voidaan kylmäkellarin muutokset tehdä yhtiöjärjestyksessä olevalla enemmistöpäätöksellä (10).

9 Kylmiön kehitysidea

9.1 Yleistä verkkokaupasta

Verkkokauppa on kehittynyt Suomessa suotuisasti. Vuoden 2007 myynti oli noin 2,6 miljardia euroa, ja vuonna 2011 sen arvo oli jo 5,1 miljardia euroa (11). Elintarvikkeiden verkkokaupassa myynti oli 56 miljoonaa euroa vuonna 2012. Britanniassa suurin tuoteryhmä verkko-ostoksista on ruoka ja juoma (12). Jos suomalaiset ostaisivat elintarvikkeita verkosta yhtä paljon kuin Britanniassa henkilöä kohden, verkkokaupan arvo elintarvikkeiden osalta olisi Suomessa 760 miljoonaa euroa.

9.2 Kerrostalokylmiö vahvistaa verkkokaupan toimitusketjua

Kylmiöistä tulisi kehittää tehokkaampia ja käyttäjäystävällisempiä, ns. verkkokaupan palvelupisteitä. Kylmiöt toimisivat silloin lyhyen ajan kylmävarastoinnin pisteinä. Toimintaperiaate olisi seuraava: Asukas tilaa kaupasta elintarvikkeita kotiin kuljetettuna. Kauppias toimittaa elintarvikkeet taloyhtiön palvelutilaan, esimerkiksi ovikoodin avulla, ja jättää elintarvikkeet lukittavaan kylmäsäilytyskaappiin. Kuvatun kaltaisen toimitusketjun etuna verrattuna nykyiseen olisi kauppiaille se, että toimitukset voitaisiin viedä perille riippumatta siitä, onko asiakas paikalla vai ei. Kauppias saisi lisää aikaa elintarvikkeiden kuljettamiselle perille, mikä mahdollistaisi tehokkaamman logistisen suunnittelun. Asukas voisi noutaa tavarat silloin, kun se parhaiten hänelle sopii. Tällä hetkellä asukkaalle annetaan 2–3 tunnin aikaväli, jolloin hänen pitää olla kotona vastaanottamassa lähetys. Palvelutilaan kannattaa suunnitella tavaranjättöpiste myös muille kuin elintarvikkeille.

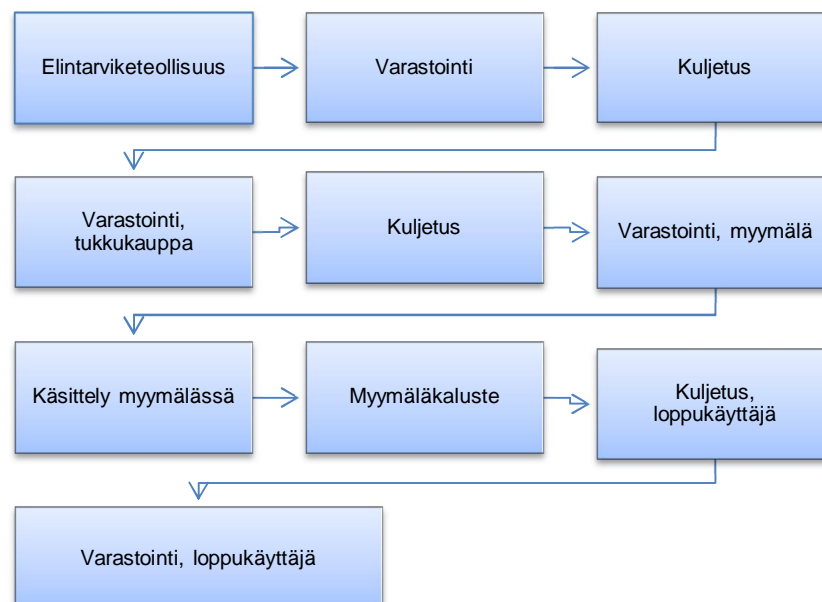
Keskustelin taloyhtiön teknisen isännöitsijän Tom Westerlundin kanssa hänen näemyksistään nettikaupasta ja postipakettien toimittamisesta. Hänen mielestään olisi lisäksi hyvä, että myös tavallinen kirjeposti jätettäisiin tällaiseen tilaan. Kirjepostin jättämisellä alakerran postilaatikkoon saavutettaisiin parempi suoja asukkaille, koska asun-

tojen ovissa ei tarvittaisi luukkua postia varten. Tällä ratkaisulla äänien kantautuminen huoneistosta portaikkoon pienenesi, ja ilman vaihtuminen rappukäytävän ja huoneiston kesken saataisiin hallittua. Tämä puolestaan vähentäisi hajujen kulkeutumista huoneistosta toiseen ja edesauttaisi paloturvallisuutta. Lisäksi yksi murtoreitti asuntoon poistuisi.

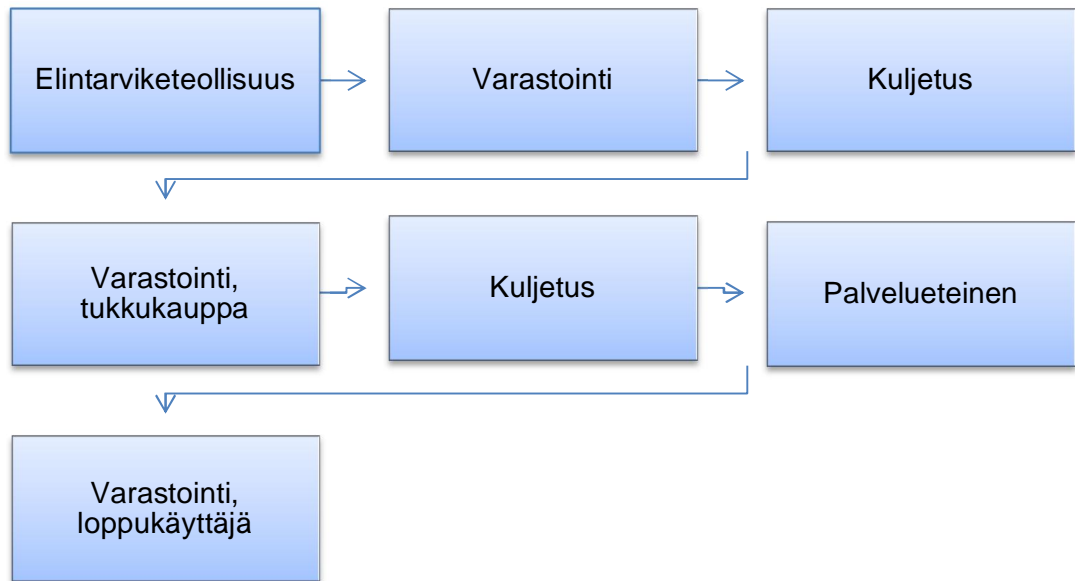
Kun kirjeiden ja erilaisten tuotteiden säilytys yhdistettäisiin viihtyisään ja turvalliseen tilaan, asukkaiden keskinäinen kohtaaminen lisääntyisi ja ihmiset tutustuisivat toisiinsa, mikä suotuisassa tapauksessa lisäisi yhteisöllisyyttä. Tällä tavoin kehitettynä kerrostalokylmiöt palvelisivat nykyistä paremmin asukkaita ja säilyttäisivät asemansa tulevaisuudessakin.

10 Palvelutilaan suunnitellun kylmiön energiankulutus

Uudenlaisen kylmiön energiankulutuksen välillisenä vähennyksenä voidaan pitää myös sitä, että nykyistä kylmäsäilytystä vaativien elintarvikkeiden kylmäketjua voidaan pienentää, mikä on esitetty kuvassa 18 (13). Palvelutilan kylmäketjusta pystyttäisiin jättämään muutama käsittelyvaihe pois verrattuna nykyiseen. Palvelutilan kylmäketju on esitetty kuvassa 19.



Kuva 18. Nykyisen kylmäketjun käsittelyvaiheet (13, muokattu)



Kuva 19. Palvelueteinen yhdistettynä elintarvikkeiden verkkokauppaan vähentäisi energian kulutusta matkalla kuluttajalle.

Palvelutila-vaihtoehdossa elintarvikkeiden kylmäketjua on mahdollista lyhentää, jolloin se säilyy varmemmin katkeamattomana ja tuotteet saavuttavat kuluttajan nopeammin ja tuoreempina. Tuotteiden säilytystä tukkukaupassa pystytään hoitamaan paremmin kylmäsäilytykselle tehdyissä tiloissa kuin nyt kaupan kylmäpalveluaitaissa (13).

Arvioidaan palvelutilan kylmiön energiankulutusta otaksuen, että jokaiselle huoneistolle varattaisiin oma lokero, johon mahtuisi 4 kauppakassillista tuotteita. Kylmälokeroon koko voisi tällöin olla $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,22 \text{ m}^3$ (leveys x korkeus x syvyys) ja esimerkkitalon kylmiön tarve olisi $0,22 \text{ m}^3/\text{huoneisto} \times 32 \text{ huoneistoa} = \text{n. } 7 \text{ m}^3$ kylmiö. Lokeroita voisi olla 3 kpl päällekkäin, jolloin lokerikon pituus olisi noin 7 metriä. Seinien lämmönläpäisykertoimeksi arvioidaan $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vastaa 100 mm:ä suulakepuristettua solumuovilevyä) ja oviseinälle $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (10). Pinta-alat: Katto $0,6 \text{ m} \times 7 \text{ m} = 5,6 \text{ m}^2$ ja lattia $5,6 \text{ m}^2$. Seinät: $0,8 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} \times 2 \text{ kpl} = 4 \text{ m}^2$ ja $7 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} = 17 \text{ m}^2$. Oviseinä: 17 m^2 . Laskelmat perustuvat seuraaviin oletuksiin:

- asukastilan lämpötila: $23 \text{ }^\circ\text{C}$
- asukastilan ilman kosteusprosentti: 50 %
- kylmäkaapin lämpötila: $6 \text{ }^\circ\text{C}$
- kylmäkaapin kosteusprosentti: 80 %.

Lämpöhäviö seinät katto, lattia (laskettu kaavan 3 mukaan)

$$0,4 \text{ W/m}^2\text{K} * 32 \text{ m}^2 * (23 - 6) \text{ }^\circ\text{C} = 218 \text{ W}$$

Oviseinän lämpöhäviö (laskettu kaavan 3 mukaan)

$$0,6 \text{ W/m}^2\text{K} * 17 \text{ m}^2 * (23 - 6) \text{ }^\circ\text{C} = 173 \text{ W}$$

Oven avaamisesta aiheutuva lämpöhäviöilma vaihtuu lokerikossa 2 kertaa vuorokaudessa. Kosteusprosentilla 50 saadaan lämpötilan 23 °C kohdalta Mollier-diagrammista 53 kJ/kg ja lokerikon sisälämpötilalla 6 °C entalpiaksi tulee 21 kJ/kg

$$(2 \text{ krt} * 7 \text{ m}^3 * 1,2 \text{ kg/ m}^3 * (53 - 21) \text{ KJ/Kg}) / (24 \text{ h} * 3600) = 6 \text{ W}$$

Palvelutilan kylmälokerikkoon toimitettavien tuotteiden jäähdytystehotarpeen laskeminen. Yhteen lokeroon arvioidaan mahtuvan enintään 20 kg elintarvikkeita. Esimerkiksi sukastilan kylmiöön mahtuu enintään 20 kg x 32 lokeroa eli 640 kg elintarvikkeita. Oletetaan suurimmillaan tuotevaihdon olevan 100 kg vuorokaudessa. Kylmälokerikkoon toimitettavien tuotteiden alkulämpötilan oletetaan olevan 18 °C. Elintarvikkeiden jäähdyttämisen kuluttama energia lasketaan kaavalla 15:

$$P = \frac{mt*ct*(tt-tj)}{tt*3600} \quad (15)$$

P on tuotteiden kylmätehon tarve ennen jäähtymistä (kW)

mt on jäähdytettävä tuotemäärä (kg)

tt on jäähdytysaika (h)

ct on tuotteen ominaislämpö ennen jäähtymistä (kJ/kg °C)

tt on tuotteen tulolämpötila (°C)

tj on tuotteen jäähdytyksen loppulämpötila (°C)

$$\frac{100 \text{ kg} * 3,25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (18^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C})}{1 \text{ h} * 3600 \text{ s}} = 1,083 \text{ kW}$$

Palvelueteisen jäähdytystehon tarve vuorokaudessa

$$(218 \text{ W} + 173 \text{ W} + 6 \text{ W}) \times 24 \text{ h} = 9\,528 \text{ Wh/d} + 1\,083 \text{ Wh/d}$$

$$1\,083 \text{ Wh/d} + 9\,528 \text{ Wh/d} = 10\,611 \text{ Wh/d}$$

Kylmäkaapin energiankulutuksen keskiarvo on

$$10\,611 \text{ Wh/d} / 24 \text{ h} = 442 \text{ W.}$$

Kylmäkaapin tehoa pitää lisätä höyrytimen sulatuksen vaatiman ajan verran 1 h/d. Tällöin höyrytimestä pitäisi saada tehoa

$$10\,611 \text{ Wh/d} / 23 \text{ h} = 461 \text{ W}$$

Käytettäessä kylmäkerrointa 3 kylmäkaapin vaatima sähköteho on $461 \text{ W} / 3 = 115 \text{ W}$. Tämä kerrottuna vuoden tunneilla 8 760 h tarkoittaa, että kylmiön energiankulutus on vuodessa 1 291 kWh. Kylmälokerikon energiakustannukset ovat 156 €/a. Voidaan olettaa, että huoltokustannukset myös pienenisivät laitteiston pienemmän tehon ja koon vuoksi. Huoltokustannusten puolittuminen merkitsisi sitä, että 10 000 € maksava lokerikko maksaisi säästyneinä kustannuksina itsensä takaisin 10 vuodessa. Kylmiön kustannus sähkönkulutuksen osalta olisi 5 €/a/huoneisto. Sähköenergiaa säästyisi 6 MWh/a.

Kylmälokerikon hyötysuhdetta voitaisiin parantaa vielä sillä, että eristetyn seinän sisälle puhallettaisiin kylmää ulkoilmaa, kun se saavuttaisi sisälämpötilaa alemman lämpötilan. Teknisesti kiertävä ilma eristekerroksessa aiheuttaisi monimutkaisemman rakenteen.

11 Verkkokauppioiden näkemyksiä

11.1 Verkkokauppiasta ja näkemyksiä alasta

Elintarvikkeiden verkkokauppa kuuluu olennaisena osana palvelua tulevaisuudessa. Tämän vahvistaa verkkokaupan kasvu muualla Euroopassa. Elintarvikkeiden verkkokauppaa markkinoidaan Keski-Euroopassa, ja sen myötä kuluttajien tietoisuus palvelusta on lisääntynyt. Suomessa olematon markkinointi heijastuu alan myyntiin. Kauppa on Suomessa vielä kotimaisissa käsissä. Ennen pitkää kuitenkin eurooppalaiset toimijat tulevat Suomen markkinoille tuotemerkeineen. Tuleeko ulkomaisista kauppiasta markkinajohtajia verkkokaupassa, jos suomalaiset toimijat eivät panosta tuotemerkin ja palvelun tunnetuksi tekemiseen? Mielestäni elintarvikkeiden verkkokauppa sopii erityisen hyvin harvaan asuttuun Suomeen. Suomessa on puhuttu kyläkauppojen lakkautuksista, ja asukkaat joutuvat nykyään hankkimaan elintarvikkeensa kauempaa. Verkkokauppa muuttaa tilannetta niin, että kauppa onkin tullut asiakkaan kotipäätteelle eikä kuluttajan tarvitse tyytyä kyläkaupan pieniin valikoimiin. Valikoimat ovat moninkertaisesti keskusvarastojen kokoisiksi. 24 tunnin kuluttua tilauksesta tuotteet ovat kuluttajan keittiössä missä päin Suomea tahansa.

Kaksi haastatelluista yrityksistä on suuria suomalaisia elintarvikeyrityksiä. Kolmas yrityksistä on toiminut alalla kymmenisen vuotta ja toimii tukkukaupan yhteydessä. Suomessa elintarvikkeiden verkkokauppiat hakevat oikeaa toimintamallia. Kauppiat miettivät, miten jakelu ja keräily saataisiin toimimaan kilpailijoita kannattavammin ja hakevat oppia alasta. Kilpailu elintarvikkeiden verkkokaupassa on Suomessa kovaa verrattaessa sitä näin pieneen myyntiin. Pyritään pysymään markkinoilla, jotta eivät kilpailijat pääsisi lisäämään markkinaosuuksiaan. Suuria tappioita vältetään kuitenkin tekemästä. Kauppiat uskovat selkeästi alaan ja pyrkivät pysymään kilpailussa mukana. Yhtenä mielenkiintoisena toimijana on myös elintarviketeollisuus ja sen suhtautuminen verkkokauppaan osana omaa toimintaansa. Verkkokauppiat voivat kilpailuttaa maitonsa vaikka Tanskasta tuotuun, koska heitä tuskin sitovat myyntisopimukset suomalaisiin elintarviketeollisuuden yrityksiin. Kuluttajille tämä antaa mahdollisuuden valita hinnaltaan ja laadultaan parempia tuotteita.

11.2 Puhelinhaastattelu

Puhelinhaastattelussa pyrittiin selvittämään elintarvikkeiden verkkokauppaa harjoittavilta toimijoilta, miten he suhtautuvat luvussa 9 kuvattuun toimintatapaan. Mitä asioita kauppiaiden näkökulmasta pitäisi ottaa huomioon palvelutilakonseptiin siirryttäessä? Internetistä valittiin sattumanvaraisesti neljä elintarvikkeiden verkkokauppiasta, joilta pyydettiin haastattelua. Kolme kauppiasta neljästä suostui puhelinhaastatteluun. Heiltä kysyttiin seuraavat kysymykset:

- 1. Suurimmat ongelmat elintarvikkeiden nettikaupassa?
- 2. Verkkokaupan edut verrattuna tavalliseen elintarvikekauppaan?
- 3. Toimitusten, kuljetusten ja vastaanoton onnistuminen?
- 4. Tulevaisuuden näkymät ja kasvun odotukset?
- 5. Keskittykö verkkokauppa suurille toimijoille vai antaako verkossa myynti mahdollisuuden myös pienille?
- 6. Millaisia elintarvikkeita verkossa myydään?
- 7. Mitä asioita tulisi parantaa kaupan kannalta?
- 8. Kuinka tärkeänä pidätte sitä, että taloissa olisi lukollinen asuntokohtainen kylmävarasto, jonne kauppa sovitun aikahaarukan puitteissa toimittaa elintarvikkeet? 5 = Erittäin tärkeä, 1 = Lähes merkityksetön.
 - a) Kaupan liiketoiminnan kannalta
 - b) Kaupan logistiikan kannalta
 - c) Elintarvikkeiden nettikaupan laajenemisen kannalta.
- 9. Mitä riskejä tai huonoja puolia näette edellisen kysymyksen toimintatavassa?

11.3 Verkkokauppioiden vastauksia

Suurimmiksi ongelmiksi verkkokauppiat mainitsivat logistiikan ja kulurakenteen. Ongelmia aiheutti myös se, jos asiakkaan tilaama tuote on päässyt loppumaan. Korkea kulurakenne elintarvikkeiden verkkokaupassa johtuu suuresta käsin tehtävästä työstä. Eniten aikaa vievät työvaiheet ovat tuotteiden keräily myymälässä ja toimitukset asiakkaille. Esimerkiksi ulkomaisilla elintarvikkeita myyvillä verkkokauppiilla keräily- ja kuljetuskustannusten osuus liikevaihdosta on Amazonilla 10,4 % ja Ocadolla 25,4 % (14).

Logistiikka vaatii täsmällisyyttä ja suunnitelmallisuutta, koska asiakkaille on toimitettava tuotteet luvatus 2–3 tunnin aikana. Asiakkaiden mielikuvat tuotteista koettiin myös haastavina. Verkkokaupasta tuotteita tilaava asiakas ei ole valmis kokeilemaan hieman tuntemattomampien valmistajien tuotteita, vaan valitsee tilausta tehdessään hyvin markkinoidut ja tunnetut tuotteet. Tämä on osaltaan jo vaikuttanut siihen, että tarjonta eri tuoteryhmissä on supistunut.

Verkkokaupan mahdollisuutta yksinkertaisempaan toimitusketjuun ei Suomessa käytetä, koska elintarvikkeiden myynti verkossa on vielä pientä. Elintarvikkeiden toimitusketju on sama kuin tavallisissa elintarvikekaupoissa. Kun elintarvikkeiden verkkokaupasta tilataan tuotteita, ne kerätään kaupan hyllyistä ja toimitetaan asiakkaalle.

Kaikki haastatellut yritykset eivät pitäneet kuljetuksen ja vastaanoton onnistumista ongelmallisena. Kuljetus tapahtuu lämpöeristetyissä laatikoissa tai autossa olevassa kylmätilassa. Tilaukset toimittaa eri yritys kuin se, joka netissä tilauksen vastaanottaa ja keräilee. Kuljetuskustannus pääkaupunkiseudulla on 6,90–15,95 euroa. Ostoksia tehdessään asiakkaat kirjautuvat tilausjärjestelmään, ja heidän tunnistetietonsa ovat tarkat. Asiakkaille on selkeät ohjeet siitä, miten tilausten toimitus on järjestetty, ja he ovat sitoutuneet olemaan paikalla vastaanottamassa lähetystä.

Vastaajat uskoivat, että elintarvikkeiden myynnin määrä on ylittänyt kannattavuusrajan. Toiminta on ollut aikaisemmin tappiollista. Yksi haastatelluista totesi, että elintarvikkeiden nettikauppa vahvistuu ja kuuluu asiakkaiden palveluun nyky Suomessa. Tätä näkemystä tukevat tutkimukset elintarvikkeiden verkkokaupan kasvusta. Kaupan liiton mukaan (14) verkkokaupan kasvu on ollut erityisen nopeaa elintarvikkeiden tuoteryhmässä, joka kasvoi lähes 80 prosenttia edellisvuodesta.

Elintarvikkeiden myyntiä pidetään verkossa myytävistä tuotteista kaikista haasteellisimpana. Kilpailun uskotaan lisääntyvän, koska kyseessä on kasvava ala. Elintarvikkeiden verkkokaupassa kulut ovat suuret, mikä rajoittaa pienten toimijoiden tuloa markkinoille. Riskinä kilpailulle on kuljetusten keskittyminen yhdelle toimijalle. Pysyykö tavaroitten toimittamisen hinta ja tehokkuus kilpailukykyisenä? Kuljetuksissa haasteellista on myös saada tuotteet toimitettua ehjinä perille. Millaiseksi palvelun taso muodostuu, jos Suomessa toimii vain yksi kuljetusliike?

Kysymykseen numero 8 kolmen eri kauppiaan vastaukset:

1a) 4	1b) 4	1c) 4
2a) 1	2b) 3	2c) 1
3a) 4	3b) 3,5	3c) 3

Kaikki kauppiaat näkivät verkkokaupalle tehtävän toimituspisteen kerrostaloissa parantavan logistiikan toimivuutta. Haastatelluista verkkokauppiaista kaksi piti toimituspistettä kerrostaloissa kaiken kaikkiaan hyvänä. Toimituspisteen hyväksi puoliksi mainittiin seuraavia asioita:

- Toimituspisteeseen voisi toimittaa tuotteita suuremmalla aikaikkunalla muodossa eli pystyttäisiin suunnittelemaan kuljetukset tehokkaammin ja asiakkaan odottelu vähenisi.
- Kylmäkellarissa oleva tila madaltaa tilauskynnystä.

Yksi kauppiaista ei pitänyt toimituspistettä kovinkaan tarpeellisena, koska asiakkaan kotonaolo oli oleellinen osa toimitusketjua. Tässä konseptissa asiakas maksaa kerätyt tuotteet vastaanottaessaan ne. Tilaushetken hinta ei välttämättä ole sama kuin toimituspäivän hinta. Myös kilotuotteiden hinta riippuu pussiin tulevien elintarvikkeiden painosta, ja aina ei ole kaikkia tuotteita saatavilla. Asiakas ei tiedä elintarvikkeiden oikeaa hintaa ennen kuin hän on ne vastaanottanut. Palvelutilan lokerikkojen puhtaudesta huolehtiminen pitäisi myös ratkaista.

12 Yhteenveto

Opinnäytetyön mittausten perusteella selvisi, kuinka paljon kylmiö kuluttaa energiaa vuositasona. Yhden kylmäkellarin kulutus on omakotitalon kotitaloussähkön kulutuksen luokkaa. Nykypäivän ilmastonmuutoksen torjumisen vuoksi kannattaa kriittisesti miettiä kaikkien sähköä kuluttavien laitteiden tarpeellisuutta. Tieto sähkönkulutuksesta kiinnosti esimerkki taloyhtiön edustajia ja antoi heille tarkempaa tietoa kylmäkellarista. Toinen mielenkiintoinen seikka oli lauhduttimen toiminta ja lauhdutinhuoneen lämpötilan vaikutus siihen. Lauhdutinhuoneen lämpötilan noustessa kiertoprosessin lämpötilat säätäytyvät aina erilaisiksi. Lauhdutinhuoneen lämpötila nousi hellepäivinä niin korkeaksi, että lauhdutin ei pystynyt jäähdyttämään kylmä-ainetta tarpeeksi. Kylmäaineen yllämpötila kiertoprosessissa aiheutti sen, että paine ylitti kriittisen rajan ja aiheutti kompressorille katkokäyntiä. Tämä on varmasti suurin yksittäinen kustannusten aiheuttaja koko jäähdytysjärjestelmässä ja vaikuttaa korjauskustannuksiin sekä sähkön kulutukseen.

Verkkokauppiaita haastatellessani ja puhuessani yleisemmin verkkokauppioiden kanssa alasta sain sellaisen käsityksen, että opinnäytetyön palvelutilan idealla voisi olla mahdollisuuksia jopa käytännön sovellukseksi. Verkkokauppiat olivat kiinnostuneita lähtemään kokeilemaan pilottihanketta. Uskoisin, että kylmiöiden linkittäminen verkkokauppaan hyödyntäisi sekä kauppiaita että asukkaita. Hyötyjä olisivat ajankäytön tehostuminen, kylmiön hygienisyyden nousu, yhteisöllisyys, energian säästö, tilan säästyminen ja vakaammat säilytyslämpötilat.

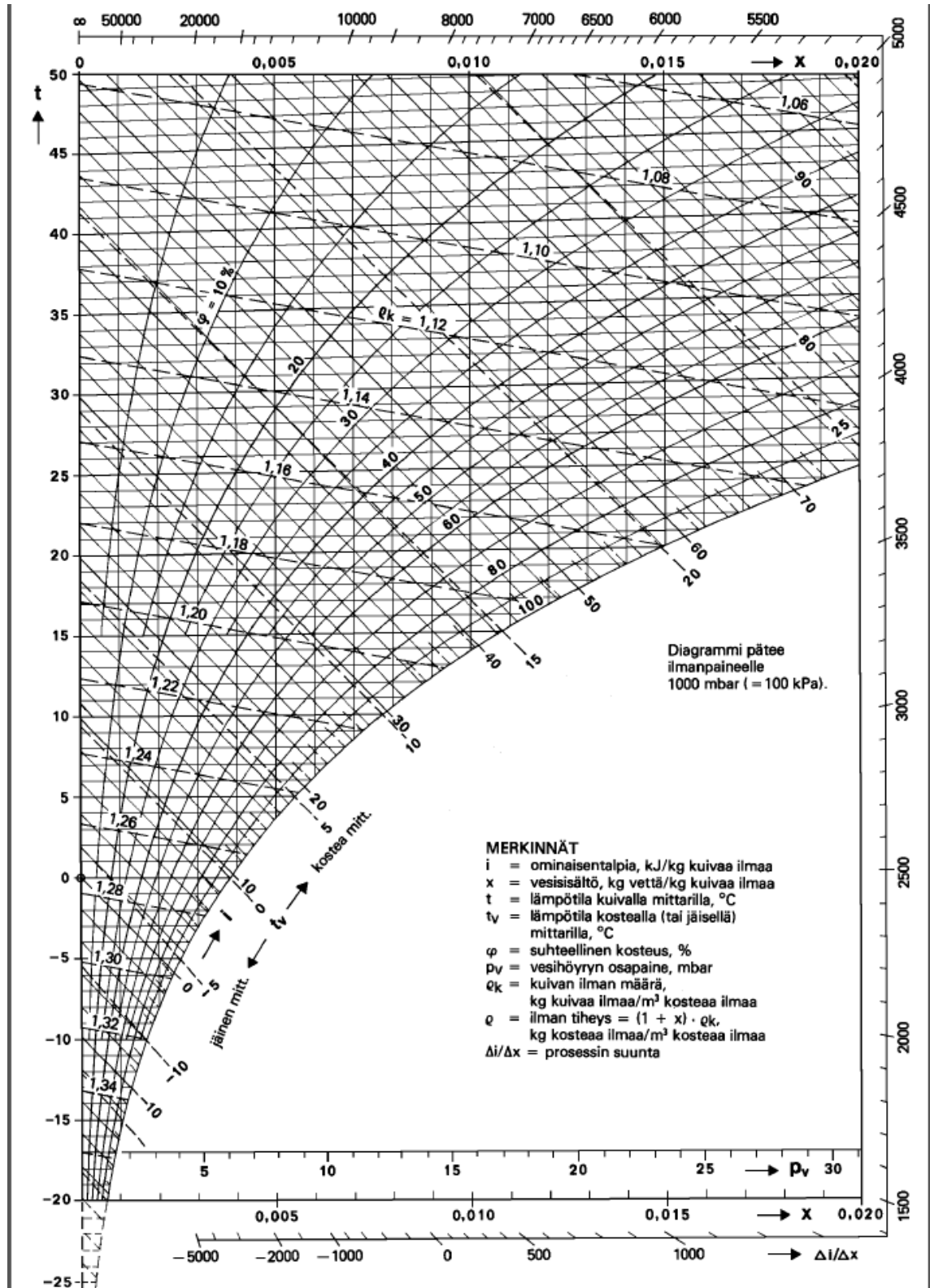
Kiinnostusta herätti log p, h -tilapiirroksesta lasketun hyötysuhteen ja todellisen kulutuksen välinen ero. Millainen on valmistajan ilmoittaman hyötysuhteen ja todellisen hyötysuhteen ero, kun prosessin lämpötilat vaihtelevat ilman lämpötilojen mukaisesti? Tämän tutkiminen vaatisi oman työn useammalla laitteella.

Lähteet

- 1 Linturi, Jarmo. 2012. Isännöitsijä, Realia Oy, Kotka. Puhelinkeskustelu 20.9.2012
- 2 Kaappola Esko, Hirvelä Aulis, Jokela Matti, Kianta Jari. 2011. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki. Opetushallitus.
- 3 Kylmiön kylmäaine. 2002. Verkkodokumentti. Suomen Kylmäyhdistys ry 2002. <http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=12>. Luettu 11.3.2013.
- 4 Lämmöneristys. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4 Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5 Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 6 Lindström Yrjö. 1993. Virtaustekniikka 1. Espoo. EVITech Opiskelijayhdistys ry.
- 7 Hakala Pertti, Kaappola Esko. 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 8 Nydal Roald suomentanut Muuronen Markku. 2005. Käytännön kylmätekniiikka. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry.
- 9 Helsingin Energia tiedotteet. 2012. Verkkodokumentti. Helsingin Energia. Luettu 4.4.2013
- 10 Kuhanen Petteri, Kanerva Ari, Furuholm Marina, Kinnunen Helena. 2010. Asunto-osakeyhtiölaki kommentaari. Helsinki. Kiinteistöalan kustannus Oy.
- 11 Mesiranta Nina. 2011. Verkkokaupan nykytila. Verkkodokumentti. Tampereen yliopisto. www.uta.fi/jkk/opiskelu/oppiaineet/markkinointi/kaytannot/Mesiranta_02112011.pdf. Luettu 3.10.2013
- 12 Onko Suomi vihdoin valmis ruoan verkkokaupalle. 2012. Verkkodokumentti. Magenta <http://www.magentaadvisory.com/fi/2012/08/28/onko-suomi-vihdoin-valmis-ruoan-verkkokaupalle/>. Luettu 24.9.2013.
- 13 Hälvä Esa. 1996. Kylmälaitoksen energiatalous. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys Ry moniste n:o 38.

- 14 Verkkokauppa ylitti viime vuonna 10 miljardin rajan. 2012. Verkkodokumentti. Kaupan liitto.
http://www.kauppa.fi/ajankohtaista/tiedotteet/verkkokauppa_ylitti_viime_vuonna_10_miljardin_rajan_22303.Tehty. Luettu 26.9.2013

Mollier-diagrammi



Kylmä-aine R404A log p, h -tilapiirros

