



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

KYLMÄTEKNISET JÄÄHDYTYS- JÄRJESTELMÄT

Kylmätekniikka ja hiilidioksidilaitokset

TEKIJÄ:

Mikko Hartikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Mikko Hartikainen	
Työn nimi Kylmätekniset jäähdytysjärjestelmät	
30.4.2022	Sivumäärä/Liitteet 42
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Energia Kylmä Oy / Kylmäestariit	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän työn tarkoituksena oli uusien kylmäjärjestelmien kuten hiilidioksidilla ja propaanilla toimivien laitoksiin tutustuminen. Aiheeseen tutustuminen tehtiin Energia Kylmä Oy:n (Kylmäestariit) yrityksen pyynnöstä. Kylmäala on ollut voimakkaan muutoksen kohteena viimeisen vuosikymmenen aikana. Meneillään oleva vuosikymmen tulee vaikuttamaan HFC yhdisteiden vähentyessä minimiin korvautuen luonnollisilla kylmäaineilla. HFC-kylmäainetyyppejä on useita, joiden lisäksi tai tilalle on tuotu uudemman sukupolven HFO-kylmäaineet.</p> <p>Hiilidioksidijärjestelmän ja korkeamman GWP-arvon omaavan kylmä- ja jäähdytysjärjestelmän eroja verrattiin ja eri laitevaihtoehtojen hintaluokista saatiin karkea arvio. Tutkimuksessa todettiin, että kylmätehoiltaan pienen kokoluokan hiilidioksidikoneikot ovat vielä toistaiseksi kalliita. Hintaero kuitenkin tasaantuu kylmätehon tarpeen kasvaessa. Kylmäaine ja sitä käyttävä kylmälaite valitaan kylmätehon ja kohteen mukaisesti.</p>	
Avainsanat ammoniakki, digi scroll, hiilidioksi, hydroloop, kylmäjärjestelmät, kylmäkoneikot, propaani	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Mikko Hartikainen	
Title of Thesis Refrigeration Cooling Systems	
April 30, 2022	Pages/Appendices 42
Client Organisation /Partners Energia Kylmä Oy / Kylmämestarit	
<p>Summary</p> <p>The purpose of this work was to get acquainted with new refrigeration systems such as those running on carbon dioxide and propane. The topic was introduced at the request of Energia Kylmä Oy (Kylmämestarit). The refrigeration industry has been the subject of intense change over the past decade. The current decade will affect the reduction of HFCs to a minimum, replacing them with natural refrigerants. There are several types of HFC refrigerants, in addition to or replaced by newer generation HFO refrigerants.</p> <p>The differences between the carbon dioxide system and the refrigerant with a higher GWP value and the refrigeration system were compared and a rough estimate of the price range of the different options for the equipment was obtained. In the study it was found out that small-scale carbon dioxide power plants are still expensive. However, the price difference will level off as the need for cold power increases. The refrigerant and the refrigeration equipment using it are selected according to the refrigeration capacity and the target.</p>	
<p>Keywords</p> <p>ammonia, digi scroll, carbon dioxide, hydroloop, refrigeration systems, refrigeration units, propane</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö perustuu Savonia-ammattikorkeakoulun energiatekniikan koulutusohjelmaan. Opinnäytetyö on tehty kuopiolaisen kylmäalan yrityksen Energia Kylmä Oy:n (Kylmämasterit) pyynnöstä. Kiitämme tästä mahdollisuudesta, jonka he tarjosivat työn tekoon. Kiitos Savonia-ammattikorkeakoulun ohjaaja opettajille kommentteista ja esimerkeistä, joista on ollut suuri apu opinnäytetyötä tehtäessä. Lisäksi kiitokset kaikille niille, jotka ovat olleet mukana vaikuttamassa tämän opinnäytetyön valmistumiseen.

Kuopiossa 30.4.2022

Mikko Hartikainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	10
2	KASVIHUONEKAASUT JA F-KAASUT	11
2.1	Kasvihuonekaasut	11
2.2	F-kaasut ja luonnolliset kaasut	11
2.3	Regeneroitu kylmäaine	11
2.3.1	Kylmälaitteiden uusimisen tavoitteet	12
2.3.2	Julkisten hankintojen kriteerit F-kaasuille	13
2.3.3	Huonot ja hyvät hiilivaikutukset	13
2.4	Ympäristöasioiden hallinta	13
2.5	Edut sertifiointissa	14
3	MITKÄ KYLMÄAINEET HFC-KYLMÄAINEIDEN TILALLE	15
3.1	Kylmäaineiden vertailu	15
3.2	R448 ja R449 kylmäaineet R404a:n tilalle	15
3.3	R448	16
3.3.1	Käyttö, sovellukset sekä korvaavat kylmäaineet	16
3.4	R449A	16
3.4.1	R449A kylmäaine pitkäkestoinen ratkaisu	16
3.4.1	Korvaavien kylmäaineiden käyttö ja sovellukset	16
4	LUONNOLLISIA KYLMÄAINEITA	17
4.1	Ammoniakki	17
4.1.1	Energiatehokkuus	17
4.1.2	Putkikoot sekä lämmönsiirto	17
4.2	Propani	17
5	KYLMÄJÄRJESTELMIEN KEHITYSNÄKYMÄT	19
5.1	Waterloop	19
5.2	Myymälöiden Hydroloop ratkaisut	19
5.3	Hydroloop järjestelmän edut	20
6	LAITETYYPIN VALITSEMINEN	22
6.1	Jäähdytystavat ja energian kulutus	22
6.2	Kylmäaineen vaihdossa huomioitavat asiat	23
7	HIILIDIOKSIDI	24

7.1	Hiilidioksidin ominaisuudet.....	24
7.2	Hiilidioksidin käyttö ja turvallisuus.....	25
7.3	Hiilidioksidilaitoksessa käytettävät materiaalit	27
7.4	Käyttökohteet	27
7.5	Hiilidioksidi kylmäprosessit.....	28
7.5.1	Alikriittinen prosessi	28
7.5.2	Alikriittiset koneistot	28
7.5.3	Ylikriittinen prosessi	29
7.6	Hyötysuhteen parantaminen	31
7.7	Kaupan hiilidioksidijärjestelmät Suomessa	31
7.8	Lauhdelämmön talteenotto	32
8	VALMISKONEIKOT	33
8.1	Scroll kompressori.....	33
8.2	Digitaaliohjatut kompressorit	33
8.3	Hiilidioksidikoneikko	34
8.4	Digi scroll koneikkojen vertailtavuus.....	35
8.5	Mäntäkompressori ja digi scroll kompressoritekniikka	36
8.6	CO ₂ supermarket koneikko	37
8.7	Vaihtoehdon vertailu	38
9	YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	39
10	LÄHDELUETTLO	40

KUVALUETTELO

Kuva 1. Hydroloop laitos. (Freor 2022)	20
Kuva 2. Hydroloop LTO- varaaja ja lämpöpumppu (lisävaruste) (Freor 2022).....	21
Kuva 3. Päivittäistavarakaupan sähkönkulutus tyypeittäin. (Motiva 2009)	22
Kuva 4. Hiilidioksidipitoisuuden mittari (Sensorcell 2022)	26
Kuva 5. Alikriittinen prosessi. (Kaappola 2017)	28
Kuva 6. Kaskadikoneisto. (Kaappola 2017).....	29
Kuva 7. Ylikriittinen prosessi. (Kaappola 2017)	29
Kuva 8. Transkriittisen prosessin rrcx gas cooler, tehokas kaasunjäähdytin. (Rivacold 2022).....	30
Kuva 9. Booster koneisto. (Muuronen 2016)	31
Kuva 10. Ulkoasenteinen hiilidioksidi valmiskoneikko, huonehöyrystin sekä säädin. (Rivacold 2022)	34
Kuva 11. Hiilidioksidilla toimiva sisäasenteinen booster digi inverter koneikko. (Rivacold 2022)	35
Kuva 12. Scroll kompressorin ja mäntäkompressorin rakenne. (Emerson Copeland 2022)	37
Kuva 13. Hiilidioksidikoneikko. (Rivacold 2022)	37

LYHENTEET

(CFC)	Kloorifluorihiihivety
(CO ₂)	Hiilidioksidi
(COP)	Kylmäkerroin / lämpökerroin eli Coefficient of Performance
(F-kaasut)	Fluoratut kasvihuonekaasut
(GWP)	Kylmäaineen ilmastoa lämmittävä vaikutus, Global Warming Potential
(HCFC)	Osittain halogenoitu hiihivety
(HFC)	Fluorihiihivety
(HFO)	Hydrofluoriolefiini
(LT)	Kompressori matalan lämpötila-alueen kompressori
(LTO)	Lauhdelämmön talteenotto
(NF ₃)	Tyypitrifluoridi
(ODP)	Kylmäaineen otsonia tuhoava vaikutus, Ozone Depleting Potential
(PFC)	Perfluorihiihivety
(SF ₆)	Rikki heksafluoridi
(TEWI)	Kylmäaineen ilmastoa lämmittävä vaikutus sisältäen suorat ja epäsuorat kasvihuonevaikutukset, Total Equivalent Warming Impact
(Ylikriittinen)	Kylmäaine on koko alueella tulistunutta kaasua

1 JOHDANTO

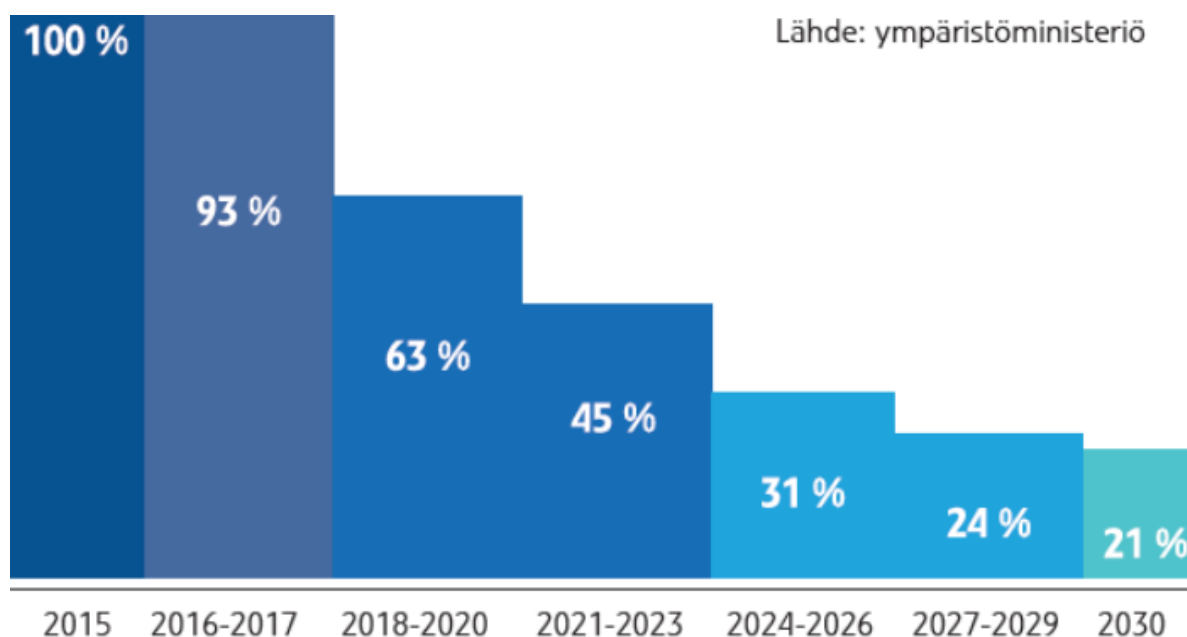
Kylmäala on ollut voimakkaan muutoksen alla viimeisen vuosikymmenen aikana. Merkittävänä on Euroopan parlamentin ja neuvoston F-kaasuasetus (EU) N:o 517/2014. F-kaasu asetuksien uudet rajoitustoimet tulivat voimaan vuonna 2015, ja siitä alkaneet kahden vuoden välein tapahtuva kylmäainekiintiön vähennys vuoteen 2030 saakka.

Jäähdytys- ja ilmastointijärjestelmiä koskeva kylmäainesäädännön mukaan kaikki HFC-kylmäaineet on talteenotettava järjestelmää tyhjennettäessä. GWP arvoltaan yli 2500 olevat kylmäaineet ovat käyttökelpoisia vielä vuoteen 2030. Vuodesta 2020 alkaen F-kaasuasetus kielsi sellaisten kylmälaitteiden markkinoille saattamisen, jotka olivat kiinteitä ja joissa käytetään HFC-kylmäainena GWP-arvoltaan 2500 tai korkeampaa olevaa kylmäainetta. Kuitenkin poikkeuksena – 50 °C tai alle menevän ultra matalan lämpötilan jäähdytyslaitteet. Tällainen kieltö tuli yhtä aikaa voimaan myös omako-neellisille, ammattikäyttöön tehdyille jäähdytys- ja kylmälaitteille.

Kylmäalaan liittyvät vahvasti myös uudet kylmätekniset ratkaisut. Näiden uusien kylmäaineiden tavoitteena on ympäristöongelmien pienentäminen yläilmakehän otsonikadon ja ilmastomuutoksen kautta. Päästöjen väheneminen arvioitiin alkavan näkyä jo 2020 aikana. Vuoden 2021 alusta kylmäainekiintiöitä oli jaossa vain 45 % vuoden 2015 lähtötasoon verrattuna, jolloin kiintiörajoitukset alkoivat. Nykyään F-kaasujen kokonaispäästöt ovat kääntyneet laskuun Suomessa. Katso taulukko 1.

F-kaasuasetus ei kiellä minkään kylmäaineen myyntiä tai maahantuontia, vaan se rajoittaa kylmäaineiden saatavuutta kiintiöillä. F-kaasuasetus asettaa GWP-arvolle rajoituksia eri sovelluksille sekä rajoittaa huollossa käytettäviä kylmäaineita. (Kapanen 2019.)

Taulukko 1. Vähennysaikataulu



Vähennysaikataulu HFC-yhdisteiden vähentäminen v. 2015–2030. (Ympäristö 2022.)

2 KASVIHUONEKAASUT JA F-KAASUT

2.1 Kasvihuonekaasut

Ilmakehän fluoratuille kasvihuonekaasuille ei ole luontaisia päästölähteitä, vaan ovat peräisin ihmis-toiminnasta. Vaikka tiedetään, että kaasujen päästöt ovat olleet kokonaispäästöihin vähäisiä, niin niiden ilmakehää lämmittävä vaikutus on ollut suuri suhteessa muihin kasvihuonekaasuihin. Muita fluorattujen kasvihuonekaasujen ryhmään kuuluvia ovat perfluorihilivedyt eli PFC-yhdisteet, rikkiheksafloridi ja tetrifloridi.

Kasvihuonekaasut tarkoittavat ilmakehässä olevia kaasuja, joiden läpi auringonsäteily pääsee, kuitenkin absorboiden maan pinnalta tullutta lämpösäteilyä. Vesihöyrykin lasketaan kasvihuonekaasuksi, samoin hiilidioksidi, metaani, troposfäärin otsoni, dityppioksidi sekä F-kaasut eli fluoratut kasvihuonekaasut. Maapallon lämpeneminen osaltaan seurausta kasvihuoneilmästä. Kasvihuonekaasujen pitoisuuden kasvu, jotka ovat osaltaan ihmisten aiheuttamia, johtavat väajäämättä kasvihuoneilmän voimistumiseen eli ilmastonmuutokseen. (Sitra 2022.)

2.2 F-kaasut ja luonnolliset kaasut.

F-kaasut ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja, jotka ovat peräisin muun muassa kylmä- ja ilmastointilaitteista. 1970-luvulla havaittiin CFC-yhdisteiden osallisuus yläilmakehässä sijaitsevan otsonikerroksen otsonikatoon. Kaasut ovat pyritty tuotekehityksessä korvaamaan luonnollisilla ja muilla matalan GWP:n vaihtoehdoilla, joilla on alhainen ilmastolämmityksen vaikutus. ODP tulee sanoista ozone depleting potential eli otsonikerrosta tuhoava vaikutus. Toinen tärkeä luku on GWP eli global warming potential eli ilmastoa lämmittävä vaikutus. Hiilidioksi (CO₂) on saanut suhdeluvun 1 eli gw arvo on tällöin 1. (Kaava 1) näyttää kuinka saadaan laskettua CO₂-ekvivalenttonnit. (Kaava 2) näyttää laskenta esimerkin R134a kylmäaineella.

Kylmäainetäytöksen (kg) muuntaminen CO₂-ekvivalenttonneiksi:

$$CO_2 - ekv. = \frac{\text{kylmäainetäytös (kg)} \times \text{GWP-arvo}}{1000} \quad (1)$$

Esimerkki: Laite sisältää 4,2 kg kylmäaine R134a:ta

$$\frac{4.2 \times 1430}{1000} = 6 \text{ CO}_2 - \text{ekvivalenttonnia} \quad (2)$$

2.3 Regeneroitu kylmäaine

Regenerointi tarkoittaa aineen puhdistamista ja kylmäainekomponenttien palauttamista uudenveroisiksi. Kylmäaineen talteenoton jälkeen seos analysoidaan selvittääkseen, ettei kylmäaineessa ole seokseen kuulumattomia komponentteja tai kiellettyjä, otsonikerrokselle haitallisia yhdisteitä. Regeneroinnissa kylmäaineesta poistetaan epäpuhtaudet erilaisten suodattimien avulla. Puhdistusprosessin jälkeen kylmäaineseoksen komponentit tarkistetaan kaasukromatografilla ja tarvittaessa korjataan komponenttisuhteet.

AHRI-740 ja ISO 11650 standardit läpikäyneellä kierrätettyä (regeneroitua) kylmäainetta voidaan kutsua uudenveroiseksi. Silloin on tehtävä regeneroinnin ja puhdistusprosessin jälkeen laboratorioanalyysi, joka täyttää AHRI-700 laatustandardit.

Kylmäaineen käyttö ilman laboratorioanalyysia ei ole suotavaa, vaan käyttäjä ottaa siinä riskin. Markkinoilla voi olla puhdistamatonta, käytettyä kylmäainetta sekä normaalin maahantuonnin ohi tullutta kylmäainetta eli laittomasti maahantuotua kylmäainetta. Kylmäaineseokset voivat olla myös turvallisuusriski sisältäessään palavia kaasuja. Tällöin käyttäjä ottaa tietoisesti riskin, mikäli kylmäaineen alkuperä ei ole varmuudella tiedossa. Myöskin kylmäjärjestelmän höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat muuttuvat, jolloin kylmäprosessi ei voi toimia optimaalisella tavalla.

Vaarallisen jätteen ja kuluosan sijaan nykyään voidaan raaka-ainetta kierrättää uusiokäyttöön takaisin. Tämä on regeneroinnin ja talteenoton kestävä kehityksen tavoite, jolla pyritään ajamaan hallitusti alas täysin uuden ja alkuperäisen kylmäaineen valmistus ja maahantuonti. Taulukossa 2 kuvataan kylmäaineiden muutoskehitystä tähän päivään saakka. Asiakkaan etu on saada maksimaalista hyötyä pidentämällä ja jatkamalla kylmälaitteiden elinkaarta. Tämä on regeneroinnin keskeinen tehtävä ja samalla vähentäen päästöjä. (Kylmäaine 2022.)

Taulukko 2. Kylmäaineiden muutos.

CFC:t (1930–1990)	HCFC:t (1930–2010)	HFC:t (1990–2030)	HFO:t (2010 -
Montrealin pöytäkirjan rajoitukset	Montrealin pöytäkirjan rajoitukset	Kigalin sopimuksen (Montrealin pöytäkirjan muutos) rajoitukset	Ympäristöystävälliset vaihtoehdot
ODP on hyvin korkea	ODP korkea	ODP:ta ei lainkaan	ODP:ta ei lainkaan
GWP hyvin korkea	GWP keskikorkea tai korkea	GWP keskikorkea tai korkea	GWP matala tai ei lainkaan

2.3.1 Kylmälaitteiden uusimisen tavoitteet

Kylmälaitteiden kylmäainevuotojen ja hajoamisen riskejä on syytä pyrkiä minimoimaan. Tätä edesauttaa ettei kylmäjärjestelmien uusimista jätetä viime hetkeen. Suuria taloudellisia menetyksiä voidaan kokea, sillä vuototapaukset ja korjaukseen tarvittavien kylmäaineiden hinnat ovat nousseet merkittävästi. Sanotaan, että kokonaiskasvihuonekuormituksesta tyypillisesti 80–90 % kylmäjärjestelmien osalta syntyy näiden energiankulutuksesta, jolloin on tärkeää, että rakennetaan ja käytetään kylmälaitosta hyvällä hyötysuhteella. Kylmäjärjestelmien uusimisen suunnittelu pitää aloittaa varhain sekä tehdä suunnitelmallisen harkiten, jotta ratkaisujen tekeminen kestävästi olisi mahdollista. Parhaaseen vikatilanne ratkaisuun ei ole välttämättä aina mahdollisuutta, mikäli jäähdytyslaitteet ovat saatava nopealla aikataululla kuntoon. (Niemelä 2019.)

2.3.2 Julkisten hankintojen kriteerit F-kaasuille

Suomen ympäristökeskus on määritellyt korkean ilmastopotentiaalnin kriteerit (GWP) HFC-kaasuja käytettävien teknologioiden ja sovellusten korvaajiksi, kun ajatellaan alhaisen lämmityspotentiaalnin teknologioita. Tarkoituksena on siis kannustaa vähentämään F-kaasuja ja sitä kautta niistä syntyviä päästöjä. Kriteerit ovat tarkoitettu kaikille, jotka tekevät julkisia hankintoja. (Reinikainen, 2019)

HFC-kaasuja on korvattu luonnollisilla kylmäaineilla. Uudet kylmä- ja sammutusaineet, jotka ovat käytössä teollisissa kemikaaleissa, kuten HFO-aineilla, niin näillä on matala GWP. Näiden hajoamistuotteilla on kuitenkin joitakin ominaisuuksia, joihin liittyy ympäristöriskejä. (Johansson, 2019)

Laitteiden ympäristösuorituskyky asiaa on hyvä arvioida kokonaisuutena, jolloin tarkastelussa käytetään ekvivalenttia. Tällöin aineiden GWP, vuodot ja talteenotto sekä kylmäaineen täyttömäärä laitteiston elinkaaren päässä sekä energiankulutus luokka käytettävissä laitteista otettava huomioon. Tällöin halutaan saada luku, joka ilmoittaa kylmälaitoksen koko elinkaaren tuottaman kasvihuonehaitallisuuden kilogrammoina hiilidioksidiekvivalenttia (Total Equivalent Warming Impact, eli TEWI). (Suomen ympäristökeskus 2019.)

2.3.3 Huonot ja hyvät hiilivaikutukset

Yrityksen vaikutusmahdollisuudet eivät koostu vain negatiivisten toimien minimoinnista, vaan olisi muistettava tärkeänä seikkana myös maksimoida positiiviset vaikutukset. Yrityksen on hyvä muistaa negatiivisen jalanjäljen lisäksi, että vähintään yhtä tärkeä on ilmaston muutoksen kannalta positiivinen kädenjälki. Yritys voi kasvattaa omaa kädenjälkeään huomattavasti, muttei voi pienentää yrityksen jalanjälkeä loputtomiin, toisaalta kädenjälkeä voi kasvattaa hyvin pitkälle. Millaisia toimia yritys tekee, niin sillä on vaikutusta ilmastoon. Voidaan siis sanoa, että nettopositiivisuus riippuu kahden osatekijän summasta.

Yrityksen kädenjäljen suurentaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että mahdollistetaan yrityksen asiakkaiden hiiliviisaampi toiminta vaikkapa tuotteita ja palveluita tarjoamalla, jotta asiakkaiden hiilijalanjälki pienenee. Tällaisen nettopositiivisuuden ja hiilijalanjäljen laskentaan on käytettävissä erilaisia työkaluja. Myöskin julkisin varoin rahoitettuja hankkeita sekä maksullista neuvontaa erilaisen konsulttipalveluin tarjotaan yrityksille. (Uusiouutiset 2022.)

2.4 Ympäristöasioiden hallinta

Yrityksien hankkiessa kilpailuetua kansallisilla ja kansainvälisillä markkinoilla voidaan huomioida ympäristöjärjestelmän sertifiointi. Tällaiset toimet osoittavat, että tietoisuus kestävästä kehityksestä on lisääntynyt yrityksellä antaen myös ympäristön kannalta uskottavuutta yritykselle.

Merkittävä standardina voidaan pitää ISO 14001 -standardia, joka tarjoaa selkeän hallintakehityksen ympäristövaikutusten vähentämiseksi ja sen varmistamiseksi. Tällöin lakisäätöiset vaatimukset ja luottamus sidosryhmiin kasvaa. Organisaatio saa järjestelmällisen lähestymistavan standardista sekä ohjeet ja keinot ympäristöjärjestelmän suunnitteluun, toteuttamiseen ja hallintaan. (Ympäristöasioiden hallinta 2022.)

2.5 Edut sertifiointissa

ISO 14001 -standardin mahdollistaa lukuisia hyötynäkökulmia. Merkittävimmät ja konkreettisimmat niistä ovat standardin antamat mahdollisuudet organisaatiolle. Tällöin voi rakentaa sekä käyttää ympäristöjärjestelmää selkeämmin, mikäli on määriteltyjä ja selkeitä puutteita. Nämä pystyvät samalla joustamaan liiketoiminnan tarpeiden ja odotusten mukaisesti.

Pyritään tarjoamaan tehokas väline ja keino ympäristönsuojelun tason parantamiseen ja keino ympäristönsuojelun tason seurantaan sekä mittaamiseen. Pyritään saastumisen, jätteiden synnyn ja tahattomien ympäristöpäästöjen vähentämiseen. Tällöin otettava huomioon elinkaarinäkökulma ja siihen sisältyvät vaikutukset.

Yrityksen toimintakustannusten vähentämiseen päästään resurssien hallinnan parantamisella. Energiankäytön vähennyksellä, ympäristölainsäädännön sekä yritysvaatimusten paremmalla noudattamisella voidaan vähentää myös yrityksen toimintakustannuksia. (ISO 14001 - Ympäristöasioiden hallinta 2022.)

3 MITKÄ KYLMÄAINEET HFC-KYLMÄAINEIDEN TILALLE

HFC-kylmäaineiden saatavuus heikentynyt ja hinnat ovat nousseet merkittävästi. Tästä seurauksena ollut hintojen nousu on ohjannut, että käytössä olevien kylmälaitosten kylmäaineet on hyvä vaihtaa alhaisen GWP-arvon kylmäaineisiin pyrkimyksenä käyttää kylmälaitokset käyttöikänsä loppuun. Mikäli kylmälaitokseen ei ole mahdollista vaihtaa alemman GWP-arvon kylmäainetta, täytyy suunnitella, että pystytäänkö nykyistä kylmälaitosta käyttää ennen kuin on syytä investoida täysin uuteen kylmälaitokseen. Vuoden 2020 alusta voimaan astunut F kaasuasetus asettaa tietyt rajoitteet, jotka huomioitava. (Kapanen 2018.)

3.1 Kylmäaineiden vertailu

HFC-kylmäaineet, joiden GWP arvo yli 2500 (R-404A), ovat myrkyttömiä ja palamattomia. Näiden turvaluokka on A1. Hajuttomia ja ilmaa raskaampia, voivat kerääntyä lattian rajaan ja aiheuttaa vaaraa hengitysilmaa syrjäyttäen. HFC-kylmäaineista varsinkin R404A hinnan nousu on ollut voimakasta viime vuosina. Katso taulukko 3. Siinä kuvataan yleisesti käytössä olevia kylmäaineita.

Taulukko 3. Eri kylmäaineiden GWP- arvoja

Kylmäaine	GWP arvo	Korvaava kylmäaine	GWP arvo	Myös korvaava kylmäaine	GWP arvo
R-134a	1430	R1234yf	4	R513A	631
R404a	3922	R448 / R449	1387 / 1397	R455A	146
R407A	2107	R407F	1825		
R407C	1774	R455A	146		
R407F	1825	R449	1397		
R410A	2088	R32	675		
R422D	2729	R427A	2138	R417A	2346

400- sarjan kylmäaineet ovat blendejä eli sekoituksia useammasta kylmäaineesta, esimerkkinä R-410A, joka on valmistettu kylmäaineiden seos suhteella 50 % R-32 ja 50 % R-125.

3.2 R448 ja R449 kylmäaineet R404a:n tilalle

R404A:n turvaluokka on A1, joka on ollut suurelta osin käytössä kaupoissa, sen korvaajaksi tai niin sanotuksi huoltokylmäaineeksi käytetään esimerkiksi HFO-yhdisteinä olevat R448A ja R449A.

HFO-yhdisteet ovat neljännen sukupolven fluoripohjaisia kaasuja ja tyydyttämättömiä fluorihilive-tyjä. (Niemelä 2019.)

GWP-arvoltaan alle 2500 ovat R448A ja R449A. Nämäkin tunnetaan väliaikaisina siirtymäajan kylmä-aineina, joilloin nykyiset R404A-laitokset on mahdollista käyttää käyttöikänsä loppuun. Tulevaisuuden pitkänajan kylmäaineiksi ovat soveltuneet jo pitkään tunnetut luonnolliset kylmäaineet kuten hiilidioksidi, propaani ja ammoniakki. Näillä luonnollisilla kylmäaineilla hyvin alhaiset GWP-arvot, tällä hetkellä pienimmät mahdolliset. (Kapanen 2018.)

3.3 R448

Kylmäaineena R448A on atseotrooppinen seos, joka on ei-palavaksi luokiteltu. Se on matalan GWP-arvon omaava R404a:n ”korvaava” kylmäaine. R448A on suunniteltu luoden se korvaavaksi kylmäai-neeksi matalan ja keskilämpötilan pieniin ja keskisuuriin kylmäjärjestelmiin soveltuen esimerkiksi kauppojen jäähdytysjärjestelmiin.

R448A-kylmäaineella matalan höyrystymislämpötilan kohteissa jäähdytysteho pienenee 10–15 %, mutta hyötysuhde paranee. Vuorostaan GWP arvo pienenee huomattavasti verrattuna R404a kylmä-aineeseen eli 3922:sta 1387:ään. Jäähdytysteho säilyy lähes ennallaan, kun taas hyötysuhde para-nee.

3.3.1 Käyttö, sovellukset sekä korvaavat kylmäaineet

R448A kylmäainetta voidaan käyttää uusissa asennuksissa tai voidaan hyödyntää suoraan korvaa-vana kylmäaineena olemassa olevissa järjestelmissä. Kapasiteetin ja tehokkuuden vaihtelevuus aiempaan kylmäaineeseen on tällöin syytä ottaa huomioon käsittelyssä, soveltamisessa ja jälkiasen-nuksessa. (Darment 2022.)

3.4 R449A

Kylmäaineena R449A on zeotrooppinen HFO-kylmäaine. R449A:lla on erittäin hyvä jäähdytysominaisuus, ympäristöystävällisyys sekä energiatehokkuus. Se on tullut myös käytettäväksi korvaamaan aiempaa kylmäainetta R404A.

3.4.1 R449A kylmäaine pitkäkestoinen ratkaisu

Pitkäkestoista ratkaisua haettaessa R449A on hyvä kylmäaine, jolla on alhainen GWP-arvo. R449A kylmäainetta voidaan käyttää teollisuuden sovelluksissa sekä käytettäessä suoraan suorahöyrysteis-sissä matala- ja keskilämpöisissä kaupan sovelluksissa. R449 kylmäaineella saavutetaan 65 % alhai-sempi GWP verrattuna aiempaan R404A kylmäaineeseen.

3.4.1 Korvaavien kylmäaineiden käyttö ja sovellukset

R449A kylmäaineella voidaan korvata R404A:n lisäksi, R407A/F ja R507-järjestelmiä, soveltuen uu-siin asennuksiin tai sitä voidaan käyttää myös suoraan korvaavana kaasuna olemassa olevissa järjes-telmissä. Tehokkuuden ja kapasiteetin vaihtelevuuden vuoksi on asia otettava huomioon soveltami-nessa, käsittelyssä sekä jälkiasennuksessa. (Darment 2022.)

4 LUONNOLLISIA KYLMÄAINEITA

Hiilidioksidi, ammoniakki ja hiilivedyt (isobutaani, propaani ja propyleeni) ovat luonnollisia kylmäaineita, joita käytetään usein luontaisten ympäristöhyötyjen vuoksi. Luonnolliset kylmäaineet ovat erinomainen vaihtoehto synteettisille kylmäaineille, koska ne saastuttavat ilmakehäämme vähemmän. Luonnollista kylmäainetta hiilidioksia laitoksissaan käyttävät elintarvikkeiden valmistajat ja vähittäismyyjät antavat positiivista ympäristöviestiä. (MSA 2022.)

4.1 Ammoniakki

Ammoniakki (NH₃) (R717) on vanhin yhtäjaksoisesti käytössä oleva kylmäaine, jonka GWP arvo on 0. Kotimaasta saatava luonnontuote on erittäin energiatehokas, jolla on suuri kylmäntuottokyky. Alhainen syttyvyys, myrkyllinen, mutta tunnistaa voimakkaasta hajusta. Soveltuu mm. elintarviketeollisuuden kohteisiin, jotka suunnitellaan pitkälle käyttöajalle. Rajoitettu käyttömahdollisuus, jolla turvallisuusluokitus B2L.

Kylmäaineista ammoniakki on voimakkaasti pistävän hajuinen kaasu, joka on myrkyllistä heitettynä jo pieninä pitoisuuksina, voimakkaasti syövyttävää sekä silmiä vaurioittavaa. Se on luokiteltu palava-kaasuksi, vaikka sitä onkin erittäin vaikea sytyttää. Myös hiilidioksi on kaasu, jonka pitoisuuksia tulee valvoa. Vaikka sitä on pieniä määriä hengitysilmassa kaikkialla ympärillämme, on se suurina annoksina hengenvaarallinen kaasu. Hiilivedyt, kuten propaanin, valvonnassa tyypillisesti mitataan kaasun pitoisuutta suhteessa sen räjähdysvaaralliseen pitoisuuteen. (Löppönen 2021.)

4.1.1 Energiatehokkuus

Ammoniakki on yksi energiatehokkaimmista kylmäaineista laajalla lämpötilojen käyttöalueilla. Kun entistä enemmän kiinnitetään huomiota energian kulutukseen, ovat ammoniakkipioneistot turvallinen ja ympäristöä säästävä ratkaisu. Märkähöyrysteiset ammoniakkipioneistot ovat 15–20 % energiatehokkaampia verrattuna kuivahöyrysteisiin R404A koneistoihin. Kylmäaineiden NH₃ ja CO₂ yhdistelmällä päästään vieläkin parempaan hyötysuhteeseen. NH₃/CO₂ kaskadikoneisto toimii erittäin matalissa (alle -40°C) lämpötiloissa, kun taas NH₃/CO₂ liuosjärjestelmien hyötysuhde on noin 20 % parempi verrattuna perinteisiin kylmäliuoksiin. (Kaappola 2022.)

4.1.2 Putkikoot sekä lämmönsiirto

Sekä höyry- että nesteputkien halkaisijat ovat pienemmät, kuin useimmilla muilla kemiallisilla kylmäaineilla. Ammoniakilla on useampia kemiallisia kylmäaineita parempi lämmönsiirto ja siten voidaan käyttää pienempiä lämmönsiirtopintoja. Ammoniakki ei ole yleispätevä kylmäaine, vaan se soveltuu erityisesti teollisiin ja raskaisiin kaupallisiin sovelluksiin. (Kaappola 2022.)

4.2 Propaani

Propaani (R290A), GWP arvo on 4. R290 kylmäainepropaani sopii useisiin luonnollisena kylmäaineena jäähdytyksen ja ilmastoinnin sovelluksiin.

R290 on erinomaisen termodynaamisen suorituskyvyn takia ja käyttö on lisääntymässä sen vähäisten ympäristövaikutusten vuoksi. Propanilla on nolla-ODP, se on myrkytön ja sillä on hyvin matala

GWP. Propaani on kuitenkin herkästi syttyvä kylmäaine, eikä sovellu korvaavaksi kaasuksi nykyisiin käytössä oleviin fluorihilipohjaisiin kylmäjärjestelmiin. (Linde-gas 2022.)

Kaupan kylmälaitteiden kylmäaineena propaani ollut hiukan ongelmallinen, sillä hiilivetyjen syttyvyyden vuoksi käyttö on rajoitettu kansainvälisellä IEC 60335-2-89 standardilla 150 grammaan yhtä kylmäainepiiriä kohden. Pienen täytösmäärän koettiin rajoittavan ja siten estävän hiilivetyihin perustuvan teknologian kehittymistä. Täytösmäärä saatiin nostettua 500 grammaan äänestyksen jälkeen vuoden 2019 huhtikuussa ja äänestyksen tulos oli tällöin positiivinen. Nykyään suuremman täytösmäärän on katsottu lisääntyneen hiilivetyjen käyttöä kaupan kylmälaitteissa. (Niemelä 2019.)

Propaanitäytöksen sallitun rajan myötä voidaan jäähdyttää muutaman metrin myymäläkaluste. Tällöin voidaan toteuttaa omakoneellisena kalusteena mm. pienempien kauppojen sekä myymälöiden kylmätekniikassa. Näissä kompressorin ja höyrystin ovat valmislaatikkona upotettuna kalusteen takaosissa tai kalusteen päällä höyrystin aukotettuna jäähdytettävään kalusteeseen. Laatikkomodulissa on myös pieni lämmönvaihdin. Moduulista toisella puolella vaihtimessa kiertää kylmäaine ja toisella puolella vesi. Lauhdelämpö siirretään veteen ja lämmin vesi voidaan johtaa lämminvesivaraajaan tai ilmastoinnin lämmitykseen tai johtaa ulkoilmaan.

Propaanilla tehtyä laitosta on pidetty kustannustehokkaampana kuin hiilidioksidilaitosta, varsinkin kylmätehon ollessa pieniä. Kylmäainetäyttö on omakoneellisissa propaanijärjestelmissä 150 g, enintään 500 g per yksikkö, ja höyrystimen sekä kompressorin välinen putkimatka ollessa lyhyt. Pienen levylämmönvaihtimien kautta lauhdelämpö voidaan luovuttaa käyttöveteen, ilmastoinninlämmitykseen tai johtaa ulkoilmaan.

5 KYLMÄJÄRJESTELMIEN KEHITYSNÄKYMÄT

5.1 Waterloo

Waterloop on kylmäjärjestelmä, jossa kaupan kylmäkalusteet ja -tilat toteutetaan käyttämällä omakoneellisia kalusteita ja lauhdelämmön liuoskiertoista talteenottoa. Lauhdelämpö voidaan ohjata helposti ja edullisesti kalusteilta suoraan myymälään, lämmönvaihtimen kautta kiinteistön lämmöntalteenottoon tai liuosjäähdyttimen kautta ulos. CoolFlow on nykyaikainen ja mukautuva kylmäjärjestelmä, joten kaikki edellä mainitut tavat voidaan myös yhdistää, jolloin käytössäsi on automatiikan avulla aina taloudellisin lauhdutusmuoto.

Kylmäjärjestelmän liuospiiriin voidaan liittää mm. kylmähyllyköt, kylmähuoneet, palvelutiskit, pakastekaapit sekä pakastehuoneet. Kalusteet saat edustamasi ketjun konseptiin sopivin mitoin, värein ja varustein. CoolFlow®- kylmäjärjestelmä sopii erityisen hyvin 100–1000 m²:n kokosiin uusiin tai modernisoitaviin kohteisiin. (Coolfors 2022.)

5.2 Myymälöiden Hydroloop ratkaisut

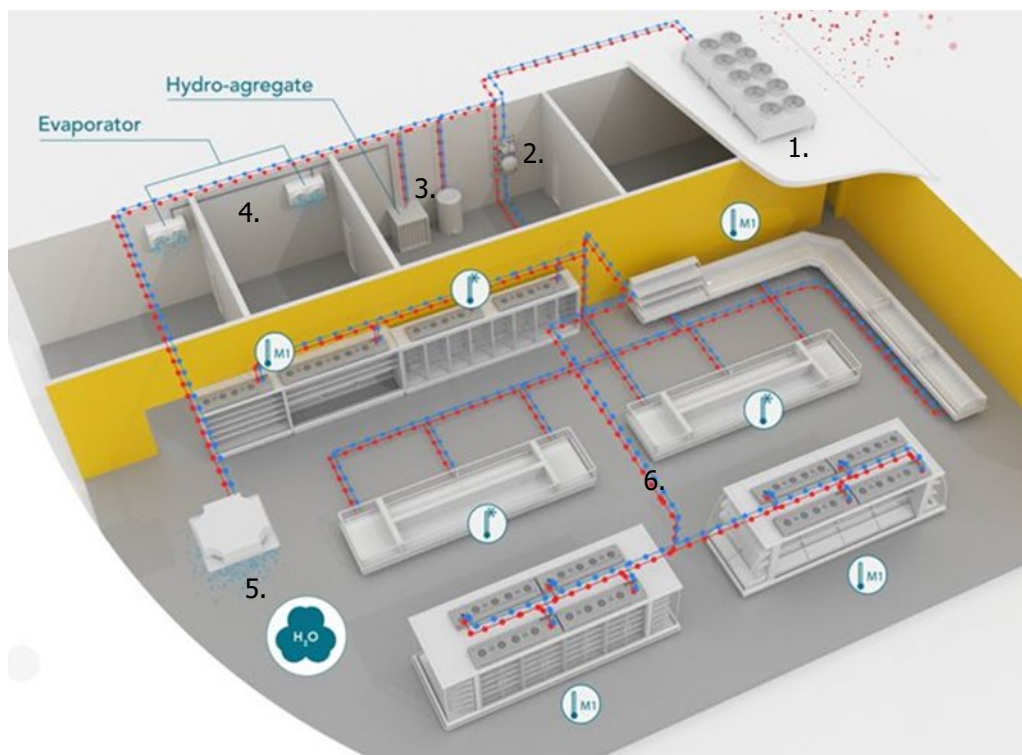
Hydroloop järjestelmä on kustannustehokas ratkaisu myymälöille, joka mahdollistaa jäähdytyslaitteiston kytkemisen nestejäähdytteiseen järjestelmään. Hydroloop-ratkaisu voidaan liittää FREOR-jäähdytysmonikerrokseen, puolipystysuoraan, tarjoilutiskiin ja pakastimiin. Se on täysin integroitu jäähdytystekniikka, joka eliminoi monimutkaisten jäähdytysjärjestelmien tarpeen ja yksinkertaistaa järjestelmän asennustyöt. Lämmönpoistoon käytetään ympäristöystävällistä propyyli glykoliliuosta. Ylimääräistä lämpöä voidaan käyttää myös myymälän lämmittämiseen kylmänä vuodenaikana tai veden lämmittämiseen.

Innovatiivinen järjestelmä takaa korkean hyötysuhteen, nopeamman myymäläasennuksen, säästää tilaa, antaa vapauden laitteiden siirtoon, käyttää pienempiä määriä kylmäainetta ja on helpompi huoltaa. Kylmälaitteiden hajautettu käyttö mahdollistaa häviöiden välttämisen, jotka voivat aiheuttaa keskusjäähdytysjärjestelmän katkosta. Kaikki nämä edut vähentävät kustannuksia ja säästävät rahaa. (Freor 2022.)

Kuva 1 näyttää myymälän Hydroloop laitoksen sisältä. Keskeisimmät osat liittyen hydroloop laitokseen.

Hydroloop laitokset sisältävät seuraavia osia:

1. Nestejäähdytin
2. Pumppuasema
3. LTO- varaaja ja lämpöpumppu (lisävaruste)
4. Höyrystimet
5. Puhallinkonvektori (lisävaruste)
6. Glykolipiiri lauhdelämmön siirtoon



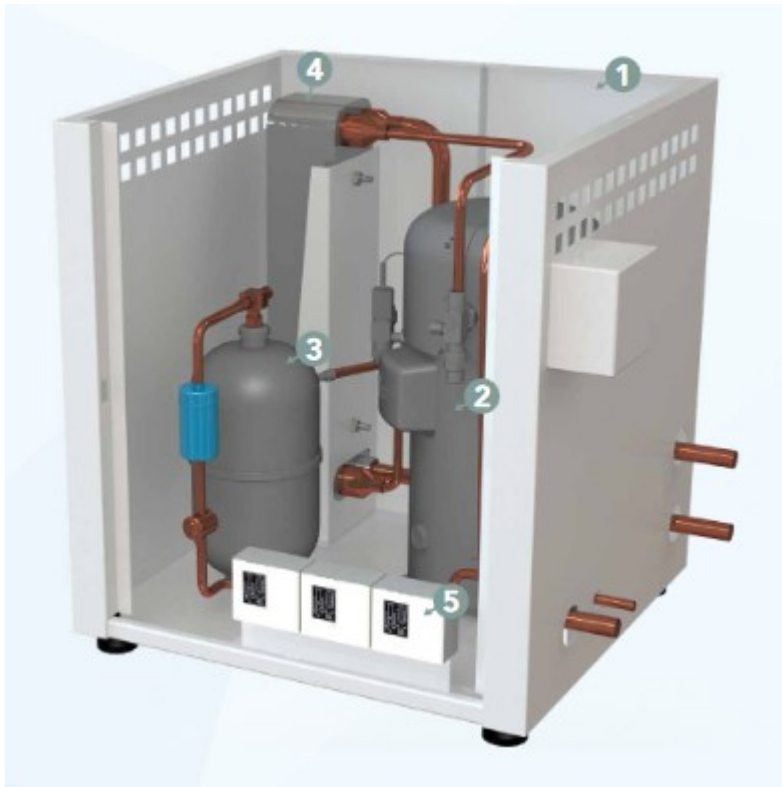
Kuva 1. Hydroloop laitos. (Freor 2022)

5.3 Hydroloop järjestelmän edut

Hydroloop energiatehokkaat kompressorit säästävät jopa 25 % energiasta ja talteenotettavaa lauhdelämpöä voidaan käyttää myymälän lämmittämiseen. Hydroloop järjestelmä on ympäristöystävällinen, jolloin kylmäaine täytös on vain 95 % pienempi vähentäen myös kylmäainevuodon sattuessa ympäristövaikutuksia. Pienellä kylmäainemäärällä tarkoitetaan näissä omakoneellisissa ratkaisuisissa verrattuna keskuskoneelliseen järjestelmään. Se voi toimia yhdessä propaani kylmäaineen kanssa ja käyttää ympäristöystävällistä glykoliliuosta.

Järjestelmä on helposti vaihdettavissa myymälän pohjaratkaisun mukaan, jolloin on helppo vaihtaa, lisätä komponentteja tai osia laitteistosta pysäyttämättä koko järjestelmää. Helppo asennus ja kustannustehokkuus, jolloin järjestelmä on helppo ja halvempi asentaa verrattuna etäjärjestelmään. Järjestelmän asennukseen ei tarvita sertifioituja jäähdytysasiantuntijoita. Tällä tarkoitetaan kylmäalan pätevyyttä, jonka Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes) myöntää.

Konehuonetta ei myöskään tarvita, mikä säästää kauppatilaa muuhun käyttöön. Järjestelmä on yksinkertainen huoltaa ja laitteiston toimintavarmuutta on pidetty luotettavana. Tämä on mahdollista silloin, kun jokainen kylmälaite toimii erillisenä yksikkönä; siksi yhden laitteen vika ei vaikuta muihin, ja mahdollinen tuotteiden hävikki on minimoitu. Laitteiden säädettyä vaadittuun lämpötilaan; automaatio varmistaa jäähdytyslaitteiden toiminnan tarvittavalla teholla. Kyseisessä kylmäjärjestelmässä on matala melutaso, jossa kompressorin ja pakastimen kaksinkertainen äänieristys minimoi liikkeen melutason. (Freor 2022.) Kuvassa 2. Hydroloop paketti kuvattuna komponentein sisältä.



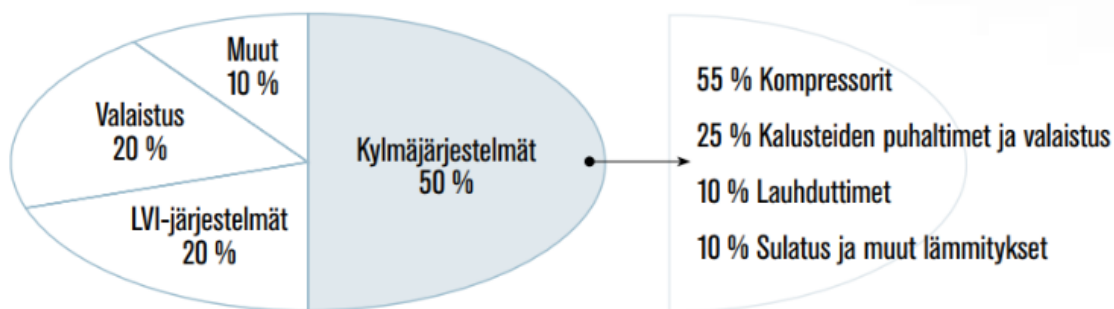
Kuva 2. Hydroloop LTO- varaaja ja lämpöpumppu (lisävaruste) (Freor 2022)

1. Metallinen suojakuori
2. Hermeettinen kompressori
3. Nestevaraaja
4. Lämmönvaihdin
5. Painekytkimet

6 LAITETYYPIN VALITSEMINE

Kylmälaitetyypin ja kylmäaineen valintaan vaikuttaa imagollinen kysymys ja strateginen valinta. Ympäristösertifikaatit ohjaavat valintaa, ja halutaan rakentaa esim. 'hiilineutraali myymälä'. Lämmityksen talteenotto LTO sekä sähkön ja lämmön omavaraisuusasteen nosto ovat myös tavoiteltavia asioita. Kuvassa 3 kuvattuna kylmäjärjestelmän sähkönkulutusta, joka merkittävä osa päivittäistavara-kaupan sähkönkulutuksen jakaumaa.

Sähkön kulutuksen tyypillinen jakauma päivittäistavarakaupassa



Kuva 3. Päivittäistavara-kaupan sähkönkulutus tyypeittäin. (Motiva 2009)

6.1 Jäähdytystavat ja energian kulutus

Jäähdytystä suunniteltaessa voidaan valita muun muassa välillinen tai suora höyrysteinen tapa. Välisessä jäähdytyksessä kierrätetään kylmää liuosta vaihtimelta kulutuskohteisiin, esimerkiksi glykoliv-siliuoksella

Mitä lähempänä toisiaan höyrystymis- ja lauhtumislämpötilat ovat, sitä vähemmän tarvitaan sähkötehoa kompressorien pyörykseen. Koneiston hyötysuhdetta kuvataan kylmäkertoimella, joka on pelkistetyesti tuotetun kylmätehon ja käytetyn sähkötehon suhde. Tarvittava sähköteho riippuu kylmäaineen ominaisuuksista ja vaihtelee lauhtumislämpötilan mukaan. Höyrystimien ja lauhduttimien mitoitus vaikuttaa lämpötilaeroihin ja kylmäkertoimeen, mutta myös investointi- ja käyttökustannuksiin. Erilaisia vaihtoehtoja tulisi vertailla investointikustannuksen lisäksi käyttökaudelle lasketuilla kylmäkertoimilla (SEER, Seasonal Energy Efficiency Ratio) tai energiankulutuksilla. (Heikkilä 2019.)

Energiätehokkuuteen ja tehonsäädön häviöihin ovat tuotteiden valmistajat kiinnittäneet huomiota. Kylmäkompressoreista ovat poistuneet epätaloudellinen kansi tehonsäätö ja kuumakaasu tehonsäätö. Tilalle kompressorin käynnistykseen on kehitetty pehmökäynnistys sekä kompressorin energiataloudelliseen säätöön on taajuusmuuttaja. Tällöin hyötysuhde häviöitä on pyritty minimoimaan.

6.2 Kylmäaineen vaihdossa huomioitavat asiat

Katso taulukosta 4. Keskeisimmät seikat, jotka otettava huomioon sekä tarkistettava, jotta kylmälaitos voisi toimia moitteettomasti uusilla kylmäaineilla.

Taulukko 4. Tarkistettavat kohdat kylmäaineen vaihdossa. (Hakala 2019)

Kompressorit	Lauhdutin	Höyrystin	Venttiilit	Putkisto	Säädin
Voidaanko kompressorit käyttää uudella kylmäaineella, käyttöalue?	Tarkista, riittääkö lauhduttimen teho kompressorin uuteen tehoon	Suuri lämpötilaliukuma kasvattaa höyrytimen höyrytymislämpötilan ja tulevan ilman välistä lämpötilaeroa, koska paisuntaventtiilille tarvitaan aina riittävä tulistus	Jos voiteluöljy vaihtuu, magneettiventtiilien ja muiden kumitiivisteillä varustettujen venttiilien tiivisteet on vaihdettava uusiin.	Tarkista putkiston mitoitus.	Tarvitseeko säätölaitteiden asetuksia muuttaa. Kompressorisäädin ja tulistussäädin tarvitsevat uuden kylmäaineen parametrit
Paljonko jäähdytysteho muuttuu?	Suuren lämpötilaliukuman kylmäaineet vaativat suuremman pinta-alan pienissä lauhduttimissa, jos ne eivät ole vastavirtavaihtimia	Suuren lämpötilaliukuman kylmäaineita käytettäessä höyrystin myös kuivaa enemmän.	Soveltuuko vanha paisuntaventtiili uudelle kylmäaineelle.		
Kuumakaasun lämpötila uudella kylmäaineella			Painekytkimet ja painensäätöventtiilit voivat edellyttää uusia säätöjä.		

7 HIILIDIOKSIDI

Hiilidioksidi (R744), GWP arvo on 1. CO₂ kuuluu EN 378 turvaluokituksestaan A1 / L1 ryhmiin, ei palava ja lievästi myrkyllinen, mutta suurina määrinä tainnuttava. Kauppojen kylmälaitteissa käytetään CO₂.

Hiilidioksidikoneistoissa voidaan lauhtumislämpötilaa ohjata lämmöntarpeen mukaisesti korkeammalle paineelle ja lämpötilalle, aina ylikriittiselle alueelle asti, jolloin korkeassa lämpötilassa kylmäainekaasusta saatava energiamäärä on suuri. Kuuma hiilidioksidikaasu saavuttaa lämpötilatason, jolla voidaan lämmittää suoraan lattialämmityksen, tuloilman ja lämpimän käyttöveden lämmitysverkostoja. (Heikkilä 2019.)

Kaasuvuotojen valvonta on usein tarpeen kylmätiloissa ja -laitoksissa. Kylmäaineiden valvonta kaasuvuotojen varalta on tarpeellista, jotta voidaan välttyä aineiden ympäristölle aiheuttamat vahingot sekä vuodoista syntyvät kustannukset. Lisäksi nykyiset korvaavat kylmäaineet ovat syttyviä. (Löppönen 2021.)

Hiilidioksidin käyttö kylmäaineena on lisääntynyt viimeisen vuosikymmen aikana. Se on perinteikäs, ympäristöystävällinen ja turvallinen kylmäaine. Hiilidioksidi ei edistä ilmaston lämpenemistä eikä aiheuta otsonikatoa. (JohnsonControls 2022.)

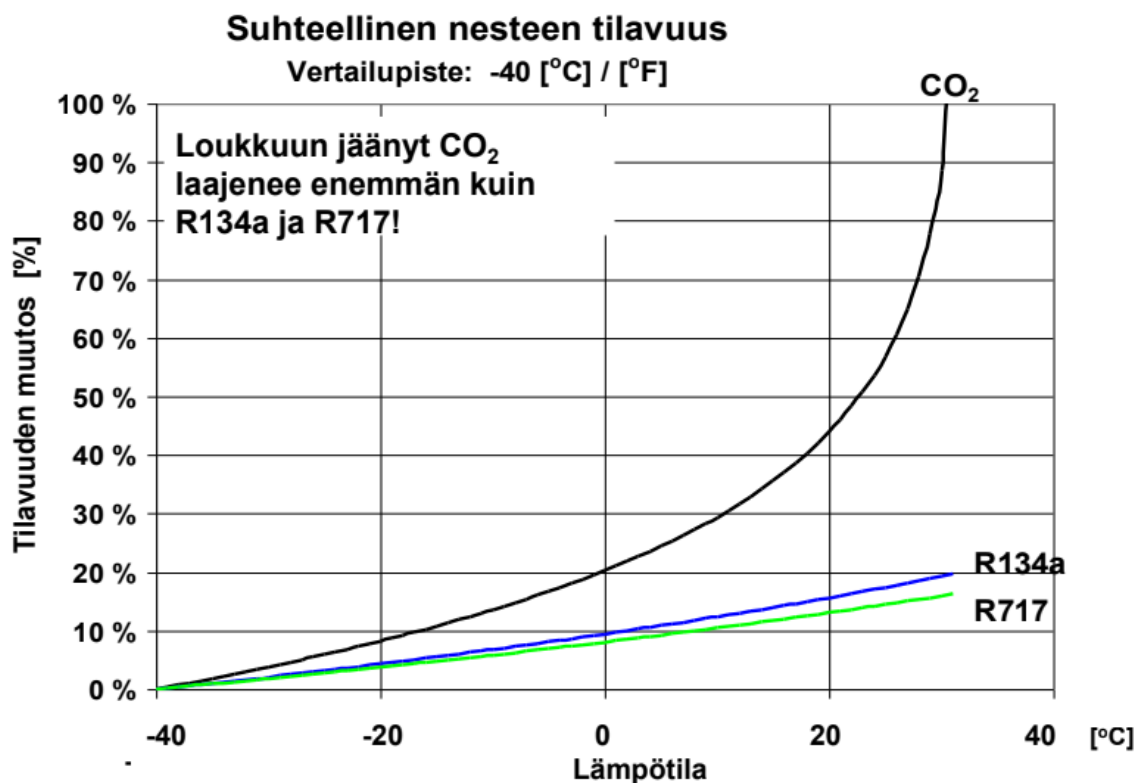
Kasvaneet energiatehokkuusvaatimukset ja ympäristöystävällisyys ovat osaltaan lisänneet hiilidioksidin kysyntää aiempina vuosina. Epäorgaanisista kylmäaineista halutaan päästä eroon, tämän vuoksi luonnollisten kylmäaineiden merkitys jatkaa kasvuaan. Hiilidioksidia on erittäin suosittu kylmäaine kaupan kylmässä myrkyttömyytensä vuoksi sekä se sopii käytettäväksi elintarvikkeiden kanssa. Lisäksi hiilidioksidia saadaan kokoajan lisää, kun sitä syntyy teollisuuden sivutuotteena. Saatavuudeltaan hiilidioksidi on hyvä sekä edullinen kylmäaine. (Korhonen 2019.)

Volymetrinen kylmäntuotto on hiilidioksidin etuna, jolloin se sitoo höyrystyessään itseensä enemmän lämpöenergiaa kuin muut kylmäaineet. Tällöin pienemmät massavirrat ovat hiilidioksidilla mahdollisia ja laitteistossa voidaan käyttää pienempiä putkikokoja. Hiilidioksidin hyvät ominaisuudet mahdollistavat alhaisen höyrystymislämpötilan, minkä vuoksi se soveltuu erinomaisesti pakastuslaitoksiin. Hiilidioksidilla päästään jopa -50 °C:n höyrystymislämpötilaan.

7.1 Hiilidioksidin ominaisuudet

Hiilidioksidissa hyödynnetään alikriittistä ja transkriittisestä jäähdytysprosessia. Hiilidioksidin jäähdytysprosessista käytetään kylmäkerroin merkintää (EER). Hiilidioksidia toimivia laitoksia on käytössä erityisesti kylmän ilmaston maissa. Hiilidioksidi on kylmäaineena erikoinen, kriittinen piste on matalassa lämpötilassa 31,06 °C korkeassa paineessa 73,8 bar. Hiilidioksidin kolmoispisteellä on myös korkea paine, 5,2 baaria. Käytännön sovelluksissa on tärkeää, että paine ei laske lähelle 5,2 baaria, sillä muuten kiinteä hiilidioksidi voi tukkia virtauksen. Hiilidioksidilla on lisäksi hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, jotka parantavat esimerkiksi lämmöntalteenotossa saatavaa energiaa. (Hassinen, 2018)Taulukko 6 kuvaa hiilidioksidin tilavuuden muutosta laajenemista, kun lämpötila alkaa nousemaan. Tilavuuden muutos on hyvin dramaattinen.

Taulukko 5. Loukkuun jääneen hiilidioksidin tilavuuden muutos. (Kaappola 2017.)



40 bar hiilidioksidilaitosta ei voi pysäyttää kuin maksimissaan parin tunnin ajaksi, muutoin varaajapaineet lähtevät nousemaan välittömästi ja hiilidioksidijärjestelmä purkautuu varoventtiilistä. Varaajapaineiden nousu on riippuvainen ympäristön lämpötilasta ja varaajan eristyksestä. Ongelma voi syntyä kesähelteellä, että kuinka nopeasti lämpötila nousee. Varaajan tilavuus on oltava myöskin riittävän suuri sekä varoventtiileitä oltava sijoitettuna suunnittelu ja asennusvaiheessa sulkujen väleihin.

Tilaajan määrittäessä laitoksensa paineluokan 80 barin laitokset ovat tavallisia. Suunnitelmien mukaisesti isommissa kylmätehoa vaativissa laitoksissa valmistaja tekevät kuvat ja ehdotukset tilaajalle hyväksyttäväksi ennen hiilidioksidikoneikkojen valmistusta.

7.2 Hiilidioksidin käyttö ja turvallisuus

Hiilidioksidin käyttö on yleistynyt turvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden vuoksi, jolloin hiilidioksidin käyttöä kauppojen kylmäaineena tukee sen ollen pitkän ajan kylmäaine. Hiilidioksidin käytölle ei ole tiedossa käyttörajoitteita eikä kieltoja. Vaarana hiilidioksidissa on sen hajuttomuus, joten vuotoa on lyhyessä ajassa hankala huomata aistimalla. Kuvassa 4 mukana pidettävä hiilidioksidimittari, joita on usealta valmistajalta saatavilla. Toiset hiilidioksidi mittarit ovat kiinteästi konehuoneeseen asennettavia.

CO₂-koneistoissa pitää olla asennettuna hiilidioksidivaroitin mahdollisen vuodon varalle. Pelkkä happipitoisuuden mittaaminen ei riitä CO₂-koneiston turvajärjestelmänä, hiilidioksidin narkoottisen vaikutuksen takia. Hiilidioksidipitoisuuden mittaukseen löytyy oma mittarinsa ammattikäyttöön. (Muuronen 2016.)

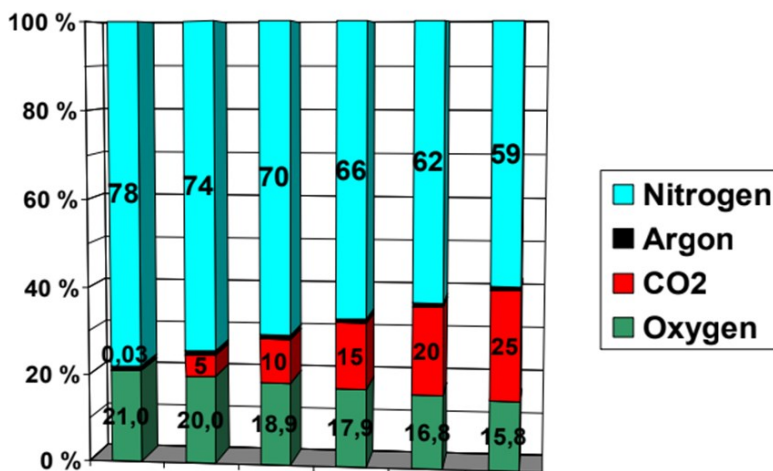


Kuva 4. Hiilidioksidipitoisuuden mittari (Sensorcell 2022)

Kuvassa laadukas hiilidioksidimittari, joka on helppokäyttöinen monitoimimittari hinnaltaan yli 800 €. Samanaikainen CO- ja CO₂-mittaus sekä lisävarusteena löytyy lämpötila- ja kosteusanturi. Laite on TÜV-testattu standardin EN 50543 mukaisesti.

Taulukossa 7. kuvataan, kuinka hiilidioksidijärjestelmällisen konehuoneen happi- sekä typpipitoisuus vähenee vuototilanteessa ilmasta, kun kylmäjärjestelmän kylmäaineena on käytetty hiilidioksidia.

Taulukko 6. Happipitoisuuden väheneminen CO₂ laitoksissa vuototilanteissa. (Kaappola 2017)



Hiilidioksidia on ilmassa luontaisesti noin 0,037 % mutta suurina pitoisuuksina se on terveydelle haitallista. Hiilidioksidi on yhdiste, joka koostuu hiilestä ja hapesta. Taulukko 8 kerrotaan hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot. Hiilidioksidipitoisuuden noustessa yli turvallisten rajojen, aiheuttaa se ihmisissä

monia fyysisiä oireita. Fyysiset oireet määrittää hiilidioksidi pitoisuus ja altistumisen kesto, mutta korkeissa hiilidioksidi pitoisuuksissa jo lyhyt altistuminen voi olla kohtalokas. (Muuronen 2016.)

Taulukko 7. Hiilidioksidipitoisuuden raja-arvot.

hiilidioksidipitoisuus	vaikutus
370 ppm (0,037 %)	pitoisuus ilmakehässä
5000 ppm (0,5 %)	kaasuhälytyksen yläraja (evakuointi)
20000 ppm (2 %)	ei ongelmia lyhyestä altistuksesta
30000 ppm (3 %)	sekavuus
100000 ppm (10 %)	tajuttomuus, kuolema

7.3 Hiilidioksidilaitoksessa käytettävät materiaalit

Putkiston seinämävahvuudet ovat normaalia, aiemmin käytössä ollutta jäähdytysputkilaatua paksumpi seinämäistä ja hiilidioksidiputkissa sekä komponenteissa on käytettävä kuparirautaseosta. Putkien työstövaiheessa putkia ei saa ns. pokata eli taivuttaa, vaan ne ovat tehtävä osista juottamalla. Hiilidioksidilaitoksissa ovat kovemmat paineet verrattuna aiempiin HFC ja HFO luokan kylmäainepiireihin, mutta kupariputkilinja koot ovat hiilidioksidilla selkeästi pienemmät keskimäärin nestelinjoissa 10 mm - 15 mm ja imulinjoissa 15 mm - 22 mm. Hiilidioksidille rakennettavan putkilinjaston putkikoon halkaisijaltaan ollessa pientä, niin tällöin metrihinta jää vielä edulliseksi. Putkihinnan kokonaiskustannus putkilinjojen osalta ei tässä suhteessa ole kalliimpaa, kuin aiempina vuosikymmeninä toteutettujen kylmälaitoksien putkilinjat.

7.4 Käyttökohteet

Hiilidioksidia voidaan hyödyntää hyvin monissa sovelluksissa, voidaan käyttää kaasuolomuodossa elintarviketeollisuuden jäähdytykseen tai säilömiseen ja pH-arvon hallintaan. Hiilidioksidi on katsottu estävän bakteerien kasvua, jolloin se on ollut käytössä myös kaasun useissa elintarvikepakkauksissa. Hiilidioksidia voidaan käyttää myös toissijaisena kylmäaineena ammoniakin lisänä (Darment 2022.)

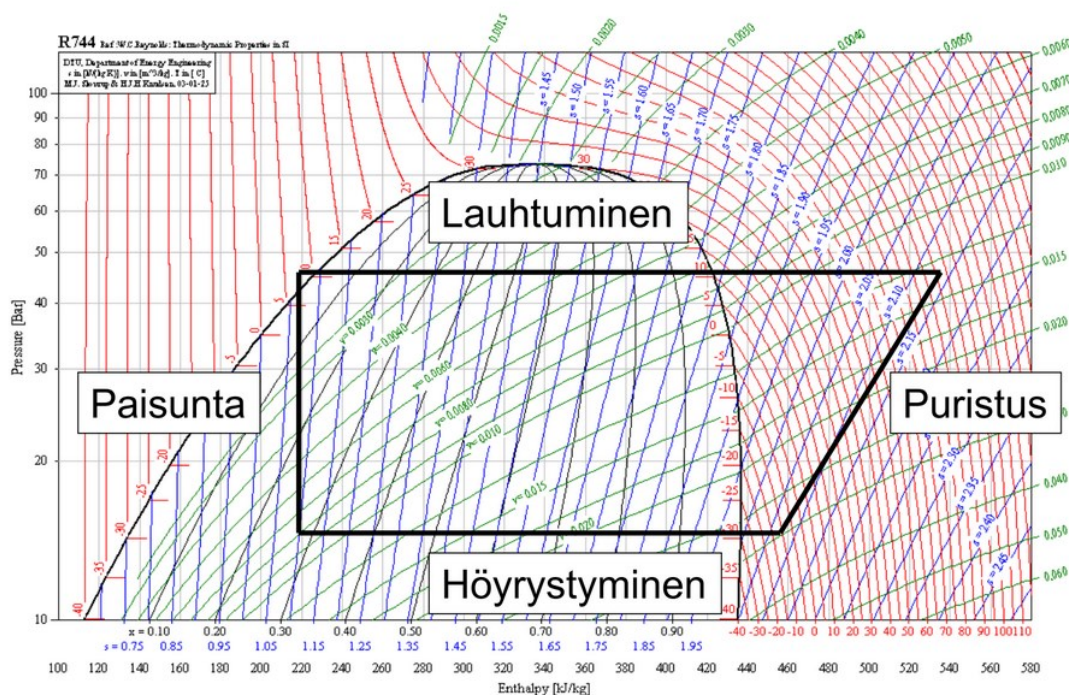
Hiilidioksidin toiminta kylmäaineena ei ole aivan samanlainen kuin hiilivetyjen ja käyttöpaineetkin voivat nousta korkeiksi. Laitteistoja kehitetään tämän vuoksi kaiken aikaa parempaan suuntaan hiilidioksidin käytön mahdollistamiseksi. Positiivista on hiilidioksidilaitosten putkien koko, joka on huomattavasti pienempi kuin muilla kylmäaineilla. (Darment 2022.)

Erilaisia hiilidioksidilla toimivia laitoksia on koekäytetty usean vuoden ajan. CO₂ toimii sekä suora-
höyrysteisessä että pumppukiertoisissa kylmälaitoksissa. Se on oiva kylmäaine pakastuslaitoksiin,
joissa sillä päästään jopa -50°C höyrystyslämpötiloihin. Euroopassa on käytössä jo useita hiilidiok-
sidilla toimivia laitoksia, joista saatu kokemus auttaa uusien laitoksien perustamisessa. (Darment
2022.)

7.5 Hiilidioksidi kylmäprosessit

7.5.1 Alikriittinen prosessi

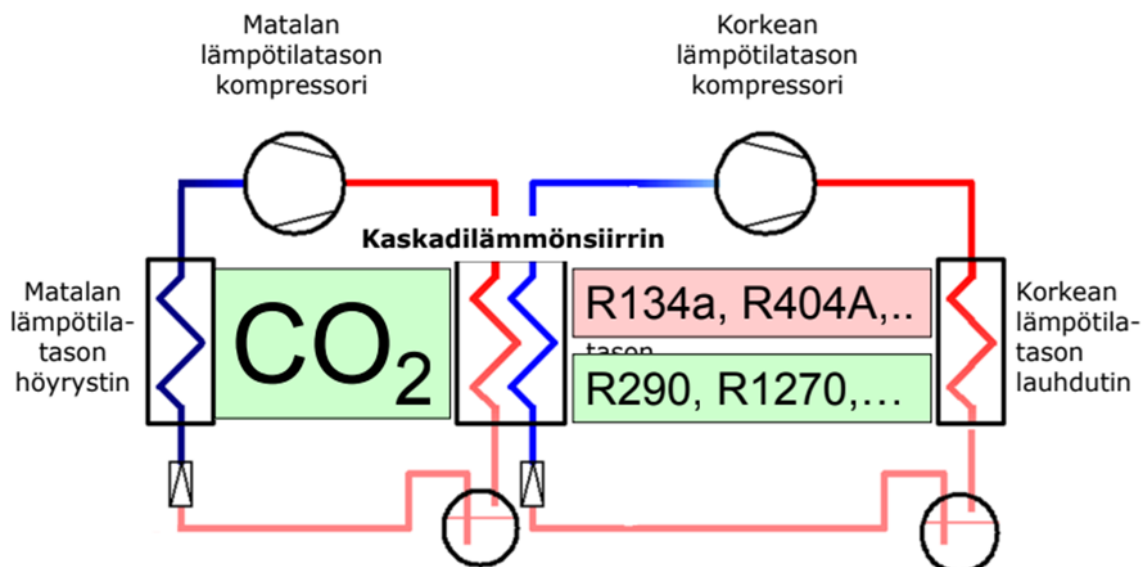
Kuvassa 5. on kuvattuna alikriittinen prosessi, joka on esitetty logaritmisella paineen ja entalpiain funktiona. Alikriittisen prosessin hiilidioksidin paine on kriittisen paineen alapuolella koko prosessin ajan.



Kuva 5. Alikriittinen prosessi. (Kaappola 2017)

7.5.2 Alikriittiset koneistot

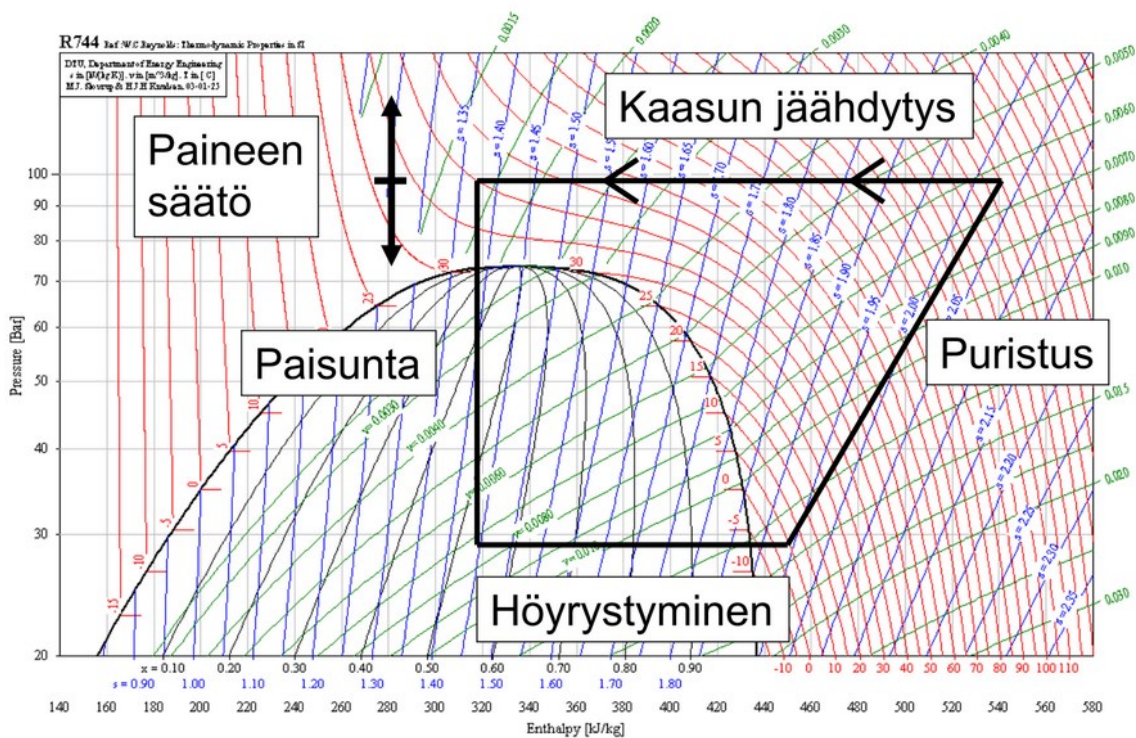
Ensimmäiset hiilidioksidikoneistot olivat suora-
höyrysteisiä kaskadikoneistoja, jossa kylmähuoneet
ja -kalusteet jäähdytettiin suora-
höyrysteisellä R404A koneistolla. Pakastuhuoneet ja -kalusteet jääh-
dytettiin vuorostaan suora-
höyrysteisellä hiilidioksidikoneistolla. Perinteinen kaskadikoneisto kuvassa
6.



Kuva 6. Kaskadikoneisto. (Kaappola 2017)

7.5.3 Ylikriittinen prosessi

Ylikriittisessä kylmäprosessissa, josta käytetään myös useasti nimitystä transkriittinen, kylmäaine luovuttaa lämpöä ympäristöön paineen ollessa kriittisen pisteen yläpuolella. Lämpö poistetaan kaasusta, jolloin kylmäaine ei nesteydy kaasunjäähdyttimessä. Ylikriittisiä CO₂-kylmäprosesseja, jotka perustuvat kaasun jäähdyttämiseen, käytetään elintarvikemyymälöiden ja teollisuuden (prosessijäähdytys, kylmä- ja pakkasvarastot) kylmälaitoksissa. Kuva 7 havainnollistaa ylikriittisen jäähdytysprosessin. Valmistaja laskee ja mitoittaa mitoitusohjelmalla kaasun jäähdyttimen laitteiston mukaiseksi.



Kuva 7. Ylikriittinen prosessi. (Kaappola 2017)

Transkriittisessä prosessissa paine ja lämpötila hiilidioksidilla nousevat yli kriittisen pisteen. Prosessin matalapainepuoli on alikriittisen pisteen alapuolella, ja prosessin korkeapainepuoli on kriittisen pisteen yläpuolella, missä ei voida erottaa neste- ja höyryfaasia toisistaan. Transkriittisessä prosessissa lämmönluovutuksessa ei tapahdu enää lauhtumista, vaan ainoastaan hiilidioksidikaasun jäähtymistä. (Hassinen, 2018) kuvassa 8 tehokas kaasunjähdytin.

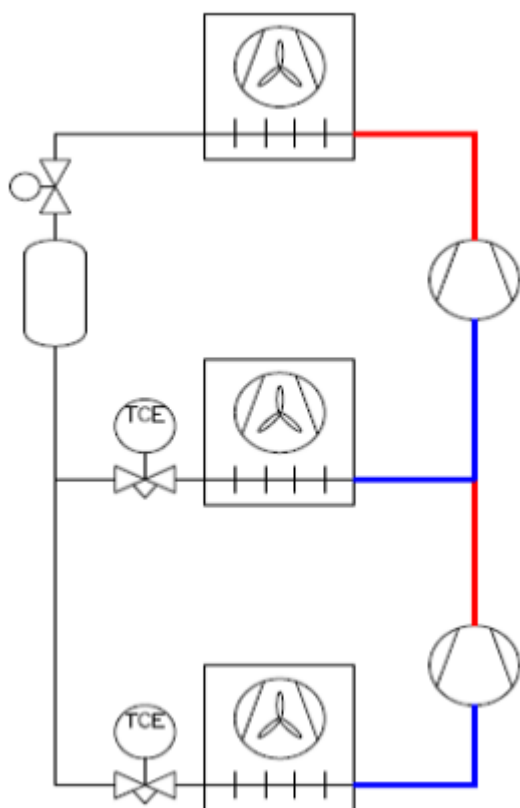


Kuva 8. Transkriittisen prosessin RRCX gas cooler, tehokas kaasunjähdytin. (Rivacold 2022)

Ylikriittisessä prosessissa jäähdysteho ja tehokerroin jäävät kuitenkin alhaisemmiksi alikriittiseen prosessiin verrattuna, minkä vuoksi hiilidioksidin käyttö kylmäaineena yleistyi ensin ilmastoltaan kylmemmillä alueilla, kuten Pohjois-Euroopassa. Jäähdytysteho laskee myös HFC-yhdisteitä käyttävissä koneistoissa ympäristön lämpötilan noustessa, mutta muutos ei ole yhtä suuri kuin hiilidioksidilla prosessin muuttuessa alikriittisestä ylikriittiseksi. (Huila 2020.)

Ylikriittiset kylmäprosessit ovat parhaimmillaan maissa, joissa ovat korkeat ulkolämpötilat. Pohjoisen viileämmässä ympäristössä alhaisemmissa lämpötiloissa kylmäprosessit pystyvät toimimaan myös alikriittisenä. Kaupan kylmäjärjestelmissä on käytetty ylikriittistä kylmäprosessia. Sitä on käytetty myös ilmastoinnin jäähdytyslaitteissa autoissa sekä lämpöpumpuissa. (Muuronen 2016.)

Kuumakaasun korkean lämpötilan vuoksi on mahdollista soveltaa useita käyttökohteita kaasunjähdytyksestä, mm. tilojen tai käyttöveden lämmitys. Kesällä jäähdytyksen tarve ollessa suuri ja lämmityksen tarve pieni, kauppojen kylmälaitteista saadaan talteen otettua energiaa riittävästi kaupan lämmitystarpeista, vaikka myytäväksi. Kaasunjähdytyksen riittävyyden varmistamiseksi voidaan tehdä muita ratkaisuja lämmitystarpeiden rinnalle. (Leinonen 2019.)



Kuva 9. Booster koneisto. (Muuronen 2016)

Kaksiportainen järjestelmä on Booster järjestelmä, joka toimii alikriittisesti tai transkriittisesti. Järjestelmä esitetty kuvassa 9. Kylmäaine puristetaan kahdessa osassa kaksiportaisessa järjestelmässä. CO₂-boosterkoneiston korkeapainepuoli verrattaessa perinteiseen kylmäaineeseen R404A, havainnoidaan suhteelliseen energiankulutukseen liittyviä kylmäaineiden ominaisuuksia. Hiilidioksidi on erittäin hyvä ja energiatehokas kylmäaine + 27 °C:n ja viileämmän ympäristön lämpötilassa. Ympäristön lämpötilan ollessa yli 27 °C, hiilidioksidin energiatehokkuus heikkenee ja tällöin R404A-kylmäaine on energiatehokkaampi vaihtoehto. (Muuronen 2016.)

7.6 Hyötysuhteen parantaminen

Jäähdytysprosessin hyötysuhteeseen voidaan vaikuttaa erilaisilla kytkennöillä tai lisäämällä kylmäkoneiston kiertoprosessiin erilaisia komponentteja. Myös edellä esitettyjen kaskadikytkennän ja booster koneiston taustalla on tavoite päästää korkeampiin tehokertoimen arvoihin. Muita tavallisesti käytettyjä teknologioita hyötysuhteen parantamiseen ovat muun muassa rinnakkainen puristus, ejektorit sekä kylmäaineen jäähdytys erillisten lämmönvaihdinten avulla.

7.7 Kaupan hiilidioksidijärjestelmät Suomessa

Vuonna 2007 kaupan kylmälaitoksiin tuli ensimmäistä kertaa ”uusi”, vaikkakin jo vuosikymmeniä aiemmin kylmätekniikassa muissa sovelluksissa käytetty kylmäaine hiilidioksidi. Vuonna 2008 rakentui Kuopion alueella ensimmäinen, K-Citymarket Päiväranta, kaskadipiirin mukainen kylmäaine järjestelmä. Ensimmäiset CO₂ koneistot olivat suorahöyrysteisiä kaskadikoneistoja. Kylmähuoneet ja -

kalusteet jäähdytettiin suorahöyryteisellä R404A koneistolla ja pakastehuoneet jäähdytettiin suora-
höyryteisellä CO₂ koneistolla.

Kaupan kylmän hiilidioksidilaitoksissa on käytössä lähes poikkeuksetta transkriittinen booster koneikko
kaasunohituksella. Se on yleensä rinnankytkettyä koneikkoa monimutkaisempi tekniseltä toteutuk-
seltaan ja sen putkisto sekä komponentit ovat suurelta osin eristetty, joten tällaisen koneikon aistin-
varainen tutkiskelu on huomattavasti totuttua hankalampaa. Vianmäärityksessä tarvitaankin perintei-
sempien keinojen tukena entistä enemmän ohjausjärjestelmän ja sen antamien lukemien tarkaste-
lua.

Hiilidioksidijärjestelmät ovat tulleet yleiseksi toteuttamisstrategiaksi monelle toimijalle. Lämmöntal-
teenottoa hyödynnetään ja hiilineutraalisuus lisääntyy merkittävästi meneillään olevalla vuosikymme-
nenä. Tehdastoimituksiin on tullut viime vuosina pienempiä 10 kW - 20kW:n valmiskoneikkoja.
Tällaiset valmiskoneikot ovat asentajaystävällisiä. Kompressorilauhdutin sekä puhallinhöyrystin tule-
vat laitevalmistajalta, jolloin asentajalle jää kytkeä kylmälinjat edellä mainittujen välillä. Lisäksi tarvi-
taan laitteiston sekä komponenttien sähköistys ja kylmälaiteiston ohjaussäädin.

7.8 Lauhdelämmön talteenotto

Energiatehokkuus on tärkeää ja tällöin kaikki saatava lämpöenergia voidaan hyödyntää eri tavoin.
Lauhdutus tarkoittaa jäähdytyksessä tilannetta, jolloin kompressorista ja höyrytimestä muodostunut
lämpöenergiaa luovutetaan pois. Pienissä koneistoissa on yleistä, että kylmäaineeseen prosessissa
muodostunut lämpöenergia lauhdutetaan suoraan ilmaan. S-marketien eli isompien kohteiden kyl-
mäkoneistoissa hyödynnetään lauhdelämpöä ja siitä saatavaa lämpöenergiaa myymälän lämmitys-
kohteissa. Hyviä lämpöenergian käyttökohteita ovat esimerkiksi lattialämmityksen, käyttöveden tai
tuloilman lämmitys, jolloin voidaan vähentää muiden lämpöenergioiden kustannuksia. Aina ei kuiten-
kaan kylmäkoneistoista saatu lauhdelämpöenergia saada kattamaan kaikkea lämmitystarpeita, täl-
löin voidaan käyttää kaukolämpöä lisäenergian lähteenä sen käytön ollessa tällöin hyvinkin kannatta-
vaa. (Muuronen 2016.)

8 VALMISKONEIKOT

Markkinoille on tullut viime vuosina valmiskoneikkoja uusille HFO aineille, jotka olivat ensimmäisenä R448, R449 ja R452 kylmäaineille tarkoitettuja kompressorilauhdutin koneikkoja.

Seuraavaksi tulivat pienet hiilidioksiditäytöksellä toimivat koneikot, ja nyt viimeisen vuoden sisällä on maahantuoja tuonut markkinoille propaanilla toimivat koneikot. Perinteiset on-off kylmäkoneikot ovat saaneet kilpailijoiksi laadukkaat ja monipuoliset digi scroll tekniikalla toimivat kompressorit. Näitä molempia voidaan myös yhdistää kylmäkoneikoissa, jolloin saadaan portaaton tehonsäätö laajalle tehoalueelle kylmän tuotossa.

8.1 Scroll kompressori

Scroll- eli kierukkakompressori on kompressorityyppi, jossa paine tuotetaan kahdella sisäkkäisellä kierukalla. Kierukoista toinen on kiinteä kierukka, jonka sisällä pyörii toinen kierukka epäkeskeisesti. Kierukat koskettavat toisiaan muutamasta kohdasta muodostaen perättäisiä kammioita, jotka pienevät kiertymän mukaan. Laitetta käytetään nesteen ja kaasun pumppaukseen. Toiminta on viime vuosina saatu hyvin hiljaiseksi ja tehokkaaksi verrattuna kaikkiin muihin mekaanisiin kompressorityyppeihin. Scroll kompressorissa ei ole kylmäkompressorille tuttuja matalapaine- ja korkeapainepuolen venttiilejä. Jotkut valmistajat käyttävät kuitenkin korkeapainepuolella takaiskuventtiilejä. Voitelu ja tiivistys vaativat riittävästi öljyä ja välykset ovat hyvin tarkkoja.

Kompressorityypillä saavutetaan lähes 100-prosenttinen tehokkuus kaasun tilavuuden siirrossa. Tämä ei ole samalla lailla teknisesti mahdollista muissa kompressorityypeissä, kuten liikkuvissa männissä. Näissä laitteissa on myös vähemmän liikkuvia osia kuin muissa ratkaisuisissa, mikä periaatteessa voi johtaa suurempaan luotettavuuteen.

Johtuen suuresta tehokkuudestaan säästetään kierukkakompressorilla myös energiaa ja juuri tämän vuoksi niitä on alettu soveltaa lähes poikkeuksitta sekä uusimmissa ilma- ja maalämpöpumpuissa että kauppojen kylmäkoneissa. (Wikipedia 2022.)

8.2 Digitaaliohjatut kompressorit

Digitaaliohjatut kompressorit työstävät puristustyötään "on/off" digitaalisesti. Käytännössä tämä saadaan aikaiseksi antamalla kahden toisiaan vasten puristuneen kierukan tarpeen mukaan liikkua hie- man irti toisistaan, mutta vain sen verran, että muuten suljetut kierukoiden puristuskammiot alkavat lepotilassa vuotaa liitoksistaan. Tällöin uutta puristustyötä ei enää synny, vaikka kompressori jatkaa pyörimistään täydellä nopeudella mutta ilman vastusta.

Jakamalla kompressorin toiminta tietyn ajan pituisiin työjaksoihin, voidaan näin sovelluksen tarvetta seuraten ohjelmoida puristus päällä -työjakso ja puristus pois -lepojakso tarkasti. Vaikka kompressori toimiikin puristustyössä aina joko työ- tai lepojaksossa jokaisella tarkastellulla ajanhetkellä, tuottaa esimerkiksi tunnin aikana laskettu keskiarvo todellisen puristustyön määrän portaattomasti. Digitaaliossa ohjauksessa antotehoja voidaan säätää portaattomasti jopa alueella 10–100 %. (Darment 2022.)

Digitaalinen scroll tuottaa tehonsa pulssituksesta, jolloin tehokasvu on moninkertainen aiempiin kompressoreihin verrattuna. Lisäksi digitaalisen scrollin eduksi perinteisiin malleihin verrattuna on kompressorin koko, joka on pieni sekä kevyt, ja lisäksi kompressori toimii laajalla kylmäaine eri variaatioilla. Aiemmin kompressoreita ei ole voitu ajaa alle 40 % teholla, koska sähkömoottori ei kestä ylikuumentuessa ja kompressori ei myöskään saa voittoa.

8.3 Hiilidioksidikoneikko

Italialaisen valmistajan taulukon mukaan pienet ulkoasenteiset hiilidioksidikoneikot ovat kylmiö käyttöön tarkoitettuna keskimäärin tehoiltaan 2,5kW – 10 kW, ja pakkaspuolella 2,7kW -7kW. Digi scroll tekniikalla toteutettujen ja kylmäaine R448 ja R449 toteutettujen vastaavan kylmätehoiltaan vastaavan kokoisen koneikon hinta on noin 30–40 % edullisempi kuin vastaavan hiilidioksidikoneikon. Edellä mainitut ovat samalla tekniikalla ja energiansäästöllä rakennettuja ja täten myös kalliimpia kun kylmäaine R448 ja R449 toimivat on-off koneikot. Vaikkakin nämä on-off koneet ovat selkeästi edullisempia, niin näissä ei saavuteta niitä etuja, jotka digi scrolleista saadaan. Kuvassa 10 ulkoasenteinen valmiskoneikko sekä höyrystinyhdistelmä ja säädinlaatikko ohjaamaan molempia. Laitehinta on osaltaan vaikuttanut pienten hiilidioksidikoneikkojen yleistymistä. Katso kuva 10. Toisena seikkana, ettei tehoiltaan pienistä ulkoasenteisista koneikoista saa lämmöntalteenottoa. Sisäasenteisista koneikoista saadaan LTO levylämmönvaihtimella. Hiilidioksidikoneikot ovat digi scroll tekniikalla toteutettuja.



Kuva 10. Ulkoasenteinen hiilidioksidi valmiskoneikko, huonehöyrystin sekä säädin. (Rivacold 2022)

8.4 Digi scroll koneikkojen vertailtavuus

Hiilidioksidin käyttöä rajoittavat sen hankalat termodynaamiset ominaisuudet. Hiilidioksidin kriittinen lämpötila on alhainen muihin tavallisimpiin kylmäaineisiin verrattuna, minkä seurauksena myös hiilidioksidia kylmäaineena käyttävien kylmäkoneiden hyötysuhteet jäävät alhaisemmiksi varsinkin lämpimissä olosuhteissa.

Kylmiö ja pakkaspuolen keskisuuret koneikot ovat ulkoasenteisia koneikkoja. Vuorostaan isot koneikot ovat sisäasenteisia ja monikompressorin järjestelmiä, joissa asennetaan erillinen gas cooler kaasunjäähdytin. Kuvassa 11. sisäasenteinen koneikko. LTO täytyy aina suunnitella ja jokainen suunnitelma on erilainen, joka räätälöidään tilaajan tarpeen mukaan. Erilaisia optio vaihtoehtoja ulkomaalaisella kylmäkoneikko valmistajalla satoja erilaisia variaatioita valittavissa mm. kylmäkoneikon sähkökeskus erillään, sähkökeskus päädyssä tai sivulle sijoitettuna.



Kuva 11. Hiilidioksidilla toimiva sisäasenteinen booster digi inverter koneikko. (Rivacold 2022)

Kuvassa 11 etualalla neljä kappaletta scroll kompressoreja, ja oikealla kaksi kappaletta taajuusmuuttajia allekkain, joilla tapahtuu tehonsäätö energiataloudellisesti. Digi inverter koneikko on scroll tekniikalla toteutettu, jossa on useita pieniä rotaatiokompressoreita tehon tarpeen mukaisesti antamassa kylmätehoa. Tällainen koneikko on tehokas pulssituksensa ansiosta, samalla kuitenkin hiljainen sekä normaalia kevyempi. Kylmäkoneikon kokoluokka on saatu tehtaalla pieneen kokoon sekä

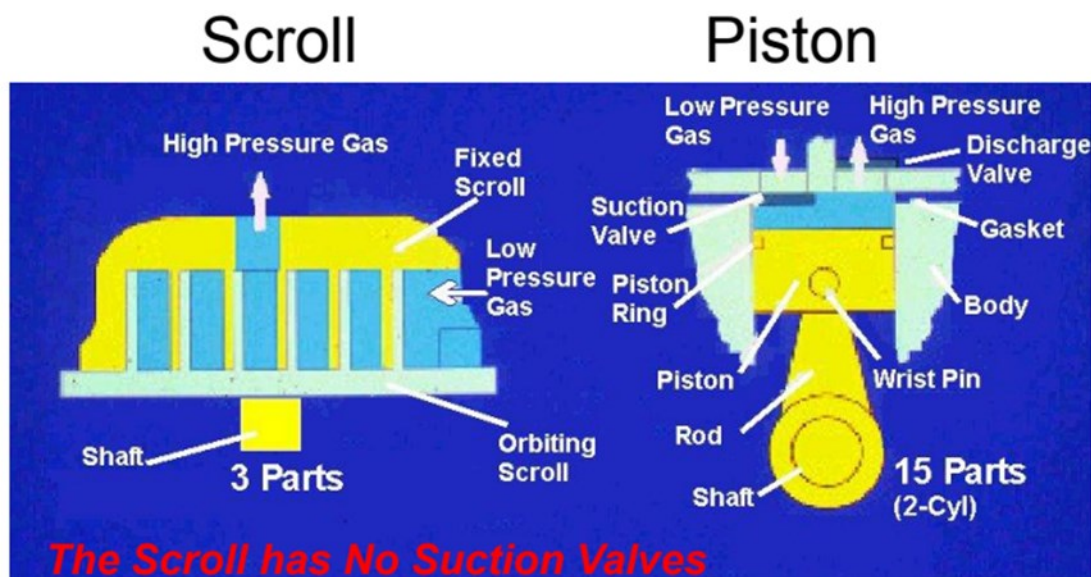
kevyeksi, jolloin koneikko on siirrettävissä pumppukärryillä kohteeseen. Kaiken lisäksi koneikot ovat osoittautuneet luotettaviksi toiminnaltaan käytössä.

8.5 Mäntäkompressorit ja digi scroll kompressoritekniikka

Koneikkokokoonpanoissa on saatavana koneikkoja, jossa on yksi inverter koneikko, joka säätelee portaattomasti tehoa 10–100 % välillä. Toiset kompressorit 2–4 kpl:tta ovat normaaleita mäntäkompressoreita. Tällöin saadaan portaaton tehonsäätö koko kylmä tehoalueelle. Taulukko 9 esittää scroll- ja mäntäkompressorien eroja. Kuvassa 12 kerrottu molempien kompressorityyppien keskeiset osat, jossa nähdään, miten vähän osia scroll tekniikassa. Perinteisissä mäntäkompressoreissa on havaittuja puutteita, kuten enemmän mekaanisesti vikaantuvia osia sekä suurempi kitka.

Taulukko 8. verrataan scroll- ja mäntäkompressorin keskinäisiä eroavaisuuksia.

scroll kompressorit	mäntäkompressorit
teräshitsattu kuori	valurautainen runko
2-napainen moottori	4-napainen moottori
5 %:n häviöt, ei tyhjennys tilavuutta	suuret häviöt
Pienempi koko, 94 cm ³ , pienet tilat	suurempi koko, 300 cm ³
Pienemmät kustannukset ja hinta	
Vähemmän materiaalia käytetty Vähemmän ympäristövaikutuksia valmistuksessa ja hävittämisessä	
Jatkuva puristus ja tasainen kapasteetikäyrä	
Voi hyödyntää höyryruiskutusta (EVI), parannettu jäähdytyskierto (ekonomaisempi) Vähemmän LT-kompressoreita	
Hyvä kokonaiskestävyys nestevikoja vastaan	



Kuva 12. Scroll kompressorin ja mäntäkompressorin rakenne. (Emerson Copeland 2022)

8.6 CO₂ supermarket koneikko

Täysin integroitu ja erittäin tehokas CO₂-järjestelmä, jolla voidaan kattaa koko supermarketin jäähdyydyksen, kesällä ilmastoinnin, talven lämmityksen ja lämpimän käyttöveden vaatimukset. Jäähdytystehokkuuden lisäämiseksi yli 32°:n huonelämpötiloissa tuotetaan rinnakkaispuristus neljällä lisäkompressorilla, jotka takaavat myös kylmän veden tuotannon ilmastointijärjestelmään kesällä. Talvella lämmitys tuotetaan ottamalla talteen jäähdytyksestä tuleva lämpö. Kuvassa 13 on Rivacold puolihhermeettisiä kompressoria rivissä, joista saadaan kylmätehoa tarpeen mukaisesti.

Kaasujäähdyttimen älykäs ratkaisu sisäänrakennetulla höyrystimellä yhdistettynä kehittämään räätälöityyn ohjausohjelmistoon mahdollistaa haihdutuksen korkeammissa lämpötiloissa jopa kylminä pävinä. verrattuna järjestelmiin ilman tätä ohjelmistoa, mikä johtaa pienempään kulutukseen sekä paljon yksinkertaisempaan sulatuksen hallintaan. (rivacold 2022.)



Kuva 13. Hiilidioksidikoneikko. (Rivacold 2022)

Toisin kuin lämpöpumput, tämä järjestelmä takaa erinomaisen lämmitystehon talvella myös alhaisissa huonelämpötiloissa. Tämä vähentää merkittävästi kulutusta erityisesti alkuaukioloaikoina, jolloin kysyntä voi olla suurempi, koska lämmitysjärjestelmä kytketään pois päältä yöllä, ottamalla talteen lämpöä aina käynnissä olevasta jäädytysjärjestelmästä.

Kaikki nämä ominaisuudet tarkoittavat, että järjestelmä antaa supermarketille mahdollisuuden säästää 15 % energiankulutuksessa verrattuna yksinkertaiseen CO₂-tehostusjärjestelmään ja vahvistaa päätöstä siirtyä kohti tehokkaampia, ympäristöystävällisempiä ratkaisuja. (Rivacold 2022.)

8.7 Vaihtoehdon vertailu

Kompressori ja näillä toteutettuja koneikkovaihtoehtoja on useita. Taulukko 10 kertoo muutaman esimerkin eri höyrystymislämpötiloilla ja konetehoilla olevien koneikkojen hintaluokista. Lisävarusteet yms. nostavat luonnollisesti hintaa järjestelmissä.

Taulukko 9. Esimerkkihintoja. Hinnat alv. 0 %.

koneikko	kylmiöt (+)	kylmiöt (+)	pakkanen (-)	pakkanen (-)
vaihtoehdot	höyrystyminen -10°C	höyrystyminen -10°C	höyrystyminen -30°C	Höyrystyminen -30°C
R448/R449 on-off kompr. koneikko	5000 W hermeettinen 2400 €	18500 W puolihermeettinen 13000 €	4800 W hermeettinen 2900 €	5900 W puolihermeettinen 14000 €
R448/R449 digi scroll teho 10–100 % koneikko	520 W - 5100W 4400 €	1900W - 18500W 10900 €	400 W – 4000 5850 €	750 W – 6100 W 7950 €
CO ₂ booster koneikko	(+) 9000 W ja (-) 2100 W 36000 €			(+) 14000 W ja (-) 9700 W 46800 €

9 YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Hiilidioksidi kylmäaineena ja hiilidioksidilaitokset ovat soveltuneet hyvin viileään ilmastoon Suomen maantieteellisen sijainnin vuoksi. Vertailtaessa eri vaihtoehtoja, niin täytyy verrata samanlaisella tekniikalla eli digitaalisella scroll tekniikalla toteutettuja koneikkoja keskenään, kun kyseessä on hiilidioksidi tai kylmäaineet kuten R448 ja R449.

Kylmäaineella R448 ja R449 kylmäaineelle käytettävien on-off koneikkojen hinta on edullinen pienissä noin 4–5 kW:n teholuokassa sekä plussa varasto, että pakkasvarasto käytössä. Hintaero kuitenkin tasoittuu näiden kahden erilaisen tekniikan välillä, kun siirrytään pienestä hermeettisestä kompressoritekniikasta puolihhermeettisesti tehtyyn, kylmätehoiltaan suurempaan kylmäteholuokkaan.

Markkinoille on saatu ns. asentaja ystävällisiä hiilidioksidikoneikkoja, jossa toimitetaan kompressorilauhdutin ja höyrystin sekä ohjauskeskus kohteeseen ja asentajat kytkevät näiden väliset kylmälinjat. Koneikkopaketit ovat tehtaalla mahdollisimmat pitkälle tehty puhtaasti ns. laboratorio olosuhteissa, joten asennustyön aika laitteiden ja komponenttien asentamisessa tilaajan kohteessa on tällöin pyritty minimoimaan.

Hiilidioksidi luonnollisena kylmäaineena on todettu hyväksi kaupan kylmässä ja sovelluksissa, erityisesti tapauksissa, jossa voidaan hyödyntää lauhdelämmön talteenotto. Tämä on myös imagollinen kysymys yritykselle, halutaan hiilineutraali myymälä.

10 LÄHDELUETTLO

- Coolfors. (3. 4 2022). *Taloudellisempi tapa toteuttaa kaupan kylmäkalustus*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.coolfors.com/coolflow/>
- Darment. (20. 03 2022). *Darment*. Haettu 20. 03 2022 osoitteesta <https://darment.fi/kylmaaine/r744/>
- Darment. (4. 4 2022). *Kylmäaineissa eletään pitkään kestänyttä murrosvaihetta*. Haettu 4. 4 2022 osoitteesta <https://darment.fi/kylmaaineissa-eletaan-pitkaan-kestanytta-murrosvaihetta/>
- Darment. (3. 4 2022). *Kylmäkompressorit*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://darment.fi/tuoteosasto/kompressorit/scroll-kompressorit/>
- Emerson Copeland. (3. 4 2022). *Copeland Compressors and Refrigeration Units*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://climate.emerson.com/en-sg/brands/copeland>
- Freor. (4. 4 2022). *HYDROLOOP SYSTEM*. Haettu 4. 4 2022 osoitteesta <https://freor.com/hydroloop-system/>
- Hakala, P. (10. 2 2019). *Combinaari*. Haettu 1. 3 2022 osoitteesta https://combicool.fi/media/pdf/1c/a2/ab/Kuinka-markkinoilta-poistuvat-kylmaaineet-voidaan-korvata-Combinaari-2021_jakelu.pdf
- Hassinen, A. (2018). *Päivittäistavarakauppojen lämmöntalteenoton vertailu booster kylmälaitoksissa*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Lappeenranta. Haettu 8. 3 2022 osoitteesta https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/158458/Kandidaatinty%C3%B6_Hassinen_Aleksi.pdf?sequence=1
- Heikkilä, T. (2019). *Kylmä Extra*, 41. Haettu 4. 3 2022
- Heikkilä, T. (2019). *Kylmä Extra*, 42. Haettu 6. 3 2022
- Huila, J. (2020). *Hiilidioksidin käyttö*. Tampere: Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta. Haettu 8. 3 2022 osoitteesta <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/121682/HuilaJoona.pdf?sequence=2>
- ISO 14001 - Ympäristöasioiden hallinta*. (03 2022). Haettu 4. 3 2022 osoitteesta https://www.dnv.fi/services/iso-14001-ymparistoasioiden-hallinta-3360?gclid=Cj0KCQiAybaRBhDtARIsAIEG3kn_H7vIqFeMjA0imh9ikxCtxROTW5YOVjY6VxtOcdIdCMFy0hBMxUwaAkPVEALw_wcB
- Johansson, A. (2019). *Kylmä Extra -kuukausijulkaisu*, 9. Haettu 3. 4 2022
- JohnsonControls. (2022). *industrial-refrigeration*. Haettu 1. 3 2022 osoitteesta https://www.johnsoncontrols.com/fi_fi/buildings/industrial-refrigeration/co2
- Kaappola, E. (2017). CO₂ -kylmäaine ja -koneistot. *CO₂ -kylmäaine ja -koneistot*. Haettu 28. 2 2022
- Kaappola, E. (2022). *Kylmätekniikan koulutuspäivät 2020*, (ss. 10-11). Haettu 2. 3 2022
- Kapanen, M. (2018). *Kylmä Extra*, 17. Haettu 2. 3 2022
- Kapanen, M. (2019). *Kylmä Extra*. Haettu 28. 2 2022

- Korhonen, A. (2019). *Hiilidioksidikylmäjärjestelmän putkiston ja lämmönvaihtimien mitoitus*. Helsinki: Metropolia ammattikorkeakoulu. Haettu 8. 3 2022 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166120/Korhonen_Anssi.pdf?sequence=2
- Kylmäaine*. (03. 04 2022). Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.kylmaaine.fi/>
- Leinonen, J. (2019). *CO2 -KYLMAKONEEN KÄYTTÖÖNOTTO JA KOEKÄYTTÖ*. Oulu: Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 3. 3 2022 osoitteesta <https://docplayer.fi/202598194-Janne-leinonen-co2-kylmakoneen-kayttoonotto-ja-koekaytto.html>
- Linde-gas*. (20. 03 2022). Haettu 20. 03 2022 osoitteesta https://www.linde-gas.fi/fi/products_ren/refrigerants/natural_refrigerants/r290_care_propane/index.html
- Löppönen, J. (2021). *Kylmä Extra*, 47. Haettu 3. 3 2022
- Löppönen, J. (2021). *Kylmä Extra*, 47. Haettu 6. 3 2022
- Motiva. (2009). *Kiinteistön energiatehokkaat sähkötekniset ratkaisut*. Haettu 3. 3 2022 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/7974/Kiinteiston_energiatehokkaat_sahkotekniset_ratkaisut.pdf
- MSA. (3. 4 2022). *Onko CO2 luonnollinen kylmäaineen valinta?* Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.mybacharach.com/fi/CO2-kylm%C3%A4aineen-valinta/>
- Muuronen, M. (2016). *Hiilidioksidin (CO2) käyttö kylmäaineena, kylmälaitostyytit ja kylmälaitoksen mitoitus*. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111886/Insinoorityo_MikkoMuuronen_HiilidioksidinCO2kayttokylmaaineena.pdf.
- Niemelä, O. (28. 8 2019). *Energiatehokkuuden parantaminen päivittäistavara-kauppojen kylmäjärjestelmien*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/159890/diplomityo_oona_niemela.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reinikainen, T. (2019). *Kylmä Extra -kuukausijulkaisu*, 8. Haettu 3. 4 2022
- Rivacold. (4. 4 2022). Noudettu osoitteesta <https://www.rivacold.com/ww/en/>
- Rivacold*. (4. 4 2022). Haettu 4. 4 2022 osoitteesta <https://www.rivacold.com/ww/en/a-cutting-edge-integrated-system-in-co2-world>
- rivacold. (1. 4 2022). *Mastering cold*. Haettu 1. 4 2022 osoitteesta <https://www.rivacold.com/ww/en/>
- Sensorcell . (3. 4 2022). *Sensorcell tuotteet*. Noudettu osoitteesta https://www.sensorcell.fi/epages/sensorcell.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2016080104/Products/%220632%203153%22
- Sitra. (03. 04 2022). *Kasvihuonekaasu*. Haettu 3. 4 2022 osoitteesta <https://www.sitra.fi/tulevaisuussanasto/kasvihuonekaasu/>

Suomen ympäristökeskus. (2019). Kylmä Extra. Haettu 3. 4 2022

Uusiouutiset. (20.. Maaliskuu 2022). Haettu 4. 4 2022 osoitteesta <https://www.uusiouutiset.fi/hiiliviisaus-on-jokaisen-yrityksen-ulottuvilla/>

Wikipedia. (2022). Scroll kompressori. Haettu 4. 16 2022 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki?curid=89733>

Ympäristö. (4. 4 2022). Haettu 4. 4 2022 osoitteesta [https://www.ymparisto.fi/fi-fi-
fi/ilmasto_ja_ilma/kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_suomessa/fluoratut_kasvihuonekaasut/Kayttorajoitukset_ja_kiellot](https://www.ymparisto.fi/fi-fi/ilmasto_ja_ilma/kasvihuonekaasupaastojen_raportointi_ja_seuranta/kasvihuonekaasupaastojen_seuranta_suomessa/fluoratut_kasvihuonekaasut/Kayttorajoitukset_ja_kiellot)

Ympäristöasioiden hallinta. (20. 03 2022). Haettu 4. 4 2022 osoitteesta https://www.dnv.fi/services/iso-14001-ymparistoasioiden-hallinta-3360?gclid=EAIaIQobChMI2fPwzOfU9gIVUuh3Ch2I1w5yEAAYASADEgKhlfD_BwE