



Samuli Osanen

# Lauhdelämmön hyödyntäminen kiinteistön lämmityksessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.4.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Samuli Osanen  
Otsikko: Lauhdelämmön hyödyntäminen kiinteistön lämmityksessä  
Sivumäärä: 27 sivua  
Aika: 5.4.2022

Tutkinto: insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: talotekniikka  
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu  
Ohjaajat: yliopettaja Aki Valkeapää  
osastopäällikkö Ville Ranta-Korpi

---

Tämän insinöörityön tavoitteena oli laskea, kuinka paljon lauhdelämmöstä saadaan energiaa kiinteistön tai liiketilan käyttöön. Lauhdelämmöstä saatu energia on suuntaa antava ja laskettu ilman minkäänlaisia häviöitä. Työ on tehty referenssikohteesta, joka sijaitsee Helsingissä, jonka alakerrassa sijaitsee kauppa Alepa.

Työn alussa esitellään referenssikohteen tietoja ja yleisiä asioita hiilidioksidikoneistosta, kylmäaineprosesseista ja lauhdutuslämmön hyödyntämisestä. Seuraavaksi käydään läpi kohteen lähtötietoja laskelmia varten. Myöhemmin työssä esitetään tuloksien laskutavat ja pienmuotoisesti myös esitellään Excel-työkalu.

Tavoitteena oli myös tehdä yksinkertainen Excel-työkalu, jonka avulla pystytään esittämään taloyhtiölle ja kiinteistölle lauhdelämmöstä saatu hyöty. Excel-työkalu on myös suuntaa antava ja siitä kylmäkoneistoa on käsitelty ideaalisena. Excel-työkalu tarvitsee lähtötietoja, joiden saamiseen tarvitaan kyseisen kohteen kylmäkoneen entalpiat ja kylmäteho.

Laskelmista käy ilmi, että ideaalisen kylmäkoneiston lauhdelämmön talteenotolla voidaan pienen kaupan kylmäkoneistolla saada katettua jopa 25 prosenttia referenssikohteen kiinteistön energian kulutuksesta.

Avainsanat: lämmön talteenotto, hiilineutraalisuus, kylmäaine, hiilidioksidi

## Abstract

Author: Samuli Osanen  
Title: Condensing heat utilization in a residential property  
Number of Pages: 27 pages  
Date: 5 April 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineering  
Professional Major: HVAC Design  
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer  
Ville Ranta-Korpi, Head of Department

---

The purpose of this final year project was to establish the amount of district heating energy that can be saved in a residential building with a grocery store by using condensing heat. The condensing heat would be from a refrigeration and freezer units of the store, and it would be used to preheat the building. The aim of the thesis was to create a simple Excel-tool to calculate the yield of energy from the refrigeration and freezer units.

Information about the operations of the refrigeration and freezer units both in the winter and in the summer was collected. The refrigerant cycle was studied to establish how much power could be used to heat the swimming pool and preheat the service water of the building. The calculations were done with 100 percent efficiency.

The results show that the energy from condensing heat could save up to 25 percent of the district heating in the building.

Keywords: condensing heat, refrigerant

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohteen tiedot	2
3	Hiilidioksidikoneistot	2
3.1	Yleistä	2
3.2	Energiatehokas ja vähäpäästöinen koneisto	5
4	CO <sub>2</sub> -kylmäaineprosessit	6
4.1	Yleistä	6
4.2	Ylikriittinen prosessi	7
4.3	Alikriittinen prosessi	8
4.4	Booster-koneisto	9
5	Lauhdutuslämmön hyödyntäminen	10
5.1	Suora lauhdutus	11
5.2	Välillinen lauhdutus	11
5.3	Lauhdelämpöpumppu	11
6	Kylmälaitos ja energiankulutus	12
6.1	Kylmälaitos	12
6.2	Kiinteistön energiankulutus	13
6.3	Uima-altaan lämmitys	14
7	Kohteen laskelmat	15
7.1	Peruskaavat	15
7.2	Talven lauhdelämmön tuotto	16
7.3	Kesän lauhdelämmön tuotto	18
7.4	Energia yhteensä	19
8	Laskelmien tulokset ja päätelmät	20
8.1	Kannattavuus	20

8.2	Takaisinmaksuaika	20
8.3	Lauhdelämmön hyöty ja käyttö	21
9	Excel-laskuri	21
9.1	Toiminta	21
9.2	Tulokset	23
10	Pohdinta ja päätelmät	24
	Lähteet	26

## Lyhenteet

AB: Alkyylibentseenipohjainen öljy

CO<sub>2</sub>: Hiilidioksidi

COP: Lämpöpumpun hyötysuhde

GWP: Global Warming Potential, lämmityspotentiaali

GWP-arvo: kasvihuonevaikutuksen suuruus yhdellä kilolla kylmäainetta verrattuna hiilidioksidiin (CO<sub>2</sub>)

HFC: HFC-yhdisteet eli fluorihilivedyt

LTO: Lämmön talteenotto

MO: Mineraaliöljy

MO + AB: Polysynteettiset öljyt

PAO: Polyalfaolefiinipohjaiset synteettiset öljyt

PAG: Synteettiset polyalkyleeniklygolit

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön on tilannut suunnittelu- ja konsulttialan yritys Korjauspartnerit Oy, jossa myös itse työskentelen. Työn aiheena on liiketilan lauhdelämmön hyödyntäminen kiinteistön lämmityksessä. Kohteena toimii Helsingin Kalliossa sijaitseva kiinteistö, jonka alimmassa kerroksessa on vähittäiskauppakettuun kuuluva lähikauppa Alepa. Päättökimukseksi on kaupan kylmälaitteista saadun lämmön talteenotto ja tämän hyödyntäminen kiinteistön uima-altaan ja mahdollisesti myös käyttöveden esilämmityksessä sekä lauhdelämmön eri tekniset ratkaisut ja niiden mitoitus.

Työn tavoitteena on laskea kohteen energiatehokkuutta ja minimoida hukkaan menevää energiaa. Lisäksi työssä tarkastellaan erilaisia vaihtoehtoja energiatehokkuuden maksimointiin, lämmön talteenottoon ja hukkalämmön hyödyntämiseen.

Referenssikohteessa toimii hiilidioksidipohjainen kylmäainekoneisto. Työssä käydään läpi koneiston peruseräatteen, hyödyt ja haitat sekä vertaillaan kylmäainesten eroavaisuuksia ja niiden hiilineutraalisuutta.

Myös hiilineutraalisuus on ajankohtainen tavoite koko maailmassa. Suomessa varsinkin halutaan tavoitella mahdollisimman vähäisiä hiilidioksidipäästöjä ilmaan. Suomessa on hyvä osaaminen niin taloteknisissä asioissa kuin hiilivaapaassa tuotannossakin. Kylmäosastot ovat kaupoissa kuitenkin suuri energian kuluttaja verrattuna liikkeen muuhun energiakulutukseen. K-ryhmän talotekniikkapäällikkö Antti Kokkonen on viemässä eteenpäin energiatehokkuutta ruokakaupoissa, ja K-ryhmä pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2025. (Tekoäly auttaa K-ruokakauppoja entistä energiatehokkaammiksi 2021.)

## 2 Kohteen tiedot

Referenssikohde on Helsingissä sijaitseva, vuonna 1973 valmistunut asuinkerrostalo. Kerrostaloon kuuluu kellari ja kuusi asuinkerrosta. Asuntoja taloyhtiössä on 47, huoneistoala on 3 514 m<sup>2</sup> ja rakennetilavuus 17 200 m<sup>3</sup>. Kiinteistössä lämmitysmuotona on kaukolämpö ja ilmanvaihtona toimii koneellinen poisto. Kiinteistön kellari sisältää irtaimistovarastot, uima-allasosaston, pesutuvan, saunan, talopesulan ja kuivaushuoneen. Liiketila, joka sijaitsee kiinteistön ensimmäisessä kerroksessa, on tilavuudeltaan noin 620 m<sup>3</sup>. Liiketilassa on pääkaupunkiseudulla palveleva lähikauppa Alepa.

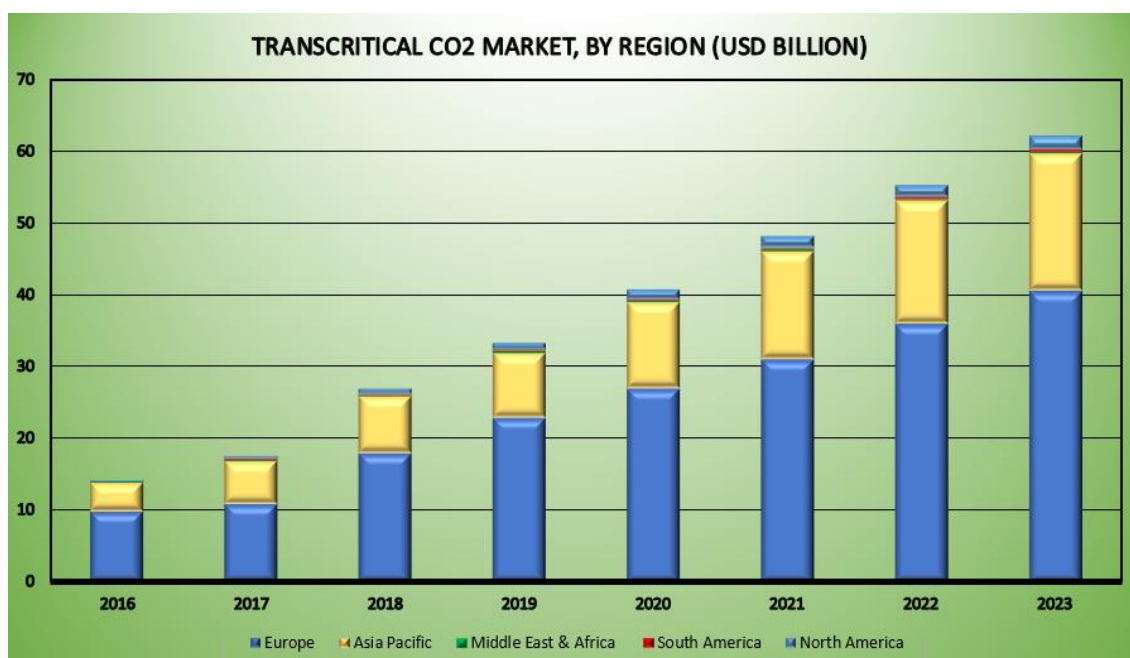
Lauhdelämpö kohteessa perustuu kaupan kylmäkalusteista syntyvän hukkalämmön talteenottoon ja hyödyntämiseen. Kaupassa on käytössä Booster-koneisto, jonka lauhdelämpöä ei tällä hetkellä hyödynnetä. Kyseessä myös hiilidioksidikoneisto, jonka ilmastopäästöt ovat minimaaliset.

## 3 Hiilidioksidikoneistot

### 3.1 Yleistä

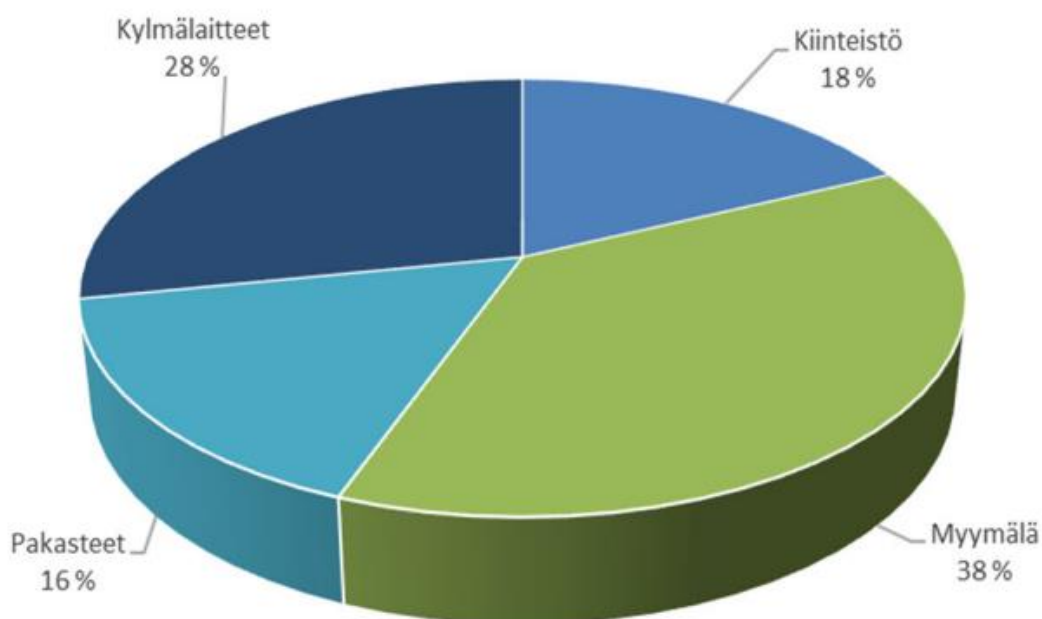
Markkinoilla hiilidioksidikoneistojen kysyntä on kasvanut. Kasvu on ollut voimakasta Euroopassa. Tulevaisuuden ennusteissa hiilidioksidikoneistojen kysynnän kasvu nousee vuodesta 2020 vuoteen 2027 noin 17 %. (Transcritical CO2 Systems Market Size 2020.)





Kuva 1. Ylikriittisten hiilidioksidijärjestelmien markkinaosu maanosittain (Lappeteläinen 2021: 10).

Suomessa ja Ruotsissa tehtyjen mittausten perusteella voidaan todeta, että perinteinen kylmälaitos kuluttaa vuodessa noin 17–20 prosenttia enemmän energiaa kuin uudenaikainen hiilidioksidikoneisto (Lappeteläinen 2021: 9). Kylmälaitteiden sähkön kulutus K-supermarketin kauppaketjuissa on 28 % myymälän sähkön kokonaiskulutuksesta. Tämä käy ilmi kuvasta 2.



Kuva 2. Sähkönkäytön jakautuminen K-supermarketissa (Kulutusseurantareportti 2019).

Elintarvikemyymälöissä on useita tekijöitä, jotka vaikuttavat kylmäkalusteiden lämpökuormiin. Kylmätehontarve vaihtelee päivänkin aikana paljon. Jäähdytettävien kalusteiden kylmätehontarve on suuri, kun kauppaan saapuvat tavara-täydennykset. Yön aikana tai kaupan ollessa kiinni, jäähdytystehontarve pienee, kuten silloinkin, jos liike on tyhjillään ihmisistä ja kylmäalaiden avaaminen on vähäistä. Kun myymälässä on paljon asiakkaita, myös lauhdelämmön määrä nousee. Kun tämä otetaan huomioon lämmön talteenotossa, lämmityskustannuksissa voidaan saada huomattavia säästöjä. (Hakala & Kaappola 2013: 252.)

Kylmäkalusteiden kuormiin vaikuttavat myös oikein suunnatut ilman päätelaitteet. Jos päätelaitteet on suunnattu suoraan kylmäkoneisiin, kärsii kylmäkoneiden tehonkäyttö. Tämä pitää huomioida, kun kalusteita sijoitetaan tai lisätään kohteeseen. Tehokkaat valaisimet nostavat myös huoneen lämpötilaa, ja niiden kohdistaminen on huomioitava. (Hakala & Kaappola 2013: 252.)

### 3.2 Energiatehokas ja vähäpäästöinen koneisto

Elintarviketeollisuudessa ja kaupan kiinteistössä jäähdytys ja lämmitys ovat energiakulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen suurimpia aiheuttajia. Hiilidioksidipäästöihin puututaan koko ajan enemmän ja enemmän. EU:n niin sanotulla F-kaasuasetuksella pyritään vähentämään hiilidioksidipäästöjä korvaamalla vanhat kylmäaineet uusilla kylmäaineilla. Vuoden 2020 alussa tuli voimaan ensimmäinen säädös, jonka myötä siirryttiin ilmastolle haitallista hiiltä, fluoria ja vetyä sisältävistä HFC-kylmäaineista matalamman GWP-arvon omaaviin kylmäaineisiin, kuten hiilidioksidiin. (Kylmälaitoksia uusitaan kiihtyvällä tahdilla 2020.)

R404A on yleisin kylmäaine vanhoissa kylmäkoneistoissa. Vuonna 2020 R404A-kylmäaine on kielletty uudiskohteissa. Käytössä olevissa kylmäkoneissa vanhojen kylmäaineiden käyttö on vielä sallittua, mutta uusien koneiden kylmäaineet ovat lähes hiilineutraaleja. Vuoteen 2030 mennessä GWP-arvot (kuva 3) EU:n perusmyynnistä halutaan 21 prosenttiin vuoden 2015 sadasta prosentista. (F-kaasuasetus 2020.)

Kylmäaine	GWP
R404A	3922
R407A	2107
R410A	2088
R407C	1774
R134a	1430
R32	675
R290 <sub>(propan)</sub>	4
CO <sub>2</sub>	1

Kuva 3. Erilaisten kylmäaineiden GWP-arvoja (F-kaasuasetus 2020).

## 4 CO<sub>2</sub>-kylmäaineprosessit

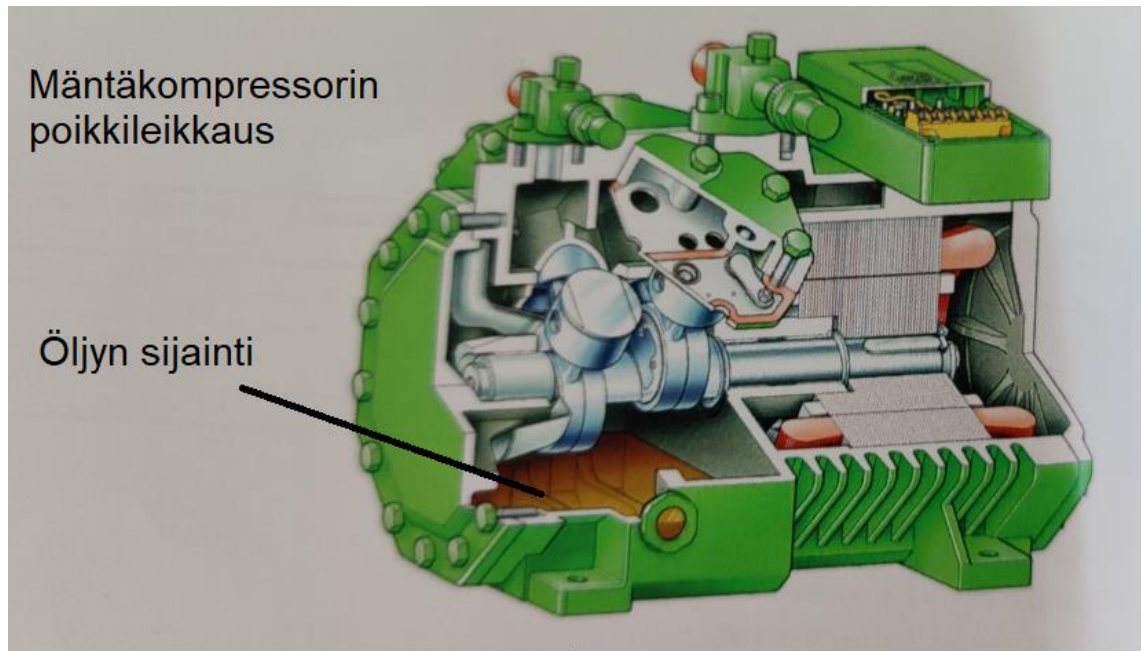
### 4.1 Yleistä

Kompressorien kylmäaineena jo kehitysvaiheesta lähtien hiilidioksidia on käytetty monista syistä. Hiilidioksidi on hinnaltaan halpaa, palamatonta ja myrkytöntä. Sitä ei tarvitse myöskään ottaa talteen, koska se on haitatonta luonnolle. Ongelmina on aineen korkea paineen tarve ja se, että sen kriittinen lämpötila on vain +31 °C. (Hakala & Kaappola 2013: 27.)

Hiilidioksidin käyttö keskittyy kolmeen alueeseen: transkriittiseen-, alikriittiseen prosessiin ja välillisten järjestelmien liuokseen. Transkriittisessä eli ylikriittisessä prosessissa kaasun jäähdytys tapahtuu kriittisen pisteen yläpuolella. Alikriittisessä prosessissa kylmäaineen lämpötila pysyy kriittisen pisteen alapuolella. (Hakala & Kaappola 2013: 27.)

Kompressoreissa laakereiden ja tiivistepintojen voitelussa käytetään voiteluainetta kompressorista riippumatta. CO<sub>2</sub>-koneistoon yhteensopivat öljyt ovat MO, AB, MO + AB, PAO, PAG. Voiteluaine sijaitsee kompressorin sisällä, jolloin sitä pääsee kylmäaineen mukana kiertoön sumuna tai höyrynä. (Kylmäaineiden ja -liuosten jaottelu)

Kuvasta 4 selviää öljyn sijainti mäntäkompressorin koneistossa.

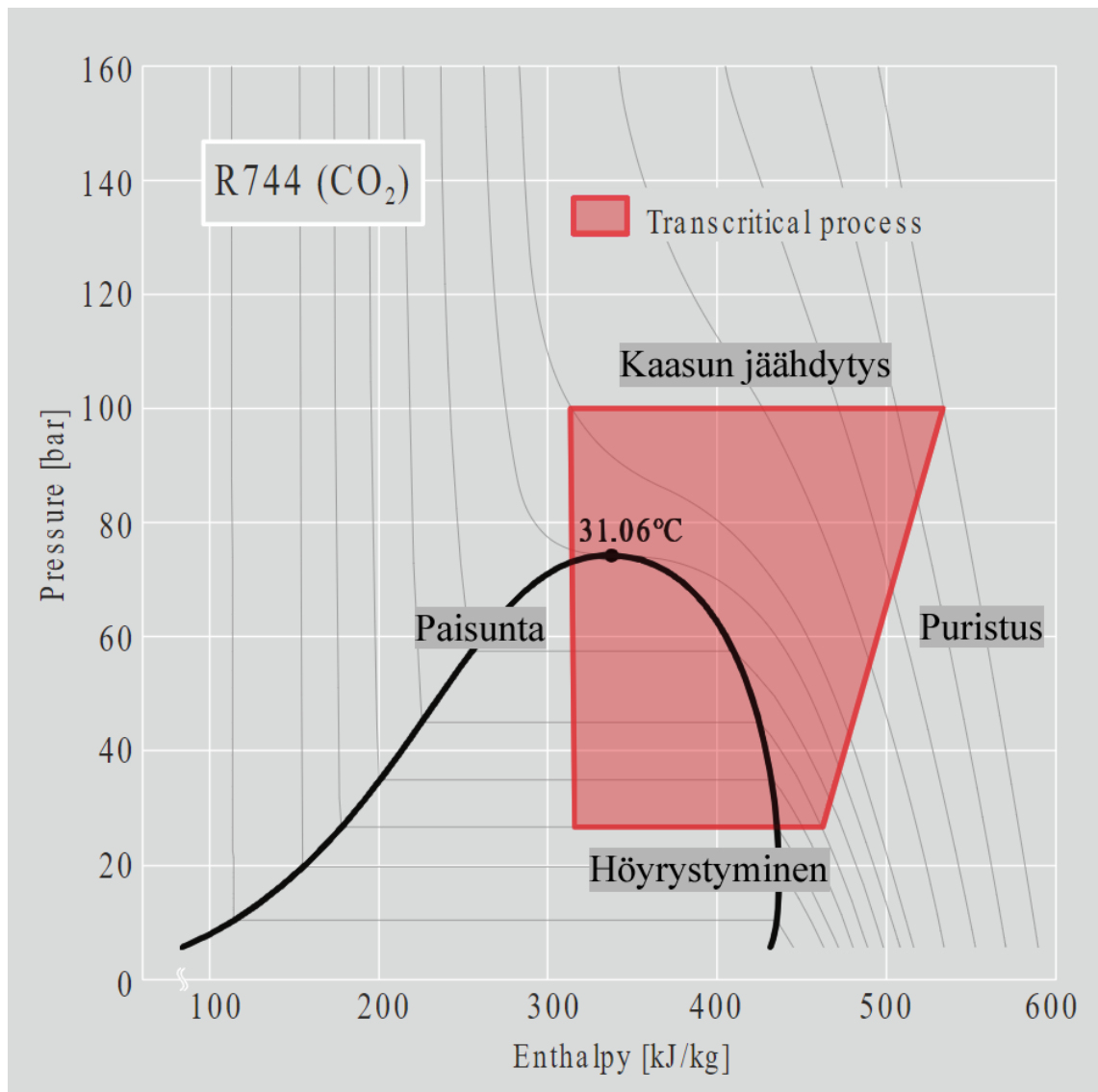


Kuva 4. Poikkileikkaus mäntäkompressorin (Hakala & Kaappola 2013: 72).

#### 4.2 Ylikriittinen prosessi

Ylikriittisessä prosessissa kylmäaine ei lainkaan lauhdu, vaan kaasu jäähtyy. Kylmäaineen lämpötila vaihtelee tällöin paljon verrattuna alikriittiseen prosessiin. Kuvassa 5 harmaat viivat ovat lämpötiloja. Mustan kaaren eli niin sanotun peukalopiirustuksen sisäpuolella harmaat viivat ovat vaakatasossa, mikä kuvastaa sitä, että lämpötila pysyy samana. Ylikriittisessä prosessissa lämpötila voi nousta +70 asteeseen, ja kun kaasua jäähdytetään, se palautuu takaisin noin +40 asteeseen.

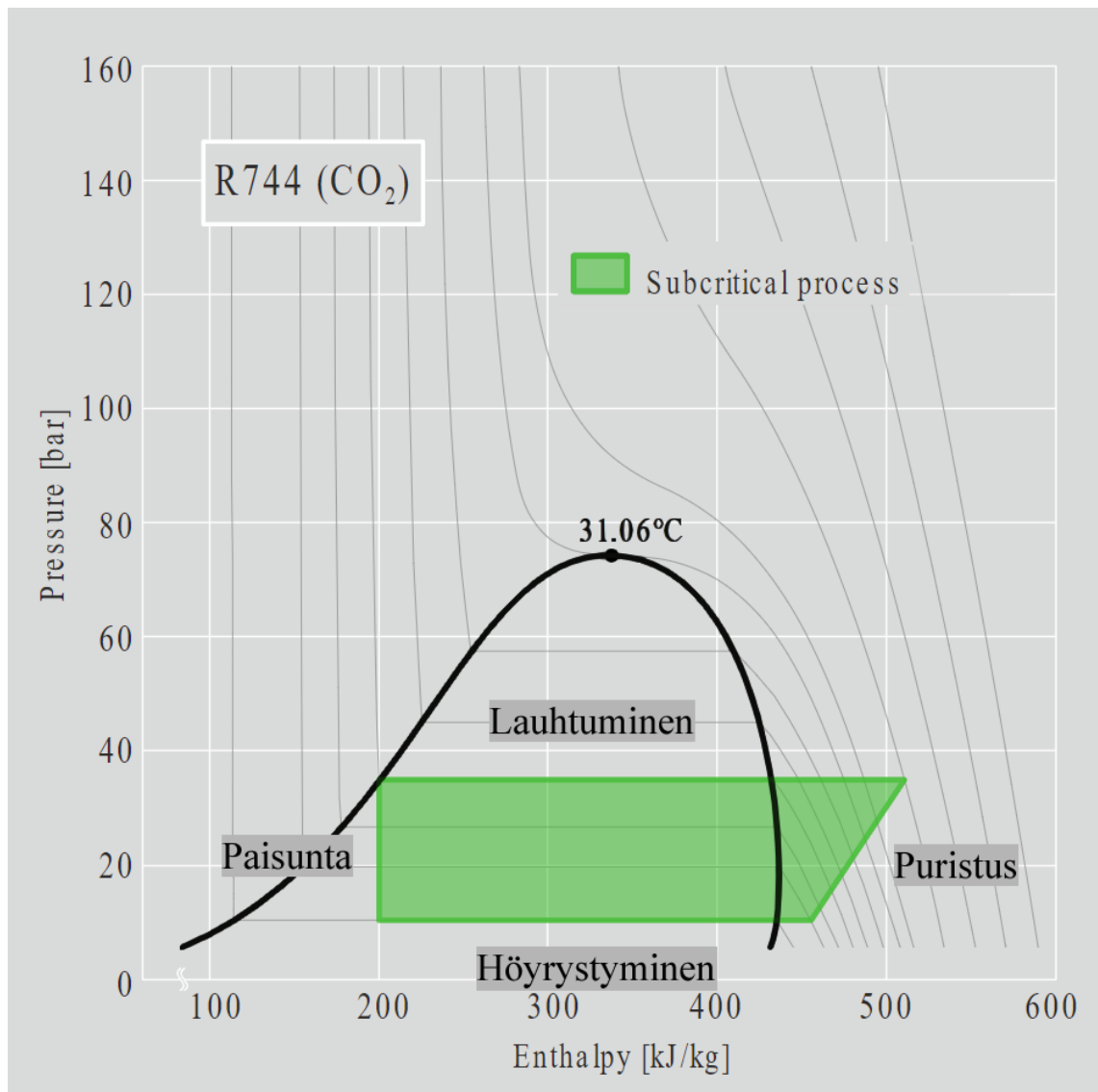
Transkriittinen eli ylikriittinen prosessi on tavallisempaa lämpimissä maissa, koska ulkolämpötilat ovat siellä korkeammat. Pohjois-Euroopassa alikriittistä prosessia käytetään enemmän kylmien ulkoilmalämpötilojen takia. (Huila 2020: 11.)



Kuva 5. Ylikriittinen prosessi (Kuva muokattu lähteestä carbon dioxide R744 (CO<sub>2</sub>) as an alternative refrigerant and secondary fluid).

#### 4.3 Alikriittinen prosessi

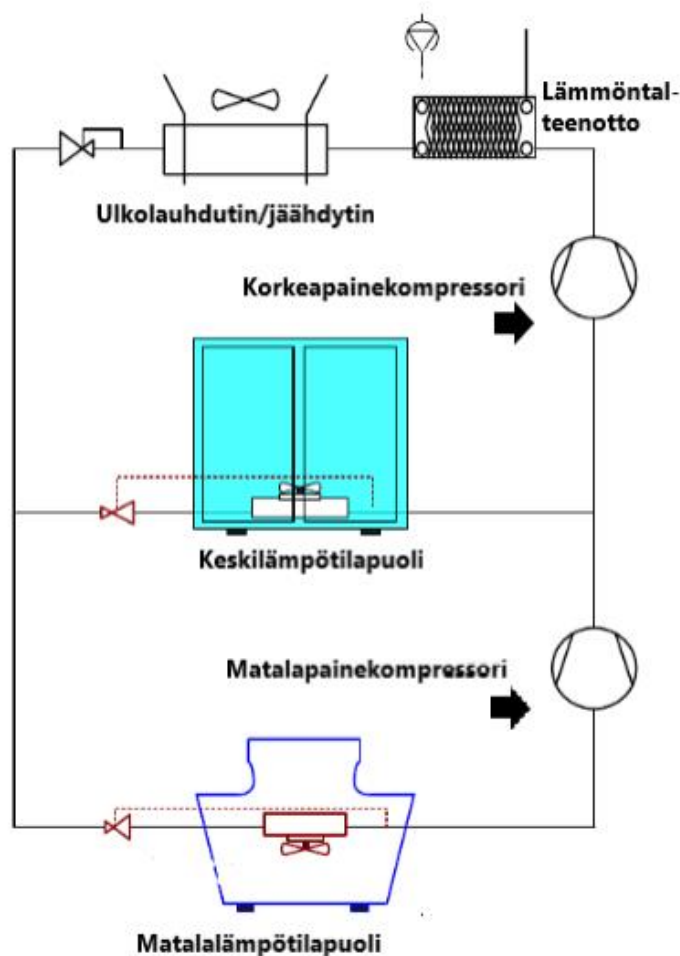
Alijäähdytystä käytetään pääosin pumppukiertoisissa koneissa ja kaskadikoneistoissa, mutta myös kylmä- ja pakkastiloissa. Esimerkiksi hiihtotunnelit ja tekojääradat ovat alikriittisellä järjestelmällä jäähdytettäviä kohteita (Muuronen 2016: 11). Kuvassa 6 on esitetty CO<sub>2</sub>-alikiittinen kompressori.



Kuva 6. Alikriittinen prosessi (kuva muokattu lähteestä carbon dioxide R744 (CO<sub>2</sub>) as an alternative refrigerant and secondary fluid).

#### 4.4 Booster-koneisto

Booster-koneistossa puristuksen portaita on kaksi: korkea- ja matalapaine. Matalapainekompressori kuristaa paineen samaksi korkeapainepuolen kanssa. Paineen ollessa sama hiilidioksidi siirtyy korkeapainepuolen kompressorille. Kylmähuoneiden ja -kalusteiden jäähdytys tapahtuu korkeapainepuolella. Pakkas- huoneet ja -kalusteet jäähdytetään matalapainepuolella (Pieviläinen 2020: 13). Kuva 7 esittää yksinkertaisen booster-järjestelmän.



Kuva 7. Booster-koneiston järjestelmä (Antikainen 2011: 10).

## 5 Lauhdutuslämmön hyödyntäminen

Kylmäkoneisto on teknisesti jo varustettu hyvällä hyötysuhteella, jolloin lauhdelämpöä syntyy vähemmän. Lauhdelämpöä kuitenkin syntyy jonkin verran, ja sitä voidaan ottaa talteen. Kylmäaineesta ilman välillistä lämmön talteenottoa hukkalämpö siirtyy suoraan kiinteistön lämmitysverkostoon.

Lauhdelämmön hyödyntäminen ei yksin riitä käyttöveden lämmitykseen, koska lauhdelämpö on lämpötilaltaan  $+40\text{ °C}$ . Lauhdelämpötilaa voidaan joko nostaa tai vaihtoehtoisesti kuumentaa erillisellä lämpöpumpulla. Kylmäkerroin heikentyy noin 3 prosenttia, jos lauhtumislämpötilaa nostetaan yhden asteen verran. (Hakala & Kaappola 2013: 218.)



## 5.1 Suora lauhdutus

Kun halutaan mahdollisimman pienin investointikustannuksin toteuttaa kylmäjärjestelmä ja pienemmässä teholuokassa käytetään suoraa lauhdutusta. Suorassa lauhdutuksessa lämpötilat ovat yleensä sopivia tilojen ilman lämmitykseen. Kylmlaitoksen prosessissa on tulistuslämpöä noin 10–20 %, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttöveden esilämmityksessä. Välipiirin käyttäminen lämmön talteenoton välissä on lainsäädännön takia pakollinen, jonka vuoksi hyötysuhde huononee ja investointikustannukset nousevat. Suoraa lauhdutusta käytetään yleensä pienemmissä kohteissa rakenteen ja investoinnin takia. (Suuronen 2012: 2.)

## 5.2 Välillinen lauhdutus

Välillisessä lauhdutuksessa on pienempi kylmäaineentäyttö ja parempi säädettävyys verrattuna suoraan lauhdutukseen. Välillisessä järjestelmässä käyttövedtä voidaan lämmittää lauhdelämmöllä. Lauhdelämpö siirretään välillisessä lauhdutuksessa väliaineeseen esimerkiksi vesi-glykoliliuokseen, jolla estetään väliaineen jäätyminen. Välillinen lauhdutus on investointikustannuksiltaan suurempi verrattuna suoraan lauhdutukseen. Marketeissa, joissa on isompi kylmäteho, suositaan välillistä lauhdutusta. (Suuronen 2012: 2.)

## 5.3 Lauhdelämpöpumppu

Kaikissa kylmlaitoksissa voidaan hyödyntää lämpöpumppua lauhdelämmön talteenotossa. Lämmitysverkostoissa vaaditaan usein korkeampaa lämpötilaa, joka voidaan toteuttaa lämpöpumpulla, jolloin lauhdelämpöä pystytään hyödyntämään kaikissa verkostoissa.

Lämpöpumpun tehollinen takaisinmaksuaika on myymälöissä noin viisi vuotta, mutta isoimmissa kohteissa lämpöpumpun lämmöntalteenoton takaisinmaksuaika on saatu alle kahteen vuoteen. (Antikainen 2011: 22.)

Riippuen kohteen jäähtymästä ja lämmitysverkoston toimintalämpötiloista lämpöpumpun hyötysuhde (COP) vaihtelee 4–6 luokan välillä. Jos hyötysuhde on esimerkiksi 5, se tarkoittaa, että viisi kilowattia lämpöenergiaa on mahdollista tuottaa yhdellä kilowatilla sähköenergiaa. Ostosähköä käytetään lämpöpumpun kompressoriin. Tätä käytetään, kun halutaan nostaa lauhdelämmön lämpötilaa. Mitä matalampi lämmitysverkoston lämpötila on, sen pienempää lämpöpumpun sähkön käyttö on. (Lappeteläinen 2021: 20.)

Lämpöpumpun hyötysuhteeseen vaikuttaa myös nesteen lämpötila, joka tulee kompressorin höyrystimelle. Korkeampi lämpötila tulevalla nesteellä vaikuttaa lämpöpumpun sähkön kulutukseen ja hyötysuhteen paranemiseen.

## **6 Kylmälaitos ja energiankulutus**

### **6.1 Kylmälaitos**

Kaupan kylmäkoneistona toimii rinnakkain kytketyt mäntäkompressorit. Mäntäkompressoreja on yhteensä neljä kappaletta. Kuvassa 8 näkyy kylmäkoneistosta puolet. Vieressä on samanlainen kahden mäntäkompressorin koneisto.

Talvella ja kesällä kylmälaitokset käyttäytyvät olosuhteiden mukaisesti. Talvella ulkolämpötila on pienempi ja ihmisten laitteisiin kohdistama kuormitus on pienempää, jolloin kylmäkoneen toiminta pysyy alikriittisenä ja koneiston tehontarve on pienempi. Kesäolosuhteissa lämpötilat ovat korkeammat, jolloin koneiston tehontarve kasvaa ja prosessi menee ajoittain ylikriittiseksi.

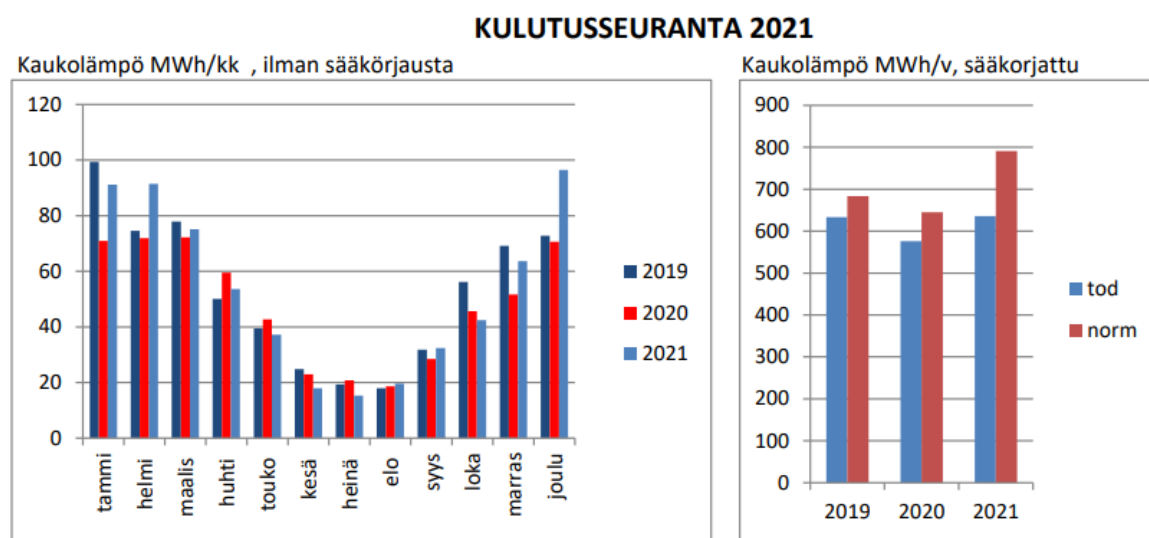
Koneiston kylmäsuunnittelijalta saatujen tietojen mukaan höyrystymislämpötila on talvella 0 °C ja kesällä -5 °C. Lauhtumislämpötila on talvella noin +20 °C ja kesällä +30–32 °C. Alijäähdytys ja tulistus on 3–5 °C talvella sekä kesällä.



Kuva 8. Kohteen kylmäkoneisto.

## 6.2 Kiinteistön energiankulutus

Tutkimuskohteena ollut kiinteistö käyttää lämmitysmuotona kaukolämpöä. Kuva 9 kertoo kaukolämmön kulutuksesta vuosilta 2019–2021.



Kuva 9. Kiinteistön kaukolämmön kulutusseuranta vuosilta 2019–2021.

Kiinteistön uima-altaan, asuntojen ja yleisten tilojen lämmityskulut kaukolämmöstä ovat kaikki saman mittarin takana. Lasketaan erikseen uima-altaan lämmitys kokonaiskulutuksesta. Uima-altaan lämmitykseen kuluva energia on suuntaa antava.

### 6.3 Uima-altaan lämmitys

Koko allasveden lämmitykseen tarvittava energia saadaan kaavasta (1). Oletuksena on myös, että altaasta ei haihdu vettä eikä altaan muita lämpöhäviöitä oteta huomioon. Veden massa on referenssikohteen altaan tilavuus. Lämpötila  $T_2$  saadaan lauhdelämmöstä ilman, että lämpötilaa joudutaan nostamaan. Lämpötila  $T_1$  on kohteen uima-altaan veden asetuslämpötila. (Rosin 2022: 17–18.)

$$Q = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} \quad (1)$$

$Q$  on veden lämmittämiseen tarvittava energia (kWh)

$m$  on veden massa (kg)

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)

$T_2$  on lämmitetyn veden lämpötila (°C)

$T_1$  on lämmitettävän veden lämpötila (°C)

Kohteen uima-altaan lämmittämisessä tarvittava energia ilman johtumislämpöhäviöitä ja veden haihtumisesta on

$$Q = \frac{25000 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (39^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = 406 \text{ kWh}$$

Jos altaan vesi halutaan lämmittää kahden vuorokauden aikana, tarvittava lämmitysteho on

$$\Phi = \frac{406 \text{ kWh}}{48 \text{ h}} = 8,5 \text{ kW}$$

Uima-altaan lämpötilan ylläpitämiseen lämmityksen tehoon vaikuttaa altaan eristyksestä maata vasten, altaan ja allastilan lämpötilaeroista ja siitä johtuvasta haihtumisesta, altaan käytöstä ja lisäveden tarpeesta. Uima-altaan laitetoimittajalta ja asentajalta saadun tiedon mukaan kohteen uima-altaan ylläpitäminen hoituisi 9 kW:n lämmittimellä 2–4 tuntia päivässä, jolloin laskettuna energiaa kuluisi noin 18–36 kWh vuorokaudessa. Lasketaan vuotuinen kulutus neljän tunnin lämmityksellä päivässä, jolloin vuodessa altaan veden lämmön ylläpitämiseen kuluu noin 13 000 kWh. Koko altaan veden vaihtaminen on kiinteistön päätettävissä ja riippuu myös veden laadusta. Vuotuiseen kulutukseen voidaan lisätä arviolta, että allas tyhjennetään ja täytetään kaksi kertaa vuodessa, jolloin uima-altaan energiakulutus on kokonaisuudessaan noin 14 000 kWh.

## 7 Kohteen laskelmat

### 7.1 Peruskaavat

Lauhdelämmöstä noin 0–5 % on alijäähdytystä, 80–90 % on lauhdelämpöä ja 10–20 % tulistuslämpöä. Lauhdelämmön tehojen laskemiseen tarvitaan kolme kaavaa, mikäli perustiedot ovat selvillä kylmäkoneesta. (Hakala & Kaappola 2013: 217.)

Kaavalla (2) saadaan laskettua koneiston kylmäntuotto:

$$q_0 = h_0 - h_a \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \quad (2)$$

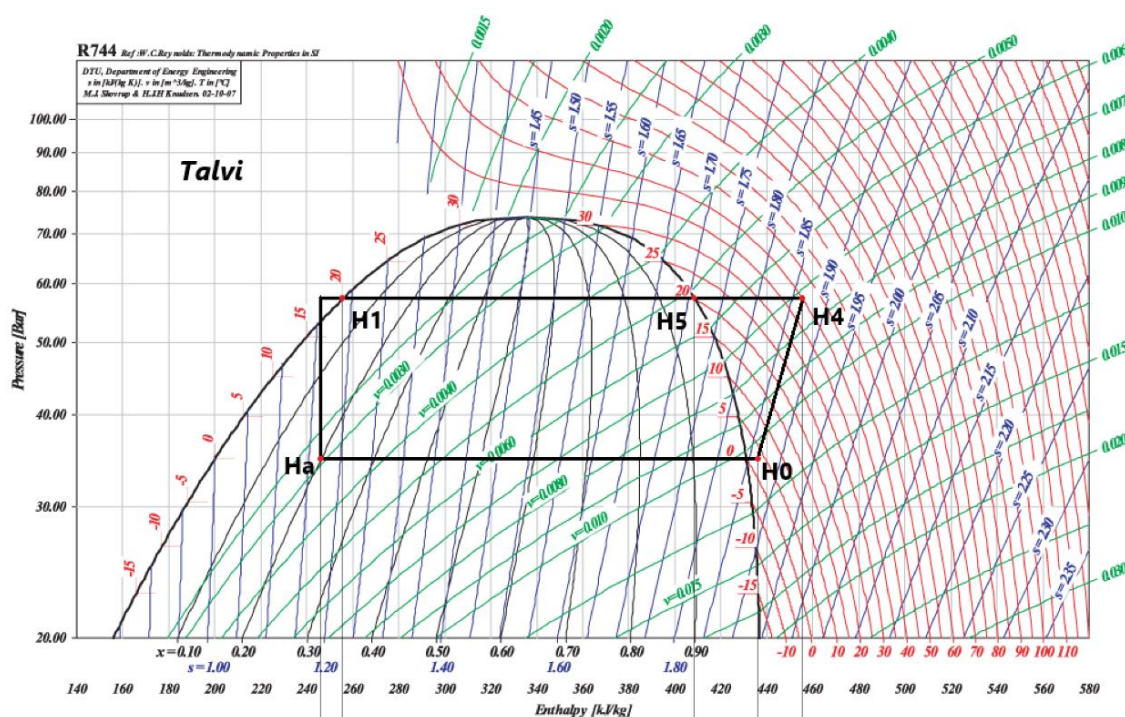
$q_0$  on kylmäntuotto (kJ/kg)

$h_0$  on lähtevän höyryn entalpia (kJ/kg)

$h_g$  on tulevan höyryn entalpia (kJ/kg)

## 7.2 Talven lauhdelämmön tuotto

Koneiston muutokset voivat vaihdella päivittäin, otetaan laskelmiin koneiston keskiarvo kuuden kuukauden ajalta ensin talviolosuhteissa ja sitten kesäolosuhteissa. Lasketaan ensin lauhdelämpö talviolosuhteista. Kuva 10 esittää talviolosuhteiden log p, -h tilapiirroksen. Kuvasta selviävät entalpian eri pisteet, joista on piirretty suorat viivat alas, jossa näkyy entalpian määrä (kJ/kg).



$$q_0 = 436,1 \frac{kJ}{kg} - 245,8 \frac{kJ}{kg} = 190,3 \frac{kJ}{kg}$$

Kylmäntuotoksi saadaan 190,3 kJ/kg. Seuraavaksi lasketaan massavirta kaavalla 3.

$$\dot{m} = \frac{Q_0}{q_0} \quad (3)$$

$\dot{m}$  on massavirta (kg/s)

$Q_0$  on kylmäteho (kW=kJ/s)

$q_0$  on kylmäntuotto (kJ/kg)

$$\dot{m} = \frac{15 \frac{kJ}{s}}{190,3 \frac{kJ}{kg}} = 0,0788 \frac{kg}{s}$$

Kylmäntuotosta lasketun massavirran avulla saadaan laskettua tulistuslämpö, lauhtumislämpö ja alijäähtymislämpö.

Tulistuslämpö:

$$\Phi_1 = \dot{m} * (h_4 - h_5) = 0,0788 \frac{kg}{s} * (455,6 - 409,8) \frac{kJ}{kg} = 3,6 kW$$

Lauhtumislämpö:

$$\Phi_2 = \dot{m} * (h_5 - h_1) = 0,0788 \frac{kg}{s} * (409,8 - 256,8) \frac{kJ}{kg} = 12,1 kW$$

Alijäähtymislämpö:

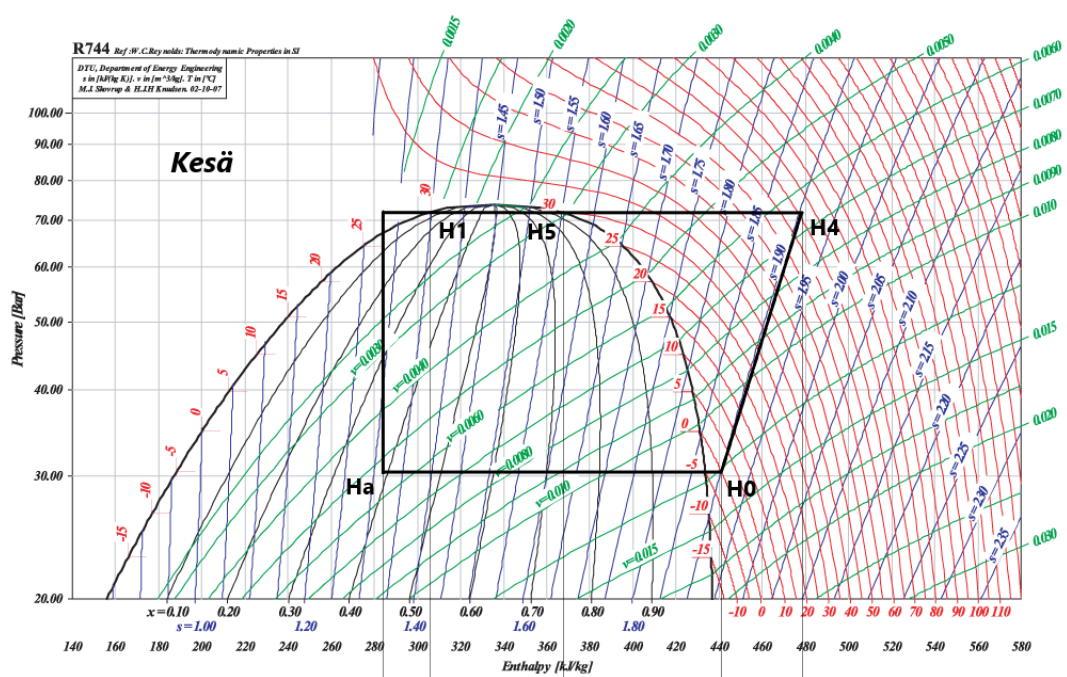
$$\Phi_3 = \dot{m} * (h_1 - h_a) = 0,0788 \frac{kg}{s} * (256,8 - 245,8) \frac{kJ}{kg} = 0,9 kW$$

Talvella lauhdelämmön teho on yhteensä:

$$\Phi_{Yht.} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 3,6 \text{ kW} + 8,8 \text{ kW} + 0,9 \text{ kW} = 16,6 \text{ kW}$$

### 7.3 Kesän lauhdelämmön tuotto

Kesällä höyrystyslämpötila laskee noin 5 asteeseen, ja lauhtumisessa lämpötila nousee noin 30 asteeseen.



Kuva 11. Kesän log p, -h diagrammi.

Lasketaan kesän lauhdelämmön tehot samoilla kaavoilla.

Kylmäntuotto:

$$q_0 = 441 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 284,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 156,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Massavirta:



$$\dot{m} = \frac{15 \frac{kJ}{s}}{156,8 \frac{kJ}{kg}} = 0,0957 \frac{kg}{s}$$

Tulistuslämpö:

$$\Phi_1 = \dot{m} * (h_4 - h_5) = 0,0957 \frac{kg}{s} * (477,5 - 366,4) \frac{kJ}{kg} = 10,6 kW$$

Lauhtumislämpö:

$$\Phi_2 = \dot{m} * (h_5 - h_1) = 0,0957 \frac{kg}{s} * (366,4 - 306,5) \frac{kJ}{kg} = 5,7 kW$$

Alijäähtymislämpö:

$$\Phi_3 = \dot{m} * (h_1 - h_a) = 0,0957 \frac{kg}{s} * (306,5 - 284,2) \frac{kJ}{kg} = 2,1 kW$$

Kesällä lauhdelämmön teho on yhteensä

$$\Phi_{Yht.} = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = 10,6 kW + 5,7 kW + 2,1 kW = 18,4 kW$$

## 7.4 Energia yhteensä

Talven- ja kesäolosuhteiden ideaalinen lauhdelämmöstä saatava energia saadaan laskemalla lauhdelämmöntuoton kilowateista kerrottuna käyttöajalla.

Lauhdelämmöistä saatu energia on laskettu isentrooppisella puristuksella eli isentrooppisella hyötysuhteella 100 %. Käyttöaika on laskettu 6 kk:n tuntimäärällä olettaen, että laitteisto on koko ajan päällä.

Saadun energian määrä kuuden kuukauden aikajaksolla talvella

$$E_{(kWh)1} = P_{(kW)} * t_{(h)} = 16,6 kW * 4368 h = 72\,318,4 kWh \approx 72,3 MWh$$

Saadun energian määrä kuuden kuukauden ajanjaksolla kesällä:

$$E_{(kWh)2} = P_{(kW)} * t_{(h)} = 18,4 \text{ kW} * 4368 \text{ h} = 80\,371,2 \text{ kWh} \approx 80,4 \text{ MWh}$$

Yhteensä lauhdelämmöstä vuotuinen energian saanti on:

$$E_{yht.} = E_{(kWh)1} + E_{(kWh)2} = 138\,465,6 \text{ kWh} \approx 152,7 \text{ MWh}$$

## 8 Laskelmien tulokset ja päätelmät

### 8.1 Kannattavuus

Kannattavuuden laskemiseen on olemassa tarkkojakin laskentamenetelmiä. Suurin ongelma on perusteiden määrittäminen, joihin kuuluu mm. käyttöaika, säästetyn energian hinta sekä korjaus- ja huoltokustannukset. Kannattavuus lasketaan usein karkeasti, koska tämä usein kertoo, onko hanke kannattamaton vai kannattava. Nykyarvomenetelmä, sisäisen koron menetelmä ja annuiteetti-menetelmä ovat hyviä laskentamenetelmiä. Takaisinmaksumenetelmällä saa myös hyvin tiedon siitä, onko hanke kannattava vai ei. Nykyisessä tilanteessa hilineutraalisuus on vielä enemmän pinnassa, vaikka takaisinmaksuajat voivat venyä pidemmiksi. (Hakala & Kaappola 2013: 217.)

### 8.2 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on yksinkertainen menetelmä, joka kertoo missä ajassa investointiin käytetty raha maksaa itsensä takaisin. Automaatio-, suunnittelu- ja asennuskustannukset on otettu huomioon investointikustannuksissa. Investointikustannuksiin myös kaikki laitteistoon kuuluvat tarvikkeet, putket, venttiilit jne. Huoltokustannukset ovat yleensä noin 3 % vuodessa investointikustannuksista. Investointikustannus on urakoitsijalta suuntaa antava arvio. (Suuronen 2012: 18.)

Takaisinmaksuaikakaava sisältää arvioinnin investointikustannukselle kohteeseen plus huollon aiheuttamat kustannukset. Nämä jaetaan energian hinta kerrottuna energiansäästöllä. Energiansäästötieto on luvusta 7.4, jossa on laskettu

lauhdelämmöstä saatu energian määrä. Investointikustannukset kohteeseen on noin 60 000 € ja sähkön hinnaksi 2021 vuoden keskihinta 6,85 snt/kWh.

$$Takaishmaksuaika = \frac{\text{investointikustannus} + \text{huolto}}{\text{laskennallinen energiansäästö} * \text{energian hinta}}$$

$$Takaishmaksuaika = \frac{60\,000\,€ + 1\,800\,€}{152689 \frac{kWh}{a} * 0,0685 \frac{€}{kWh}} = 5,9\,a$$

Takaishmaksuajaksi saadaan 5,9 vuotta.

### 8.3 Lauhdelämmön hyöty ja käyttö

Laskennallisesti ideaali kylmäkoneistosta saatu energia ilman häviöitä on 152,7 MWh/a. Luvussa 6.1 on kerrottu kiinteistön kaukolämmön kulutus vuosina 2019–2021, joka on keskiarvolta noin 600 MWh/a. Lauhdelämmöstä saatava hyöty kattaisi tällöin 25 % kaukolämmöstä ostetusta energiasta.

Luvussa 6.2 uima-altaan laskettu energian kulutus on noin 14 MWh, jolloin lauhdelämmöllä saataisiin hoidettua kiinteistön uima-altaan lämmityskulut. Uima-altaan ylläpitämiseen kulutus on tunnissa 9 kW, jolloin lauhdelämmöstä saatu energia riittäisi myös talvella ja kesällä silloin, kun uima-allasta lämmitetään muutamat tunnit päivässä.

## 9 Excel-laskuri

### 9.1 Toiminta

Kehitin helppokäyttöisen Excel-laskurin, josta voidaan laskea kohteelle mahdollinen lauhdelämmöstä saatu energia. Laskurin toiminta on tehty yksinkertaiseksi ja yritykselle helppokäyttöiseksi. Ensimmäisessä kohdassa täytetään keltaisilla kohdilla maalatut alueet tiedoilla (kuva 13). Kylmäkoneiston tiedot täytyy kysyä

kohteen kylmäsuunnittelijalta. Kylmäaineen entalpiat voivat olla haasteellisia selvittää, mutta mikäli kylmäsuunnittelijalta saadaan tietoon kylmäaineen meno- ja paluulämpötila, voidaan log p, -h-piirrokseen piirtää itse viivat, joista näkee entalpiat. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää sovellusta, josta saadaan tarkat entalpiat. Laskurissa on myös välilehdet kylmäaineille, joissa sijaitsevat eri kylmäaineiden log p, -h-piirrokset, joista näkee entalpiat (kuva 12).

R407A	R404A	R410A	R407C	R123a	R507	R744	R717	R600a	R1270
-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	-------	-------

Kuva 12. Excel-laskurin kylmäaineiden välilehdet.

<b>Kohde</b>			
(täytetään keltaisella olevat alueet tiedoilla, mikäli kone on samalla teholla käytössä ympäri vuoden, voi täyttää pelkästään toisen kohdista ja merkata			
<b>Kylmäkoneen toiminta (talvella)</b>		<b>Kylmäkoneen toiminta (kesällä)</b>	
<b>kylmäkoneisto</b>			
Kylmäaine	R744		
Kylmäteho	15	kW	
<b>Entalpiat</b>			
H <sub>1</sub>	256,8	kJ/kg	
H <sub>4</sub>	455,6	kJ/kg	
H <sub>5</sub>	409,8	kJ/kg	
H <sub>a</sub>	245,8	kJ/kg	
H <sub>0</sub>	436,1	kJ/kg	
Käyttöaika	6	kk	
<b>Kylmäkoneen toiminta (kesällä)</b>			
<b>kylmäkoneisto</b>			
Kylmäaine	R744		
Kylmäteho	15	kW	
<b>Entalpiat</b>			
H <sub>1</sub>	306,5	kJ/kg	
H <sub>4</sub>	477,5	kJ/kg	
H <sub>5</sub>	366,4	kJ/kg	
H <sub>a</sub>	284,2	kJ/kg	
H <sub>0</sub>	441	kJ/kg	
Käyttöaika	6	kk	
<b>Kiinteistön tai liiketilan energiakulutus</b>			
<b>Vuodessa</b>		600	MWh

Kuva 13. Excel-laskurin kohteen tietojen täyttö.

Kun kylmäaineen tiedot on saatu laskuriin, laskuri laskee kylmäkoneistosta saadun ideaalisen energian määrän (kuva 13). Kylmäkoneisto voidaan joko jakaa

kahteen vuodenaikaan, mikäli sellaiset tiedot ovat saatavissa. Vaihtoehtoisesti kylmäkone voidaan määrittää toimivan 12 kk samalla kierrolla. Tällöin käyttöaikaan merkitään kuukausikäyttöinen aika.

## 9.2 Tulokset

Tietojen täytön jälkeen laskuri antaa suoraan vastaukseksi lauhdelämmöstä saadun energian megawattitunneissa. Mikäli tiedossa on kiinteistön tai liikkeen vuotuinen energian kulutus, voidaan sekin ilmoittaa, jolloin saadaan laskettua myös, kuinka monta prosenttia lauhdelämpö kattaa vuotuisesta energian kulu-  
tuksesta (kuva 14).

<b>Tulokset</b>		
Kylmäkoneesta saatu lauhdelämmön energia		
Energia talvella	71,44	MWh
Energia kesällä	79,88	MWh
Energian saanti ilmoitetuista kuukauksista		
Energia yhteensä	151,32	MWh
Kiinteistön tai liiketilan prosentuaalinen hyöty ideaaliolosuhteilla ostetusta energiasta vuodessa		
Energian höyty	25 %	

Kuva 14. Laskurin tiedoista saadut tulokset.

## 10 Pohdinta ja päätelmät

Työn tarkoituksena oli selvittää ja laskea, kuinka paljon kylmäkoneistosta voidaan saada lauhdelämpöä kiinteistön käyttöön. Tulokset ovat suuntaa antavia, ja ne on laskettu ilman lämpöhäviöitä ihanteellisella kylmäkoneen hyötysuhteella. Laskelmissa käytetty sähkön hinta on vuoden 2021 keskiarvo. Excel-

laskurin avulla voidaan esittää tuloksia siitä, kuinka paljon hyötyä olisi mahdollista saada kylmäkoneiden lauhtumisenergiasta.

Tuloksista selviää, että ideaalisella kylmäkoneistolla saadaan monta prosenttia kiinteistön tai esimerkiksi kaupan vuotuisesta energian kulutuksesta. Lauhdelämmön energiaa hyödynnetään yleensä ilmanvaihtoon, koska lämpötilat ovat alhaisemmat kuin käyttövedessä. Investoinnilla ja hyvin suunnitellulla järjestelmällä takaisinmaksuaika saadaan lyhyeksi.

Tässä tutkimuksessa ei voitu ottaa huomioon kaikkia mitoittavia tekijöitä lämpöpölvöiden laskemiseksi, mitkä vaikuttavat lauhdutuslämmön talteenottoon. Työn aihetta voisi tutkia laajemmin ottamalla huomioon kaikki rakenteelliset lämpöpölvöt ja mitoittavat tekijät sekä ihmisten, valaistuksen ja ilmastoinnin tuoman lämmön. Kaupan suljettuina aikoina kylmäkoneesta saatu energia on noin 60–70 % aukioloajasta, koska tehot ovat alhaisempia lämpökuorma takia.

Tärkeänä asiana työhön liittyen on myös hiilineutraalisuus ja mihin suuntaan kylmäkoneistojen käyttö on kehittymässä. Kasvihuoneilmiö on noussut taas esille vuosien aikana, ja päästöjä pyritään vähentämään joka vuosi. Maailmalla kaikessa teknologiassa olennaista on nykypäivänä laitteiden ja koneiden mahdollisten päästöjen ja energiatehokkuuden sekä mahdollisuuksien mukaan hiilineutraaliuden huomioiminen. Myös kylmälaitteissa tämä on yleistyv trendi. Jo tällä hetkellä markkinoilla olevissa kylmäkoneissa ympäristökysymyksiä on huomioitu, ja Euroopassa 1.1.2020 F-kaasuasetus astui voimaan, minkä vuoksi uusissa kylmälaitteissa täytyy käyttää kylmäaineita, joiden GWP-arvo on alle 2 500. Tulevaisuudessa kylmäaineiden tavoitteina on saada GWP-arvo lähemmäksi nollaa.

## Lähteet

Antikainen, Pasi. 2011. Lämpöpumppujärjestelmät integroidussa kylmä- ja lämpötehon tuotossa. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT-Pub-tietokanta.

Carbon dioxide R744 (CO<sub>2</sub>) as an alternative refrigerant and secondary fluid. Verkkoaineisto. Bitzer. < [https://www.bitzer.de/shared\\_media/html/a-540/en-GB/160648075161563787.html](https://www.bitzer.de/shared_media/html/a-540/en-GB/160648075161563787.html) >

F-kaasuasetus. 2020. Verkkoaineisto. Scanoffice. < <https://www.scanoffice.fi/f-kaasuasetus/> > Luettu 15.3.2022

Hakala, Pertti & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 5. painos.

Huila, Joonas. 2020. Hiilidioksidin käyttö kylmäaineena jäähdytysprosesseissa. Tampereen yliopisto. Opinnäytetyö. Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta.

Kulutusseurantatiedot. 2019. Kesko Oyj. <[https://www.kesko.fi/globalassets/sets/pdf-tiedostot/kulutusraportti-2019\\_fi.pdf](https://www.kesko.fi/globalassets/sets/pdf-tiedostot/kulutusraportti-2019_fi.pdf)> Luettu 24.4.2022

Kylmäaineiden ja -liuosten jaottelu. Verkkoaineisto. Algolchemicals < <https://www.algolchemicals.com/fi/artikkelit/kylmaaineiden-ja--liuosten-jaottelu> > Luettu 24.4.2022

Kylmälaitoksia uusitaan kiihtyvällä tahdilla. 2020. Verkkoaineisto. Kehittyvä tarvike. <<https://kehittyvaelintarvike.fi/artikkelit/teemajutut/koneet-laitteet/kylmalaitoksia-uusitaan-kiihtyvalla-tahdilla/>> Luettu 23.2.2022.

Lappeteläinen, Timo, 2021. Hukkalämmön hyödyntäminen kaupan kiinteistöissä – parhaat käytännöt saneerauskohteissa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.



Muuronen, Mikko. 2016. Hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) käyttö kylmäaineena, kylmälaitostyyppit ja kylmälaitoksen mitoitus. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Pieviläinen, Heikki. 2020. Lauhdelämmön hyödyntäminen päivittäistavarakaupassa. Opinnäytetyö. Karelia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Rosin, Samuel. 2022. Suunnitteluohje kerrostalojen uima-allasosastojen LVI-suunnitteluun. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Suuronen, Henry. 2012. Lauhdelämmön hyödyntäminen kaupan kylmäkoneistosta. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Tekoäly auttaa K-ruokakauppoja entistä energiatehokkaammiksi. 2021. Verkkoaineisto. Kauppa.fi < <https://kauppa.fi/uutishuone/2021/03/25/tekoaly-auttaa-k-ruokakauppoja-entista-energiatehokkaammiksi/> > Luettu 10.3.2022

Transcritical CO<sub>2</sub> Systems Market Size. 2020. Verkkoaineisto. Grandviewresearch. <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/transcritical-co2-systems-market>> Luettu 23.2.2022.