

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Talotekniikan koulutusohjelma

Timo Heinonen
Esa Mertanen

KYLMÄKONEIKKODEMO TALOTEKNIIKAN LABORATORIOON
Suunnittelu ja toteutus

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2018
Talotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijät

Timo Heinonen, Esa Mertanen

Nimeke

Kylmäkoneikkodemo talotekniikan laboratorioon: suunnittelu ja toteutus

Toimeksiantaja

Karelia-amk

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa kylmäkiertoa mallintava pieni kylmäkoneikko, jota tulevaisuudessa voidaan hyödyntää talotekniikan koulutusohjelmassa jäähdytysjärjestelmiä ja lämpöpumppuja käsittelevillä kursseilla. Opinnäytetyö tehtiin Karelia - ammattikorkeakoulun toimeksiantona.

Kylmätekniistä kiertoprosessia hyödyntäviä sovelluksia löytyy arkisesta elämästä joka puolelta, talotekniikassa tuottamassa rakennuksiin niin kylmää kuin lämmintä, esimerkiksi ilmastointilaitteiden sekä lämpöpumppujen muodoissa. Kylmälaitteiden ja kylmäaineiden toiminnan ymmärtäminen edellyttää tutustumista fysiikan perusasioihin sekä kiertoprosessin kulkuun.

Opinnäytetyössä tutustuttiin kylmälaitosten suunnittelua ja kylmätekniikkaa käsitteleviin teoksiin sekä mitoitushjelmistoihin, joista soveltaen pienempään mittakaavaan onnistui aikaansaada suunnitelma kokoonpanolle. Laitteen ohjaus vaati tutustumista automaatiojärjestelmiin ja soveltuvan ohjelman luomista, jonka avulla voidaan ohjata käyntiä ja seurata kylmäkierron muutoksia.

Aikaan saatiin kompaktin kokoinen laite, josta kylmäkierron aikaisten lämpötilojen sekä paineiden muutosten seuranta on oppimistehtäviin soveltuvassa muodossa. Työn pohjalta pystytään joustavasti kehittämään kylmäkoneikkoa siihen suuntaan, mihin opetus-työn myötä tulee tarvetta ja ideoita.

Kieli

suomi

Sivuja 67

Liitteet 11

Liitesivumäärä 53

Asiasanat

kylmäprosessi, kylmäkierto, kylmäjärjestelmän suunnittelu, lämpöpumppu



THESIS
June 2018
Degree Programme in Building
Services Engineering

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Authors

Timo Heinonen, Esa Mertanen

Title

Cooling Unit Demonstrator for Laboratory of Building Services Engineering: Designing and Implementation

Commissioned by
Karelia UAS

Abstract

In this thesis the aim was to design and assemble a small-scale cooling unit which demonstrates the refrigeration cycle, and could be used on HVAC-teaching, which handles cooling and heat pumps. The thesis was commissioned by Karelia University of Applied Sciences.

The applications utilizing the refrigeration cycle can be found from all over around us. In building services engineering those applications are commonly cooling systems and heat pump-systems. The understanding of the cooling cycle and refrigerants requires an orientation to the fundamentals of physics and the refrigeration circuit.

The thesis begun by becoming acquainted with the literature of cooling system design and dimensioning software available. By applying and scaling down to suitable size, it was possible to make plans for the desired cooling unit. Controlling and monitoring the cooling unit's refrigeration cycle through automation controller system required creating a suitable program.

The result is compact sized cooling unit, which can be employed as a demonstrator during teaching. The automation and controls are built to a suitable form for the students to use. Further developing of the cooling unit should be flexible, concerning what needs and ideas the future will bring.

Language

Finnish

Pages 67

Appendices 11

Pages of Appendices 53

Keywords

cooling process, refrigeration cycle, cooler designing, heat pump

Sisältö

1 Johdanto	6
2 Kylmätekninen kiertoprosessi	7
2.1 Kylmäkerroin ja lämpökerroin	9
2.2 Log p, h-tilapiirros kylmäaineille	10
2.3 Kylmäaine	15
2.4 Kylmäkoneöljy	17
3 Jäähdytysjärjestelmän komponentit	19
3.1 Kompressori	19
3.2 Lauhdutin	20
3.3 Suodatinkuivain ja nestelasi	21
3.4 Nestesäiliö	23
3.5 Magneettiventtiili	23
3.6 Paisuntaventtiili	24
3.7 Höyrystin	26
4 Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu	27
4.1 Kylmätehontarve	27
4.2 Järjestelmän valinta	27
4.3 Putkisto	28
4.4 Kompressorin mitoitus	29
4.5 Lämmönvaihtimet	30
4.6 Nestesäiliön mitoitus	32
4.7 Paisuntaventtiilin mitoitus	32
5 Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu talotekniikan laboratorioon	33
5.1 Lähtövaatimukset	33
5.2 Kompressorin hankinta	33
5.3 Kylmäprosessin mitoitus	34
5.4 Lämmönvaihtimien mitoitus	37
5.5 Höyrystimen mitoitus	38
5.6 Lauhduttimen mitoitus	39
5.7 Oheiskomponenttien mitoitus ja valinta	40
5.7.1 Paisuntaventtiilin mitoitus ja valinta	40
5.7.2 Nestesäiliö ja suodatinkuivain	41
5.7.3 Nestelasi, painemittarit, lämpömittarit sekä täyttöventtiilit	42
5.8 Putkiston mitoitus	43
5.9 Järjestelmän kehikko	45
5.10 Kytkentäkaavio	46
6 Jäähdytysjärjestelmän ohjaus	48
6.1 Pääohjelma PLC_PRG ohjaukset	50
6.2 Visualisaatio ja webvisualisaatio	52
6.3 Aspen - piirilevy	53
7 Järjestelmän testaus ja tulokset	55
8 Korjausten vaikutukset tuloksiin	61
9 Koneikon kehitysideoita	63
10 Koneikko opetusikäisessä	64
11 Pohdinta	65
Lähteet	67

Liitteet

- Liite 1 Aspen Q-series Compressor
- Liite 2 Kylmäaineen R134a ominaisuuksia
- Liite 3 Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus
- Liite 4 CAD-suunnitelmapiirros
- Liite 5 Kytkenäkaavio
- Liite 6 Aspen Compressor-piirikortin kytkentäohjeet
- Liite 7 Aspen Compressor-asennusohjeet
- Liite 8 WAGO-datalehdet
- Liite 9 Käyttötestien tulokset
- Liite 10 Kylmäkoneikon käyttöohje
- Liite 11 Esimerkkitehtävä

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli aikaansaada kompakti jäähdytysjärjestelmää mallintava demonstraatiolaitteisto tuleville talotekniikan opiskelijoille. Järjestelmän avulla oppilaat pääsevät tekemään käytännön laboratorioharjoituksia kylmä- ja lämpöprosesseista.

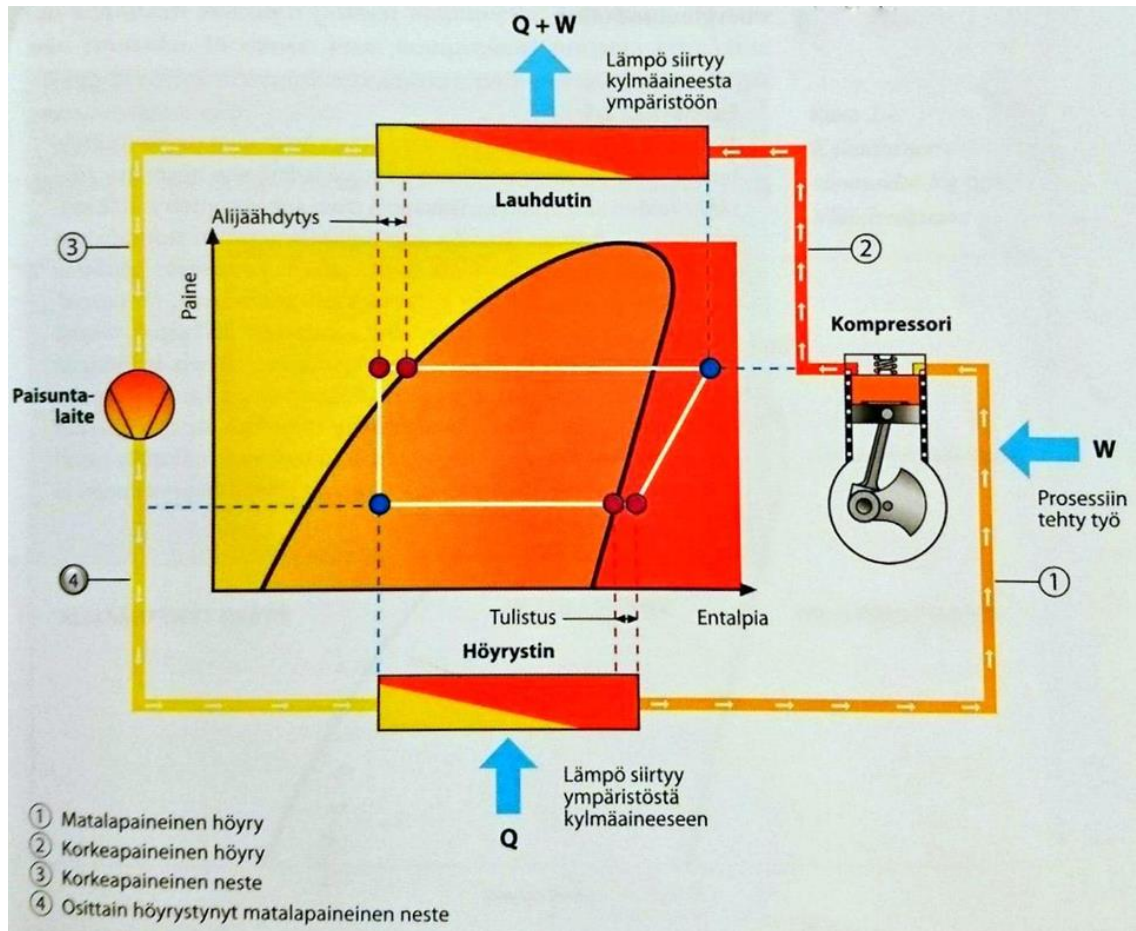
Opinnäytetyö tuli Karelia-ammattikorkeakoulun Wärtsilä-kampuksen toimeksiantona ja työn myötä aikaan saatu laite jää tilaajan käyttöön. Tarkoituksena oli myös hahmotella mahdollisia tehtäviä, joita oppilaille voidaan laitteen avulla teettää ja saada ymmärrystä kylmäprosessin tapahtumista.

Järjestelmän kokoonpanon kylmäainetöiden ja putkiasennusten osalta suoritti Pohjois-Karjalan ammattiopisto Riverian edustajat, opinnäytetyön tekijöiden suunnitelmien ja ohjeistuksen pohjalta. Järjestelmän ohjausautomaation luominen kuului opinnäytetyöhön.

2 Kylmätekninen kiertoprosessi

Termodynamiikan 2. pääsäännön mukaisesti lämpö pyrkii aina luonnollisesti siirtymään korkeammasta lämpötilasta matalampaan päin. Että saataisiin lämpöä siirtymään matalammasta lämpötilasta korkeampaan, tulee järjestelmään tuoda työtä. Kylmätekninen kiertoprosessi kuvaa tätä ilmiötä, jossa yleensä työtä tuodaan järjestelmään kompressorin sähkötehon avulla. Kompressorin ottama sähköteho muuttuu lämpöenergiaksi, josta siirtyy osa kylmäaineeseen ja osa ympäröivään, jäähdyttävään väliaineeseen, esimerkiksi ilmaan tai veteen. Termodynamiikan 1. pääsääntö kuuluu ilmiöön vahvasti mukaan; energiaa ei voi hävitä, mutta voi muuttua muiksi energiamuodoiksi. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2015, 18.)

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa (kuva 1) siis siirretään prosessiin tuodun työn avulla lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan ja välittäjänä toimii kylmäaine. Kylmäaineen olomuodon muutokset höyrystymisen ja lauhtumisen suhteen eri painetasojen väleillä mahdollistavat lämpöenergian sitoutumisen ympäristöstä sekä luovuttamisen ympäristöön prosessin eri vaiheissa. (Kaappola ym. 2015, 18.)



Kuva 1 Kylmätekniinen kierto prosessi (Kaappola ym. 2015, 17)

Kuvan 1 järjestelmässä höyrystimeen tuotu matalalämpötilainen ja matalapaineinen kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstään ja höyrystyy, kohdassa 1. Kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen ja puristaa sen korkeampaan paineeseen. Kylmäaine tulistuu puristuksen aikana, jolloin myös lämpötila nousee merkittävästi. Korkeaan paineeseen ja lämpötilaan tulistunut kylmäainehöyry johdetaan kompressorista lauhduttimeen, kohta 2. Lauhduttimessa kylmäainehöyry lauhtuu tiivistyen nestemäiseen muotoon, samalla luovuttaen lämpöä ympäristöön, kohdassa 3. Lauhtunut ja nesteytynyt kylmäaine johdetaan seuraavaksi paisuntalaitteelle, jossa lasketaan kylmäaineen painetta sekä lämpötilaa, jolloin jo osa kylmäaineesta muuttuu höyrymäiseen muotoon, kohta 4. Kylmäaine jatkaa matkaansa paisuntalaitteelta höyrystimeen, jossa suurin osa höyrystymisestä tapahtuu ja kierto alkaa uudestaan. (Kaappola ym. 2015, 18.)

2.1 Kylmäkerroin ja lämpökerroin

Kylmäkerrointa ε käytetään yleensä ilmaisemaan kylmäprosessin hyötysuhdetta. Kylmäkerroin lasketaan jakamalla höyrystimen sitoma lämpö Q_0 kompressorin tekemällä työllä W . (Hakala & Kaappola 2013,10.)

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W} \quad (1)$$

Lämpökerroin φ on lämpöpumpun hyötysuhteesta kertova nimitys. Kerroin lasketaan jakamalla lauhduttimen luovuttama lämpö Q_L kompressorin tekemällä työllä W . (Hakala & Kaappola 2013,10.)

$$\varphi = \frac{Q_L}{W} \quad (2)$$

Lämpökerroin ja kylmäkerroin voidaan laskea myös seuraavalla kaavalla häviöttömässä tapauksessa (Hakala & Kaappola 2013,10).

$$\varphi = \varepsilon + 1 \quad (3)$$

Kylmä- ja lämpökertoimia laskiessa on oltava selvillä, onko kyseessä kompressorin vai koko järjestelmän hyötysuhde.

Hyötysuhdetta verrataan useimmiten Carnot-prosessiin, joka on ideaalinen perusprosessi lämpövoimakoneelle. Siirrettäessä lämpöä matalammalta lämpötilatasolta T_0 korkeammalle tasolle T_L on suurin mahdollinen kylmäkerroin tuolloin kaavan 4 mukainen. (Hakala & Kaappola 2013, 11.) (Kaappola ym. 2015, 230-231.)

$$\varepsilon = \frac{T_0}{T_L - T_0} \quad (4)$$

Lämpökerroin on vastaavasti Carnot-prosessissa.

$$\varphi = \frac{T_L}{T_L - T_0} \quad (5)$$

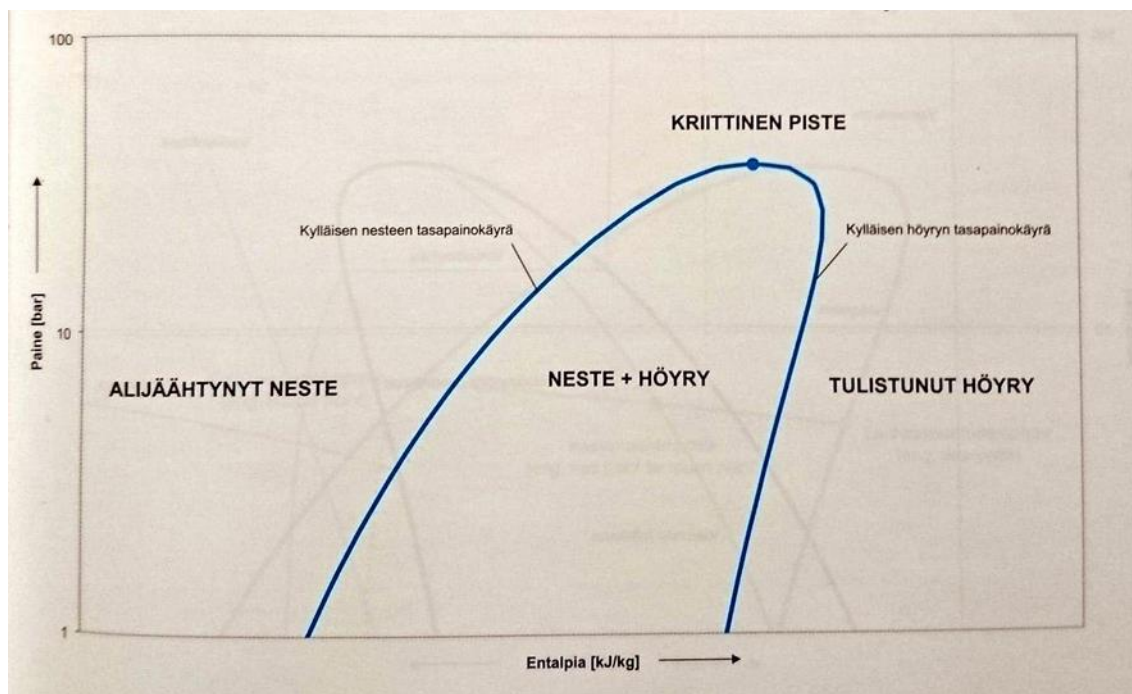
T_0 on höyrystymislämpötila [K]

T_L on lauhtumislämpötila [K]

2.2 Log p, h-tilapiirros kylmäaineille

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa kylmäaineen olomuodon muutoksia kuvataan jokaiselle aineelle ominaisessa paine-entalpia-tilapiirroksessa. Piirroksessa x-akselille on sijoitettu entalpian (h) arvot ja y-akselille absoluuttisen paineen (p) arvot. Piirroksen tarkkuuden säilyttämiseksi koko alueen kattavasti paineen arvot esitetään logaritmisella asteikolla. Siitä on myös johdettu piirrosta yleisesti kuvaava log p, h-tilapiirros-nimitys. (Kaappola ym. 2015, 19.)

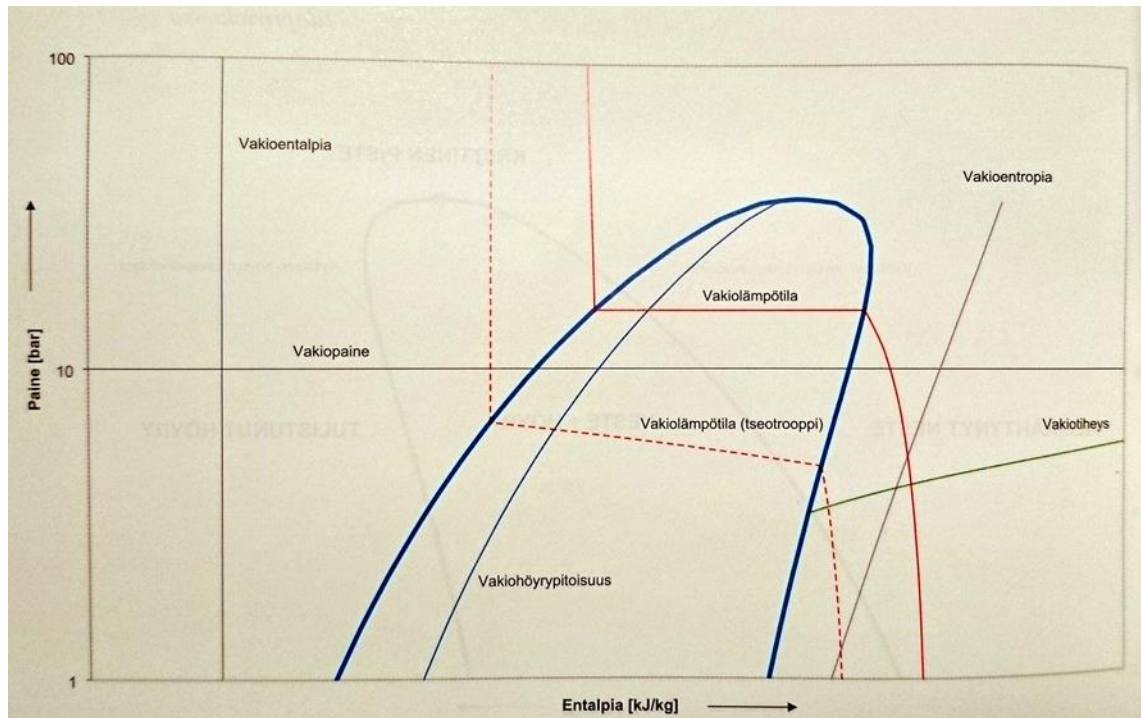
Log p, h-tilapiirroksessa aineen olomuodot on eritelty rajakäyrän avulla. Rajakäyrä jakautuu kahteen osaan, kylläisen nesteen ja kylläisen höyryn käyriin kylmäaineen kriittisen pisteen kohdalla joka sijaitsee käyrän huipulla (kuva 2). Kyläisen nesteen tasapainokäyrän vasemmalla puolella kylmäaine on alijäähtyneen nesteen muodossa, kun taas kylläisen höyryn tasapainokäyrän oikealla puolella kylmäaine on tulistuneena höyrynä. Tasapainokäyrien välisellä alueella kylmäaine ilmenee nesteen ja höyryn seoksena. (Kaappola ym. 2015, 19.)



Kuva 2 Kylmäaineen olomuodot Log p, h-tilapiirroksessa (Kaappola ym. 2015, 19)

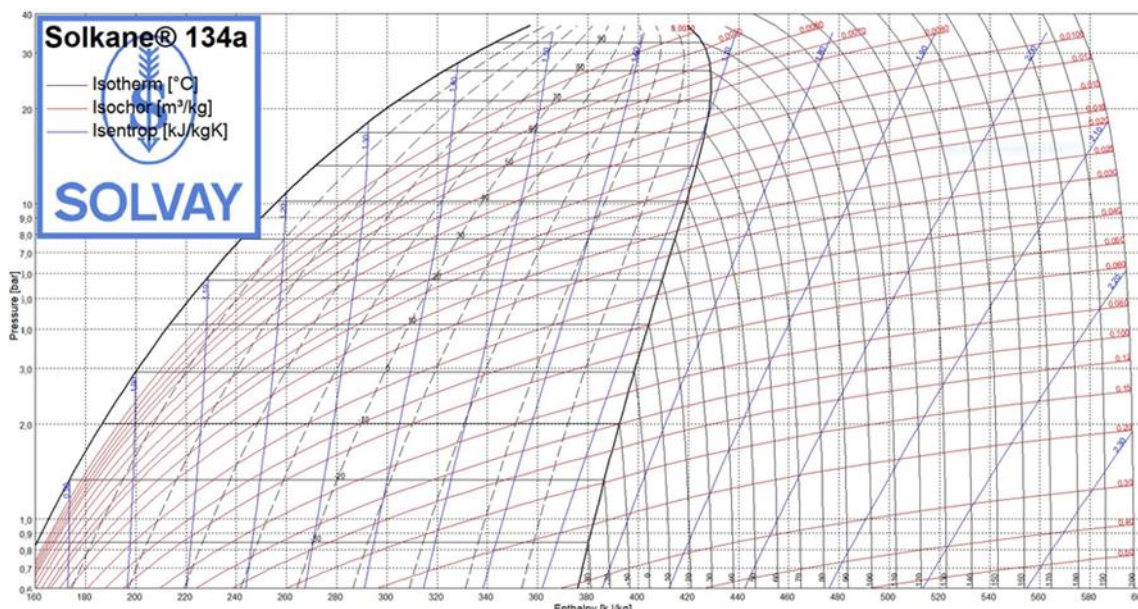
Kylmätekniinen kiertoprosessi joka tapahtuu kokonaan kriittisen pisteen alapuolella, on alikriittinen prosessi. Vastaavasti prosessia, jossa kompressori puristaa kylmäainehöyryn kriittisen pisteen yläpuolelle, kutsutaan ylikriittiseksi prosessiksi. Kriittisen pisteen yläpuolella kaasumaista kylmäainetta ei enää saada nesteytettyä lämpöä poistamalla. (Kaappola ym. 2015, 19.)

Kylmätekniisen prosessin esittämiseksi tarvitaan log p, h-tilapiirroksen kylläisen nesteen ja höyryn tasapainokäyrien lisäksi vakioämpötila-, vakioaine-, vakioentropia-, vakioentalpia- ja vakiohöyrypitoisuuksien käyrät (kuva 3). (Kaappola ym. 2015, 20.)



Kuva 3 Kylmäaineen tasapainokäyrät log p , h -tilapiirroksessa. (Kaappola ym. 2015, 20)

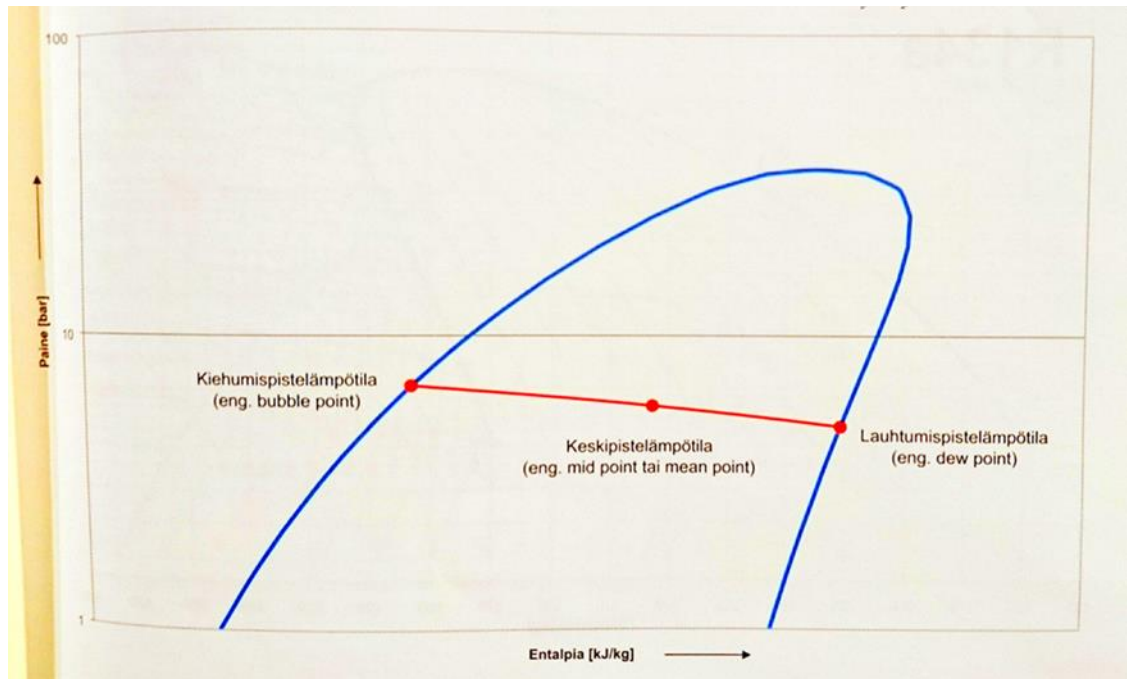
Vakiopainekäyrät p [bar] ovat vaakasuoria ja asteikko on logaritminen esiintyen koko piirroksen alueella paineiden ollessa absoluuttisia paineita. Vakioentalpia-käyrät h [kJ/kg] ovat esitettyinä myös koko tilapiirroksen alueella ollen pystysuoria. Vakiotheyskäyrät ovat tilapiirroksessa esitettyinä vain tulistuneen höyryn alueella, ominaistilavuuden yksiköissä v [m³/kg]. Ominaistilavuus on tiheyden käänteisluku. Vakioentropiakäyriä S [J/K] esitetään vain tulistuneen höyryn alueella selkeyden vuoksi. Vakiohöyrypitoisuuskäyrät esitetään neste + höyry-alueella, ilmaisemaan kuinka suuri osa kylmäaineen massaosuudesta on höyryfaasissa. (Kaappola ym. 2015, 20.) Kuvassa 4 on Solkane 8-valintaohjelmasta esimerkkinä kylmäaineen R134a log p , h -tilapiirros.



Kuva 4 Kylmäaineen R134a log p, h-tilapiirros (Solway Chemicals 2018)

Kuitenkaan kaikilla kylmäaineilla höyrystyminen ja lauhtuminen ei tapahdu vakio- lämpötilassa, vaan lämpötila muuttuu höyrystymisen tai lauhtumisen edetessä. Tämä seikka huomioitava vakio- lämpötilakäyrrien kohdalla. Kyseinen ilmiö on nimeltään lämpötilaliukuma, jota kuvaa vakio- lämpötilakäyrän kaltevuus neste- ja höyry-alueella, normaalin vaakasuoran sijaan. Kuvassa 3 lämpötilaliukuman omaavaa kylmäainetta on mallinnettu katkoviivaisella vakio- lämpötilakäyrällä. (Kaappola ym. 2015, 20.)

Kylmäaineissa, joiden kohdalla tapahtuu lämpötilaliukumaa, erotellaan täydellisen höyrystymisen ja lauhtumisen alku-, keski- ja loppupisteet. Kuvassa 5 on edellä mainitut termit havainnollistettuna. Vakio- lämpötilassa höyrystyvillä ja lauhtuvilla kylmäaineilla nämä pisteet ovat samansuuruisia. (Kaappola ym. 2015, 20.)



Kuva 5 Tseotrooppisen kylmäaineen liukuman lämpötilapisteiden havainnollistaminen (Kaappola ym. 2015, 21)

Erilaisia kylmäainetyyppejä on kolme, yksikomponenttinen, atseotrooppinen ja tseotrooppinen. Yksikomponenttisessa kylmäaineessa ei tapahdu lämpötilaliukumaa, sillä se koostuu yhdestä aineesta, jolloin höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakio­lämpötilassa. Atseotrooppinen kylmäaine on useimmiten kahdesta tai useammasta yksikomponenttisesta kylmäaineesta muodostettu seos, jonka höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat myös vakio­lämpötilassa, eri komponenttien höyrystymislämpötilat ovat lähellä toisiaan, joten liukumaa ei ilmene. Tseotrooppinen kylmäainetyyppi muodostuu kahdesta tai useammasta kylmäaineesta, jonka höyrystymisen ja lauhtumisen yhteydessä tapahtuu lämpötilan muutos. (Kaappola ym. 2015, 20-22.)

Kylmäainekomponentit tällöin höyrystyvät alhaisimman höyrystymislämpötilan omaavasta aineesta lähtien, jolloin muiden komponenttien seos alkaa höyrystyä vasta kun lämpötila nousee ja seuraavan komponentin höyrystymislämpö saavutetaan. Lämpötilaliukuman omaavia kylmäaineita ei käytetä märkähöyrysteisissä järjestelmissä, koska osa kylmäseoksesta voi jäädä höyrystymättä ja aiheuttaa ongelmia muihin osiin, muun muassa kompressorin öljynkiertoon. (Kaappola ym. 2015, 20-22.) Log p, h-tilapiirroksessa tseotrooppinen kylmäaine eroaa muista kylmäainetyypeistä vain vakio­lämpötilakäyrän osalta. Muutoin piirrokset ovat yhteneväisiä.

2.3 Kylmäaine

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja joita käytetään väliaineina lämmönsiirtoon kylmälaitteistoissa. Aineiden käytön perustana erinäisissä kylmäkiertoisissa laitteistoissa on kylmäaineen kyky muuttaa olomuotoaan nestemäisestä kaasumaiseksi, samalla kun ottaa vastaan lämpöä ympäristöstään tai luovuttaessaan lämpöä ympäristöön, kun olomuoto muuttuu kaasusta nesteeksi. (Kianta 2013, 40.)

Nesteen ja kaasun olomuodon muutoksia hyödyntämällä saadaan suhteellisen vähäisellä kylmäaineen massavirralla siirrettyä melko suuriakin lämpökuormia. Kylmäaineen ominaisuudet riippuvat vahvasti siihen kulloinkin vaikuttavasta lämpötilasta ja paineesta. (Kaappola ym. 2015, 31.)

Kylmäaineilla tulisi olla seuraavia yleisesti haluttuja termodynaamisia ominaisuuksia: suuri höyrystymislämpö sekä tilavuustuotto, jolla saavutetaan hyötyä pienemmän massavirran, putkikoon sekä kompressorin muodossa. Pieni viskositeetti on myös haluttu ominaisuus pienien painehäviöiden muodossa joita putkisto ja venttiilit muodostavat. Pieni kompressorin painesuhde, korkeapaineen ja matalapaineen välillä, hyödyttää puristustyön pienenemisellä sekä vähäisellä tullistumisella. Hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet yleensä ovat haluttuja, silloin lämmönsiirtopinta-alaa tarvitaan vähemmän. Höyrystymispaineen ollessa yli yhden baarin kylmäaineella, mahdolliset vuodot tapahtuvat putkistosta ulospäin, vähentäen todennäköisyyttä ilman, kosteuden ja epäpuhtauksien pääsyyn kylmälaitoksen kiertoon. (Kaappola ym. 2015, 31.)

Hyvällä kylmäaineella on seuraavia kemiallisia ominaisuuksia: stabiilius, jolla saavutetaan laaja käyttölämpötila-alue; palamattomuus, mikä tekee käyttämisestä turvallisempaa; liukenevuus öljyyn, mikä mahdollistaa hyvän öljynpalautuksen kompressorille. Myös reagoimattomuus erilaisiin materiaaleihin mahdollistaa laajan käytettävyyden monissa sovelluksissa. (Kaappola ym. 2015, 32.)

Fysiologisesti haluttuja ovat seuraavat ominaisuudet: myrkyttömyys ja vähäinen ärsyttävyyys iholle sekä limakalvoille, joka tuo käyttöön turvallisuutta; haitattomuus

jäähdytettävälle tavaralle tai kohteelle, jolla minimoidaan hävikkiä ja tuhoja vuotojen yhteydessä. Vuotojen helppo havaittavuus on myös haluttu ominaisuus, turvallisuuden sekä korjausten helpottamisen puolesta. (Kaappola ym. 2015, 32.)

Tietenkään ei sovi unohtaa, että kylmäaineiden yleensä halutaan olevan halpoja sekä ympäristöystävällisiä.

Kylmäaineita voidaan jaotella kylmäainekomponenttien määrän sekä lämpötilaliukuman mukaan; yksikomponenttisiin, atseotrooppisiin sekä tseotrooppisiin. Jaotella voidaan sen lisäksi kemiallisen koostumuksen mukaan; halogeenimolekyylisiin tai halogeenittomiin. Näistä voidaan vielä jaotella moniin omiin lokeroihinsa eri aliryhmiä. (Kaappola ym. 2015, 33.)

Yleisimmin jaottelu on tehty nykyään CFC-, HCFC- ja HFC-kylmäaineiden sekä halogeenittomien kylmäaineiden kesken.

CFC-aineet ovat täysin halogenoituja, klooria, fluoria ja hiiltä sisältäviä. Nykyään CFC-kylmäaineet ovat vahvasti rajoitettuja hyvin suuren otsonihaitallisuutensa vuoksi. R11, R12 ja R502 ovat esimerkkinä CFC-aineista.

HCFC-aineet ovat osittain halogenoituja hiilivetyjä, sisältäen klooria, fluoria, hiiltä sekä vetyä. Lievästi haitallisia otsonikerrokselle. HCFC-kylmäaineita ovat R22, R401A, R402A, R402B.

HFC- kylmäaineet ovat kokonaan kloorittomia hiilivetyjä, sisältäen fluoria, hiiltä ja vetyä. Otsonikerrokselle haitattomia. Eräitä HFC-aineita: R134a ja R404A

Halogeenittomat kylmäaineet ovat luonnonmukaisia kylmäaineita joilla ei ole otsonille haitallisia vaikutuksia. Yleisimpiä halogeenittomia kylmäaineita ovat propaani, ammoniakki, butaani, hiilidioksidi. (Hakala & Kaappola. 2013. 23.)

2.4 Kylmäkoneöljy

Kompressorit ovat suurilla pyörimisnopeuksilla toimivia mekaanisia koneita vaativien toimiakseen voiteluainetta. Kompressorit sisältävät useimmiten paljon liikkuvia osia, joissa on toisiaan vasten liukuvia pintoja, joiden välisen kitkan pienentämiseen tarvitaan liukastetta. Esimerkiksi mäntäkompressorin osat; mäntä ja sylinteri, venttiilit, kampiakseli ja kiertokanki sekä useat laakerit tarvitsevat öljyä. Liian vähäinen voitelu aiheuttaa lisääntyneen kitkan ansiosta tarpeeksi pitkään vaikuttaessaan ylimääräistä lämpöä. Tarpeeksi osien lämmentyään, yleensä lämpölaajeneminen sekä irtoava materiaali kitkapintojen kosketuskohdasta, aiheuttavat jossain vaiheessa osien yhteen hitsautumisen ja jumiutumisen tai hajoamisen. Toistaiseksi ainoastaan turbokompressorit edustaa kompressorityyppiä, joka toimii ilman voiteluöljyä kylmäainekierrossa. Turbokompressorissa akseli kelluu magneettilaakereiden varassa. (Kaappola ym. 2015, 44.)

Kylmäkoneöljyn muita hyödyllisiä ja osin tarpeellisia ominaisuuksia ovat: kompressorin tuottaman melun vaimentaminen, kompressorin sisäisten kylmäainevuotojen vähentäminen tiivistämällä pintoja, kompressorin jäähdyttäminen sekä vuodonilmaisuaineen kuljettaminen putkistossa. Osa öljystä lähtee höyrynä sekä pieninä pisaroina kylmäaineen matkaan putkistokiertoon laitokseen. (Kaappola ym. 2015, 44.)

Teoriassa pieninä pitoisuuksina öljy hieman parantaa lämmönsiirrinten tehoa. Käytännössä kylmäainekierron mukana putkistoon päässyt öljy on pelkästään epätoivottu ilmiö. Kylmäkoneisto sekä putkisto on pyrittävä suunnittelemaan, että kylmäainekiertoon päätyy mahdollisimman vähän öljyä ja sekin vähä palautuu kompressorille. (Kaappola ym. 2015, 45.)

Mineraaliöljyt ovat olleet vanhojen CFC – ja HCFC – kylmäaineiden kanssa käytössä yleisesti, koska raakaöljystä valmistettuna hinta on ollut halpa ja toimivuus (liukenevuus) aiempien kylmäainetyyppien kanssa tarpeeksi hyvä. Nykyään niitä ei ole juurikaan käytössä, koska mineraaliöljyt eivät toimi nykyisten kylmäaineiden kanssa vaaditulla tavalla.

Maakaasusta valmistetut synteettiset öljyt ovat kestävämpiä ilman ja kosteuden haitallisille vaikutuksille ja vaativimmille olosuhteille, eli korkeammille puristuksen loppulämpötiloille ja alhaisille höyrystymislämmöille, kuin mineraaliöljyt. Mineraaliöljyistä ja synteettisistä öljyistä on tehty myös seoksia, eli puolisynteettisiä öljyjä. Mitkään näistä öljyistä eivät toimi nykyisten HFC- kylmäaineiden kanssa. (Kaappola ym. 2015, 45.)

Polyoliesteriöljyt edustavat nykyisten HFC- järjestelmien kanssa yhteen sopivaa, yleisimmin käytettyä öljylaatua. Käytetään lyhennettä PE-öljyt ja puhekielessä esterioöljyistä puhutaan. Sekoittuvat HFC- kylmäaineisiin melko hyvin ja palautuvat oikein suunnitellussa järjestelmässä yleensä takaisin kylmäainekierrosta kompressoriin, mahdollistaen kompressorin sujuvan toiminnan. PE-öljyjen huonoihin puoliin kuuluu voimakas hygroskooppisuus, eli kosteuden sitominen ilmasta sekä muita öljyjä polaarisempi koostumus, joka antaa öljylle hyvän puhdistuskyvyn. Kosteus ja vesi kylmäaineessa sekä putkistosta irronnut lika ja partikkelit eivät ole pitkään ja oikealla tavalla toimivan kylmäjärjestelmän edellytystekijöitä. (Kaappola ym. 2015, 46.)

PAG -öljyt ovat synteettisiä öljyjä, joita on kehitetty toimimaan HFC -öljyihin siirtäessä vanhoista CFC- ja HCFC- kylmäainejärjestelmistä. PAG-öljyt ovat esterioöljyjäkin halukkaampia kosteudensitojia, sekä kuparitoimisuuden aiheuttajia huonon sähköneristyskyvyn ohella. Eli kuparimateriaaleja ei voida käyttää eikä kompressorin sähkömoottori voi olla kylmäaine – kompressorioöljykylvyssä. Käyttöä on ainoastaan autojen kylmälaitteissa, kun käytetään kumista ja alumiinista valmistettuja koneiston ja putkiston osia, ja kompressorin voima tulee ulkoisesti. (Kaappola ym. 2015, 47.)

Ammoniakin kanssa käytetään yleisesti mineraaliöljyjä tai synteettisiä P-tyyppin öljyjä. Ammoniakki ja esterit eivät yleensä toimi hyvin yhteen. Ammoniakiin eivät öljyt liukene, joten järjestelmään täytyy tehdä kohtia, jonne painavampi öljy painuu ja voidaan kerätä talteen. (Kaappola ym. 2015, 47.)

3 Jäähdytysjärjestelmän komponentit

Käsitellyt komponentit ovat opinnäytetyön kannalta olennaisia. Kylmäkoneikkoon voi kuulua myös paljon muita komponentteja, mutta niitä ei ole käsitelty, koska niitä ei käytetty työssämme.

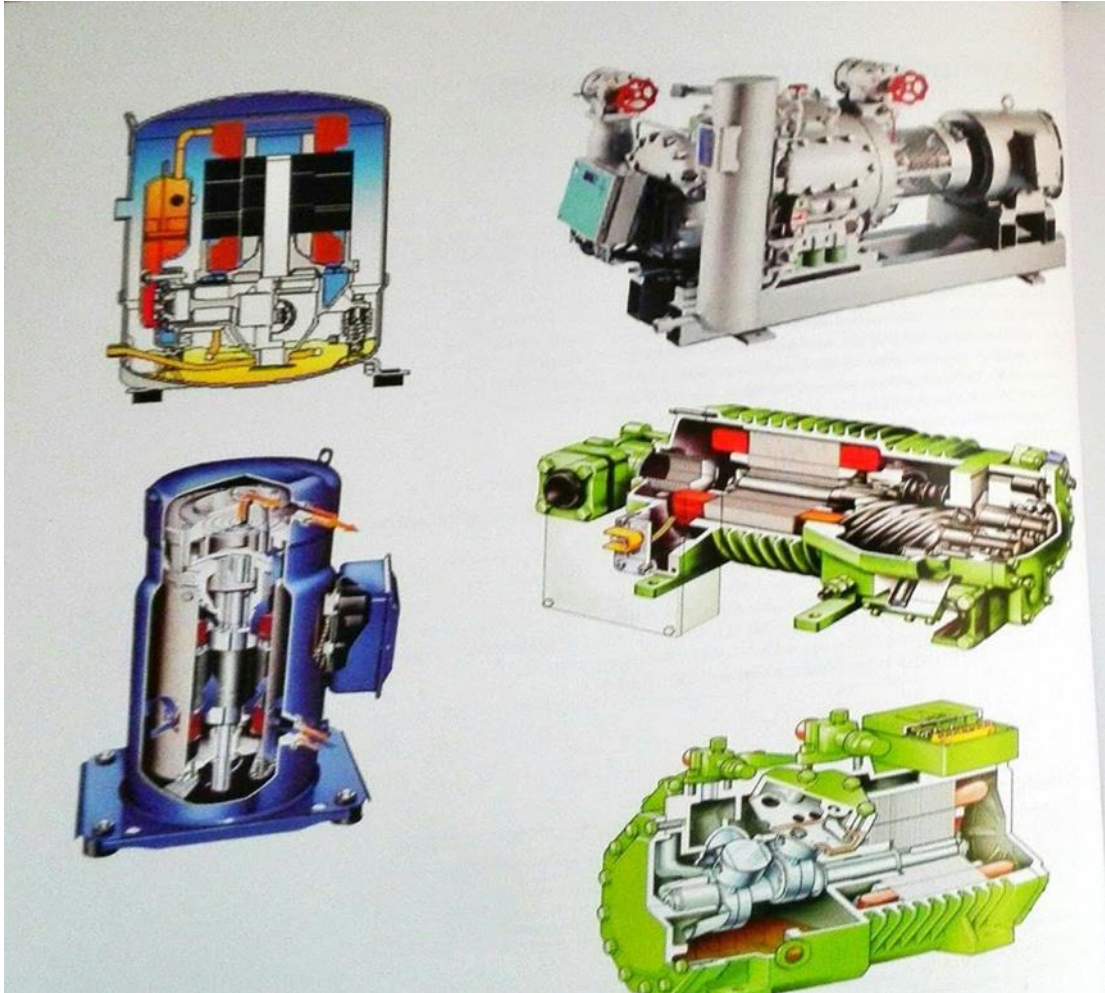
3.1 Kompressori

Kompressorin tarkoitus on jäähdytysjärjestelmässä ja sen sovelluksissa kierrättää kylmäainetta systeemin sisällä. Kylmäaine puristuu kompressorissa höyrystymispaineesta lauhtumispaineeseen; syntyneen paine-eron ansiosta kylmäaine kiertää systeemiä höyrystimestä lauhtumiseen putkistoa pitkin. Kompressorit luokitellaan rakenteensa perusteella kolmeen eri luokkaan; puoliherteisiin, hermeettisiin ja avokompressoreihin. Kuvassa 6 esimerkkeinä havainnekuvat erilaisten kompressoreiden rakenneratkaisuista. (Kaappola ym. 2015, 51.)

Hermeettisissä kompressoreissa kompressori ja sähkömoottori on hitsattu tiiviisti kuoren sisälle ja niiden jäähdytys toteutetaan yleensä imukaasulla. Esimerkkejä hermeettisistä kompressoreista ovat pienikokoiset rotaatio-, mäntä- ja scroll-kompressorit. Hermeettisten mäntäkompressoreiden käytännön sovellutuksia ovat mm. kotitalouksien pakastin- ja jääkaapeissa sekä pienissä kylmlaitteissa. Hermeettisiä scroll-kompressoreita on nykyisin käytössä mm. ilma-vesilämpöpumpuissa, tulo- ja kierrätysilmaa jäähdyttävissä suora-höyrystyskoneissa ja maalämpöpumpuissa. Tiiviisti hitsatun kuoren takia, hermeettisten kompressorien huolto vian ilmaantuessa, on vaikeaa ja yleensä kompressori vaihdetaan suoraan uuteen. (Kaappola ym. 2015, 51-52.)

Puoliherteettisten kompressoreiden kompressori ja sähkömoottori ovat avattavan kuoren sisällä, mikä mahdollistaa erilaiset korjaustoimenpiteet. Suurikokoisemmat ruuvi- ja mäntäkompressorit ovat puoliherteettisiä ja niitä käytetään kauppojen kylmäkoneistoissa ja erilaisten prosessien ja ilmastoinnin jäähdytyksessä. (Kaappola ym. 2015, 52-53.)

Avokompressorien voima siirretään akselin avulla kuoren läpi. Käyttövoima siirtyy moottorista kompressoriin hihnan tai akselikytkimen avulla. Avokompressoreiden käyttökohteita ovat mm. teollisuuden kylmäkoneistot, ajoneuvojen ilmastointi ja kuormatilojen kylmäkoneistot. (Kaappola ym. 2015, 52-53.)



Kuva 6 Erilaisia kompressorirakenteita (Hakala&Kaappola, 2013, 72)

3.2 Lauhdutin

Lauhduttimen eli korkeapainepuolen lämmönvaihtimen tehtävän on lauhduttaa kompressorilta tuleva kylmäainehöyry nestemäiseen muotoon. Lauhtumisen aikana vapautuu lämpöenergiaa, millä voidaan lämmittää esimerkiksi lämminvesivaraajaa tai sisäilmaa. Yleisimpiä lauhdutintyyppejä ovat neste- ja ilmajähdytteiset lauhduttimet (kuva 7), yksinkertaisimmillaan lämmönvaihdin on putkikierukka, joka siirtää lämpöenergiaa esimerkiksi vesisäiliöön. (Kaappola ym. 2015, 55; Hakala & Kaappola 2013, 231.)



Kuva 7 Ilmalauhdutin (Recair Oy 2018)

3.3 Suodatinkuivain ja nestelasi

Suodatinkuivaimen tehtävä järjestelmässä on sitoa sinne jääneitä epäpuhtauksia, kuten happoja, vettä, öljynhajoamistuotteita ja vieraita ainehiukkasia. Suodatinkuivaimien (kuva 8) suodatus perustuu adsorptioon, jossa suodattimen läpi virtaavassa kylmäaineessa olevat vesimolekyylit sitoutuvat kiinteään pintaan. Muita epäpuhtauksia sidotaan erilaisilla kuivausaineilla. Suurissa järjestelmissä suodatin on avattava, mikä mahdollistaa täytön vaihdon ja pienissä kuivaimissa täyttö on kiinteä. (Kaappola ym. 2015, 64-65.)



Kuva 8 Suodatinkuivaimia (Hakala & Kaappola 2013, 112)

Nestelasien (kuva 9) avulla monitoroidaan nestemäisen kylmäaineen virtausta ja öljymäärää. Nestelasissa oleva kosteusindikaattori kertoo kosteuden määrästä kylmäaineessa. Keltainen väri indikoi liiallista kosteuden määrää kylmäaineessa ja värin ollessa vihreä kylmäaineessa ei ole juuri kosteutta. (Kaappola ym. 2015, 65; Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula & Seinelä 2008, 271.)



Kuva 9 Nestelaseja (Danfoss 2018a)

3.4 Nestesäiliö

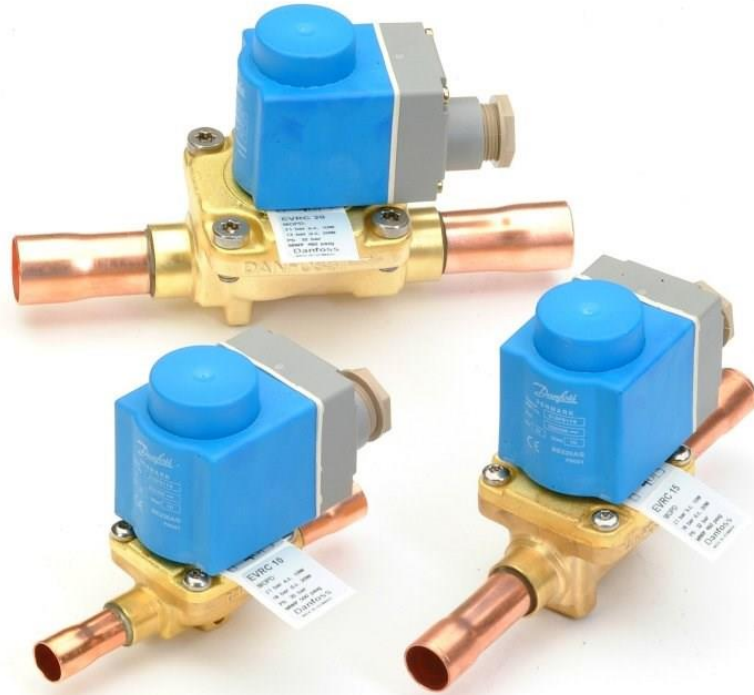
Nestesäiliön tehtävänä jäähdytysjärjestelmissä on varmistaa, että lauhduttimesta tuleva kylmäaine on nestemuodossa sen kulkeutuessa nesteputkeen. Suuremmat nestesäiliöt (kuva 10) varustellaan yleensä yhdellä näkölasilla ja sulkuventtiilein, jotta huollon yhteydessä kylmäaine voidaan ajaa säiliöön. Säiliö helpottaa myös kylmäainetäyttöä, sillä se lisää järjestelmän tilavuuskapasiteettia ja näin ollen täytöksen laskenta helpottuu. Huollon helpottamiseksi säiliö usein ylimitoitetaan, tällöin saadaan kylmäaineet järjestelmästä säiliöön. Järjestelmiin on olemassa ns. yhdistelmämallia, joissa suodatinkuivain ja nestesäiliö ovat samoissa kuorissa. (Hakala & Kaappola 2013, 99; Aalto ym. 2008, 272.)



Kuva 10 Nestesäiliö, vaakaan asetettava (Hakala & Kaappola, 2013, 99)

3.5 Magneettiventtiili

Magneettiventtiilit (kuva 11) toimivat kylmälaitoksissa nesteputkien sulkuventtiileinä. Venttiilin asento on joko auki tai kiinni ja ne sulkevat kylmäaineen virtauksen ainoastaan yhteen suuntaan. Suurimmat magneettiventtiilit ovat servotoimisia ja pienimmät usein suoratoimisia. (Kaappola ym. 2015, 66.)



Kuva 11 Magneettiventtiileitä (Danfoss 2018b)

3.6 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili sijaitsee jäähdytysjärjestelmissä lauhduttimen jälkeisessä nestelinjassa ja sen tehtävänä on säädellä kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen. Paisuntaventtiileitä on olemassa mm. termostaattisia (kuva 12) ja elektronisia (kuva 13), jotka eroavat toisistaan ohjaustavan perusteella. Termostaattinen paisuntaventtiili toiminta perustuu suoraan mekaaniseen paine-eron mittaukseen ja paineen tasaukseen. Elektronisia paisuntaventtiilejä ohjataan jännitteen avulla lämpötila- tai painemittaukseen perustuen. Toimintaperiaatteeltaan elektroniset paisuntaventtiilit voivat olla askelmoottoreita, pulssittavia tai jatkuvasti säätäviä. (Kaappola ym. 2015, 57-58.)



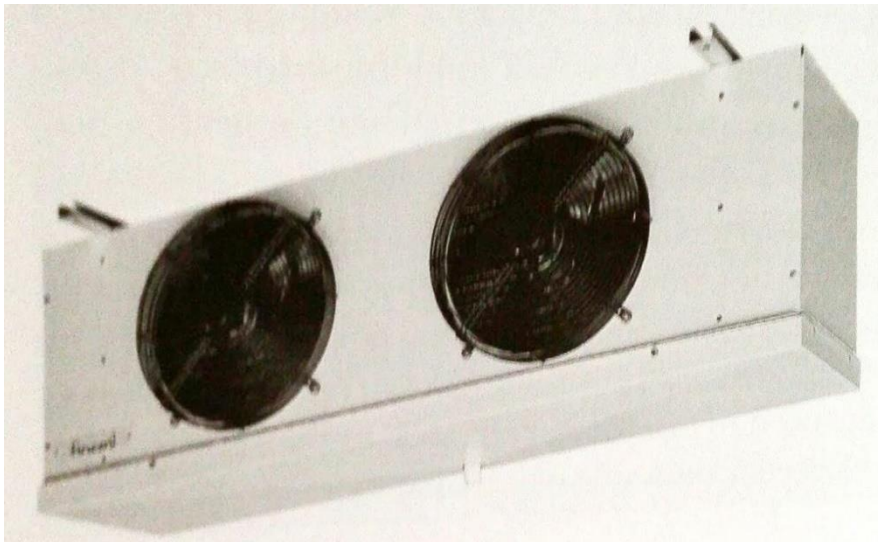
Kuva 12 Termostaattisia paisuntaventtiilejä (Danfoss 2018c)



Kuva 13 Elektronisia paisuntaventtiilejä (Danfoss 2018d)

3.7 Höyrystin

Matalapainepuolen lämmönvaihtimessa eli höyrystimessä kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstään höyrystyessään. Höyrystin toimii siis jäähdytysjärjestelmän jäähdyttimenä. Höyrystimiä on olemassa rakenteeltaan erilaisia ja jäähdytettävä aine voi myös vaihdella. Välillisissä järjestelmissä käytetään useimmiten levylämmönsiirtimiä, joiden kautta kylmäaineen höyrystyminen jäähdyttää virtaavan, jäähdytettävän nesteen tehokkaasti. Nesteen jäähdytykseen on käytössä myös moniputkihöyrystimiä, mutta näiden jäädessä huomattavasti vähemmän tehokkaiksi kokoonsa nähden, on levylämmönsiirtimet suositumpia. Ilman välityksellä tapahtuvassa jäähdytyksessä höyrystin varustellaan usein puhaltimella (kuva 14), joka puhaltaa jäähtyneen ilman haluttuun kohteeseen. (Kaappola ym. 2015, 58.)



Kuva 14 Puhallinhöyrystin (Hakala & Kaappola 2013, 86)

4 Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu

4.1 Kylmätehortarve

Jäähdytysjärjestelmän mitoitus aloitetaan yleensä jäähdytettävän kohteen kylmätehortarpeen laskennasta. Tarkoissa kylmiöiden mitoituksissa otetaan huomioon mm. huoneen valaistuksesta, laitekuormista, puhaltimista ja henkilöistä johtuvat lämpökuormat ja rakenteiden lämpöhäviöt. Kylmätehortarve mitoitetaan yleensä vuorokautisen keskitehon perusteella, koska kuormitus ei yleensä jakaudu vuorokaudelle tasaisesti. Keskitehon laskeminen tapahtuu jakamalla poistettava lämpömäärä käyntiajalla ja kertomalla varmuuskertoimella, jolla huomioidaan laskennassa olevat epävarmuustekijät. (Hakala & Kaappola 2013, 36-47.)

4.2 Järjestelmän valinta

Kylmä- ja jäähdytysjärjestelmät voidaan luokitella suoriin ja välillisiin järjestelmiin. Välillinen järjestelmä siirtää lämpöä väliaineen kautta kylmäaineeseen, kun taas suorassa järjestelmässä lämpö siirtyy lämmönvaihtimissa suoraan kylmäaineeseen. Suorat järjestelmät jaetaan vielä märkä- ja kuivahöyrysteisiin. Kuivassa systeemissä höyrystimeen lasketaan vain höyrystyvä määrä kylmäainetta, kun taas märkähöyrysteisessä järjestelmässä kompressorille höyrystimestä pääsee kylläistä höyryä tai nesteen ja höyryn seosta, minkä vuoksi märän järjestelmän kylmäainekiertoa tehostetaan usein pumpulla. Valintaa tehdessä otetaan huomioon käyttö- ja hankintakustannukset ja järjestelmän soveltuvuus. (Hakala & Kaappola 2013, 51.)

Suoraa jäähdytysjärjestelmää käytetään, kun: tavoitellaan edullista vaihtoehtoa, vettä ei haluta käyttää jäähdytykseen, systeemin säädöllä ei ole suuria vaatimuksia tai virtaus höyrystimen läpi on melkein vakio. Suoran järjestelmän tuomat edut: Höyrystimen sulatus onnistuu vaivattomasti, nestelinjaan ei usein tarvitse eristää ja sen putket ovat usein pieniä, hyötysuhde usein parempi kuin välillisessä ja tehon vaikutus kohteeseen huomataan heti höyrystyessä. Suoran järjestelmän

haittoja ovat: kylmäaineen vuotoriski on välilliseen järjestelmään nähden suurempi, öljyn palautumisesta on huolehdittava, kylmäainetäyttö välillistä suurempi ja putkiston asennus voi aiheuttaa vaikeuksia. (Hakala & Kaappola 2013, 51.)

Välillinen järjestelmä valitaan, kun: halutaan pieni kylmäainetäyttö, prosessia halutaan säätää tarkasti, jäähdytettäviä kohteita on useita ja mahdollinen laajennus on tulevaisuudessa edessä, jäähdytettävän fluidin tai ilman virtaus vaihtelee, kylmäaineen vuotoriski halutaan minimoida, putkimatkat ovat pitkiä tai kylmäainetta sisältäviä koneita ei voida asentaa tuotantotiloihin. Välillinen järjestelmä on yleensä hankintakustannuksiltaan suoraa arvokkaampi. (Hakala & Kaappola, 2013, 51.)

4.3 Putkisto

Jäähdytysjärjestelmän putkiston mitoituksessa pyritään löytämään paras mahdollinen ratkaisu painehäviöiden, taloudellisuuden ja öljynpalautuksen kannalta. Putkien pienentäminen pienentää kustannuksia mutta nostaa painehäviöitä ja sitä kautta huonontaa järjestelmän kylmäkerrointa, mikä vaikuttaa järjestelmän energiankulutukseen ja toimintaan. Tärkeimmät huomioitavat seikat järjestelmän toimivuuden kannalta ovat: kylmäaineen nopeus putkessa ja painehäviöiden laskeminen. (Hakala & Kaappola 2013, 53.)

Imuputken painehäviöiden vaikutus järjestelmän jäähdytystehoon heikentävästi on suuri, joten kompressori mitoitetaan yleensä imuputken painehäviöiden verran alemmalla höyrystyslämpötilalla, kuin höyrystin. Tällä tavoin otetaan huomioon imuputken painehäviö ja minimoidaan sen vaikutus prosessin jäähdytystehoon. Kylmäaineen virtausnopeus imuputkessa on yleensä 10-25 m/s, mutta se vaihtelee kylmäaineprosessin lämpötilojen ja jäähdytystehon mukaan. (Hakala & Kaappola 2013, 53.)

Paineputkessa kylmäaineen virtausnopeus on yleensä 5-15 m/s ja se vaihtelee samoin perustein kuin imuputkessa. Paineputken painehäviöt nostavat järjestel-

män energiankulutusta, mikä ilmenee kompressorin sähkötehon tarpeen lisääntymisenä. Tämän vuoksi kompressori mitoitetaan paineputken painehäviöiden verran korkeammalle lauhtumislämpötilalle kuin lauhtutin. (Hakola & Kaappola 2013, 53-54.)

Nestelinjan eli lauhde- ja nesteputken mitoituksessa pyritään tilanteeseen, jossa kylmäaine valuisi staattisen korkeuseron ansiosta varaajalle. Nestelinjan maksimi virtausnopeutena kirjallisuudessa pidetään 0,5 m/s ja itse putki mitoitetaan yleensä paineputken kokoa yhtä pienemmäksi. Nestelinjan painehäviöt pienentävät paisuntaventtiilillä käytettävissä olevaa paine-eroa, mikä voi aiheuttaa kylmäaineen höyrystymistä jo ennen paisuntaventtiiliä. Tällöin paisuntaventtiin teho ei enää välttämättä riitä syntyneelle kaasun ja nesteen seokselle ja järjestelmän toiminta häiriintyy. (Hakola & Kaappola, 2013, 54.)

Kompressorin voitelun kannalta putkiston mitoituksella on suuri merkitys. Putkistoon pääsee aina jonkin verran voiteluöljyä, mikä joudutaan suunnittelussa ottamaan huomioon, sillä öljyn pitää pystyä kierrättämään putkistoa pitkin takaisin kompressorille. Kierro varmistetaan riittävästi kylmäaineen virtausnopeuksilla. Öljynkierto tulisi myös varmistaa eri osatehoilla, sillä huonon öljynkierron takia koko kylmäprosessin toiminta häiriintyy. (Hakola & Kaappola 2013, 55.)

4.4 Kompressorin mitoitus

Kompressorit valitaan jäähdytysjärjestelmiin tapauskohtaisesti. Kompressoria mitoittaessa huomioon otettavia muuttujia: käytettävä kylmäaine, kylmäteho, imukaasun lämpötila, höyrystymis- ja lauhtumislämpötila kompressorilla ja kylmänesteen lämpötila paisuntaventtiilille. Kompressorit mitoitetaan käyttökohteen mukaan, yleensä niiden valmistajien mitoitusohjelman avulla tai käyttäen käyrästöjä ja tehotaulukoita. (Hakala & Kaappola 2013, 73.)

4.5 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihtimien mitoitus ja suunnittelu perustuvat pääasiassa kohteen käyttötarkoitukseen ja tehontarpeeseen. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kylmäaine, väliaineen painehäviö lämmönvaihtimessa, ilmaa hyödyntävissä lämmönvaihtimissa äänitaso, kylmäprosessin lämpötilat ja lauhdutus/höyrytys tavan ja lauhduttavan/höyrystävän väliaineen valinta. Lämmönvaihtimet mitoitetaan yleensä niiden valmistajien mitoitusohjelmilla. (Hakala & Kaappola 2013, 78.)

Lämmönvaihtimet voidaan mitoittaa myös käsin laskemalla seuraavasti: lämmönvaihtimia mitoittaessa on huomioon otettava rajapintojen lämmönläpäisykerroin ja prosessissa olevien aineiden virtaukset, sillä onko virtaus turbulenttista vai laminaarista vaikuttaa merkittävästi lämmönsiirtymiseen. Reynoldsin luvun arvolla 25 000 lämmönsiirtyminen on optimaalisella tasolla painehäviöihin verrattuna. Lämmönläpäisykerroin laskemiseksi täytyy ensin laskea Nusseltin luku kylmäaineelle kaava (7). Tämän jälkeen voidaan kaavalla (8) laskea lämmönläpäisykerroin h , osalle materiaaleista ja aineista, kuten kuparille h -kerroimen voi löytää suoraan erilaisista taulukkokirjoista.

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

jossa,

Nu = Nusseltin luku

Re = Reynoldsin luku

Pr = Prandtin luku

(Cengel 1998, 382.)

$$h = \frac{Nu \times \lambda}{D} \quad (8)$$

jossa,

h = Lämmönläpäisykerroin

λ = Aineen lämmönjohtavuus

D = Putken halkaisija

(Cengel 1998, 422.)

Tämän jälkeen pystyimme laskemaan kokonaisvastuksen R kaavasta (9). Kokonaisvastus kuvaa kaikkien rajapintojen yhteistä lämmönvastusta.

$$R = \sum \frac{1}{h} + \sum \frac{d}{\lambda} \quad (9)$$

jossa,

R = Rajapintojen kokonaislämmönvastus

d = Tason paksuus

(Cengel 1998, 574.)

Lämmönvaihtimen pinta-alan selvittämiseksi täytyy vielä selvittää lämpötilaeron keskiarvo, jonka laskemistapaan vaikuttaa pieneneekö fluidien lämpötilaero eksponentiaalisesti vai ei. Jos lämpötila ero pienenee eksponentiaalisesti, keskiarvo lasketaan logaritmisesti kaavalla (10).

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (10)$$

jossa,

ΔT_{ln} = Logaritminen lämpötilaeron keskiarvo

ΔT = Ainevirtojen lämpötilaero lämmönvaihtimien päissä.

(Cengel 1998, 584.)

Tämän jälkeen voidaan kaavalla (11) ratkaista vaihtimen pinta-ala. Sijoittamalla pinta-alan kaavaan (12) saamme lopulta selville myös yksinkertaisen yhdestä putkesta koostuvan vaihtimen putkipituuden. (Cengel 1998, 584.)

$$\phi = A \times \frac{\Delta T_m}{R} \quad (11)$$

jossa,

ΔT_m = Lämpötilankeskiarvo

A = Lämmönvaihtimen pinta-ala

ϕ = Lämmönvaihtimen teho

$$A = l \times D \times \pi \quad (12)$$

jossa,

A = Lämmönvaihtimen pinta-ala

l = lämmönvaihdin putken pituus

D = Putken sisähalkaisija

4.6 Nestesäiliön mitoitus

Nestesäiliötä valittaessa tulee varmistaa, että säiliö on riittävän suuri, jotta siihen mahtuisi koko laitoksen kylmäainetäytös. Tämä helpottaa huolto- ja korjaustöiden piteitä, mutta säiliön rotalock venttiileiden koko ei saa olla pienempi, kuin nestelinjan putkien koko. Pienempi koko voi aiheuttaa kylmäaineen höyrystymistä, mikä vaikuttaisi koko kylmäprosessin toimintaan. Nestesäiliötä mitoittaessa on otettava huomioon myös suurin sallittu käyttöpaine ja alin sallittu käyttölämpötila. Kylmälaitoksen nestesäiliön koko luokittelee sen vaatimuksen mukaisuuden arviointiluokan. Säiliön tilavuutta voidaan arvioida seuraavasti: "lauhduttimen tilavuus + 1/3 höyrystimien tilavuus + nesteputkien tilavuus 1/5 kaasutilavuus". (Hakala & Kaappola 2013, 99.)

4.7 Paisuntaventtiilin mitoitus

Paisuntaventtiilin valintaan vaikuttavat laitoksen kylmäteho, lauhtumis- ja höyrystymislämpötilat, kylmäaine, tehonvaihtelut, mahdollinen alijäähtyminen ja sisäinen/ulkoinen paineentasaus. Paisuntaventtiiliä mitoittaessa on huomioitava, että kaikkien venttiilien toiminta eri osatehoilla ei ole täydellistä. Venttiiliä ei kannata ylimitoitaa, sillä se toimii parhaiten lähellä maksimitehoa. Tyypistä ja valmistajasta riippuen paisuntaventtiilit toimivat vakaasti 25 - 60% osatehoilla. Valmistajilla on myös monesti valmiita mitoitusohjelmia venttiilien mitoitukseen ja valintaan. (Hakola & Kaappola 2013, 128-129.)

5 Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu talotekniikan laboratorioon

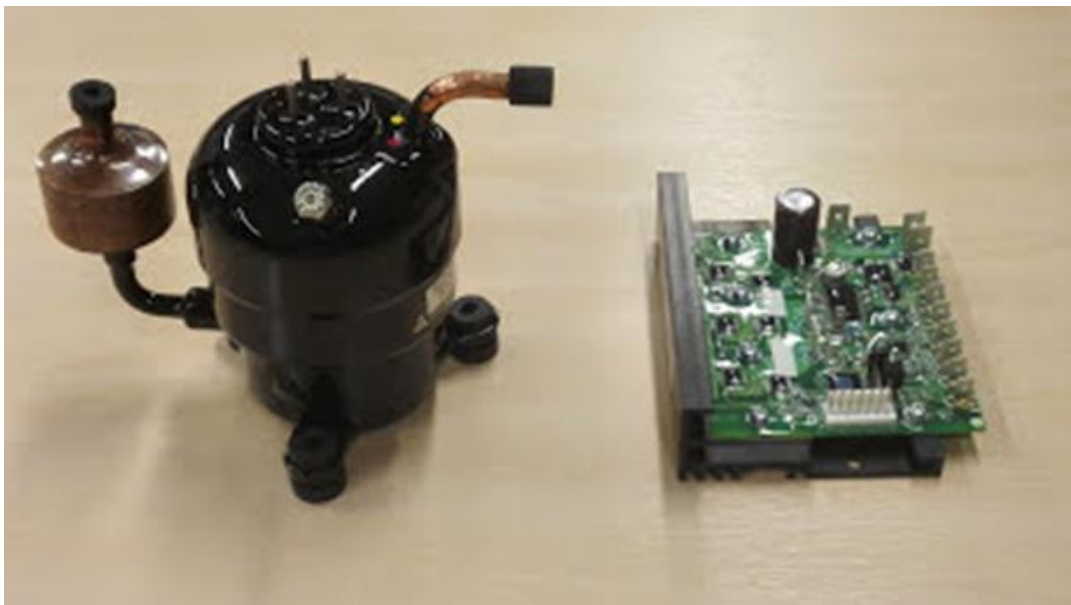
Saadun toimeksiannon lähtökohdat ja toiveet valmiin laitteiston mittakaavan suhteen, aiheuttivat tilanteen jossa useimmat kylmälaitosten suunnitteluoppaat eivät olleet suoraan sovellettavissa opinnäytetyöprojektiin. Näiden asioiden johdosta järjestelmän suunnitteluvaiheita päädyttiin soveltamaan normaalin etenemisjärjestyksen sijaan.

5.1 Lähtövaatimukset

Karelia-ammattikorkeakoulun lehtorit Timo Ronkainen sekä Miska Piirainen antoivat lähtövaatimuksia työllemme, jotka pyrimme parhaamme mukaan täyttämään. Ideana oli rakentaa yksinkertainen kiertoprosessia mallintava jäähdytyskoneikko, joka siirtäisi lämpöenergiaa kohteesta toiseen. Järjestelmän käyttöjännitteen tuli olla 24 VDC, jotta sähköasennuksiin ei tarvittaisi erillisiä lupia. Toiveena oli, että kylmäprosessia pystyttäisiin myös säätämään automaation avulla. Tarkoitus oli myös tehdä järjestelmästä helposti liikuteltava ja kompakti, tämän lisäksi kylmäprosessista piti pystyä myös mittaamaan paineet ja lämpötilat, joiden avulla opiskelijat voisivat suorittaa laboratorioharjoituksia. Budjetiksi muodostui noin 2000 euroa.

5.2 Kompressorin hankinta

Normaalisti suunnittelu olisi aloitettu kylmätehontarpeen laskennasta, mutta tässä tapauksessa jäähdytystehontarve voitiin itse määrittää. Toinen syy miksi aloitimme kompressorista, oli sille asetetut vaatimukset ja niiden johdosta vaikea saatavuus. Huomasimme kompressoria etsiessämme että 24 V käyttöjännitteellä toimivia pieniin järjestelmiin sopivia kompressoreja ei ollut liika saatavilla, ja päädyimmekin ohjaajamme ehdottamaan Aspen Compressor, LLC-nimisen yrityksen pienoiskompressoreihin.



Kuva 15 Aspen Q1.4 -kompessori ja kompressorin ohjauspiirilevy

Aspen Compressor, LLC on amerikkalainen 12 - 48 V pienoiskompressoreita valmistava yritys, jonka kompressoreja käytetään elektroniikkajärjestelmien viilenykseen ja pieniin jäähdytysjärjestelmiin. Aspenin kompressorit ovat rakenteeltaan hermeettisiä rotaatiokompressoreita, joiden koko- ja teholuokka sopii täydellisesti käyttötarkoitukseemme ja kompressoria koskevat tekniset dokumentit olivat helposti saatavilla (liite 1). Tämän lisäksi kompressorin toimitukseen kuului ohjauspiirilevy, jonka ominaisuudet olivat myös työn automaatio-osuuden kannalta hyödylliset. Aspen Q 1.4 - kompressorit tilasimme Aspenin jälleenmyyjältä Termotek GmbH:lta Saksasta.

5.3 Kylmäprosessin mitoitus

Kylmäprosessin ja sen kulun suunnittelimme kompressorin perusteella käyttäen apuna laskentaohjelmia ja käsin laskentaa varmistaaksemme tulosten paikkansapitävyyden. Projektin kannalta huomioon otettavia asioita olivat lähinnä prosessilämpötilat, sillä päädyimme malliin, jossa toisessa kupissa olevaa vettä jäähdytetään ja toisessa kupissa lämmitetään. Näin ollen tuli ottaa huomioon, että vesi ei jäähdytettävässä kupissa pääsisi jäätymään.

Kompressorin datalehtien ja valmistajalta tiedustelun jälkeen päädyimme valitsemaan prosessin kylmäaineeksi atseotrooppisen R134-a: n. Tämän jälkeen tutkimme kompressorin datalehdistä valmiita tehotaulukoita, jotka oli tehty testamalla kompressoria R134-a:lla. Näin määritimme kylmäprosessillemme höyrystymis-, tulistus-, alijäähtymis- ja lauhtumislämpötilat sekä kylmätehon. Kuvan 16 suorituskykytaulukon perusteella päädyimme valitsemaan: höyrystymislämpötilaksi 48,89 °C, lauhtumislämpötilaksi 4,44 °C, kun tulistus 5,5 °C ja alijäähtyminen 4,5 °C. Kompressorin käyntinopeudeksi valikoimme 5000 RPM, jolloin prosessimme jäädytystehoksi tuli 236 W.

Aspen Compressor, LLC

Performance Chart
Model# 14-24-000X
Refrigerant: HFC-134a
CAPACITY (WATTS)

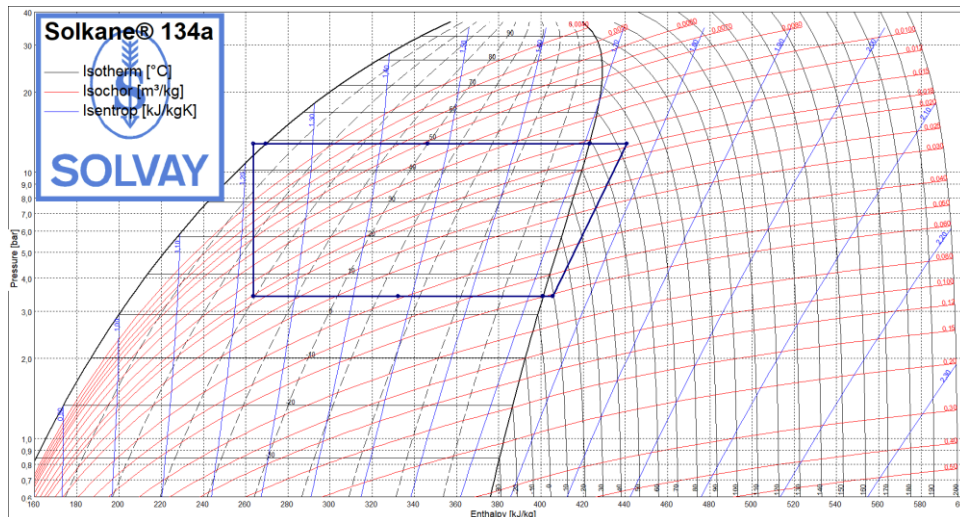
Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
100	3000	37	71	106	153	200	262	324
	4000	62	106	150	210	271	350	430
	4500	74	123	172	239	306	395	483
	5000	87	141	194	267	340	437	534
	6000	114	176	238	324	409	522	635

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
120	3000	35	66	97	139	181	237	293
	4000	56	95	134	186	239	309	379
	4500	67	110	152	210	268	345	422
	5000	80	126	173	236	300	384	469
	6000	105	160	214	289	364	463	562

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
140	3000	11	40	69	109	149	202	255
	4000	32	69	106	156	207	274	340
	4500	43	84	124	180	236	309	383
	5000	55	99	143	203	262	342	421
	6000	79	129	179	247	316	407	498

Note: all data points are with 10°F Superheat and 8°F Subcooling with HFC-134a

Kuva 16 Kompressorin suorituskykytaulukko (Aspen Compressor)



Kuva 17 Solkanne 8 - ohjelmalla laadittu log p, h-piirros (Solvay Chemicals 2018)

P, h-piirroksessa (kuva 17) luimme eri kylmäprosessin vaiheiden paineet ja entalpiat, joiden avulla määritimme prosessimme COP arvot, kompressorin tehon ja lämpötehon sekä massavirran.

Entalpiat: höyrystimen alussa 263 KJ/kg ja lopussa 408 KJ/kg, ennen kompressorin 408 KJ/kg sekä kompressorin jälkeen 445 KJ/kg ja lauhduttimen alussa 445 KJ/kg sekä lauhduttimen lopussa 263 KJ/kg.

$$q_m = \phi ch \quad (13)$$

Massavirraksi saimme prosessille kaavan 13 perusteella 0,001628 kg/s. Massavirran avulla määritimme kompressorin- ja lämpötehon. Kompressoritehoksi saimme 61 W ja lämpötehoksi tuli 302 W. Tämän jälkeen laskimme vielä kierto-prosessillemme COP arvot kaavoilla (1) ja (2). Jäähdytyksen COP arvoksi laskimme 3,91 ja lämmityksen arvoksi saimme 4,04. Koko prosessin paine-eron luimme suoraan p, h-piirroksesta ja saimme 9,5 bar. Varmistaaksemme oikean suunnan työssämme, vertasimme tuloksia (taulukko 1) eri ohjelmien avulla saattuihin malleihin ja niiden arvoihin.

Taulukko 1 Laskentatulokset vertailussa

Ohjelma	Jäähdytys teho (W)	Lämmitys teho (W)	Kompressorin teho (W)	qm (kg/s)	COP Jäähdytys	COP Lämmitys	ΔP (bar)
Käsin Laskettu	236	302	61	0,001628	3,91	4,04	9,5
Coolpack	236	296	64	0,001658	3,68	3,7	9,39
Solkane SOLVAY	236	300	63	0,001678	3,8	-	9,44

5.4 Lämmönvaihtimien mitoitus

Järjestelmämme ideaksi muotoutui siis lämpöenergian siirtäminen vesikupista A vesikuppiin B ja parhaan ratkaisun totesimme lopulta olevan tässä tilanteessa kuparikierukka. Etsimme aluksi valmiita lämmönvaihtimia, mutta suuri osa vaihtimista oli jo lähtökohtaisesti liian suuria ja kustannuksetkin huomioon ottaen omatekoinen vaihdin kuparikierukasta tuli edulliseksi. Erillistä mitoitusohjelmaa johon olisimme voineet verrata laskemiamme tuloksia, emme löytäneet, joten lämmönvaihtimet on mitoitettu täysin omatoimisesti eri kaavoihin perustuen. Sekä höyrystimen että lauhduttimen lämmönvaihtumisen tehostamiseksi, lisätään vesiasitioiden alle magneettisekoittajat, jotka sekoittavat astioiden vettä. Vaihtimet mitoitettiin ¼" kupariputkella. Lämmönvaihtimien mitoitus eteni luvun (4.5) mukaisesti. Kylmäaineelle R-134a tarvittavat vakiot on poimittu liitteestä 2. Reynoldsin lukuna molempien vaihtimien laskennassa käytimme 25 000. Lämmönläpäisykertoimina kuparille toimi tekniikan taulukkokirjasta otettu 399 W/m²K ja vedelle käytimme arvoa 1000 W/m²K.

5.5 Höyrystimen mitoitus

Taulukossa 2 esitetty lasketut arvot järjestelmämme höyrystimelle.

Taulukko 2 Höyrystimelle laskettuja arvoja sekä vakioita

Pr-R134	λ -R134a (W/mK)	Nu-R134a	h-R134a (W/m ² K)	R (W/m ² K)	ΔT_m (K)	A (m ²)	l (m)
4	0,091	120,4	2545	0,0014	14,41	0,023	1,66

Vaihtimen pinta-alaksi saimme siis 0,023 m² ja putken pituudeksi saimme 1,66 m. Kierukan valmistimme itse, pyörittäen putkea halkaisijaltaan 7,5 cm kiinteään lieriön ympäri. Höyrystimen (kuva 18) kierrosten lukumäärä oli näin seitsemän. Höyrystinkierukka asennetaan vesiasiaan, niin että kiertosuunta on ylhäältä alas. Näin maksimoimme lämmönsiirron, kun kuumempi vesi kohoaa astiassa ylös.



Kuva 18 Höyrystinkierukka

5.6 Lauhduttimen mitoitus

Lauhduttimen mitoitus seurasi samaa kaavaa kuin höyrystimen, mutta muuttuneilla arvoilla. Muuttuvia arvoja olivat lämpötilat, lambda, teho ja Prandtlin luku. Laskimme lauhduttimen ottaen kaikki kylmäaineeseen liittyvät arvot kaasun ominaisuuksien mukaan ja saimme lauhduttimen pituudeksi n. 5 metriä. Tämä tuntui kuitenkin hieman turhan isolta ottaen huomioon, että tehoa ei kuitenkaan lauhduttimella ollut kuin 70 W enemmän. Päätimme kokeilla vaihtaa λ -arvon fluidin vastaavaan arvoon, sillä se erosi eniten höyrystimen arvosta. Näillä arvoilla saimme seuraavat tulokset (taulukko 3).

Taulukko 3 Lauhduttimelle laskettuja arvoja sekä vakioita

Pr-R134	λ -R134a (W/mK)		Nu-R134a	h-R134a (W/m ² K)	R (W/m ² K)	ΔT_m (K)	A (m ²)	l (m)
0,887	0,091		72	1113	0,0019	20	0,026	2,03

Säilytimme fluidin lambda (λ) -arvolla lasketut tulokset, koska ne olivat jo lähtökohtaisesti verrattuna höyrystimeen järkevämmät. Kylmäprosessissa lämmön siirto tapahtuu myös olomuodon muutoksien aikana vapautuvan ja sitoutuvan energian takia eikä niinkään fluidin tai kaasun lämpötilan muutoksesta vapautuvasta energiasta ja tämänkin takia päätimme käyttää jälkimmäisiä tuloksia.

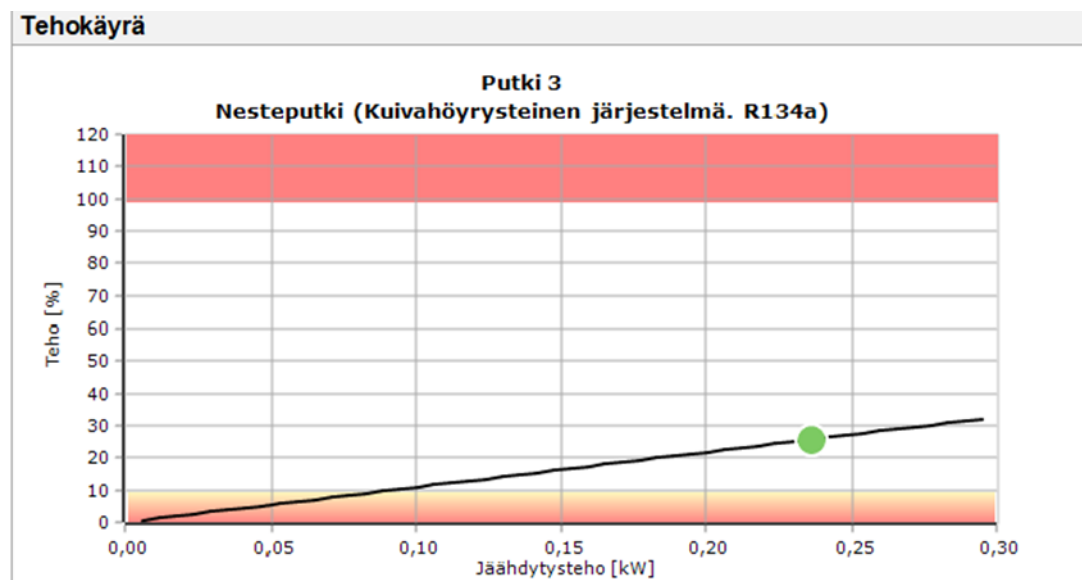
Lauhduttimen putkipituudeksi tuli 2,03 m, mikä tarkoitti noin 8 kierrosta lieriön ympäri. Lauhduttimen syöttöputki tuodaan lämmönvaihtumisen tehostamiseksi suoraan vesiastian pohjalle, jotta astian pohjalle vajoava kylmempi vesi lämpenisi tehokkaammin.

5.7 Oheiskomponenttien mitoitus ja valinta

Järjestelmämme sekundaaristen komponenttien osalta mitoitus kohdistui paisuntaventtiin, putkistoon ja nestesäiliöön. Mitoitettavien komponenttien lisäksi järjestelmäämme kuuluivat myös nestelasi, painemittarit ja täyttöventtiilit.

5.7.1 Paisuntaventtiin mitoitus ja valinta

Järjestelmämme paisuntaventtiiliksi oli neljä vaihtoehtoa: termostaattinen paisuntaventtiili, elektroninen paisuntaventtiili, kapillaariputki tai näiden yhdistelmä. Paisuntaventtiiliksi valitsimme elektronisen paisuntaventtiin, joka mahdollisti samalla prosessinsäädön automaation avulla. Aluksi tutkimme eri valmistajien vaihtoehtoja, mutta lopulta valitsimme valmistajaksi tanskalaisen Danfossin, sillä heillä oli tarjota myös helppokäyttöinen komponenttien mitoitusohjelma Coolselector 2. Coolselectorin mitoituksen (liite 3) avulla valitsimme järjestelmälle sopivan paisuntaventtiin AKV 10-1, jonka tehokäyrä kuvassa 19.



Kuva 19 AKV 10-1 paisuntaventtiin tehokäyrä (Danfoss. 2018e)

Paisuntaventtiin AKV-10-1 (kuvassa 20) teho jää prosessissamme noin 25 prosentin tienoille. Valitsimme kuitenkin kyseisen venttiin järjestelmäämme koska pienempiä elektronisia venttiilejä ei ollut saatavilla. Elektroninen paisuntaventtiilimme on siis kiinni vain osan pulssiajanjaksossa, ja tässä tapauksessa kuuden

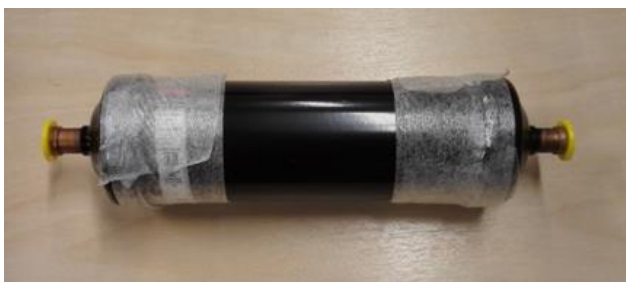
sekunnin jaksosta se on kiinni vain 1,5 sekuntia, mikä vastaa 25 % tehoa, kun 100 %:n teho on 6 sekuntia.



Kuva 20 AKV 10-1 elektroninen paisuntaventtiili

5.7.2 Nestesäiliö ja suodatinkuivain

Nestesäiliön ja suodatinkuivaimen suunnittelu oli projektissamme hyvin yksinkertaista. Aluksi emme olleet laittamassa järjestelmään nestesäiliötä, koska kylmäainemäärät systeemissä olivat todella vähäisiä. Mutta vierailtuamme projektimme juotostyön hoitavan Riverian edustajan Pekka Saastamoisen luona, saimme viihjeen lisätä säiliö (kuvassa 21) yksinkertaisesti helpottamaan kylmäainetäyttöä.



Kuva 21 DMC2033S-kuivainyhdistelmä säiliö

Näin säiliön ja kuivaimen osalta päädyimme yhdistelmämalliin Danfoss DMC2033S, jossa nestesäiliö ja suodatinkuivain ovat samoissa kuorissa. Saataavuuden takia jouduimme hankkimaan järjestelmäämme nähden reilun kokoisin säiliön. Tämän takia kylmäainetäytös on suurehko, 280 grammaa, mutta sillä ei ole haitallisia vaikutuksia järjestelmän oikeanlaiseen toimintaan.

5.7.3 Nestelasi, painemittarit, lämpömittarit sekä täyttöventtiilit

Nestelasin valintaa ohjasi putkikoko, liitostapa sekä saatavuus. Hankituksi tuli Danfoss SGP6S-nestelasi, kuvassa 22. Nestelasin liitoskoko on 6 mm, liitostapana juottaminen.



Kuva 22 SGP6S-nestelasi

Järjestelmään haluttiin jonkinlainen keino seurata putkistossa olevaa painetta, ennen ja jälkeen kompressorin. Koska pressostaatille ei alustavan suunnittelun perusteella ollut tarvetta, valinta ohjautui erillisiin painemittareihin. Painemittarien osalta tyytyminen oli analogisilla mittaritauluilla varustettuihin mittareihin, automaatioon liitettäviä elektronisia mittareita ei ollut järkevään hintaan sekä toimitusaikaan saatavilla osien etsinnän hetkellä. Liitöntapana mittareissa oli juottaminen ja haaroitus runkoputkiin.

Täyttö- ja huoltoventtiileiksi hankimme pari kappaletta neulaventtiileillä varustettuja yleismallin pikaventtiiliä. Neulaventtiilit ovat samanlaista tyyppiä, joita löytyy esimerkiksi henkilöauton renkaiden täyttöventtiileistä. Liitostapana juottaminen soveliaaseen yhteeseen tai suoraan putkeen.

Kylmälaitteiston lämpömittareiksi valikoitui Jumon valmistamat PT100-vastuslämpötila-anturit. Valinta tehtiin saatavilla olleiden automaatiolaitteiden sisääntulokorttien tyyppin perusteella, jotka osasivat tulkita PT100-vastuskäyrää. Lämpöanturit asennetaan putken tai komponentin pintaan liimalla sekä eristepillä.

5.8 Putkiston mitoitus

Ennen varsinaisen putkiston suunnittelua tutkimme, mitä putkikokoja meillä oli mahdollisesti käytössä ja saatavilla. Pyrimme myös ottamaan huomioon kompressorimme lähdöt mitkä olivat: imupuolella 8 mm putki ja painepuolella 6 mm (1/4") putki helpottaaksemme juotoksia. Kiersimme läpi Joensuun putkiliikkeitä ja tukkuja ja huomasimme että yleisimmät käytetyt kylmälaadun putkikoot olivat täälläpäin 3/8" (10mm) ja 1/4" (6mm). Myös 8 mm putkea oli saatavilla mutta ei kylmälaaduna ja tarvittavan määrän takia päätimme, että teemme järjestelmän 3/8' ja 1/4' putkesta, koska näitä saimme putkiliikkeistä metritavarana.

Itse putkiston suunnittelussa ja painehäviöiden laskennassa käytimme hyväksi Danfossin Coolselector2 -ohjelmaa, jonka avulla pystyimme tutkimaan painehäviöitä ja nopeuksia putkistossa valitsemiemme komponenttien kanssa (Liite 3). Putkikoiden variaatioiden puutteesta johtuen muuta putkistoa väljemmäksi jätettävä imuputki päätettiin tehdä 3/8 putkesta ja paine ja nestelinja 1/4 putkesta. Putkiston painehäviöiden takia se yleensä mitoitetaan jo suunnittelun alkuvaiheessa, mutta tässä tapauksessa putkiston putkikoko ja sen pituus olivat lähtökohtaisesti niin pieniä, että painehäviöt eivät vaikuttaisi merkittävästi muun prosessin suunnitteluun. Ohjelmassa linjojen pituuksina käytimme 0,5 metrin pituisia putkia.

Taulukko 4 Coolselectorilla lasketut painehäviöt, paineet ja nopeudet

	Δp (bar)	p putkessa (bar)	v (m/s)
Imuputki	0,001	3,43	2,03
Paineputki	0,008	12,85	2,43
Nestelinja	0,003	-	0,12

Kuten taulukko 4 osoittaa, painehäviöt jäävät putkissa todella pieniksi verrattuna prosessissa oleviin paineisiin, näin ollen alussa tekemämme oletamus painehäviöiden vaikutuksesta mitoitukseen osoittautui oikeaksi. Putkiston nopeuksien kannalta olennaisinta oli varmistaa riittävät nopeudet, jotta öljyn kierto pystyttiin varmistamaan. Tämä osoittautuikin jokseenkin hankalaksi, sillä ohjearvoja

samankokoisille järjestelmille emme löytäneet. Totesimme, kuitenkin että nopeudet menevät putkiosuuksia ajatellen samassa skaalassa kuin suuremmissa järjestelmissä ja myös Coolselector2 -ohjelma näytti nopeuksille vihreää valoa.

Varmistaaksemme nopeuksien paikansäilyvyyttä tutkimme vielä öljynpalautusta tehoon nähden (kuva 23) avulla. Kuvan 23 taulukon pienin putkikoko on 12mm, mutta tehot ovat jo todella lähellä omiamme ja putkikoon pienentyessä voimme olettaa, että öljynkierto järjestelmässä toimii. Taulukon laskentaperusteet ovat erilaiset, kuin omassa prosessissamme ja siksi vain suuntaa antavia.

Öljyn palautus putkinousussa R134a

Cu-putki Koko (mm)	Imuputki, minimiteho (kW) Höyrystyslämpötila (°C)			Paineputki, minimiteho (kW) Höyrystyslämpötila (°C)		
	-10	0	10	-10	0	10
12	0.23	0.29	0.4	0.50	0.53	0.56
15	0.45	0.56	0.68	0.95	1.00	1.05
18	0.75	0.93	1.14	1.62	1.71	1.79
22	1.31	1.63	2.0	2.9	3.0	3.1
28	2.3	2.9	3.5	4.9	5.2	5.5
35	4.3	5.8	6.5	9.1	9.7	10.2
42	7.0	8.7	10.6	15.0	15.9	16.7
54	12.9	16.2	20	28	30	31
64	21	26	32	44	47	49
76	32	41	50	70	74	77
89	49	62	75	105	111	117
108	79	99	120	170	180	189

Taulukon laskentaperusteita:
 Lauhtumislämpötila +40 °C
 Imuputken laskennassa imukaasun tulistus 20 °K
 Paineputken laskennassa isentrooppinen hyötysuhde 70 %
 Öljyn tiheys 1 kg/dm³

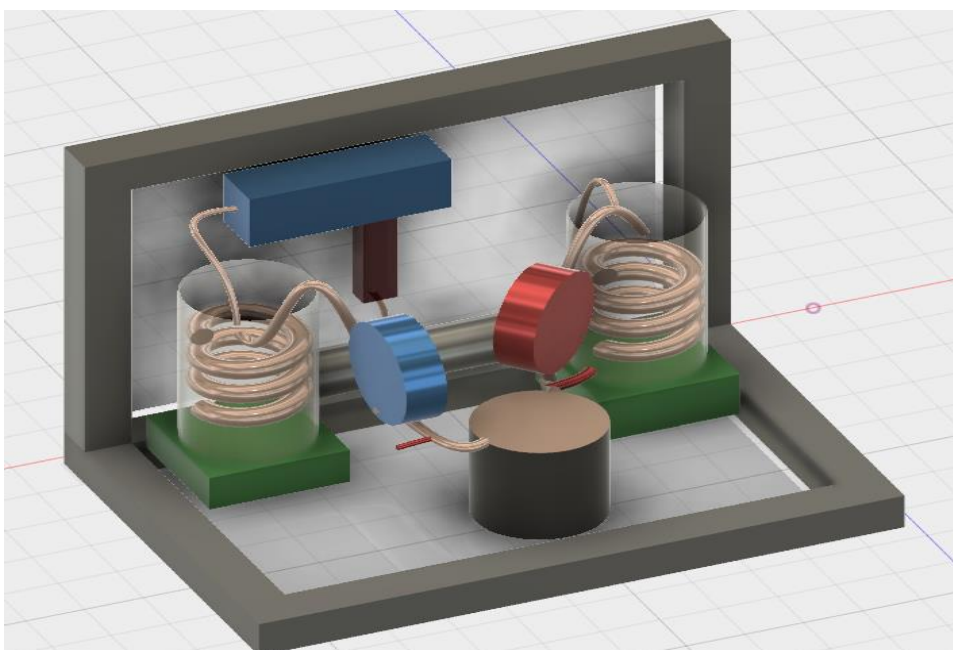
Korjauskertoimet eri lauhtumislämpötiloille:

Lauhtumis- lämpötila(°C)	Imu- putki	Paine- putki
30	1.10	0.97
40	1.00	1.00
50	0.90	1.03

Kuva 23 Öljyn palautumiseen vaadittavan tehon taulukko (Hakala & Kaappola 2013. 57)

5.9 Järjestelmän kehikko

Kehikon suunnittelussa päätavoitteemme oli, että järjestelmää voisi siirtää paikasta toiseen yhden tai kahden hengen voimin. Lopulta päädyimme L-muotoiseen kehikkomalliin, joka valmistettaisiin tukevasta alumiiniprofiilista. Alumiiniprofiilien ansiosta erilaiset kiinnitykset helpottuivat ja profiilien väliin saatiin kätevästi plexilevy, johon järjestelmän komponentteja aseteltaisiin. Juoton kannalta plexistä tuli pieni riskitekijä, mutta Riverian edustajan Pekka Saastamoisen mukaan juottaminen kuitenkin onnistuisi.



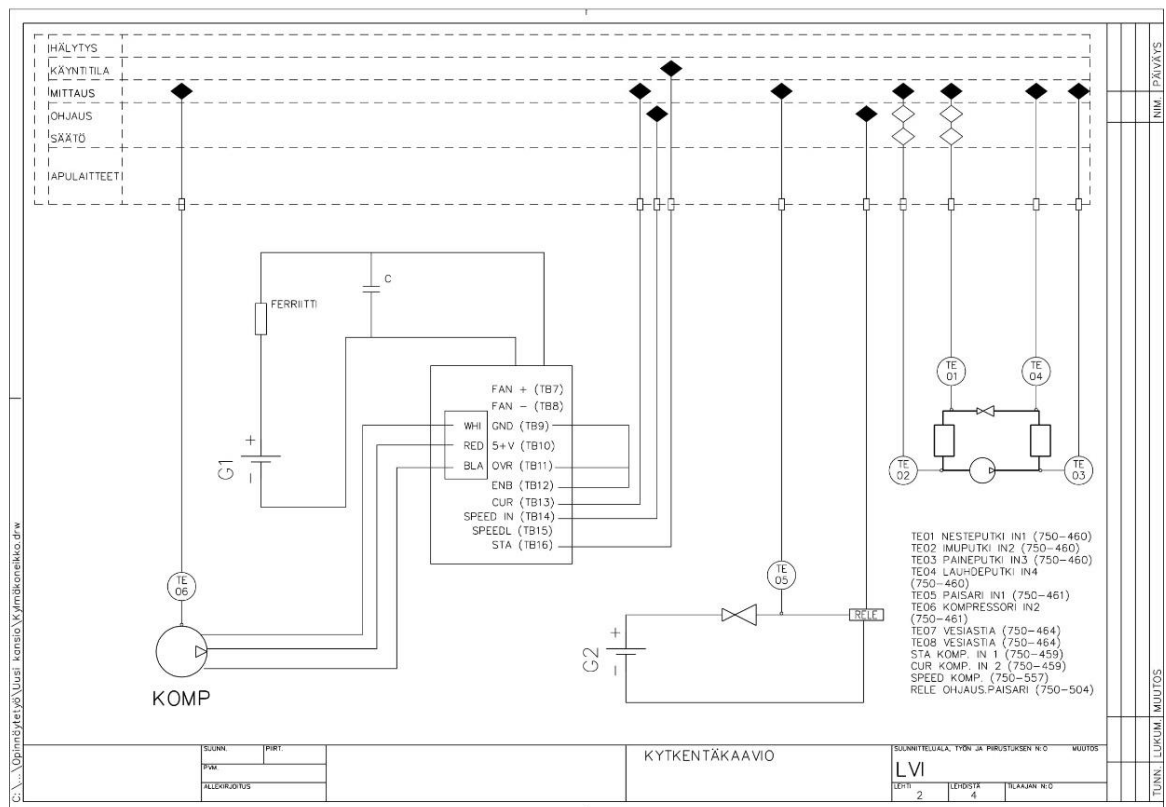
Kuva 24 Järjestelmän kehikon 3D-malli

Kehikon valmistuttua piirsimme koko järjestelmän suunnitelmat CADS-ohjelmalla (liite 4). Fusion 360-ohjelmalla loimme vielä 3D-mallinnuksen (kuva 24) järjestelmästä ja lähetimme ne eteenpäin Riverialle. Kehikkoratkaisun ansiosta elektroniikka asennettiin plexin toiselle puolel, parempaan turvaan läikkyviltä nesteiltä ja kolhuilta.

5.10 Kytentäkaavio

Koneikon komponenttien sähköt kytkettiin kuvan 25 mukaisesti, liite 5. Liitteessä 6 on Aspenin piirikortin kytkentään liittyvät Aspen Compressor-internetsivuilta hankitut tiedot. Liitteestä 7 löytyy Aspenin kompressoria koskevat asennusohjeet, nekin poimittu Aspen Compressor-sivustolta

Ohjaimena toimii Wago:n kontrolleri sekä siihen liitetyt tulo- ja lähtömoduulit, kompressorin ja kontrollerin välisen tulkkauksen hoitaa Aspenin piirikortti. Liitteessä 8 on eritelty Wago:n kokoonpanon tietolehdet. Lisäksi koneikon toiminta edellyttää kahden ulkoisen virtalähteen käyttöä.



Kuva 25 Kytentäkaavio

Ohjelmallisia lämpötilamittauksia on yhteensä kahdeksan kappaletta. Viisi mittausta (TE1 – TE5) seuraa putkiston lämpötiloja, yksi mittaus (TE6) kompressorin lämpötilaa. Kaksi mittausta (TE7 ja TE8) on varattu vesiastioiden veden lämpötilan seurantaan.

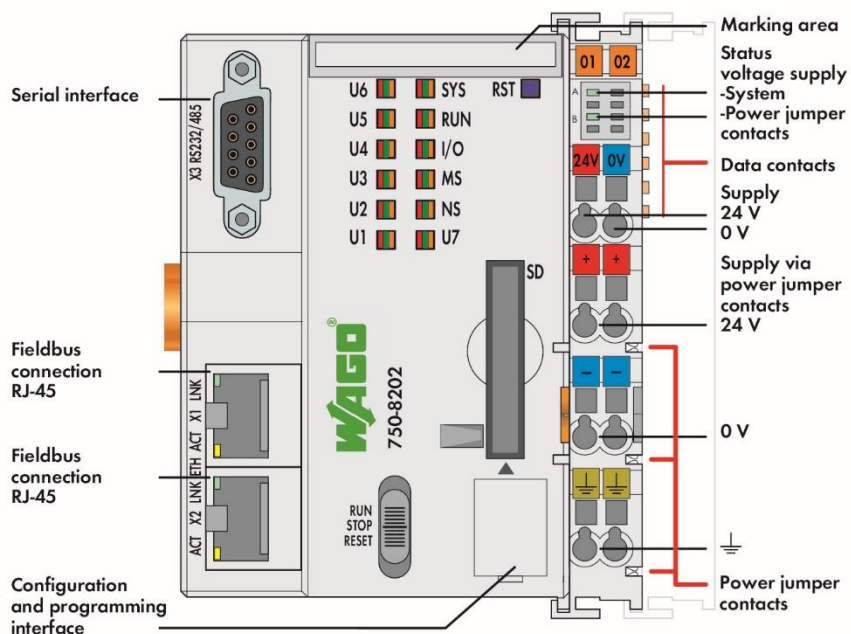
Kompressorin piirikortilta saadaan tieto vikatilasta ja virrankulutuksesta. Kompressorin piirikortille menee ohjausjännite (0 - 5 V) jolla säädetään kompressorin kierroslukua. Kompressorin piirikortti kytketään ulkoiseen virtalähteeseen, josta saadaan 24 volttia tasajännitettä ja maksimissaan 10 ampeeria virtaa. Paisunta-venttiili AKV 10-1:n ohjainkela on kytketty releeseen ja ulkoiseen 24 voltin vaihtovirtalähteeseen.

6 Jäähdytysjärjestelmän ohjaus

Yksinkertaisimmillaan jäähdytysjärjestelmää pystyy ohjaamaan painekeytkimien (pressostaattien) ja termostaattisten paisuntaventtiileiden avulla. Perinteisen analogisen ohjaustavan sijaan toimeksiantaja edellytti järjestelmän edustavan siinä määrin nykyaikaisia käytössä olevia laitteistoja, että automaatiolaitteilla hoidettu ohjaus ja säätö oli haluttu tapa.

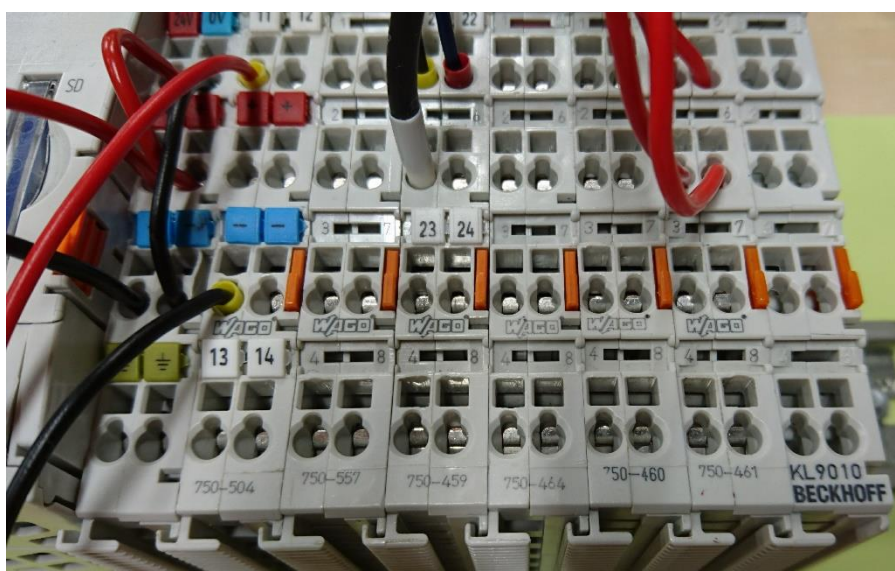
Kylmäainekierron toiminnan ohjaamiseksi jäähdytysjärjestelmässä, päädyttiin Wago Kontakttechnik GmbH & Co. Kg-yhtiön valmistamiin automaatiolaitteisiin. Wago on vahvasti edustettuna monipuolisissa teollisuuden ja kiinteistöjen automaatiolaitteissa ja ohjelmistoissa. Myös Karelia - ammattikorkeakoulusta jo valmiina löytyneiden Wago-laitteistojen ja ohjelmistojen olemassaolo sinetöi valinnan.

Ohjelmoitavan logiikan PLC-ohjaimeksi jäähdytysjärjestelmään tuli WAGO 750-8202 – mallinen PFC200-logiikkaa edustava kontrolleri. Kontrolleri toimii 24 voltin jännitteellä, siinä on kaksi Ethernet-liitäntää USB-ohjelmointiliitäntään ja sarjaportin lisäksi (kuva 26). Kontrollerin etupuolelta löytyy myös toimintatilaa ilmaisevat merkkivalot sekä ohjelmien käyntiä ohjaava kytkin Run – Stop – Reset -toiminnoilla. Ohjelmointi ja konfigurointi voidaan suorittaa CoDeSys:n, e!Cockpit:n tai verkkopohjaisen hallinnan käyttöliittymän kautta. (WAGO 2018)



Kuva 26 WAGO 750-8202-kontrollerin etupuolen selitteet (WAGO 2018)

Kontrolleriin liitettiin kuusi erilaista tulo- ja lähtömoduulia (kuva 27) sekä pääte-moduuli. Kiinnityskiskossa kontrolleria seuraava moduuli on Wago:n 750-504, nelikanavainen digitaalilähtö jonka tehtävä on ohjata paisuntaventtiilin kela. Toi-sena moduulina 750-557 nelikanavainen analogilähtö, hoitaa kompressorin oh-jauskortille annettavan jännitteen säädön välillä 0,6 – 4,1 VDC. Jännitteen sää-döllä annetaan Aspenin piirikortille pyyntö halutusta kompressorin käyntinopeudesta.

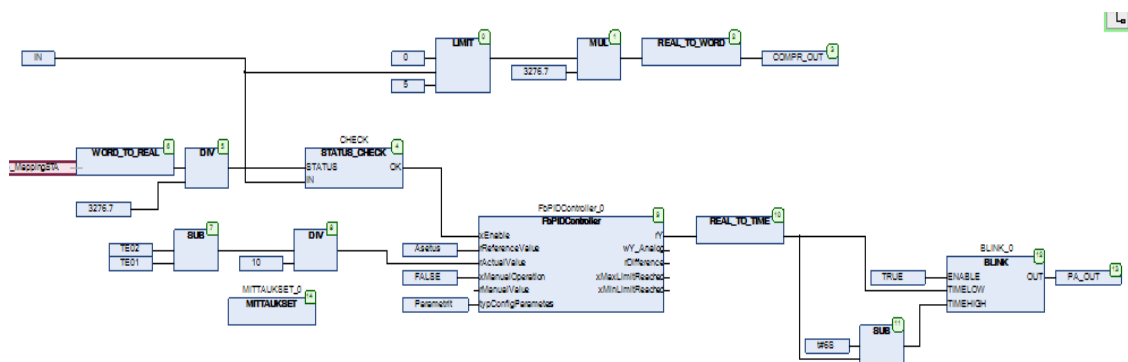


Kuva 27 Kontrolleriin liitetyt moduulit

Kolmantena moduulina on 750-459, nelikanavainen analogitulo, kompressorin ohjauskortilta tuleville virrankulutus- ja vikatila-signaaleille. Neljäs moduuli on 750-464, kaksikanavainen analogitulo resistanssin mittausominaisuudella, ve-siastioihin sijoitettavien PT1000 lämpötila-antureiden mittaamille. Viides moduuli on 750-460, nelikanavainen analogitulo resistanssin mittausominaisuudella, PT100 lämpötila-antureille. Kuudes moduuli on 750-461, kaksikanavainen analoginen tulo resistanssin mittausominaisuudella, johon liitetty PT100 lämpötila-anturit. Viimeinen moduuli on Beckhoff:n 9010, päämoduuli, ei liitäntöjä. Liitteessä 8 on järjestelmässä käytettyjen WAGO:n komponenttien datalehdet.

6.1 Pääohjelma PLC_PRG ohjaukset

Ohjelma luotiin e!Cockpit:n avulla, käyttäen ohjelmointikielenä jatkuvaa funktio-blokkikarttaa. Ohjelma koostuu pääosin yleisistä funktioblokeista sekä Wago:n HVAC-kirjastosta haetusta PID-säätimestä. Pääohjelmaan luotiin kolme omaa funktioblokkia, joiden avulla saatiin ohjelma toimimaan halutulla tavalla. Pääohjelma PLC_PRG (kuva 28) sisältää kompressorin ja paisuntaventtiilin ohjauksen ja sivuohjelman mittaukset, joiden avulla pääohjelmaa ja koko prosessia ohjataan. Ohjelmalle luotiin myös visualisaatio ja web-visualisaatio, joiden avulla voidaan kylmäprosessia monitoroida ja komponentteja ohjata.



Kuva 28 PLC_PRG pääohjelma

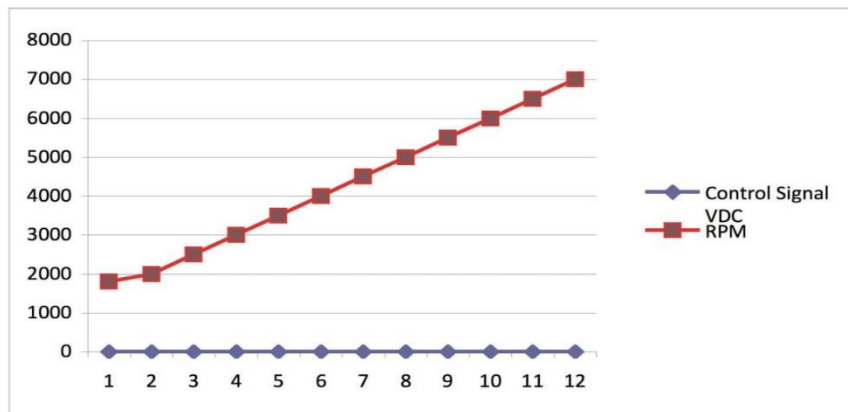
Pääohjelman paisuntaventtiilin säätö perustuu tulistustilalämpötilaan kontrollointiin, joka muodostuu T01 ja T02 lämpötilamittausten erotuksesta. Asetusarvoksi, tulistukselle on määritelty suunnitelmien 5 °C. PID -säädin tarkkailee tämän lämpötilan muutosta ja ulostulona rY se antaa reaaliaikaisena paisuntaventtiilin kiinnioloajan arvon. Suunnitelmien mukaan paisuntaventtiilin tulisi toimia vain 25% teholla, joka toteutettiin asettamalla PID-säätimen parametri rOutputmax 1500. rOutputmax rajoittaa säätimen ulostulon maksimiarvoa ja arvolla 1500 se on aika 1,5 sekuntia, joka vastaa 6 sekunnin pulssista 25%. Rajoittimen ansiosta prosessin aikana paisuntaventtiilin teho ei ylitä 25%. PID-säätimen ulostulo vieään vielä SUB -blokkille, jossa lasketaan venttiilin aukioloaika vähentämällä säätimen ajaksi muutettu rY kokonaisen 6 sekunnin pulssin pituudesta. Lopulliset kiinni ja auki ajat vieään BLINK -blokkille, joka sisääntulojen mukaan on 1 aukioloajan mukaan ja 0 kiinnioloajan mukaan. BLINK on asetettu toimimaan kuuden sekunnin pulssissa.

PID-säätimen käynnistyminen vaatii kuitenkin vielä kahden ehdon täyttymisen, jotka käydään läpi CHECK -blokkissa. Ensimmäinen ehto on kompressorin vikastatuksen tarkistus, joka tulee suoraan Aspenin piirilevyiltä. Piirilevy lähettää 5 V jännitteen, mikäli kompressorin vikatilassa. Signaali estää ohjelman kautta PID-säätimen käynnistymisen ja piirilevyn kautta itse kompressorin käynnistymisen. Toinen ehto on, että kompressorin säädettävä ohjausjännite saavuttaa 0.6 V, mikä vastaa käytännössä tilannetta, jolloin kompressorin lähtee käyntiin. Molempien ehtojen käydessä toteen PID-säädin käynnistyy kompressorin käynnistymisen yhteydessä. Kompressorin status-ehto on ohjelmoitu näyttämään totta, kun vikasignaalia ei tule.

Kompressorin ohjaus tapahtuu 0 - 5 V ohjausjännitteellä, jota voidaan säätää visualisaation kautta manuaalisesti. Ohjausjännite nostaa kompressorin kierrosnopeutta lineaarisesti kuvan 29 mukaan. Ohjausjännite on ohjelman kautta rajoitettu 0 – 5 V alueelle. Ohjelmassa jännitetieto muutetaan kompressorille ymmärrettäväksi, käyttämällä yleisiä muuntofunktioita.

7.1 Drive Board Speed Control

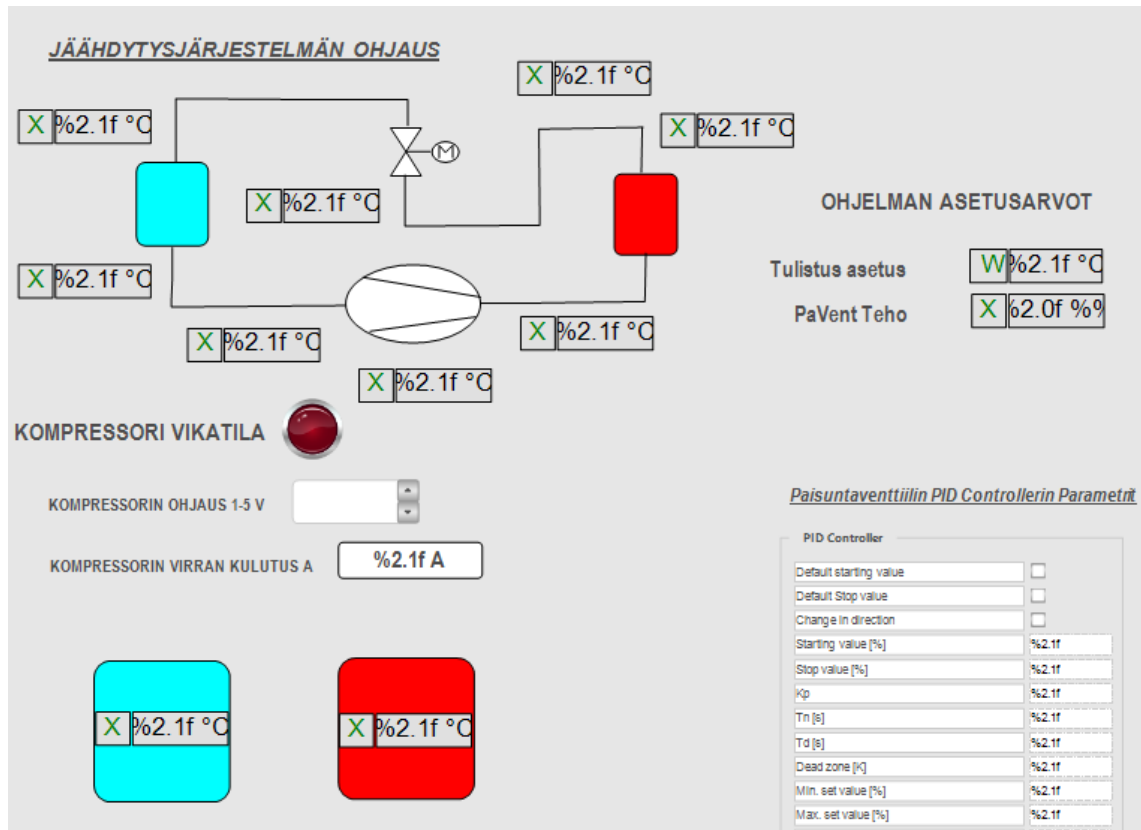
RPM	Control Signal VDC
1800	1.13
2000	1.35
2500	1.77
3000	2.13
3500	2.48
4000	2.8
4500	3.15
5000	3.54
5500	3.78
6000	4.1
6500	4.5
7000	4.94



Kuva 29 Kompessorin nopeuden ohjausjännitteet (Aspen Compressor)

6.2 Visualisaatio ja webvisualisaatio

Ohjelmalle luotiin visualisaatio (kuva 30) jonka avulla prosessin seuraaminen helpottuu. Visualisaatiosta nähdään tärkeimmät mittatiedot ja käytössä olevat asetukset joita sen hetkinen prosessi käyttää. Kompessorin ohjausjännite on myös säädettävissä visualisaation kautta.

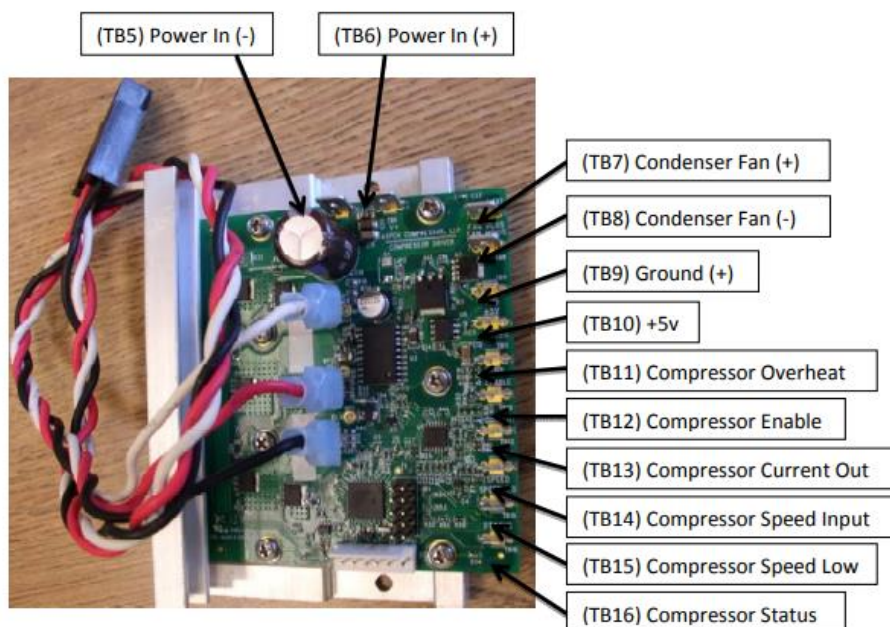


Kuva 30 Visualisaatio

Kompressorin ollessa käynnissä tai paisuntaventtiilin ollessa auki, muuttuvat niiden komponenttien värit vihreiksi ja vikatilaa sattuessa kompressorin vikatilalamppu syttyy palamaan. Normaalin visualisaation lisäksi ohjelmalle luotiin web-visualisaatio, jonka avulla voi visualisaation saada näkyviin esimerkiksi puhelimella Wago-webvisu -sovelluksen avulla tai tietokoneella, kun tiedossa on controllerin käyttämä IP-osoite.

6.3 Aspen - piirilevy

Suunnitellessamme ohjelmaa otimme huomioon myös kompressorin mukana tulleen piirilevyn ja pyrimme parhaamme mukaan hyödyntämään sen ominaisuuksia. Liitteessä 6 tarkemmin läpikäydyistä piirilevyn ominaisuuksista hyödynsimme suoraan kompressorin ohjausta, kompressorin virrankulutusta ja tilatieto - liittymää. Näiden lisäksi säädimme piirilevyn sisäisiä toimintaominaisuuksia jumppereiden avulla. Jumppereilla määrittelimme mm. pehmokäynnistyksen viiveajan ja virranrajoituksen.



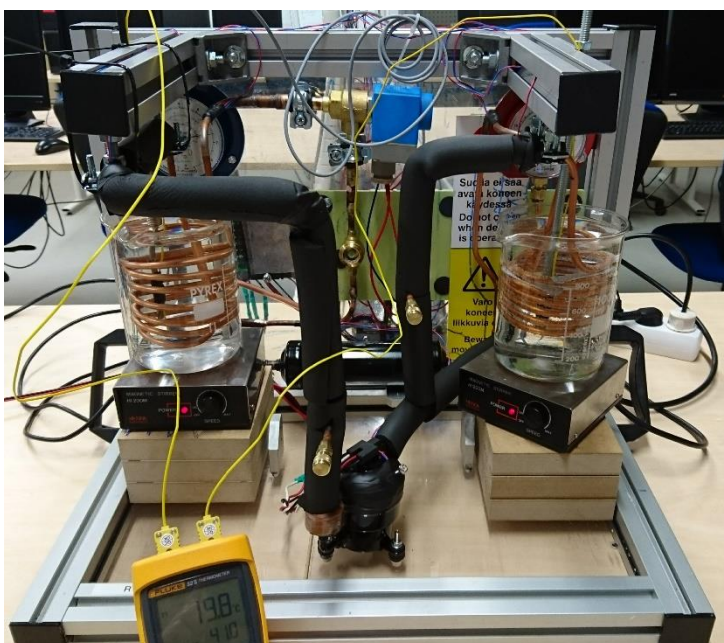
Kuva 31 Kompressorin piirikortti (Aspen Compressor High Capacity Drive)

Kuvan 31 liitännöistä käyttämättä jäivät tuulettimien virrat TB7 ja TB8, ylikuumentumissuoja TB11 ja TB15. Kompressorin ylikuumentuminen huomioitiin yhdellä PT100 - lämpötila - anturilla, jonka lämpötilaa voi visuaalista seurata. TB13 portti lähettää 0 - 5 V jännitesignaalia, joka kertoo kompressorin virrankulutuksen jota ohjelmasta voi tarkkailla. TB16 portti lähettää kompressorin statuksen ilmaisevaa jännitettä, jonka avulla aiemmin läpikäyty ohjelman osa toimii.

Piirilevyn sisäisiä ominaisuuksia muutettiin myös hieman. Käynnistysviiveeksi seuraavaa käynnistystä varten asetimme jumper-kytkimien avulla 30 sekuntia ja kompressorin virranrajoitukseksi 15 ampeeria. Piirilevyllä on myös kyky tunnistaa sen ylikuumentuminen, jolloin sen toiminta pysähtyy ja siinä oleva ledi välkkyi punaisena. Piirilevyllä on myös kyky pysäyttää toiminta usean epäonnistuneen käynnistys yrityksen jälkeen, vilkuttaen ongelman merkiksi taas punaista lediä. Virheilmoitukset ilmenevät kaikki punaisen ledin välkkeenä ja erilaiset virheilmoitustyytit on käyty läpi liittessä 6. Tarvittaessa piirilevyllä olevan virhemuistin voi pyyhkiä.

7 Järjestelmän testaus ja tulokset

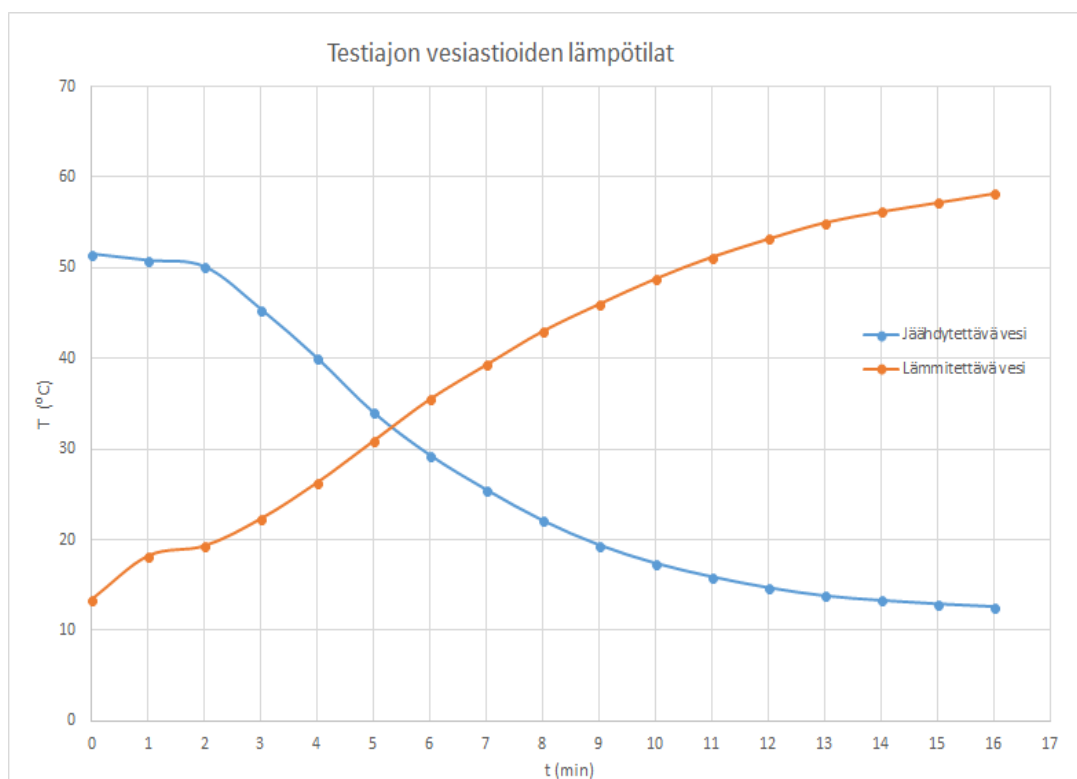
Järjestelmää (kuva 32) testattiin yhteensä kuusi kertaa. Ensimmäinen testiajo suoritettiin kylmäainetäytöksen yhteydessä Riverialla. Kylmätäytöksen yhteydessä järjestelmää ajettiin pelkän kylmäaineen kanssa, ilman vesiastioita, jotta nähtiin että täytös olisi riittävä ja kone toimisi turvallisesti. Riverian kokoonpanijat olivat myös halunneet pyöritellä lämmönvaihdkierukat uudelleen, paremmin asennukseen sopiviksi.



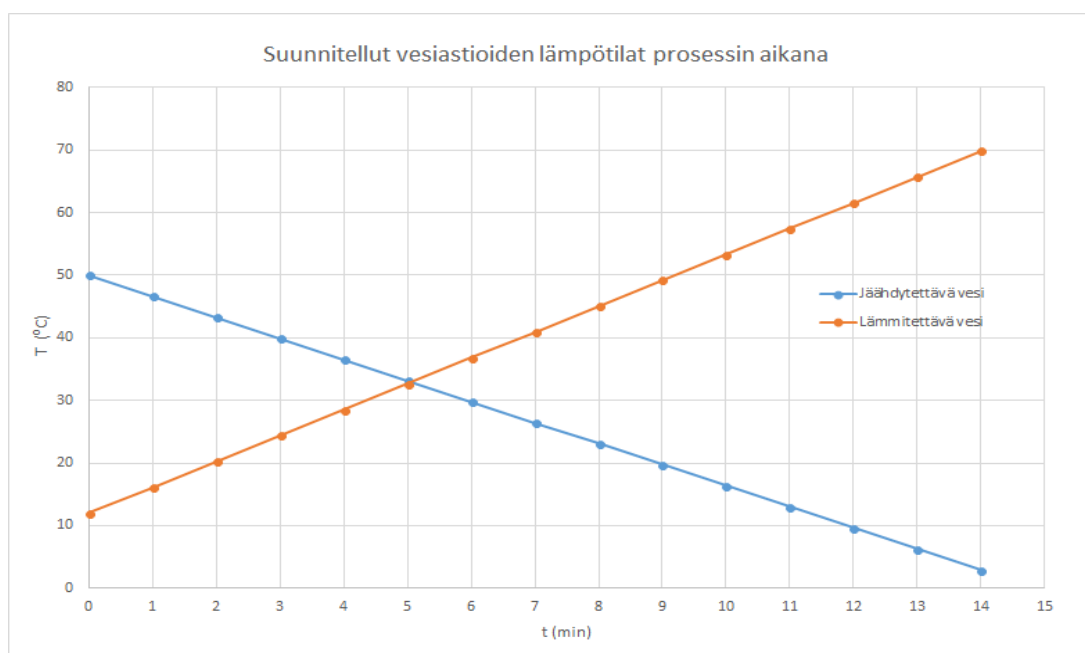
Kuva 32 Jäähdytyskoneikko

Seuraavat kerrat konetta testattiin lopullisessa kokoonpanossa teknisiä näkökohtia huomioiden. Viimeiseltä parilta kerralta kirjattiin ylös järjestelmän kylmäprosessia koskevia ja toimintaa kuvaavia arvoja, joita verrattiin suunniteltuihin. Testaukset suoritettiin kuvan mukaisen kokoonpanon avulla, käyttäen suunniteltua kompressorin nopeutta 5000 RPM.

Vesiastioiden lämpötilojen muutoksia verrattaessa, kuvat 33 ja 34, voidaan todeta, että testiajoissa lämpötilat saavuttivat nopeammin vastaavia arvoja kuin suunniteltiin. Poikkeukset ensimmäisten minuuttien aikana kuvaajissa johtuvat todennäköisesti eristämättömistä vesiastioista, jotka alussa luovuttavat ja vastaanottavat lämpöenergiaa ilman ja magneettisekoittajan kanssa.



Kuva 33 Vesiastioiden lämpötilat

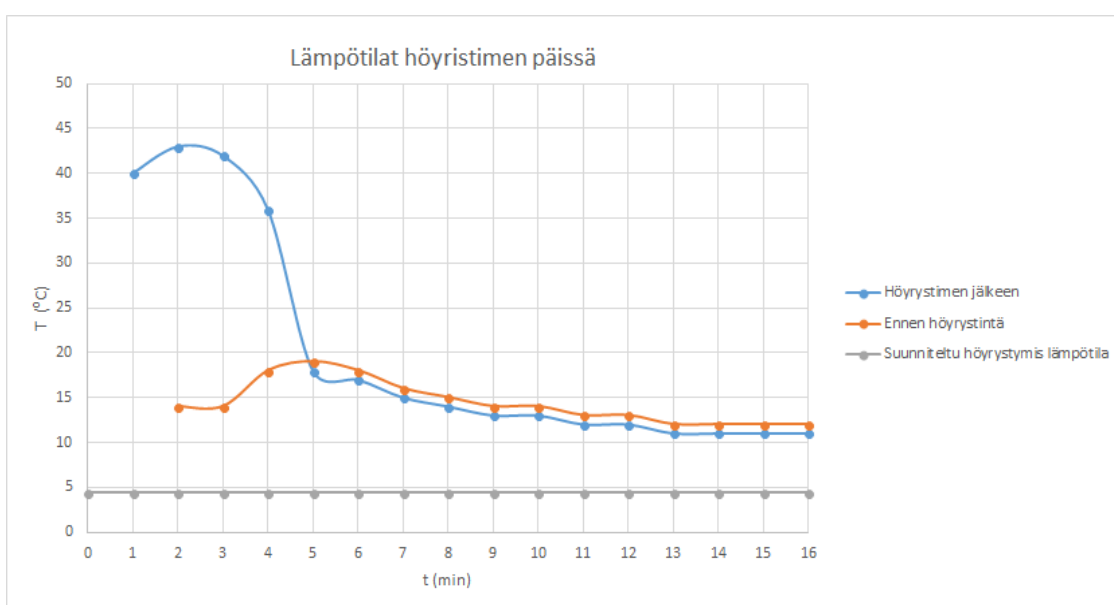


Kuva 34 Suunnitellut lämpötilat vesiastioissa

Toinen syy alun poikkeamiin on prosessin epäoptimaalinen vaihe, jonka aikana paineet eivät ole vielä suotuisissa arvoissa. Testiajon tuloksista huomataan, mi-

ten lämmönvaihtuminen hidastuu lähestyessämme höyrystymis- ja lauhtumislämpötiloja. Odotettua parempi toiminta antoi jo tässä vaiheessa odottaa, että järjestelmän COP arvot tulisivat olemaan odotettua paremmat.

Höyrystimen toimintaa analysoimme kuvan 35 kuvaajasta. Höyrystin toimi graafin perusteella oikein, sillä sisälle menevä kylmäaine oli lämpimämpää kuin ulos virtaava. Kylmäaine sitoi höyrystyessään itseensä energiaa mikä viilensi toista puolta. Verrattaessa lämpötiloja 15 min ajon jälkeen suunniteltuun höyrystymislämpötilaan, oltiin suunnitellusta arvosta vielä kaukana.

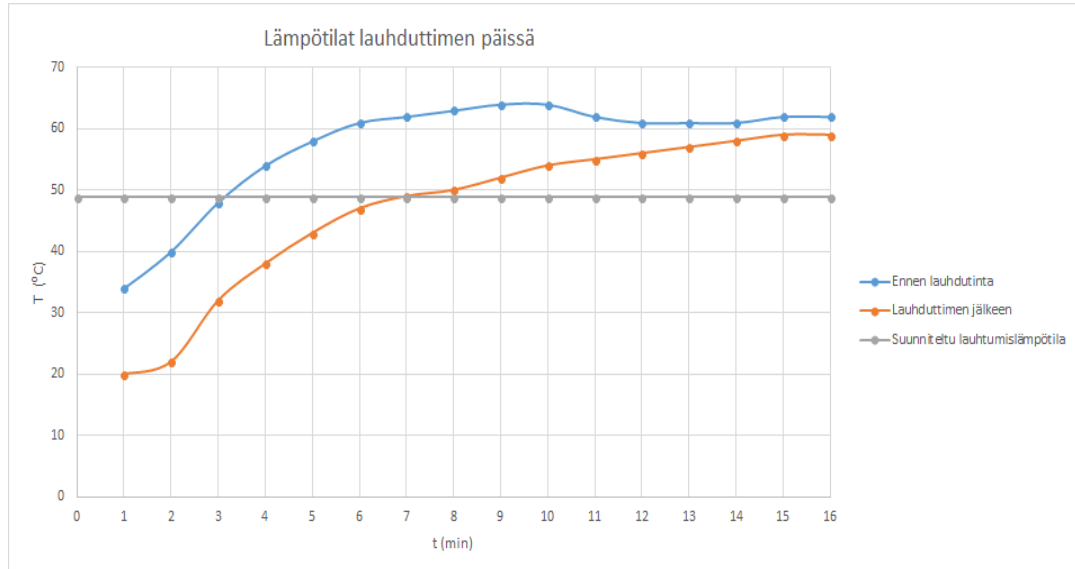


Kuva 35 Lämpötilat höyrystimen päissä

Tästä voidaan päätellä, että prosessin oikea höyrystimislämpötila on suurempi kuin suunniteltu. Viilennettävän astian ja höyrystimen graafi perusteella voidaan arvioida, että todellisen prosessin höyrystimislämpötila on noin 10 asteen paikkeilla. Edellistä väittämää tukee myös kuvan 37 painegraafi, josta nähdään, miten paine on tehokkaimman lämmönsiirtymisen aikana noin 4 bar, mikä on höyrystymispaine 10 °C R134a kylmäaineelle. Graafin alkupuolen vaihtelut kuvaajassa selittyvät epäoptimaalisilla prosessin olosuhteilla.

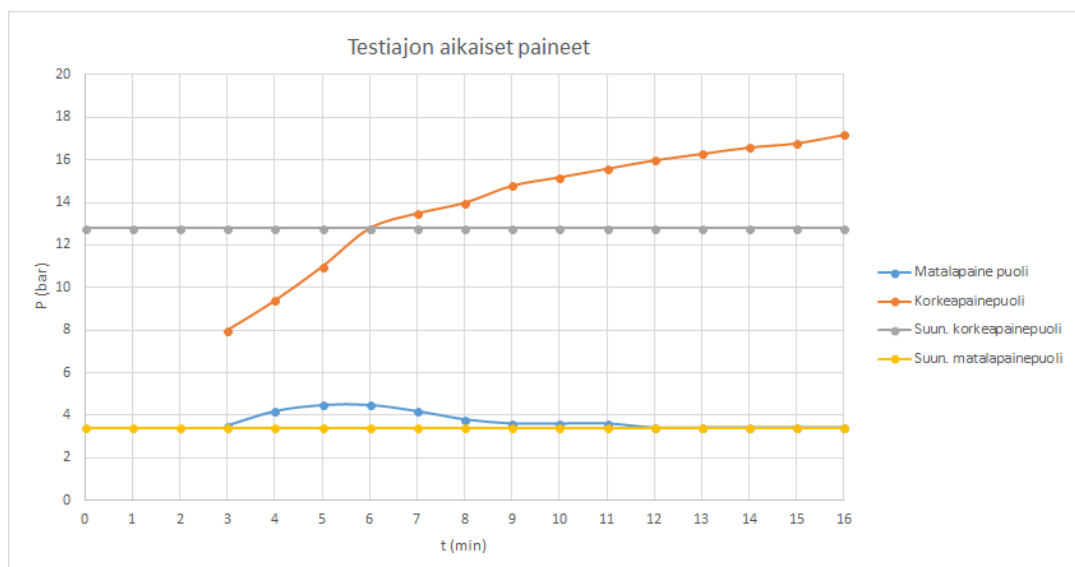
Lauhduttimen toimintaa analysoimme kuvassa 36. Kuvasta huomataan, että prosessin alkuvaiheessa kompressorilla menee hetki aikaa, paineita nostettaessa. Kuvan perusteella voidaan myös todeta, että höyrystin toimii oikein, kun tuleva

kylmäaine on höyrystimestä poistuvaa kuumempaa. Lämpötilojen saavuttaessa suunnitellun lauhtumislämpötilan, huomataan että lämmitettävän vesiastian lämpötilat alkavat nousemaan nopeammin ja näin ollen höyrystyminen tapahtuu suunnitellussa arvossa.



Kuva 36 Lämpötilat lauhduttimen päissä

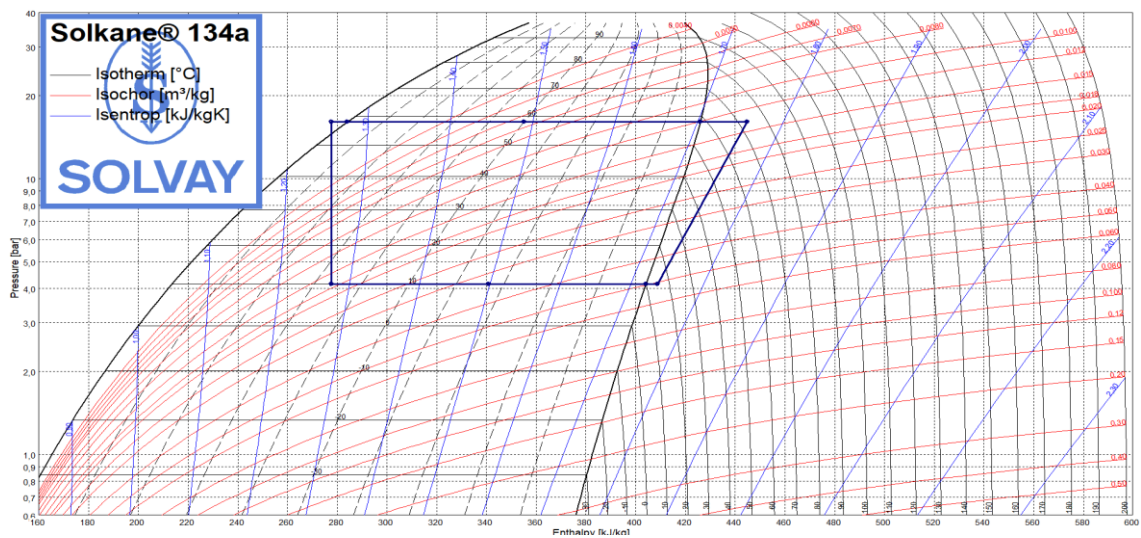
Pidemmän ajojakson jälkeen huomataan kuitenkin lämpötilojen kohoavat etenkin lauhduttimesta poistuvasta putkesta, mikä voisi viitata siihen, että lauhdutin ei toimi aivan suunnitellusti. Prosessista tehty painekuvaaja (kuva 37) vahvistaa olettamusta. Paineet ovat suunnitelluista arvoissa samaan aikaan, kun lauhtumislämpötila on saavutettu.



Kuva 37 Testiajon aikaiset paineet

Tästä eteenpäin korkeapainepuolen paine nousee, ja samaan aikaan lauhduttimesta poistuva kylmäaine lämpenee lauhduttimeen tulevan kylmäaineen lämpötilan pysyessä suhteellisen stabiilina. Paineen noususta ja lauhduttimesta poistuvan lämpötilan nousu viittaa tilanteeseen, jossa järjestelmä pyrkii lauhduttamaan kuumempaa nestettä kuin suunniteltu, eli tässä tapauksessa 58°C. Tällöin myös paineen tulee nousta testiajojen osoittamalla tavalla. Suurin lämmönsiirtyminen tapahtuu 2-10 min aikana, minkä aikana paineet ja lämpötilat ovat lähempänä suunniteltuja. Ilmiö voi mahdollisesti johtua liian pienestä lauhduttimesta. Tutkituamme lauhdutinta, huomattiin että lauhdutin on huomattavasti tiiviimmässä kiepissä verrattuna höyrystimeen, mikä heikentää tehokasta lämmönsiirtymistä ympäröivään nesteeseen.

Tulosten perusteella piirrettiin log p, h-piirros keskimääräisillä prosessiarvoilla (kuva 38) johtuen lauhduttimen epätasaisesta käyttäytymisestä. Piirroksen avulla prosessille määriteltiin COP - arvot, jotka olivat jäähdytyksessä 3,79 ja lämmityksessä 4,79. Arvot ovat suuntaa antavia.



Kuva 38 Log p, h-piirros keskimääräisillä prosessiarvoilla

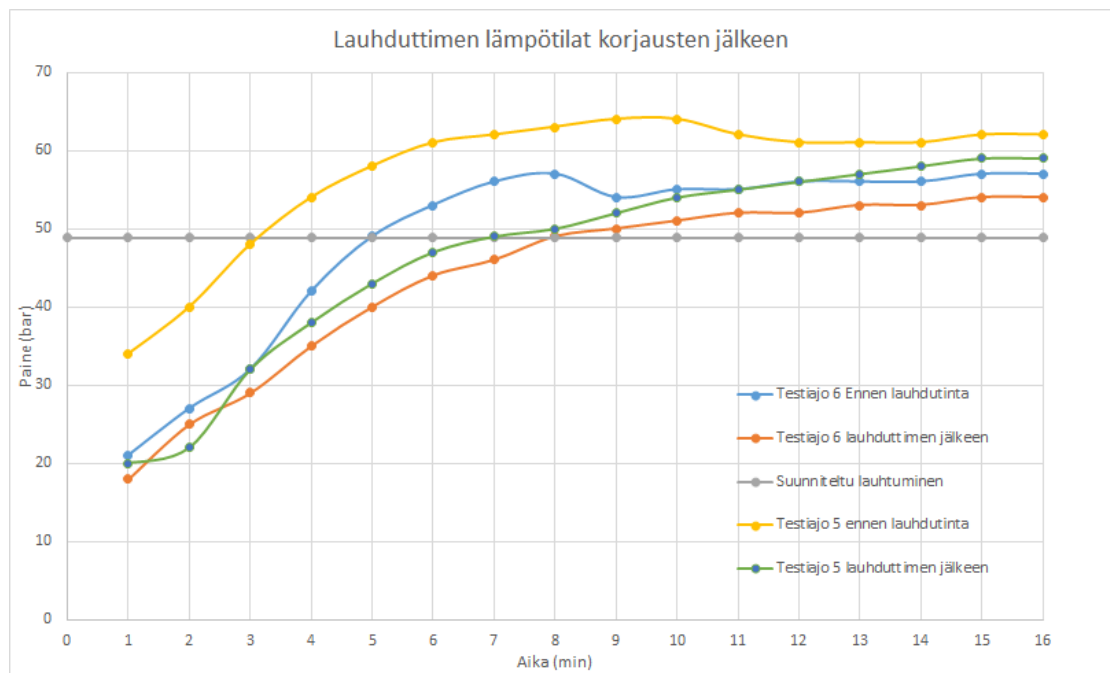
Testiajojen COP -arvoja verratessa suunniteltuihin, voidaan todeta järjestelmän toimineen osittain jopa paremmin kuin suunniteltiin. Prosessi ei kuitenkaan toiminut stabiilisti testiajojen aikana, mikä täytyy ottaa huomioon tuloksia vertailtaessa. Tulosten perusteella päätettiin vielä tehdä yksi testiajo lisää, jossa lauhdutinkierukan väliin laitettiin alumiinikappaleita lisätäksemme lauhduttimen pinta-alaa ja

näin selvittääksemme onko lauhdutin oikeasti liian pieni. Lauhduttimen hienosäädön lisäksi, muutettiin myös kompressorin virrankulutusta indikoivan johdon maa-
doitusta, sillä se ei toiminut edellisissä testiajoissa halutulla tavalla.

Automaation kannalta testiajojen perusteella todettiin, että valituilla komponenteilla ja ohjelmalla ei päästä tarpeeksi tarkkaan säätöön, jotta koneikko saataisiin toimimaan suunnitelluissa arvoissa. Paisuntaventtiili jää auttamatta koneikossa suureksi. Tämä todettiin siitä että, prosessin höyrystymislämpötila oli suunniteltua korkeampi ja näin ollen ei höyrystimeen pystytty syöttämään tarpeeksi pientä määrää kylmäainetta, jotta höyrystyminen olisi tapahtunut alhaisemmassa lämpötilassa. Höyrystymislämpötila siis kohosi todennäköisesti epätarkan säädön takia. Ohjelma toimi muuten moitteetta, lukuun ottamatta kompressorin virrankulutuksen seurantaa.

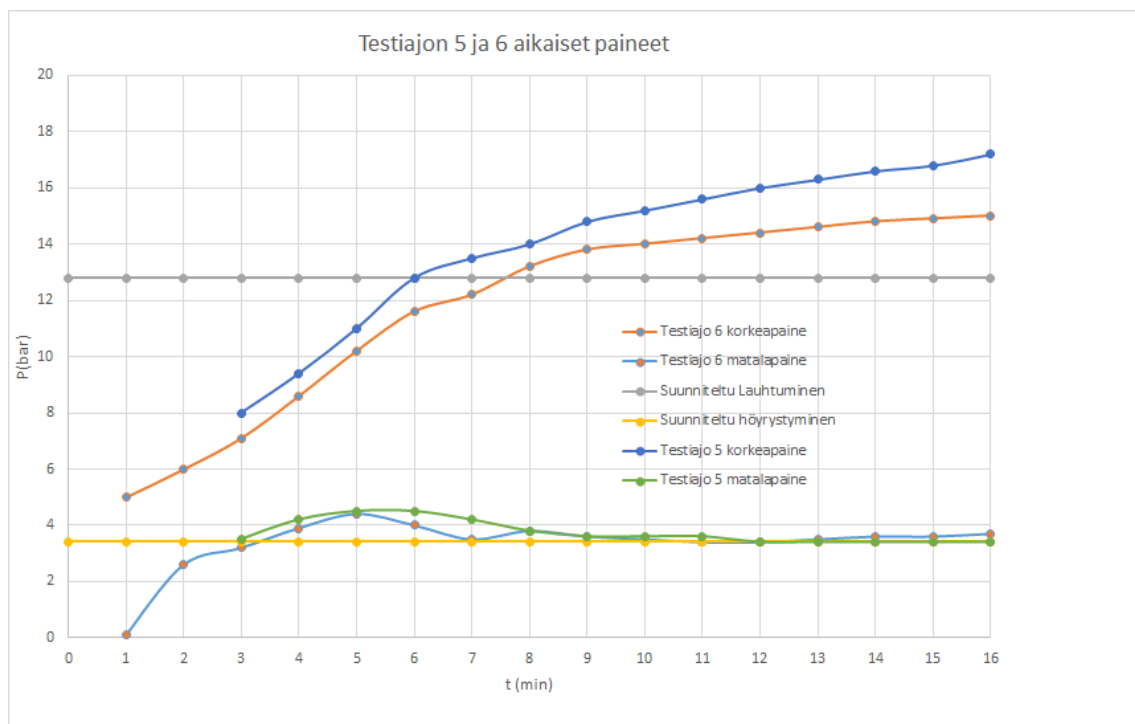
8 Korjausten vaikutukset tuloksiin

Lauhduttimen hienosäädön lisäksi paine- ja imuputki eristettiin Armaflex-putkieristeellä vähentääksemme lämmönsiirtymistä vääriin kohteisiin. Korjausten jälkeen saadut tulokset tukivat edellisessä kappaleessa tehtyjä olettamuksia lauhdutinta ja sen kokoa koskien. Testien tulokset löytyvät liitteestä 9. Kuvien 39 ja 40 graafien perusteella voidaan todeta korjausten tasapainottaneen prosessia.



Kuva 39 Lauhduttimen lämpötilat korjausten jälkeen

Kuvasta 39 nähdään miten lämpötilat ennen ja jälkeen lauhduttimen saatiin laskemaan lähemmäksi suunniteltua. Lämpötilojen laskiessa huomataan myös kuvasta 40 paineiden laskevan lähemmäksi suunniteltuja arvoja. Tulosten perusteella voidaan todeta, että korjausten ansiosta kompressori ei joutunut tekemään yhtä suurta työtä kuin testiajossa 5 ja lauhdutin toimi lähempänä suunniteltuja arvoja. Suunnitelluista arvoista jäätin vielä silti, mikä voisi indikoida aiemmin tehtyä olettamusta lauhduttimen koosta.



Kuva 40 Testien 5 ja 6 painevertailu

Pääpiirteiltään testiajo 6 oli hyvin samankaltainen edeltäjänsä kanssa, eikä merkittäviä eroja päässyt syntymään. Huomioitavaa testiajossa 6 oli kuitenkin korkeapuolen paineen pysyminen testiajoon 5 verrattuna paljon alhaisempana. Näin ollen päästiin lähes samoihin tuloksiin kompressorin pienemmällä työllä. Kaikkien testiajojen aikana kompressorin lämpötilat pysyivät stabiilina eikä ylikuumenemista ei ollut.

9 Koneikon kehitysideat

Koneikko toimii testeissä käytetyllä koonpanolla riittävän hyvin, mutta koneikon toimintatasoa voidaan parantaa. Lämmön karkaamisen estämiseksi vesiastioista, voitaisiin kokeilla eristettyjä astioita. Erilaisten sovellutuksien kokeilun kannalta, voitaisiin harkita jonkinlaista vedenlämmittintä tai vedenkierrätystä ulkoisesta lähteestä. Ohjelmapuolen kehittäminen eteenpäin, niin säädön kuin käytettävyyden kannalta, mahdollistaisi helpomman ja monipuolisemman käytön. Lämpöantureiden uudelleen sijoittelu, määrän lisääminen sekä analogisten paineantureiden korvaaminen digitaalisilla saattaisi myös tuoda lisää tietoa prosessista. Koneikon takaosan elektroniikan suojaus, soveliaalla koteloinnilla, toisi lisää käyttöturvallisuutta. Kompressorin piirikortilta tulevan virtamittauksen toimivaksi saattaminen mahdollistaisi kompressorin virrankulutuksen ja sähkötehon seurannan ohjelmallisesti.

10 Koneikko opetuskäytössä

Koneikko toimii hyvin Karelian toimeksiannon vaatimusten mukaisesti ja näin ollen sitä voidaan hyödyntää jäähdytys- ja lämmitystekniikkaa käsittelevillä kursseilla. Koneikon käyttöohje liitteessä 10. Koneikolla voidaan demonstroida oppilaille kylmäaineen kiertoa ja yleisesti jäähdytyslaitteiden, viilentimien, pakastimien ja lämpöpumppujen toimintaa.

Koneikkoa voidaan myös käyttää laboratorioharjoituksissa, joissa esimerkiksi koneikon kylmäprosessista piirretään log p,h-piirros ja lasketaan COP-arvot. Tehäväesimerkki edelliseen liittyen löytyy liitteestä 11. Tämän lisäksi toimivan kompressorin virrankulutuksen avulla voidaan myös laskea prosessille hyötysuhteita ja vaihtelemalla kompressorin käyntitehoa pystyttäisiin tutkimaan käyntitehon vaikutuksia kylmäprosessiin. Prosessin käyntiaika testien asetuksilla on myös laboratorioharjoituksien pituutta ajatellen sopiva.

11 Pohdinta

Opinnäytetyön alkuasetelma toimeksiannon saatuaamme lupasi mielenkiintoista ja haasteellista tutustumista jäähdytysjärjestelmien suunnitteluun, toteutukseen ja säätöön. Halutun järjestelmän mittakaavan ja ohjattavuuden yhdistäminen saatavilla olleen suunnittelumateriaalin avulla aiheutui haastavaksi. Mittakaavat monessa suunnitteluteoksessa olivat moninkertaisia tässä työssä käsiteltyyn. Joten suunnittelu oli monipuolista eri lähteiden ja mitoitustapojen soveltamista.

Suunnittelun aikana huomattiin, että suomenkielinen kylmätekniikan kirjallisuus oli pääosin pienen joukon aikaansaamaa, tästä johtuen lähdemateriaalin kirjo on melko suppea. Mitoitusohjelmia ja suuntaa antavia taulukoita löytyy monelta kylmäkomponenttien valmistajalta, mutta niiden käytettävyys ja hyödynnettävyys ilman pitkäaikaista kokemusta ja tietämystä kylmäalan parista voi olla lähinnä suuntaa antavaa. Automaation toteutus WAGO:n uudella e!Cockpit-ohjelmalla toi myös työhön pienen höysteen ohjelmointia ja tutustumista nykyaikaisiin automaatio-ohjausjärjestelmiin.

Aikaansaatu järjestelmä toimi testauksissa liki samoilla arvoilla joiden perusteella koneikko mitoitettiin. Koska testauksissa arvot olivat melko samoilla lukemilla kerrasta toiseen, voidaan olettaa järjestelmän soveltuvan myös opetuskäyttöön, hyvän ja tasaisen toistettavuuden ansiosta. Kokoonpanon pitkäikäisyys opetuskäytössä on vielä arvailuiden varassa, mutta komponenttien ja asennustyön laadun perusteella voidaan olettaa sen olevan riittävä. Koneikkoon jäi tämän opinnäytetyön jälkeenkin runsaasti kehitettävää ja hienosäädettävää. Tarvittaessa jo lämmönsiirtimien vaihdolla toisenlaisen tyyppiseksi tai kokoisiksi, saisi monipuolistettua koneikolla suoritettavia kokeita ja tehtäviä. Käytännön tasolla tämä onnistuisi helpoimmillaan ottamalla kylmäainetäytön talteen, katkaisemalla kylmäaineputket sopivasta kohtaa, liittämällä uusiin siirtimiin sekä täyttämällä järjestelmän uudelleen kokoonpanoa vastaavalla määrällä kylmäainetta.

Opinnäytetyö sisälsi monipuolisesti teoreettista suunnittelutyötä ja käytännön kokoonpanoa ja testausta, ollen tekijöille mielenkiintoinen lävitse koko projektin.

Työn myötä, alkutilanne huomioiden, tietämys kylmäainekierrosta ja jäähdytyskoneista lisääntyi huomattavasti.

Karelia-ammattikorkeakoulun henkilöstöllä, etenkin Miska Piiraisella, riitti korvaamatonta mielenkiintoa ja tukea työtä kohtaan, sillä aiemmin vastaavanlaista kylmäkoneikkoa ei koulutusohjelmien aikaansaannoksina ole tehty. Kiitoksia ansaitsevat myös Riverian Pekka Saastamoinen sekä Markku Tahvanainen toteutetun työn putkien sekä kylmäainetäytön tekemisestä sekä teknisestä konsultaatiosta.

Lähteet

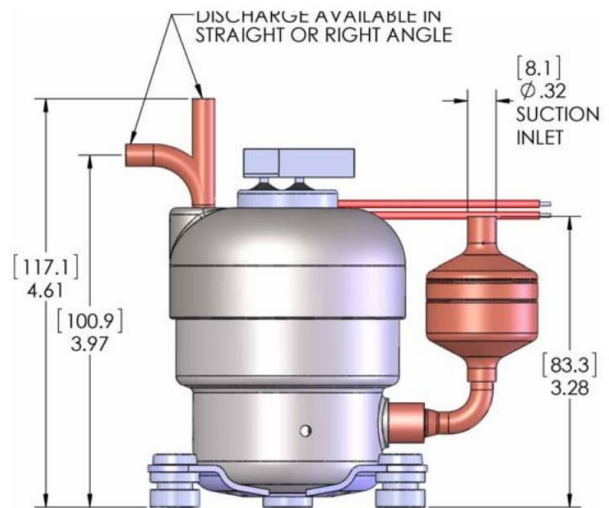
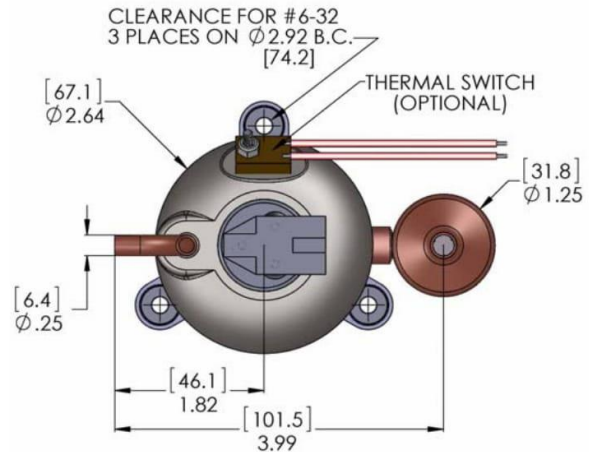
- Aalto, E. Alijoki, T. Hakala, P. Hirvelä, A. Kaappola, E. Mentula, J. & Seinelä, A. 2008. Kylmäteknikka. 3.painos. Jyväskylä: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- Aspen Compressor. 2018. Downloads – Specification Sheets, Performance Data. <http://aspencompressor.com/downloads/> 23.5.2018
- Danfoss. 2018a. Kylmätuotteet - SGP-nestelasit. <http://files.danfoss.com/images/IMG107324281854.jpg?w=1024&h=724&mode=pad> 1.5.2018.
- Danfoss. 2018b. Kylmätuotteet – Magneettiventtiilit – Fluoratut kylmäaineet – EVR. <http://products.danfoss.fi/productrange/visuals/refrigeration/solenoid-valves/solenoid-valves-fluorinated-refrigerants-and-hydrocarbons/evr-normally-closed-nc/#/>. 1.5.2018.
- Danfoss. 2018c. Kylmätuotteet – Termostaattiset paisuntaventtiilit. <http://products.danfoss.fi/productrange/visuals/refrigeration/thermostatic-expansion-valves/thermostatic-expansion-valves-fixed-orifice/#/>. 1.5.2018.
- Danfoss. 2018d. Kylmätuotteet – Elektronisesti toimivat venttiilit – Paisuntaventtiilit, fluoratut kylmäaineet. <http://products.danfoss.fi/productrange/visuals/refrigeration/electrically-operated-valves/akv-electric-expansion-valves-for-fluorinated-refrigerants/#/>. 1.5.2018.
- Danfoss. 2018e. Ohjelmistot – Coolselector 2. <http://refrigerationandairconditioning.danfoss.fi/knowledge-center/software/coolselector/#/> 23.5.2018
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- Kaappola, E. Hirvelä, A. Jokela, M. & Kianta, J. 2015. Kylmäteknikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.
- Kianta, J. 2013. Kylmäteknikan käsikirja. Tampere: Eräsalon Kirjapaino Oy.
- Recair Oy. 2018. Stulz KSV ilmalauhdutin. <http://www.recair.fi/tuotteet/stulz-vakioilmastointikoneet?product=stulz-ksv-ilmalauhdutin>. 1.5.2018.
- Solway Chemicals. Solkane 8. 2018. <http://solkane-refrigerants.software.informer.com/8.0/> 23.5.2018
- WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. Kg. 2018. Online catalog - 750-8202. https://eshop.wago.com/JPBC/0_5StartPage.jsp?TopNavi=0_6TopNavi.jsp&Zone=2&Hauptframe=%2FJPBC%2FCommonPageHandler.jsp&activatedPage=SEARCHPAGE 1.5.2018.
- Yunus A. Cengel. 1998. Heat transfer: A Practical Approach. New York: WBC McGraw-Hill.

Aspen Q-Series Compressor

Q-Series
Low Noise, Miniature, Rotary
BLDC Refrigeration Compressors



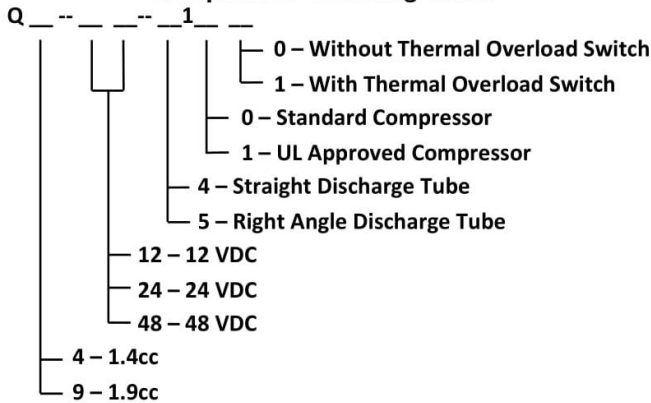
Compressor Specifications	
Refrigerant	R134a / R404a / R410a / Others to be tested
Oil Type	Emkarate POE RL 68H
Oil Quantity	23cc Factory Charged
Motor / Drive	BLDC / Sensorless
Speed Range	2100 – 6500 RPM
Evaporator Temp. Range	-22~75°F (-30~24°C)
Max Condensing Temp.	160°F (71°C)
Max Discharge Temp.	265°F (130°C)
Max Ambient Temp.	130°F (54°C)
Max Dome Temp.	240°F (115°C)
Max Operating Pressure	350 psi (2.4 MPa)
Suction Port Size	0.25" ID Cup
Discharge Port Size	0.25" OD Tube
Analog Voltage	0 - .6 VDC = OFF
Speed Command (Linear)	.80 VDC: 2,300 RPM 4.5 VDC: 6,500 RPM
Cooling Capacity-ASHRAE T	R-134a R-404a
1.4cc	360 W W
1.9cc	455 W W
Noise Level @ 1 meter	~ 40 dBA
Weight	1.4cc ~ 900g 1.9cc ~ 925g



Compressor Application Notes:

1. Compressor is supplied with 23cc Emkarate RL68 POE oil. Addition oil will be required if operating compressor in systems with long tubes, large heat exchangers or internal surfaces that can trap oil and prevent adequate return to the compressor.
2. Recommended airflow over compressor is 1 meter/sec.

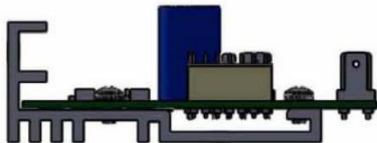
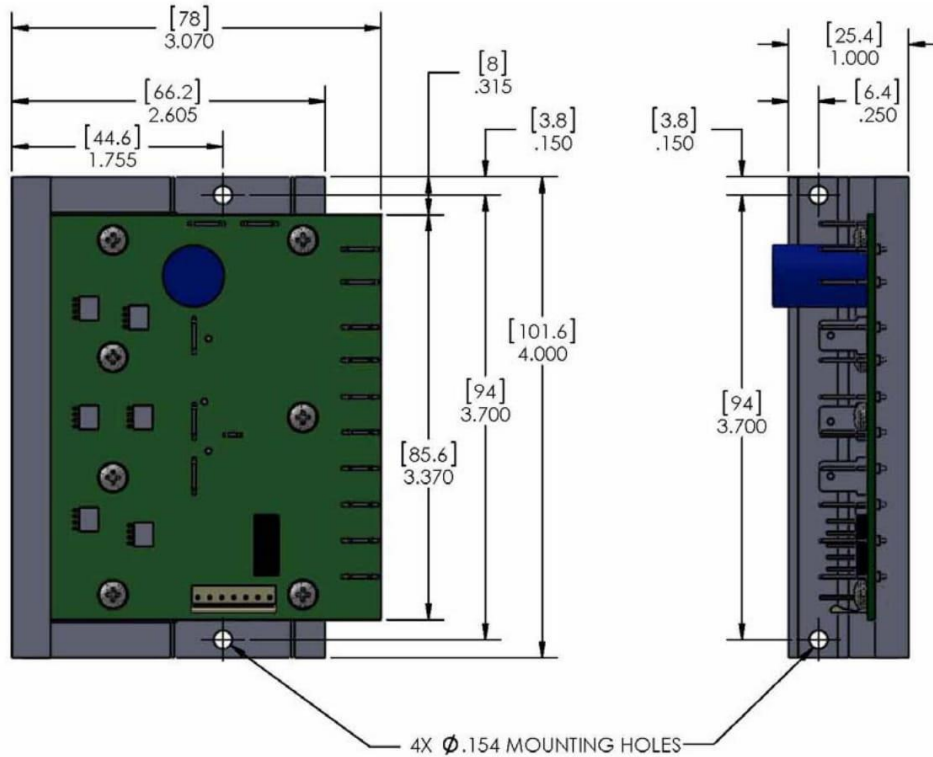
Compressor Ordering Guide



Sample Order # Q4 - 24 - 5111
Description – **1.4cc compressor**
 24 Volt
 Right angle discharge
 UL approved
 With Thermal Overload Switch

Aspen Q-Series Compressor

ASPEN High Capacity Compressor Drive Board



Compressor Drive Application Notes:

1. Drive Board is conformally coated, however, care should be taken to prevent operation in corrosive or wet environments. Drive board is thermally protected, however, airflow over the drive board and heat sink is highly recommended.
2. Maximum current to the compressor is automatically limited by the drive board by reducing the compressor speed as the current approaches set limits. See table on the left for user selectable current limits for the drives.

Maximum Drive Board Current	
Drive Type	Max Current (A)
12V	10A or 15A - User selectable
24V	10A or 15A - User selectable
48V	7A or 8A - User selectable

Aspen Q-Series Compressor

Aspen Compressor, LLC

Performance Chart
Model# Q Series 14-24
 Refrigerant: HFC-134a
 CAPACITY (WATTS)

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
100	3000	59	88	117	161	206	262	318
	4000	80	118	156	211	266	343	421
	4500	90	133	176	236	296	384	473
	5000	101	147	193	260	326	422	518
	6000	124	176	228	308	387	498	608

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
120	3000	54	79	103	142	181	238	295
	4000	74	109	143	194	245	315	386
	4500	84	124	163	220	277	354	431
	5000	94	137	180	243	306	389	472
	6000	114	164	213	288	363	458	553

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
140	3000	49	69	89	125	161	215	269
	4000	65	95	125	174	224	295	366
	4500	73	108	143	199	255	335	414
	5000	82	121	161	221	282	359	437
	6000	101	148	195	265	335	408	482

Note: all data points are with 10°F Superheat and 8°F Subcooling with HFC-134a

Aspen Q-Series Compressor

Aspen Compressor, LLC
Performance Chart
Model# Q Series 14-24
Refrigerant: HFC-134a
COEFFICIENT OF PERFORMANCE

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
100	3000	1.39	2.01	2.63	3.66	4.68	6.59	8.50
	4000	1.49	2.09	2.69	3.66	4.63	6.48	8.33
	4500	1.54	2.13	2.71	3.66	4.60	6.42	8.24
	5000	1.55	2.12	2.69	3.61	4.52	6.21	7.91
	6000	1.57	2.12	2.66	3.51	4.36	5.80	7.23

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
120	3000	1.10	1.48	1.86	2.46	3.06	4.09	5.12
	4000	1.17	1.58	1.99	2.60	3.20	4.18	5.15
	4500	1.21	1.63	2.05	2.67	3.28	4.22	5.17
	5000	1.23	1.64	2.06	2.66	3.27	4.18	5.09
	6000	1.26	1.66	2.07	2.66	3.26	4.10	4.94

Condenser Temperature (°F)	Compressor Speed (RPM)	Evaporator Temperature (°F)						
		10	20	30	40	50	60	70
140	3000	0.82	1.06	1.30	1.73	2.15	2.79	3.43
	4000	0.85	1.15	1.44	1.89	2.34	3.00	3.67
	4500	0.87	1.19	1.51	1.97	2.43	3.11	3.79
	5000	0.90	1.21	1.53	1.98	2.43	3.04	3.64
	6000	0.95	1.26	1.57	2.01	2.44	2.89	3.33

Note: all data points are with 10°F Superheat and 8°F Subcooling with HFC-134a

Kylmäaineen R134a ominaisuuksia

Lähde (https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/208222/mod_folder/content/0/Refrigerant_R134a.pdf?forcedownload=1)

Properties of refrigerant R134a (HFC 134a).

Molecular formula $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$

Molar mass 102,04 kg/kmol

Properties of R134a in gas phase (μ = dynamic viscosity and k = thermal conductivity) [1]:

Temp., K	Absolute pressure, bar						
	0	1	2	3	4	5	6
230	c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	—	—	—	—	—	—
	k (W/m·K)	—	—	—	—	—	—
	Pr	—	—	—	—	—	—
240	c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	—	—	—	—	—	—
	k (W/m·K)	—	—	—	—	—	—
	Pr	—	—	—	—	—	—
250	c_p (kJ/kg·K)	0.7437	0.7953	—	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	10.11	10.15	—	—	—	—
	k (W/m·K)	0.0096	0.0097	—	—	—	—
	Pr	0.763	0.797	—	—	—	—
260	c_p (kJ/kg·K)	0.7827	0.8048	—	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	10.47	10.51	—	—	—	—
	k (W/m·K)	0.0105	0.0107	—	—	—	—
	Pr	0.761	0.790	—	—	—	—
270	c_p (kJ/kg·K)	0.7813	0.8158	0.8557	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	10.84	10.88	10.94	—	—	—
	k (W/m·K)	0.0117	0.0118	0.0118	—	—	—
	Pr	0.724	0.761	0.793	—	—	—
280	c_p (kJ/kg·K)	0.7996	0.8283	0.8604	—	—	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	11.22	11.26	11.29	—	—	—
	k (W/m·K)	0.0122	0.0123	0.0123	—	—	—
	Pr	0.735	0.757	0.790	—	—	—
290	c_p (kJ/kg·K)	0.8176	0.8412	0.8673	0.8938	0.9335	—
	μ (10^{-6} Pa·s)	11.62	11.65	11.68	11.71	11.74	—
	k (W/m·K)	0.0130	0.0131	0.0131	0.0133	—	—
	Pr	0.731	0.748	0.773	0.787	—	—
300	c_p (kJ/kg·K)	0.8354	0.8556	0.8771	0.8972	0.9277	0.9606
	μ (10^{-6} Pa·s)	12.05	12.06	12.08	12.10	12.15	12.54
	k (W/m·K)	0.0139	0.0139	0.0140	0.0141	0.0142	0.0143
	Pr	0.730	0.742	0.757	0.770	0.792	0.816
310	c_p (kJ/kg·K)	0.8530	0.8703	0.8875	0.9046	0.9292	0.9546
	μ (10^{-6} Pa·s)	12.44	12.45	12.47	12.49	12.52	12.54
	k (W/m·K)	0.0145	0.0146	0.0147	0.0149	0.0149	0.0150
	Pr	0.730	0.742	0.753	0.763	0.781	0.798
320	c_p (kJ/kg·K)	0.8703	0.8843	0.8993	0.9163	0.9356	0.9548
	μ (10^{-6} Pa·s)	12.83	12.84	12.86	12.88	12.90	12.93
	k (W/m·K)	0.0153	0.0153	0.0154	0.0155	0.0156	0.0157
	Pr	0.730	0.740	0.751	0.761	0.774	0.786
330	c_p (kJ/kg·K)	0.8874	0.8996	0.9114	0.9268	0.9398	0.9569
	μ (10^{-6} Pa·s)	13.22	13.23	13.25	13.27	13.29	13.32
	k (W/m·K)	0.0160	0.0161	0.0161	0.0162	0.0163	0.0164
	Pr	0.729	0.739	0.750	0.759	0.766	0.777
340	c_p (kJ/kg·K)	0.9042	0.9152	0.9262	0.9372	0.9502	0.9632
	μ (10^{-6} Pa·s)	13.61	13.62	13.64	13.66	13.68	13.70
	k (W/m·K)	0.0169	0.0169	0.0169	0.0170	0.0170	0.0171
	Pr	0.728	0.738	0.748	0.755	0.765	0.772
350	c_p (kJ/kg·K)	0.9208	0.9307	0.9406	0.9505	0.9607	0.9695
	μ (10^{-6} Pa·s)	13.98	13.99	14.01	14.03	14.05	14.07
	k (W/m·K)	0.0175	0.0176	0.0176	0.0177	0.0177	0.0178
	Pr	0.730	0.740	0.749	0.754	0.763	0.767

Dashes indicate unavailable states; blanks indicate no data.

Note that "profound differences" presently exist in the transport properties of R134a according to *Chemistry International*, 16(5), 233, Nov. 1994, and 18(2) 44–47, 1996.

Kylmäaineen R134a ominaisuuksia

Lähde (https://mycourses.aalto.fi/pluginfile.php/208222/mod_folder/content/0/Refrigerant_R134a.pdf?forcedownload=1)

Properties of R134a in gas phase (cont.) [1]:

Temp., K	Absolute pressure, bar						
	8	10	12.5	15	17.5	20	22.5
300	—	—	—	—	—	—	—
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	—	—	—	—	—	—	—
k (W/m·K)	—	—	—	—	—	—	—
Pr	—	—	—	—	—	—	—
310	1.053	—	—	—	—	—	—
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	—	—	—	—	—	—	—
k (W/m·K)	0.0155	—	—	—	—	—	—
Pr	—	—	—	—	—	—	—
320	1.028	1.097	—	—	—	—	—
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	13.05	13.13	—	—	—	—	—
k (W/m·K)	0.0161	—	—	—	—	—	—
Pr	0.833	—	—	—	—	—	—
330	1.015	1.065	1.151	1.276	—	—	—
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	13.41	13.49	13.64	13.86	—	—	—
k (W/m·K)	0.0168	0.0171	0.0177	0.0184	—	—	—
Pr	0.810	0.840	0.887	0.961	—	—	—
340	1.008	1.049	1.107	1.187	1.319	—	—
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	13.79	13.86	13.95	14.17	—	—	—
k (W/m·K)	0.0174	0.0177	0.181	0.0187	—	—	—
Pr	0.799	0.821	0.855	0.899	—	—	—
350	1.008	1.040	1.086	1.148	1.225	1.340	1.525
c_p (kJ/kg·K)	—	—	—	—	—	—	—
μ (10^{-6} Pa·s)	14.15	14.22	14.34	14.49	—	14.97	—
k (W/m·K)	0.0181	0.0183	0.0186	0.0192	0.0198	0.0205	0.0215
Pr	0.788	0.828	0.837	0.866	—	—	—

Properties of R134a as saturated liquid (f) and saturated vapor (g) (μ = dynamic viscosity and k = thermal conductivity) [1]:

Pressure, bar	Temp., K	v_f , m ³ /kg	v_g , m ³ /kg	h_f , kJ/kg	h_g , kJ/kg	s_f , kJ/(kg·K)	s_g , kJ/(kg·K)	$c_{p,f}$, kJ/(kg·K)	μ_f , 10^{-6} Pa·s	k_f , W/(m·K)	Pr_f
0.0038	169.85	0.0006285	35.263	-76.68	186.50	-0.3830	1.1665	1.147	2187	—	—
0.5	232.69	0.0007062	0.3692	-0.57	225.27	-0.0025	0.9669	1.242	506	0.1121	5.61
0.6	236.22	0.0007113	0.3015	3.85	227.52	0.0161	0.9636	1.248	480	0.1105	5.42
0.8	242.04	0.0007199	0.2375	11.15	231.19	0.0467	0.9560	1.258	438	0.1078	5.12
1.0	246.80	0.0007272	0.1924	17.14	234.15	0.0713	0.9507	1.267	408	0.1056	4.90
1.013	247.03	0.0007276	0.1902	17.50	234.33	0.0728	0.9503	1.268	406	0.1054	4.89
1.5	256.03	0.0007421	0.1312	28.96	239.96	0.1181	0.9419	1.288	358.7	0.1013	4.56
2.0	263.09	0.0007543	0.0999	38.13	244.14	0.1533	0.9364	1.306	326.6	0.0980	4.35
2.5	268.88	0.0007648	0.0806	45.75	247.60	0.1819	0.9326	1.322	303.2	0.0954	4.20
3.0	273.82	0.0007743	0.0677	52.33	250.50	0.2099	0.9297	1.337	285.1	0.0931	4.08
4.0	282.08	0.0007912	0.0512	63.50	255.22	0.2458	0.9256	1.363	257.7	0.0893	3.93
5	288.89	0.0008063	0.04116	72.87	258.99	0.2784	0.9232	1.387	237.5	0.0861	3.83
6	294.72	0.0008203	0.03434	81.04	262.09	0.3062	0.9208	1.410	221.6	0.0835	3.74
8	304.47	0.0008460	0.02565	95.00	267.01	0.3582	0.9171	1.454	197.6	0.0790	3.64
10	312.53	0.0008703	0.02035	106.86	270.74	0.3901	0.9144	1.497	179.5	0.0753	3.57
12	319.47	0.0008938	0.01675	117.34	273.65	0.4227	0.9120	1.541	165.1	0.0721	3.53
14	325.57	0.0009170	0.01414	126.80	275.92	0.4515	0.9095	1.589	153.0	0.0693	3.51
16	330.11	0.0009382	0.01247	134.00	277.40	0.4729	0.9073	1.631	144.3	0.0672	3.50
18	335.04	0.0009555	0.01089	143.68	279.01	0.5013	0.9041	1.698	133.2	0.0645	3.51
20	340.63	0.0009894	0.00931	151.39	279.95	0.5236	0.9010	1.764	124.8	0.0623	3.53
25	350.73	0.0010585	0.00695	169.30	280.64	0.5738	0.8913	1.987	106.6	0.0577	3.67
30	359.37	0.001144	0.00528	185.05	278.32	0.6212	0.8807	2.418	90.4	0.0538	4.06
35	366.89	0.001270	0.00399	203.19	273.52	0.6657	0.8574	—	—	—	—
40	373.50	0.001606	0.00255	229.24	257.12	0.7292	0.8038	—	—	—	—
40.56 ^t	374.15	0.001948	0.00195	241.22	241.22	0.7620	0.7620	—	—	—	—

^t = triple point, c = critical point, $h_f = s_f = 0$ at $-40^\circ\text{C} = 233.15\text{ K}$.

Surface tension of R134a in the liquid-vapor interface [1]:

T	°C	-50	-25	0	25	50	75	100
σ	N/m	0,0192	0,0154	0,0117	0,0082	0,0050	0,0021	0,0000

Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2



Projektitiedot

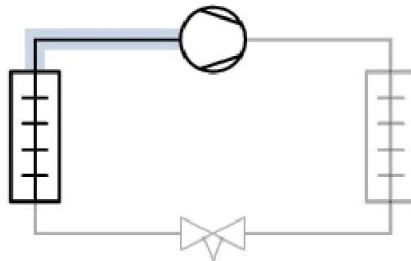
Projektin nimi:	
Kommentit:	
Laatinut:	
Coolselector2 versio:	2.2.2. Tietokanta: 27.27.1.12.9
Tulostettu:	Keskiviikko 28. Helmikuu 2018
Käytetyt asetukset:	Kaikki sovellukset

Putki 1

Käyttöolosuhteet

Kylmäaine:	R134a	Jäähdytysteho:	0,236 kW
Putken massavirta:	6,024 kg/h	Lämmitysteho:	0,301 kW
Höyrystyslämpötila:	4,4 °C	Lauhtumislämpötila:	49,0 °C
Höyrystyspaine:	3,425 bar	Lauhtumispaine:	12,85 bar
Hyödynnettävä tulistus:	5,0 K	Alijäähdytys:	4,0 K
Lisätulistus:	0 K	Lisäalijäähdytys:	0 K
Kuumakaasun lämpötila:	66,8 °C		

Järjestelmä ja putki: *Kuiva - Imuputki*



Koko putkisto

Painehäviö	0,001 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K

Positio 1. Putkisto: Kuparikäyrä 45 DIN-EN 10



Lukumäärä	1
Painehäviö	0,000 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
Nopeus, sisään	2,03 m/s
Liitântä	OK

Positio 2. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 10




Lukumäärä	1
Painehäviö	0,000 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
Nopeus, sisään	2,03 m/s
Liitântä	OK

Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus


Coolselector2



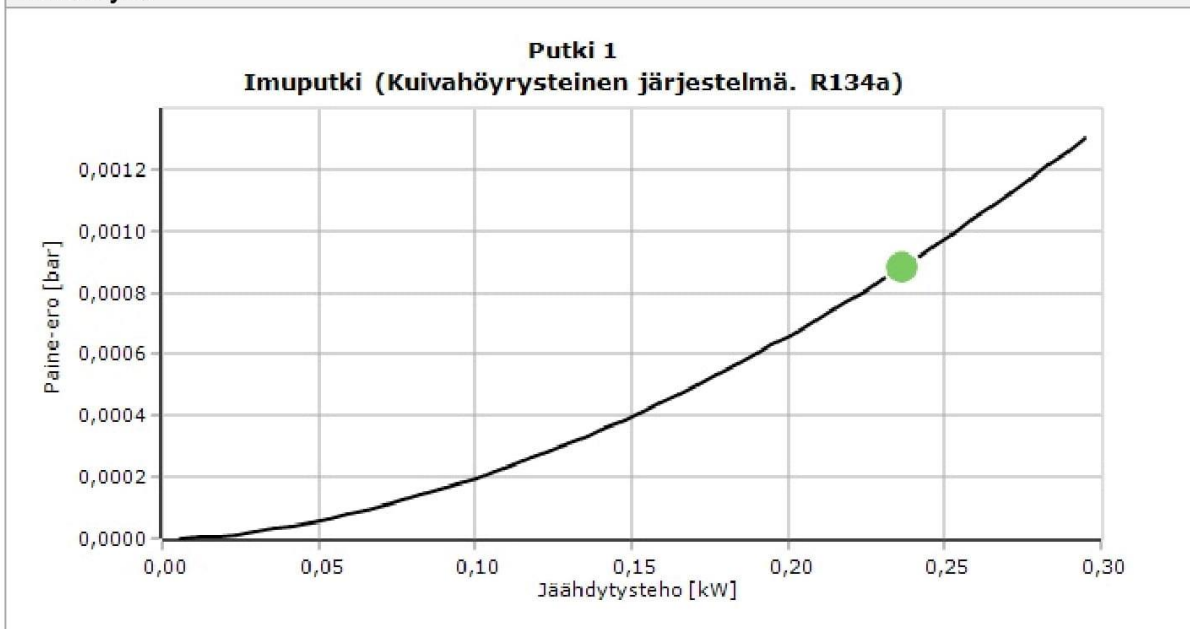
Positio 3. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 10

	Pituus	0,50 m
	Kulma	0 astetta
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,03 m/s
	Liitântä	OK

Positio 4. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 10

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,04 m/s
	Liitântä	OK

Tehokäyrä



Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2

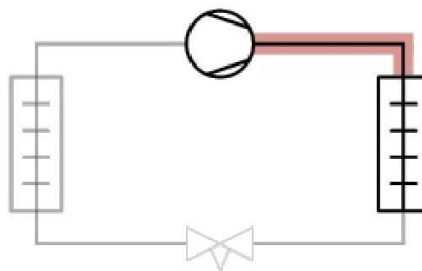


Putki 2

Käyttöolosuhteet

Kylmäaine:	R134a	Jäähdytysteho:	0,236 kW
Putken massavirta:	6,024 kg/h	Lämmitysteho:	0,301 kW
Höyrystyslämpötila:	4,4 °C	Lauhtumislämpötila:	49,0 °C
Höyrystyspaine:	3,425 bar	Lauhtumispaine:	12,85 bar
Hyödynnettävä tulistus:	5,0 K	Alijäähdytys:	4,0 K
Lisätulistus:	0 K	Lisäalijäähdytys:	0 K
Kuumakaasun lämpötila:	66,8 °C		

Järjestelmä ja putki: *Kuiva - Paineputki*



Koko putkisto

Painehäviö	0,008 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K

Positio 1. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 6

	Pituus	0,15 m
	Kulma	0 astetta
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,34 m/s
	Liitântä	OK

Positio 2. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,34 m/s
	Liitântä	OK

Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2



Positio 3. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 6



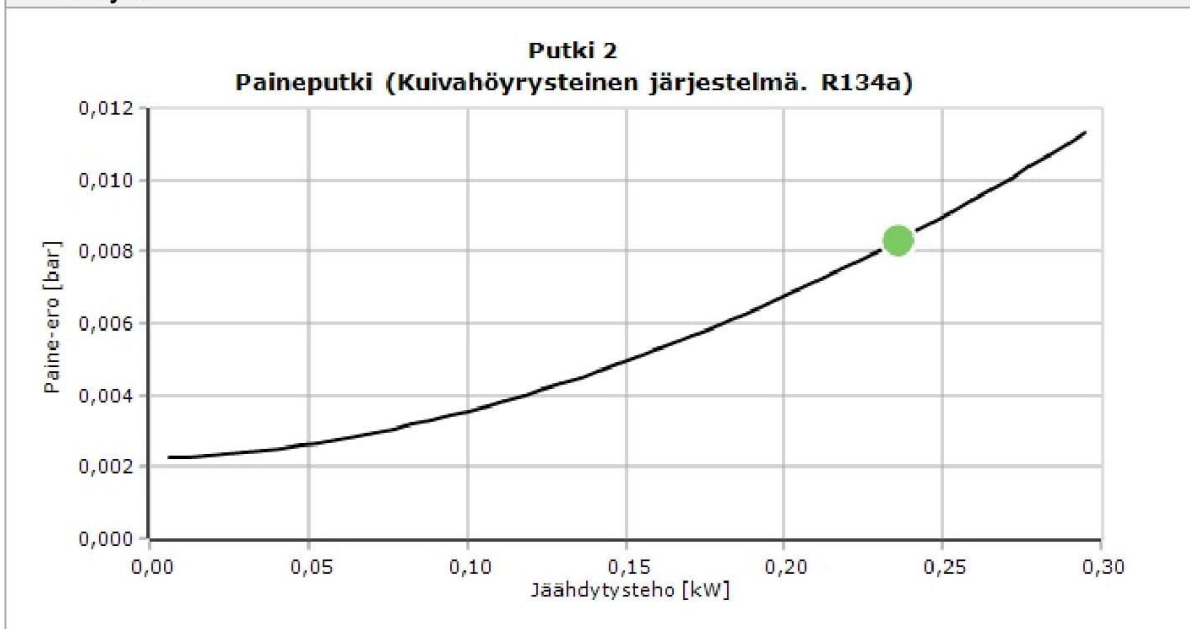
Pituus	0,40 m
Kulma	90 astetta
Painehäviö	0,006 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
Nopeus, sisään	2,34 m/s
Liitântä	OK

Positio 4. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6



Lukumäärä	1
Painehäviö	0,001 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
Nopeus, sisään	2,34 m/s
Liitântä	OK

Tehokäyrä



Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2

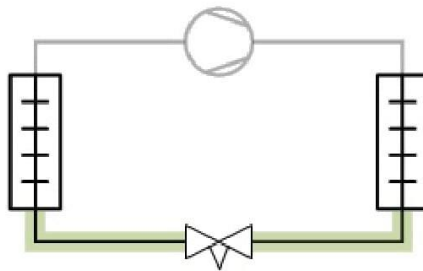


Putki 3

Käyttöolosuhteet

Kylmäaine:	R134a	Jäähdytysteho:	0,236 kW
Putken massavirta:	6,024 kg/h	Lämmitysteho:	0,301 kW
Höyrystyslämpötila:	4,4 °C	Lauhtumislämpötila:	49,0 °C
Höyrystispaine:	3,425 bar	Lauhtumispaine:	12,85 bar
Hyödynnettävä tulistus:	5,0 K	Alijäähdytys:	4,0 K
Lisätulistus:	0 K	Lisäalijäähdytys:	0 K
Kuumakaasun lämpötila:	66,8 °C		


Järjestelmä ja putki: *Kuiva - Nesteputki*




Koko putkisto

Painehäviö	9,421 bar
Kyllästyslämpötilan pudotus	44,6 K


Positio 1. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 6

	Pituus	0,10 m
	Kulma	0 astetta
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK

Positio 2. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 3. Nestelasi: SGP 6s

	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2


**Positio 4. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 6**

	Pituus	0,30 m
	Kulma	-90 astetta
	Painehäviö	-0,033 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	-0,1 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 5. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 6. Putkisto: Kuparinen laajennusputki DIN-EN 6 x 10

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 7. Suodatinkuivain: DMC 2033s 10

	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,03 m/s
	Liitântä	OK

Positio 8. Putkisto: Kuparinen supistusputki DIN-EN 10 x 6

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,03 m/s
	Liitântä	OK

Positio 9. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6


	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK

Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus


Coolselector2



Positio 10. Putkisto: Kupariputki DIN-EN 6

	Pituus	0,30 m
	Kulma	90 astetta
	Painehäviö	0,033 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,1 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 11. Putkisto: Kuparinen laajennusputki DIN-EN 6 x 10

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,000 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,12 m/s
	Liitântä	OK


Positio 12. Elektroninen paisuntaventtiili: AKV 10-1

	Maksimiteho	0,918 kW
	Minimiteho	0,092 kW
	Kuorma	26 %
	Painehäviö	9,418 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	44,6 K
	Nopeus, sisään	0,03 m/s
	Venttiilin asema	Avoin
	Liitântä	OK


Positio 13. Putkisto: Kuparinen supistusputki DIN-EN 12 x 6

	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	0,39 m/s
	Liitântä	OK

Positio 14. Putkisto: Kuparikäyrä 90 DIN-EN 6

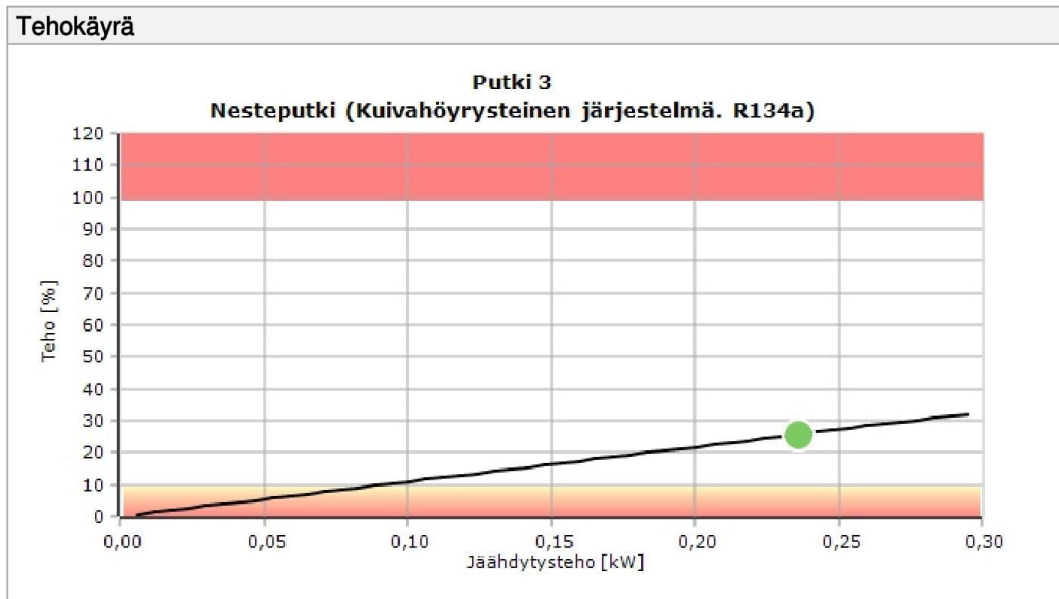
	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,46 m/s
	Liitântä	OK

Positio 15. Putkisto: Kuparinen laajennusputki DIN-EN 6 x 10

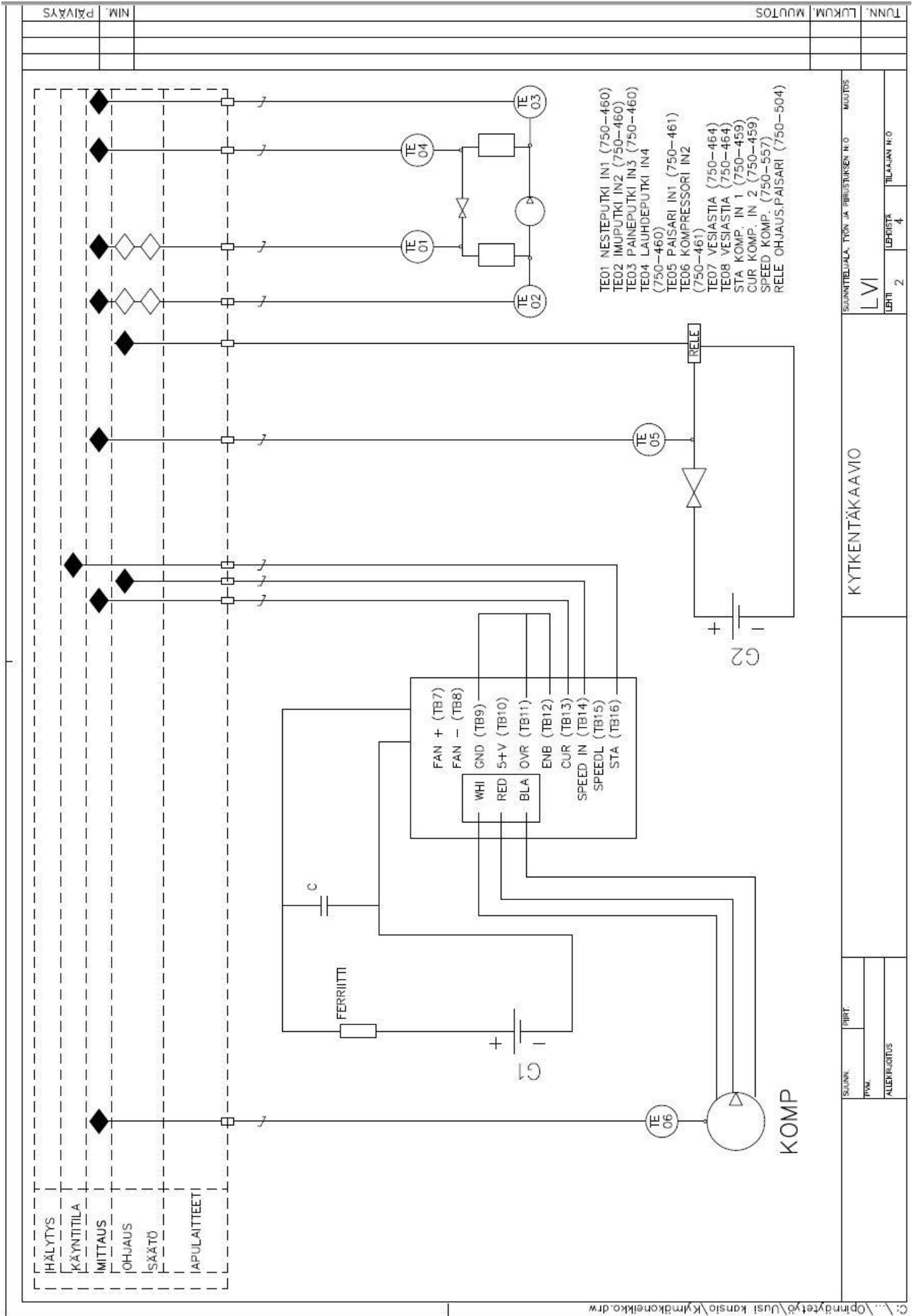
	Lukumäärä	1
	Painehäviö	0,001 bar
	Kyllästyslämpötilan pudotus	0,0 K
	Nopeus, sisään	2,46 m/s
	Liitântä	OK

Coolselector 2-ohjelmalla tehty mitoitus

Coolselector2



Kytkentäkaavio



C:\Opinbetyt\Uusi konsio\Kymkoneikko.drw

TUNN.	LUKUM.	MUUTOS

SUUNNITTELAJA, TUNN. JA PIIRUSTUKSEN N. O.		MUUTOS
LVI		
LEHTI 2	LEHDISTÄ 4	TILAAJAN N. O.

KYTKENTÄKAAVIO

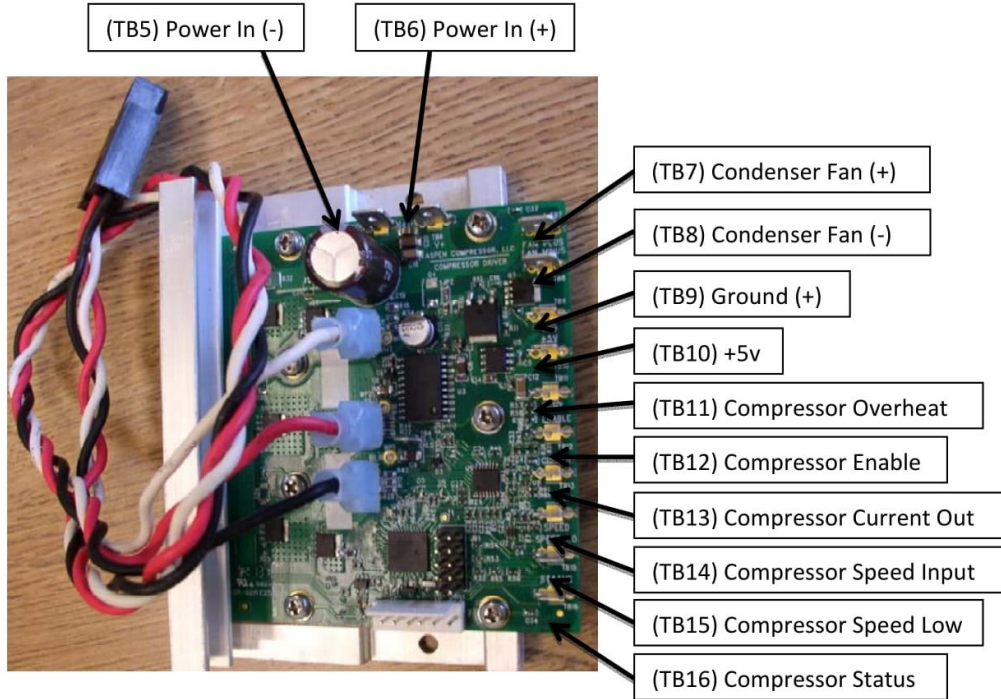
SIVUN.	PIIRT.
PVM.	
ALLEKIRJOTUS	

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR
High Capacity Drive



Wiring & Operating Instructions



1. Power Supply Input (TB5 & TB6)

Aspen’s new High Capacity Drive is available in 3 voltages, 12,24 and 48 volts. The connections to the drive board power input are two .250” faston tabs. The use of adequate wire gage and an inline fuse for short circuit protection is highly recommended. The table below shows the recommended wire gage and fuse size for each of the Aspen drives

Drive Board	Operating Voltage Range	Recommend Wire AWG	Recommended Fuse
12 Volt	11-16 Volts	12	10A or 15A (Littlefuse 0312010 / 0312015)
24 Volt	20-30 Volts	12	10A or 15A (Littlefuse 0312010 / 0312015)
48 Volt	43-60 Volts	16	8A (Littlefuse 0312008)

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR **High Capacity Drive**



2. Condenser Fan Output (TB7 & TB8)

An output has been provided for running condenser fan(s) from the Aspen drive. The voltage of this output will be equivalent to the DC input voltage provided to the board. The power to the condenser fan is enabled 10 seconds after the drive starts the compressor. Therefore, when the compressor is off, the power to the condenser fan(s) is off. When the compressor is signaled to run, the power to the condenser fan(s) will be enabled 10 seconds after the compressor has started running. This 10 second delay is intentional and is meant to reduce the total amount of inrush current when the compressor starts. The connections to the condenser fan outputs are two .250" faston tabs. The condenser fan output should be limited to a maximum of 5 amps on 12/24 volts boards and 3 amps on 48 volt boards.

3. Ground (TB9)

The ground tab is for connecting both the compressor enable and compressor over temp connections to. Both the compressor enable and the compressor overheat connections must be connected to ground in order for the compressor to operate. The connection to the ground is a .187" faston tab.

4. +5V (TB10)

The +5v tab is provided to give the user the ability to provide a low voltage speed signal input without the use of an additional power supply. The 5 volts can be wired directly to the speed input tab, which will cause the compressor to operate at full speed, or can be wired to a 20k potentiometer to allow the user to vary the voltage to the speed input tab and vary the speed of the compressor. The connection to the +5v is a .187" faston tab.

5. Compressor Overheat (TB11)


In order for the compressor to operate, the overheat tab connection must either be connected directly to ground, or connected to an optional thermal safety switch, which is then connected to ground. When used in conjunction with the thermal switch, the drive will shut the compressor off when the thermal switch indicates that the compressor has overheated. Once this has occurred, the board will flash the red LED a sequence of 16 flashes to indicate that the compressor has overheated. To restart the compressor, the thermal switch must reset and the user must either cycle the main power on the drive board or momentarily disconnect the enable wire from ground. The connection to the compressor overheat is a .187" faston tab.

6. Compressor Enable (TB12)

In order for the compressor to operate, the compressor enable tab connection must be connected to ground. This connection can also be wired through a thermostat and then to ground to cycle the compressor on and off via a thermostat. The connection to the compressor enable is a .187" faston tab.

7. Compressor Current Out (TB13)

The drive is equipped with a current out connection to allow the user to monitor the current consumption of the compressor. The current out connection puts out a voltage that correlates to the current being used by the compressor only and not the condenser fans if they are so attached. The correlation is .1 volts per amp, so if the compressor is using 5 amps of power, the voltage measure on the current out tab will be .5 volts. The connection to the compressor current out is a .187" faston tab.

 **Aspen Compressor, LLC** 24 St. Martin Drive, Marlborough, MA 01752 ☎ 508-281-5322 📠 508-281-5323
web: www.aspencompressor.com email: info@aspencompressor.com

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR
High Capacity Drive

8. Compressor Speed Input (TB14)

A voltage must be applied to the compressor speed input tab in order for the compressor to operate. The compressor speed input accepts a 0-5 vdc analog voltage signal and will regulate the speed of the compressor automatically with respect to this input voltage.

The compressor will turn on once the input voltage has reached ~.8 volts and off once the input voltage has dropped below .6 volts. There will be a linear increase in speed from the turn on voltage of .8 volts (~2200 rpm) through the max speed voltage of 4.5 volts (~6500 rpm). There is no additional increase in speed between 4.5-5 volts. The connection to the compressor speed input is a .187" faston tab.

9. Compressor Speed Low (TB15)

This tab should be used when a secondary power supply is being used to supply power for speed control and the user wants the secondary supply to be isolated from the power supply being used to power the drive. In this case the factory installed jumper should be removed. This will decouple the board ground reference and allow the secondary power supply source for speed control to be completely isolated. The secondary power supply for speed control can then be wired between the speed input and speed low connections to vary compressor speed. The connection to the compressor speed low is a .187" faston tab. See the jumper configuration table at the end of this section for details.

10. Compressor Status (TB16)

This tab is available to the end user so that they can monitor the normal operation of the compressor. When speed signal is being sent to the drive and the compressor is operating normally, there will be no voltage on this connection. However, if a speed signal is present and the compressor enable is satisfied but the compressor is not running, 5 volts will be present on this tab. This 5v signal can be monitored to alert the end user that there is a problem with the system and that the compressor is not running.

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR

High Capacity Drive



Additional Board Functions

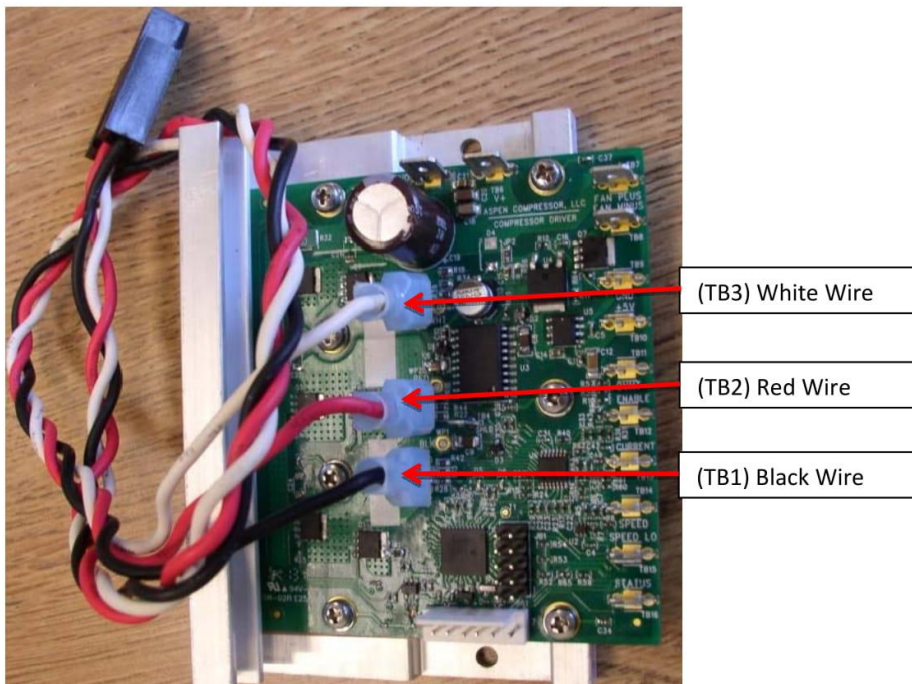
1. **Compressor Start Delay** – The Aspen high capacity drive has the ability to delay the compressor start in situations where starting may be difficult due to an unbalanced system. The logic behind the delay is based on a minimum off time for the compressor and can be enabled by installing jumpers per the table at the end of this section. When activated the controller keeps track of how long the compressor has been turned off before trying to restart. If the compressor has been off for the minimum amount of time set by the jumpers when there is a call to restart, it will start immediately. If the minimum amount of time has not passed, the compressor will wait until the minimum time has been reached before attempting to start.
2. **Board Overheat** – The Aspen high capacity drive has an onboard thermistor that enables the drive to prevent itself from overheating. When the board detects that it has overheated, the drive will stop the compressor and emit a series of 8 flashes on the red LED.
3. **Automatic Current Limiting** – The Aspen high capacity drive has the ability to regulate the amount of current being used by the compressor. While the 48V drive has an 8 amp limit, the 12/24 drive has two limits for the current control. One is 15 amps and the other one is 10 amps and can be set by the jumpers in the table at the end of this section. The drive will automatically monitor the current consumption of the compressor. If the compressor begins to draw more than the maximum set current, the drive will automatically decrease the speed of the compressor in an effort to reduce the current being used. Once the speed of the compressor has been reduced below the minimum compressor speed, the drive will stop the compressor and flash the red LED continuously to allow the user to know that the compressor has stalled from excessive current draw or a lock rotor condition. It should be noted that the automatic current limit only reduces the current used by the compressor and does not account for any current that may be drawn by the use of the condenser fan output.
4. **Lock Rotor Protection** – The Aspen high capacity drive has the ability to detect if the compressor is not running due to a lock rotor condition. After the drive has made several unsuccessful attempts to start the compressor, the drive will stop attempting to start the compressor and flash the red LED continuously to allow the user to know that the compressor has stalled from excessive current draw or a lock rotor condition.
5. **Error Clearing** – The drive can go in to error mode for several reasons in which case the compressor will stop running. To clear the error and restart the compressor, the enable wire must be disconnected and then reconnected to ground. For a list of error conditions, see the error code table at the end of this section.

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR **High Capacity Drive**



Compressor Wiring – The Aspen high capacity drive is supplied with a cable to attach the drive to the compressor. All other wiring is to be supplied by the end user. It is important to wire the compressor to the drive with the colors coded in the order per the picture below. If the order of the wires is not correct, the compressor will not operate properly.



Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR
High Capacity Drive



Jumper Configuration – There 5 jumpers (4 user selectable) that can be adjusted to change the configuration of the drive. The tables below provide detailed information on how to configure the jumpers.

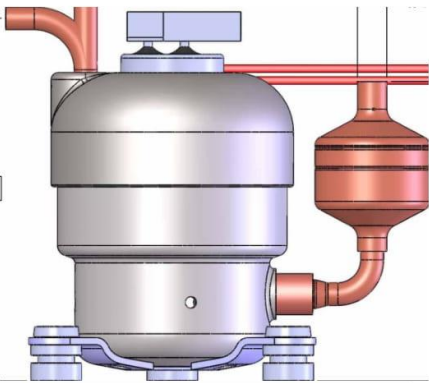


Jumper Position	Function	Installed	Not Installed
5	Speed Low Isolation	Not Isolated (Factory Default)	Isolated
4	Current Limit	10 Amps	15 Amps (Factory Default) See Application Note Below
3	Start Delay	See table	See table
2	Start Delay	See table	See table
1	Voltage Setting	Consult Factory	Consult Factory

Start Delay	Jumpers To Install
Off	None
30 sec	Location 2
60 sec	Location 3
120 sec	Location 2 & 3

**** Application Note ****

When operating a new Q-Series type compressor, either the 10 amp or 15 amp setting may be used. When operating a standard compressor, only the 10 amp setting should be used or the compressor may not operate properly at high current levels.



Q Series Compressor

Jumper 4 can be configured to 10 amps or 15 amps current limiting
Factory default setting is 15 amps.



Standard Compressor

Jumper #4 factory default setting is 15 amps and must be changed to 10 amps for operating this style compressor. Install jumper in position 4 whenever operating this type of compressor.

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR
High Capacity Drive


Troubleshooting Guide		
Symptom	Possible Cause	Remedy
Compressor will not run when speed input voltage is applied.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Enable connection and or compressor overheat connection is not connected to ground. 2. Speed input voltage is less than (.7) volts. 3. Loose wire or connection 4. Power supply too small, voltage dropping at compressor startup. 5. Compressor is in lock rotor condition 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verify enable and overheat connections. 2. Verify speed input voltage to be greater than (.7) volts. 3. When speed input voltage is applied, verify yellow light changes from slow flashing (1x/sec) to fast flashing (5x/sec) 4. Verify all connections between compressor and drive are in place and in the proper order. 5. Measure input voltage to drive board and verify voltage is not dropping below minimum supply voltage when compressor is trying to start. 6. Check drive for flashing red light. If red light is flashing, check error code table for appropriate code.
Compressor turns off intermittently.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compressor overheating 2. Drive board overheating 3. Loose wire or connection 4. Inadequate power supply 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Check drive for flashing red light. If red light is flashing, check error code table for appropriate code. 2. Verify all wiring connections 3. Verify compressor is not drawing more power than power supply can deliver.
Compressor speed ramps up and down automatically	<ol style="list-style-type: none"> 1. Drive board in current limiting mode 2. Drive board close to overheating 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Check drive for flashing red light. If red/yellow light is flashing, check error code table for appropriate code.
Compressor Overheating	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ambient temperature too high 2. Inadequate airflow over compressor 3. Return gas temperature too high 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Increase airflow over compressor 2. Verify superheat to be between recommended 8-12 deg. F.
Compressor Current Limiting	<ol style="list-style-type: none"> 1. Condensing pressure too high. 2. Liquid refrigerant being returned to the compressor. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reduce condensing temperature / pressure. 2. Verify superheat to be between recommended 8-12 deg. F.

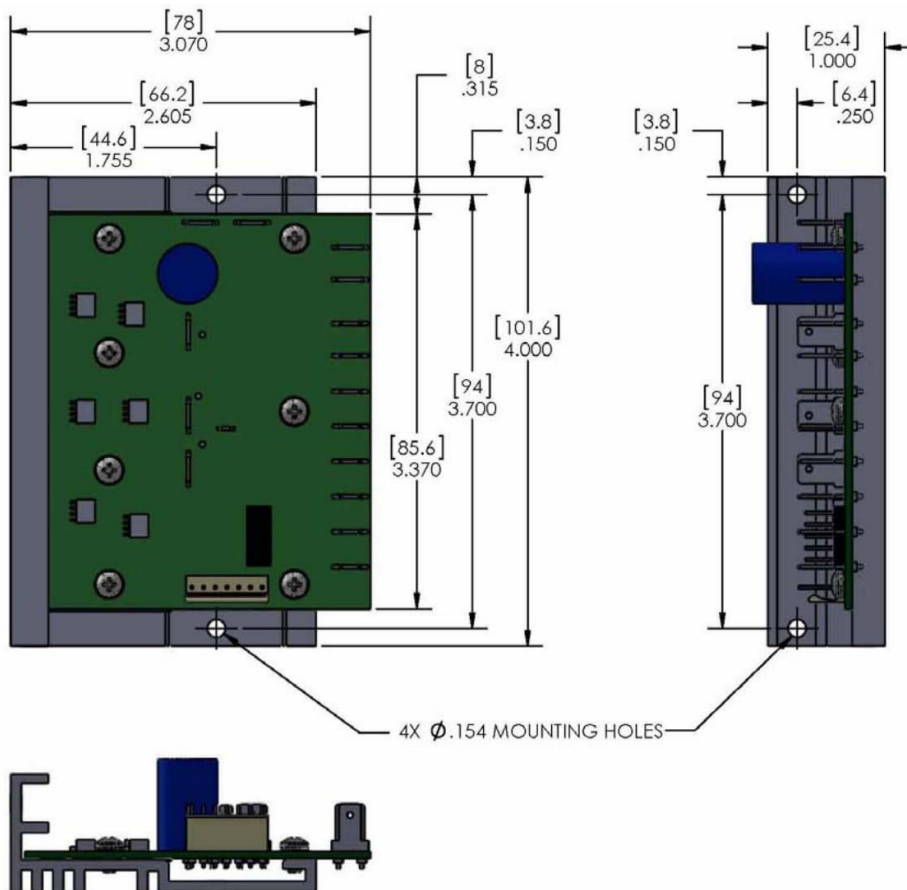
Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

ASPEN COMPRESSOR
High Capacity Drive



Drive LED / Error Code Table	Red LED	Yellow LED
Normal Operation (Compressor not running)		Slow Flash ~ 1x/sec
Normal Operation (Compressor Running)		Fast Flash ~ 5x/sec
Compressor stall / lock rotor	1 Flash Repeating	
Supply voltage too low	4 Flashes Repeating	
Board overheated	8 Flashes Repeating	
Compressor overheated	16 Flashes Repeating	

Mounting Diagram



Typical Wiring Diagram

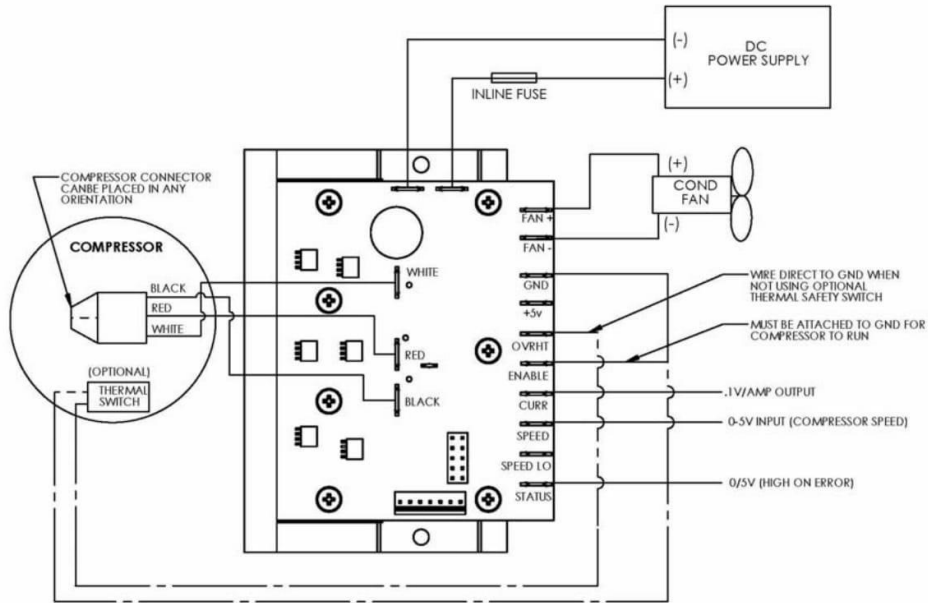
Aspen Compressor, LLC 24 St. Martin Drive, Marlborough, MA 01752 ☎ 508-281-5322 📠 508-281-5323
 web: www.aspencompressor.com email: info@aspencompressor.com

Aspen Compressor – piirikortin kytkentäohjeet

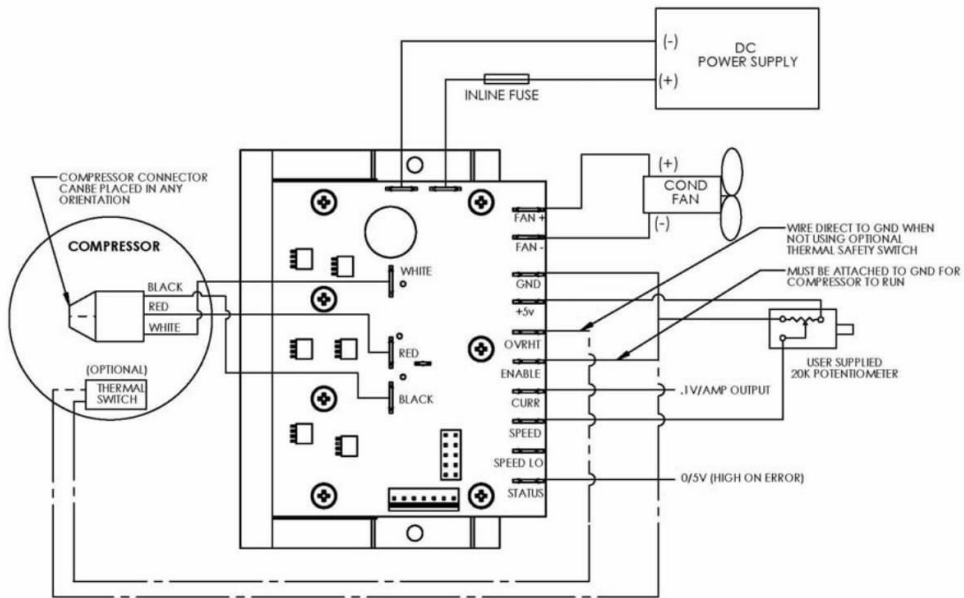
ASPEN COMPRESSOR

High Capacity Drive





Wiring with user supplied speed input voltage



Wiring with user supplied 20k potentiometer

Aspen Compressor-asennusohjeet

ASPEN COMPRESSOR, LLC

Phone: 508.481.5058
 Fax: 508.480.0328
 Email: info@aspencorpressor.com
 Website: www.aspencompressor.com

Recommended Compressor Installation Practices

1. COMPRESSOR SELECTION AND USE	2
1.1 Minimum Evaporator Temperature	2
1.2 Refrigeration Capacity	2
1.3 Refrigerant Type	2
1.4 Ambient Temperature	2
1.5 Electrical Power Available	3
1.6 Compressor and Drive Cooling	3
2. COMPRESSOR STORAGE AND HANDLING	3
3. COMPRESSOR UNPACKING	3
4. PREPARATION OF REFRIGERATION SYSTEM COMPONENTS	4
5. REFRIGERANT USE GUIDE	5
5.1 R134a Refrigerant	5
5.2 R404a Refrigerant	6
5.3 Cooling Compressor & Drive	6
5.4 Vacuum Operations	6
5.5 Refrigerant Charge	6
6.0 OIL MANAGEMENT	7
6.1 Orientation and Positioning	8
6.2 How to Determine Adequacy of Oil in the Cooling System Prototype	8
6.3 Oil Charging	9
7. COMPRESSOR SPECIFICATIONS	10
7.1 Drive Board Speed Control	11

Aspen Compressor-asennusohjeet

1. COMPRESSOR SELECTION AND USE

The selection of a compressor should be made according to the following system cooling characteristics and where it will be installed:

1. Minimum Evaporator Temperature
2. Cooling Capacity or Thermal Load
3. Refrigerant Type
4. Ambient Temperature
5. Electrical Power Available
6. Compressor and Drive Cooling

1.1 Minimum Evaporator Temperature

The minimum evaporating temperature and the condensing temperature allows for the identification of the compressor application (LBP, MBP, or HBP). Low Back Pressure systems such as freezers have evaporator temperatures below -20°C (-4°F). Medium Back Pressure systems such as food coolers or beverage dispensers have evaporator temperatures higher than -20°C (-4°F). High Back Pressure systems such as chillers and air conditioners have evaporator temperatures higher than -5°C ($+23^{\circ}\text{F}$).

1.2 Refrigeration Capacity

This is usually defined as the specified cooling capacity at normal working conditions of the system in watts or kcal/h, according to evaporating and condensing temperatures. The capacity is determined by the mass flow rate of refrigerant, which depends on the compressor's displacement, RPM, and volumetric efficiency.

1.3 Refrigerant Type

Refrigerant selection can be made on the basis of availability, performance, and ecological considerations such as ozone depletion potential (ODP) and global warming potential (GWP). Aspen rotary compressors have been verified for use with R134a and R404a. Other low-pressure refrigerants or refrigerant blends may perform satisfactorily, but have not been verified.

1.4 Ambient Temperature

The compressor must be selected in order to ensure it's suitable to operate at the highest expected ambient temperature. Compressors are usually intended for indoor use, and a minimum of $+5^{\circ}\text{C}$ is required in order for proper lubrication.

Aspen Compressor-asennusohjeet

1.5 Electrical Power Available

Generally, DC compressors are used in mobile or portable refrigeration systems. DC power is produced by batteries, fuel cells, vehicle alternators, solar panels, or from an AC inverter power supply. The compressor must be selected for use according to the DC voltage available. Aspen compressors are available in 12V, 24V, and 48V versions.

1.6 Compressor and Drive Cooling

Compressors with small motors can often be cooled in a static environment, with refrigerant removing most of the heat generated. Nonetheless, Aspen compressors due to their small size and high power density should not be placed within a sealed enclosure. Aspen recommends a small volume of air for cooling by forced convection for both the compressor and drive. If the compressor case temperature reaches 275°F (135°C), permanent damage could result in the motor magnets.

2. COMPRESSOR STORAGE AND HANDLING

Aspen's compressors are built to order. Prior to installation, compressors should be stored in an upright position to prevent oil from entering the suction or discharge tubes. If compressors are to be stored in inventory for long periods of time, they should be stored in climate chambers or storage areas that can control both temperature and humidity. Aspen compressors are built with high precision parts that are susceptible to chemical attack and corrosion from contaminants in ambient air. Compressors are always shipped with a low-pressure nitrogen blanket sealed with rubber plugs to maintain this pressure and prevent internal parts from exposure to moisture and other contaminants. If long shelf life is anticipated, it is important to maintain the inert atmosphere to prevent internal corrosion or chemical attack.

3. COMPRESSOR UNPACKING

All compressors shipped from Aspen are charged with 21cc of polyolester oil, are evacuated, sealed with low-pressure nitrogen, and capped. In addition to the compressor, other system components should be internally dried, sealed, and stored in an inert atmosphere until installation, preferably no more than 15 minutes from assembling of components.

Remove the compressor from its packaging while keeping it in an upright position. Failure to keep the compressor upright can result in the flow of oil into the suction accumulator and process connections, which can cause brazing problems. The compressor must also remain upright while assembling the grommets in the mounting bracket to the base plate.

Aspen Compressor-asennusohjeet

4. PREPARATION OF REFRIGERATION SYSTEM COMPONENTS

The cleaning and removal of solid substances and non-condensibles and the removal of moisture and other gas contaminants in all components of the refrigeration system are key to successful compressor operation and long life. In addition, the use of R134a and R404a with new polyolester oils has been accompanied by new stricter standards in comparison with CFC or HCFC refrigerants. Any non-compatible products that can contaminate these refrigerants and polyolester oils including chlorine compounds and non ester-based oils need to be eliminated. Other system components such as tubing, evaporators, condensers, receivers, valves, capillaries, and separators need to have these contaminants removed before the system is assembled.

Aspen recommends that all components remain sealed as long as possible before assembly, performing the brazing no more than 15 minutes after exposure to ambient.

It is important to avoid residual oil during brazing by blowing out components with nitrogen or dry air, with a dew point lower than -40°F. Internal oil on surfaces of the suction or discharge tubes can cause difficulty in brazing, and even more hazardous, it can introduce contaminants into the system from 'cracking of oil'.

The moisture and non-condensable residual contents should be reduced by 50% in comparison to what is prescribed by DIN Standard 8964. A filter drier should be selected with the molecular sieve suitable to the refrigerant type used.

R134a	XH-7 (8x12)
R404a	XH-9 (8x12)

The filter drier needs to be protected from absorption of ambient humidity during assembly of the system components using the following practices:

- (1) Remove protective caps just prior to brazing
- (2) For filters supplied without protective caps in hermetic boxes, these must also be protected to avoid moisture absorption before brazing.

If the drier does not have complete water absorption in the molecular sieve, then moisture can circulate freely in the system with the following effects:

- | | |
|----------------------|---|
| 1. Ice Buildup: | Reduces cross-sectional area of capillary tube or TX valve |
| 2. Acid Buildup: | Causes serious attack in compressor and to the molecular sieve in filter drier |
| 3. Oil Contamination | Acidification reduces lubrication, changes oil color, buildup of sludge, and poor lubrication of compressor |

Aspen is not responsible for damage to its compressors from the introduction of such contaminants.

Aspen Compressor-asennusohjeet

5. REFRIGERANT USE GUIDE

This section provides guidelines for use with refrigerants R134a and R404a. Due to extreme differences that can exist in systems, their working conditions, and duty cycles, the performance and reliability should be verified through working prototypes and field tests prior to commercial implementation. All operations related to the use of refrigerants should be conducted according to applicable laws, regulations, and engineering standards related to this subject.

Aspen compressors have been designed and tested for operation with R134a and R404a refrigerants. Some users may want to employ other refrigerants or refrigerant blends, and other refrigerants may perform quite well. However, due to case design pressure considerations, refrigerants that have a maximum working pressure greater than 350 psi (24.13 bar) are not recommended. If other refrigerants are to be used, the compressor should be thoroughly tested and evaluated with those refrigerants to verify reliability with expected conditions in the intended application. Because of the wide differences in refrigeration systems with different working fluids, the reliability of all equipment should be evaluated for appropriate life through field tests.

Rotary compressors perform best when the pressure ratio between the high and low sides of the compressor is less than 8:1. When the pressure ratio exceeds this value, the compressor's coefficient of performance (COP) is adversely affected. Good refrigeration practice requires that careful evaluation of the refrigeration system and evaporator conditions be specified, and that an appropriate refrigerant is selected to avoid excessive pressure differential.

5.1 R134a Refrigerant

R134a (tetrafluoroethylene) is a replacement for R12 in applications with medium and high evaporator temperatures in Aspen's compressors. Its physical properties are:

Molecular Weight – 102

Critical Temperature – 101.1°C

Critical Pressure – 40.6 bar

Boiling Point -26.5°C

This refrigerant also requires the exclusive use of polyolester oil (POE) as a lubricant. R134a refrigerant is associated with strict requirements for internal cleanliness of the cooling system. In addition to chlorine and water, solid residues must be carefully removed including dust, metal particles, etc., which can damage the compressor. The recommended lubricating oil is POE RL 68H. This lubricant is highly hygroscopic (water absorbing) which can cause the formation of acid residues. When present, these acid residues can create a blockage in the capillary tube and reduced lubricity in the compressor.

The level of moisture in the refrigeration system should be below 40 ppm. It is recommended that a filter dryer compatible with R134a and POE be installed with a

Aspen Compressor-asennusohjeet

capability to remove moisture from the system to below 20 ppm. The compressor and other components should remain sealed until they're ready to use. The compressor and other system components should not be open to the ambient for more than 15 minutes. Good refrigeration practice also calls for system evacuation of both low and high sides, achieving a minimum vacuum level of 0.14 bar (100 μ Hg).

When evaporator temperatures below 23°F (-5°C) are expected, the volumetric efficiency and COP with R134a will decrease. At these conditions, it is desirable to switch to R404a.

5.2 R404a Refrigerant

R404a is a replacement for R22 in medium evaporator temperatures and R502 in low evaporator temperatures. Its physical properties are:

Near Azeotropic Mixture 3 HFC Components

Critical Temperature – 101.1°C

Critical Pressure – 40.6 bar

Boiling Point -26.5°C

R404a is a mixture of R125, R143a, and R134a with a boiling point of – 46.3°C. Its recommended lubricating oil is also POE RL 68H. The same procedures for contaminant control should be used here as described for R134a.

5.3 Cooling Compressor & Drive

Both the compressor and drive produce heat when operating, which must be dissipated to the surroundings. Most of the heat is removed with the refrigerant. Still, some forced air circulation should be passed across the compressor and the motor drive to ensure they do not operate at elevated temperature. In most cases, a dedicated air fan is not necessary. But, a modest amount of airflow from the condenser fan is enough to maintain adequate cooling and safe temperatures.

5.4 Vacuum Operations

The vacuum level for R134a is the same as for a system with R12. A proper evacuation process will assure that the air and moisture contents are well below allowable limits. The primary refrigerants for Aspen's compressors are R134a and R404a. Both of these new refrigerants require the use of polyolester oils, which are highly hygroscopic and have high water-absorbing capacity. These oils require the greatest level of care in system evacuation. Thus, the evacuation method should aim to reach a vacuum level on both the high and low side of the compressor of at least 0.14 mbar (100 μ Hg). The maximum level of non-condensable should not exceed 0.3%. The quantity of R134a refrigerant is generally less (~10%) than the charge for R 12.

5.5 Refrigerant Charge

Following the system evacuation, it must be charged with refrigerant. For a low capacity system, as little as 40 grams might be used, while as much as 120 grams might be used in a high capacity system. After refrigerant is pumped into the system, it is wise to wait 5-10 minutes before starting the compressor to allow refrigerant evaporation and avoid the

Aspen Compressor-asennusohjeet

ingestion of liquid into the compressor. For high charge levels, the system should be equipped with a liquid receiver. An accumulator should always be used with rotary compressors to minimize liquid intake in the compressor.

For each system, the optimum refrigerant charge should be determined by controlled testing in order to obtain the best working conditions, and to avoid the return of liquid refrigerant to the compressor. In order to evaluate system performance, instrumentation should be added at certain locations to record key data. Recommended data points to be recorded include the following:

Date	
Refrigerant	
Charge Amount	
Ambient Temp.	
Evaporator Inlet / Outlet Temp.	
Compressor Suction Pressure	
Compressor Discharge Pressure	
Compressor RPM	
Compressor Amps	
Cooling Load (Watts)	
Condenser Inlet / Outlet Temp.	
Quantity of Oil in System	

6.0 OIL MANAGEMENT

Even the most experienced refrigeration technicians need to read these instructions carefully, since the quantity of oil used in Aspen compressors is much less than found in other types. Some lubricating oil will travel with the refrigerant in any refrigeration system. Thus, it is imperative that they be miscible and fully soluble in one another at all temperatures. This provides good oil return and lubricity for the compressor, while avoiding heat transfer losses in the evaporator. During the prototyping of the refrigeration system, it is vital that the proper amount of oil in the system be determined. Aspen compressors are all shipped with 21cc of POE RL 68H. This has been found to be adequate for many compact cooling systems. However, in systems that use large evaporators and condensers, some of this oil may not return back to the compressor causing a reduction in oil inventory and potentially harmful conditions.

There is no sight glass to visualize oil flow within the compressor. Therefore, the following procedures are highly recommended to ensure that adequate oil is present at all times. Keep in mind that oil entrainment occurs in all compressors, and typically is a function of compressor speed (RPMs). **The cooling system should be designed to be fully drainable with no traps in heat exchangers or other components where pools of oil can collect.**

Aspen Compressor-asennusohjeet

6.1 Orientation and Positioning

The orientation and position of a compressor can affect the flow of lubricant. Aspen's compressor operates properly when it's oriented within $\pm 35^\circ$ of vertical. Some mobile or portable refrigerators are not always oriented vertically. If the compressor's position is more than 35° from vertical, oil flow will be affected and the first sign of this is a decrease in cooling capacity. The compressor can operate in these conditions for short periods of time without damage. But, compressors should not be permanently operated in extreme orientations, or their life will be shortened.

6.2 How to Determine Adequacy of Oil in the Cooling System Prototype

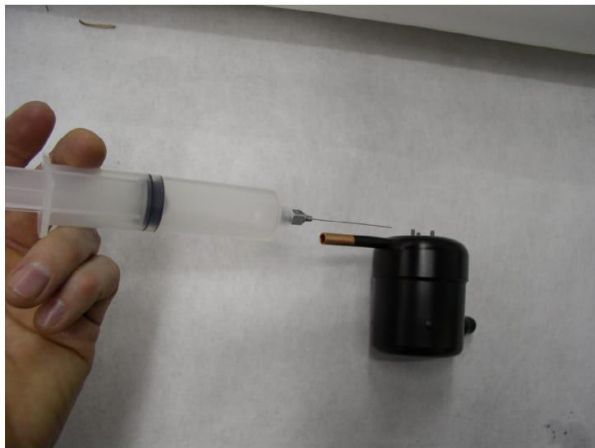
The following steps are suggested when setting up the initial prototype cooling system for testing:

- Install the compressor initially with temporary quick disconnect compression fittings. The compressor contains 21cc of POE when shipped by Aspen. The following test will reveal whether 21cc is adequate, or if more oil is needed.
- Evacuate and charge the system with refrigerant. (Note: During evacuation, it is possible for some oil to leave the compressor. A sign of this would be an increase in the oil level in the vacuum pump.)
- Energize compressor and bring it slowly to maximum speed (6,500 RPM).
- After the system has stabilized, take a complete set of performance data. Compare the capacity measured against the compressor capacity charts provided by Aspen. If the cooling capacity measured is approximately the same, the compressor is being lubricated adequately. If the measured capacity is significantly lower, there may not be adequate lubricant oil within the compressor.
- Shut down the compressor when the test data has been recorded.
- Disassemble compressor and remove it from prototype cooling unit.
- Turn the compressor over and drain the entire contents of oil into a container; then measure the quantity in cc's.
- If the quantity removed is less than 10 cc, then more oil should be added. Add at least 12cc of fresh oil to the compressor. Keep in mind that residual oil (21 cc minus amount removed) still resides in other parts of the prototype unit. Check for signs of trapped oil as necessary.
- Reinstall compressor, evacuate, and recharge with the same amount of refrigerant. Then, continue testing over the full operating range. Again remove the compressor and measure the oil content inside. If it contains at least 10 cc, the compressor is being lubricated adequately.
- After satisfactory oil inventory has been demonstrated, the compressor can now be permanently connected to the prototype system. Carefully braze the compressor into place. Ensure there is no oil on the inner surface of the suction and discharge tubes prior to brazing. During the brazing process a damp cloth should be wrapped around the compressor case to help prevent excess heat from damaging the compressor's components.

Aspen Compressor-asennusohjeet

6.3 Oil Charging

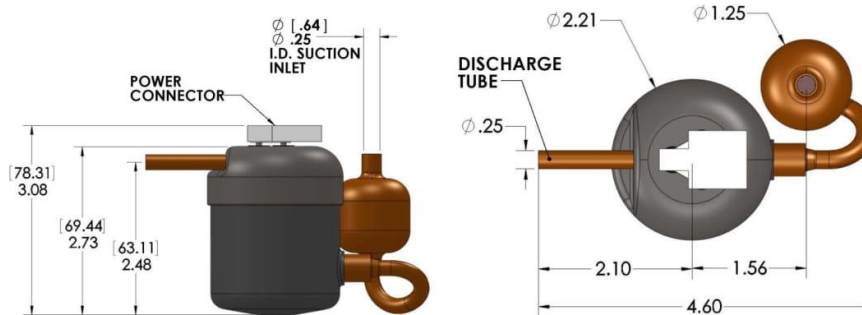
Using a syringe (see photo below) load the compressor with adequate (RL 68H, Viscosity: 300SUS, recommended or equivalent) refrigerant oil through the discharge port. Make sure the syringe is inserted just far enough to reach inner chamber to allow air to purge but not to contact internal electric, which might cause damage.



“Note” Syringe must have large enough ID to allow oil flow and a small enough OD to allow air to purge from canister.

Aspen Compressor-asennusohjeet

7. COMPRESSOR SPECIFICATIONS

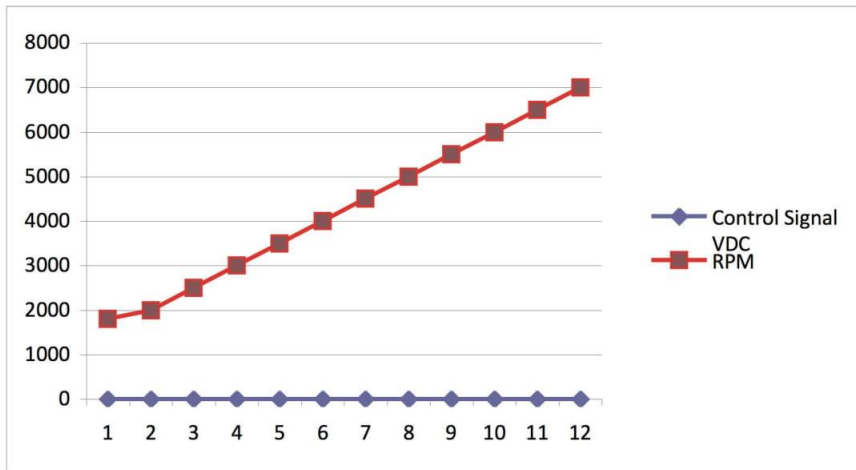


Refrigerant	HFC-134a/HFC404a
Oil Type	POE RL 68H
Oil Quantity	Factory Charged With 21cc's of Emkarate RL68H POE Oil
Motor	Brushless DC
Voltage	24 Vdc (nominal)
Voltage Range	20 – 30 Vdc
Max Current	9.5 Amps Continuous
Compressor Displacement	1.4 cc (.085 in ³)
Compressor Speed	Variable
Speed Range	2000 – 6500 RPM
Compressor Weight	1.3 lb (590 g)
Evaporator Temperature Range	0–75°F (-18–24°C)
Condenser Temperature Range	80-160°F (27-71°C)
Max Discharge Temp.	265°F (130°C)
Max Compression Ratio	8:1
Max Compartment Temp.	130°F (54°C)
Suction Port Size	0.32" ID Cup
Discharge Port Size	0.25" OD Tube
Suction/Discharge Tube Orientation	180° Standard, Custom Available
Compressor Mounting	Option Mounting Bracket Available
Motor Drive Type	Sensorless
Analog Voltage Speed Command (Linear)	0 - .499 VDC = OFF .50 VDC = ~1800 RPM 4.5 VDC = ~6500 RPM
Drive Board Footprint	1.5" x 2.5"
Drive Board Weight	1.0 oz (28 g)
Drive Board Heat Sink	Anodized Aluminum
Heat Sink Footprint	1.83" x 3.25"
Heat Sink Weight	1.4 oz (39 g)

Aspen Compressor-asennusohjeet

7.1 Drive Board Speed Control

RPM	Control Signal VDC
1800	1.13
2000	1.35
2500	1.77
3000	2.13
3500	2.48
4000	2.8
4500	3.15
5000	3.54
5500	3.78
6000	4.1
6500	4.5
7000	4.94

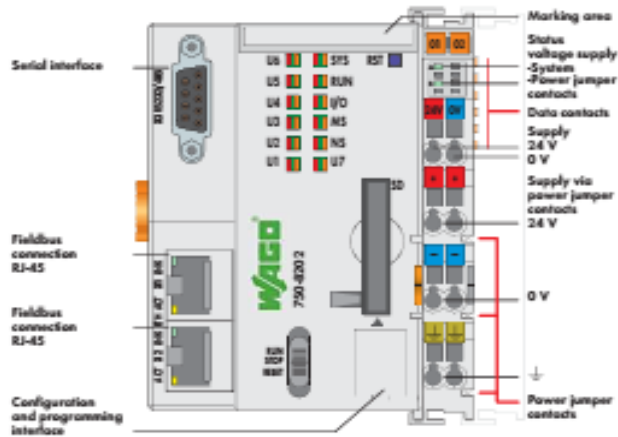


WAGO-datalehdet

750-8202

PLC – PFC200 Controller

PFC200 CS 2ETH RS



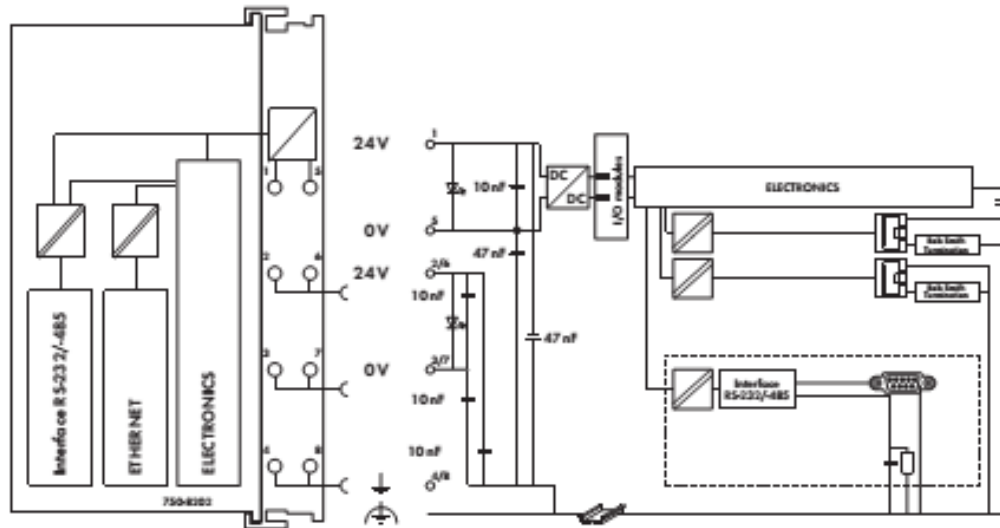
The PFC200 Controller is a compact PLC for the modular WAGO-I/O-SYSTEM. Besides network and fieldbus interfaces, the controller supports all digital, analog and specialty modules found within the 750/753 Series. Two ETHERNET interfaces and integrated switch enable line topology wiring. An integrated Web server provides the user with configuration options and status information from the PFC200. Besides the processing industry and building automation, typical markets for the PFC200 include the standard machine and plant industries (e.g., packaging, bottling, textiles, production and metal & wood processing).

- Programmable to IEC 61131-3
- Programmable via WAGO-I/O-PRO V2.3
- Direct connection of WAGO I/O modules
- 2 x ETHERNET (configurable), RS-232/-485
- Linux operating system with RT-Preemption patch
- Configuration via CODESYS, e!COCKPIT or Web-based management interface
- Maintenance-free

Description	Item No.	Pack. Unit
PFC200 CS 2ETH RS	750-8202	1
PFC200 CS 2ETH RS/T	750-8202/025-000	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
PFC200 CS 2ETH RS Telecontrol/T	750-8202/025-001	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
PFC200 CS 2ETH RS Telecontrol ECO/T	750-8202/025-002	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
Accessories		
Description	Item No.	Pack. Unit
WAGO-I/O-PRO V2.3, RS-232 kit	759-333	1
SD memory card, 2 GB	758-879/000-001	1
Miniature WSB Quick marking system		
plain	248-501	5
with marking	see Section 11	
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification	CC (750-8202)	
Marine applications	DNV GL, GL	
UL 508		
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 14 ATEX 148929 X	II 3 G Ex nA IIC T4 Gc (750-8202)	
IECEX TUN 14.0035 X	Ex nA IIC T4 Gc (750-8202)	

System Data	
CPU	Cortex A8, 600 MHz
Operating system	Real-time Linux (with RT-Preemption patch)
Main memory (RAM)	256 Mbytes
Internal memory (Flash)	256 Mbytes
Retain memory	128 Kbytes
ETHERNET	2 x RJ-45 (switched)
Transmission medium	Twisted Pair 5-UTP
	100 Ω, Cat 5;
	Max. line length: 100 m
Baud rate	10/100 Mbit/s; 10Base-T/100Base-TX
Interface (serial)	RS-232/-485 (switchable)
Protocols	DHCP, DNS, NTP, FTP, FTPS, SNMP, HTTP, HTTPS, SSH, MODBUS (TCP, UDP, RTU)
	750-8202/025-001 and -002
	IEC 60870-5-101/-103/-104,
	IEC 61850-7-4, IEC 61400-25, DNP3
Programming	WAGO-I/O-PRO V2.3, e!COCKPIT
IEC 61131-3	IL, LD, FBD (CFC), ST, FC
SD card slot	Push-push mechanism, sealable cover lid
Type of memory card	SD and SDHC up to 32 GB (All guaranteed properties are only valid in connection with the WAGO 758-879/000-001 memory card.)

WAGO-datalehdet



Technical Data		General Specifications	
Number of I/O modules (per node)	64	Dimensions (mm) W x H x L	79 x 65 x 100
with bus extension	250		Height from upper-edge of DIN 35 rail
750-8202/025-002	4	Weight	209.7 g
Input and output process image (max.)		EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2, marine applications
Internal data bus	1000 words	EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-3, marine applications
MODBUS	1000 words	Degree of protection	IP20 acc. to DIN 60529
I/O interfaces (serial)	1 x serial interface per TIA/EIA 232 and TIA/EIA 485 (switchable), 9-pole D-sub female connector	Type of mounting	DIN 35 rail
Diagnostic LEDs	Power supply; SYS; RUN; FIELDBUS (MS, NS); USER (U1 ... U7); Internal data bus	Housing material	PC
User LEDs	via CODESYS library	Ambient conditions	
Memory configuration CODESYS 2.3		Operating temperature	0 °C ... +55 °C
Program memory	16 MB	Storage temperature	-25 °C ... +85 °C
Data memory	64 MB	Relative air humidity (no condensation)	95 %
Non-volatile memory (retain)	128 KB	Wire connection	CAGE CLAMP®
Memory configuration eRUNTIME		Cross sections	0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14
Program and data memory	60 MB (dynamically distributed)	Strip lengths	8 ... 9 mm / 0.33 in
Non-volatile memory (retain)	128 KB		
Power supply	24 V DC (-25 % ... +30 %)		
Max. input current (24 V)	550 mA		
Total current for I/O modules (5 V)	1700 mA		
Isolation	500 V system/supply		

750-504 / 753-504

4-Channel Digital Output Module 24 V DC

Short-circuit protected; high-side switching

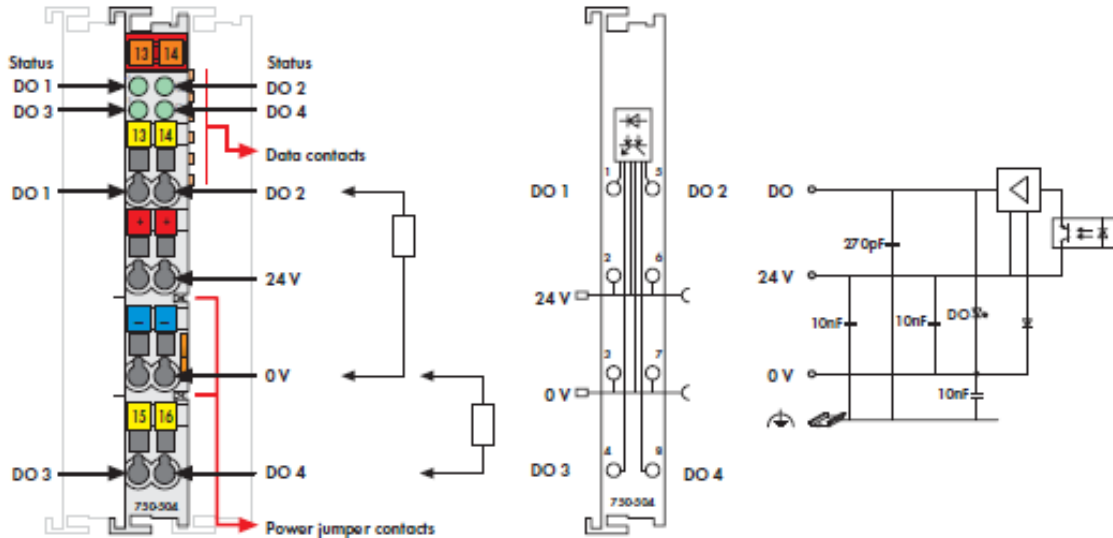


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

Control signals are transmitted from the automation device to connected actuators via the digital output module.

All outputs are short-circuit proof.

Field and system levels are electrically isolated.

Description	Item No.	Pack. Unit
4DO 24V DC 0.5A	750-504	1
4DO 24V DC 0.5A/R*	750-504/000-800	1
4DO 24V DC 0.5A/T	750-504/025-000	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
4DO 24V DC 0.5A/T/R*	750-504/025-800	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
4DO 24V DC 0.5A (without connector)	753-504	1
* /R: Interference-free for safety function applications (see manual)		
Accessories	Item No.	Pack. Unit
753 Series Connectors	753-110	25
Coding elements	753-150	100
Miniature WSB Quick marking system plain	248-501	5
Miniature WSB Quick marking system with marking	see Section 11	
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification		
Marine applications (versions upon request)	ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA	
UL 508		
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 07 ATEX 5540E6X	I M2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc, II 3 D Ex tc IIIC T135 °C Dc	
IECEx TUN 09.0001 X	Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc, Ex tc IIIC T135 °C Dc	

Technical Data	
No. of outputs	4
Current consumption (internal)	10 mA
Voltage via power jumper contacts	24 V DC (-25 % ... +30 %)
Type of load	resistive, inductive, lamps
Max. switching frequency	1 kHz
Output current (max.)	0.5 A, short-circuit protected
Inductive load switch off energy	
dissipation W (max.)	0.3 J; $I_{max} = 2 \times W_{max} / I^2$
Current consumption typ. (field side)	15 mA / module + charge
Isolation	500 V system/supply
Internal bit width	4 bits
Wire connection	CAGE CLAMP®
Cross sections	0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14
Strip lengths, 750/753 Series	8 ... 9 mm / 0.33 in 9 ... 10 mm / 0.37 in
Width	12 mm
Weight	49.5 g
EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2, marine applications
EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-4, marine applications

750-557, 750-559 / 753-557, 753-559

4-Channel Analog Output Module ±10 V/0-10 V

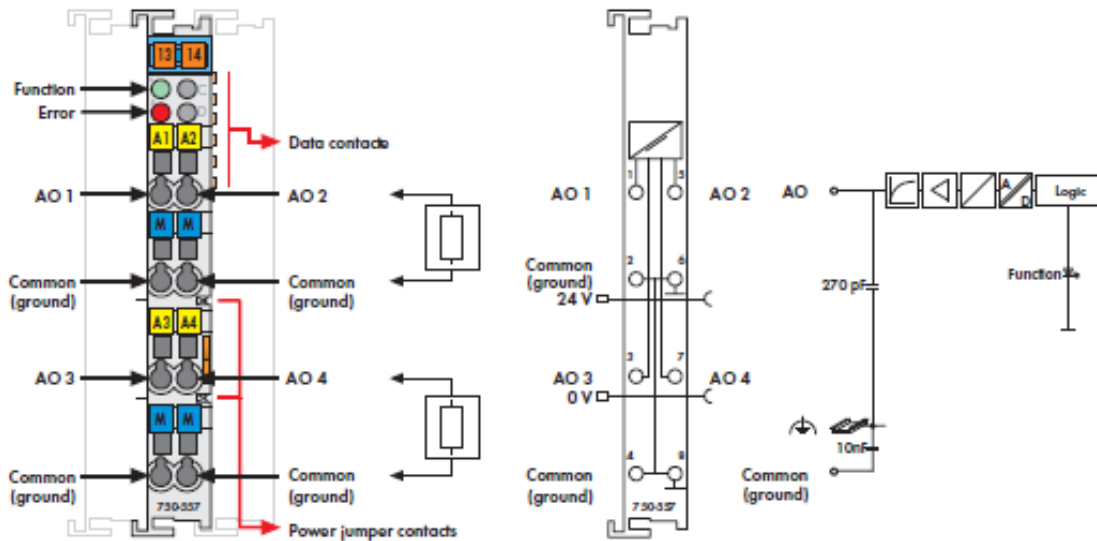


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The analog output module creates a standardized signal of ±10V or 0-10V.

The output signal is electrically isolated and will be transmitted with a resolution of 12 bits.

The system voltage supply is used for the power supply of the module.

The output channels of the module have one common potential.

Description	Item No.	Pack. Unit
4AO ± 10V DC	750-557	1
4AO 0-10V DC	750-559	1
4AO 0-10V DC/T	750-559/025-000	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
4AO ± 10V DC (without connector)	753-557	1
4AO 0-10V DC (without connector)	753-559	1
Accessories		
750 Series Connectors	753-110	25
Coding elements	753-150	100
Miniature WSB Quick marking system		
plain	248-501	5
with marking	see Section 11	
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification		
Marine applications (versions upon request)	ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NK, PRS, RINA	
UL 508		
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 07 ATEX 554086 X	II 2 Ex d I Mb II 3 G Ex nA IIC T4 Gc II 3 D Ex tc IIIC T135°C Dc	
IECEx TUN 09.0001 X	Ex d I Mb Ex nA IIC T4 Gc Ex tc IIIC T135°C Dc	

Technical Data	
No. of outputs	4
Max. current consumption (internal)	125 mA
Power supply	via system voltage DC/DC
Signal voltage	± 10V (750-557 / 753-557) 0 - 10V (750-559 / 753-559)
Load impedance	> 5 kΩ
Resolution	12 bits
Conversion time (typ.)	10 ms
Recovery time (typ.)	100 ms
Measuring error (25 °C)	< ± 0.1 % of the full scale value
Temperature coefficient	< ± 0.01 % / K of the full scale value
Isolation	500 V system/supply
Bit width	4 x 16 bits data 4 x 8 bits control/status (option)
Wire connection	CAGE CLAMP®
Cross sections	0.08 mm² ... 2.5 mm² / AWG 28 ... 14
Strip lengths, 750/753 Series	8 ... 9 mm / 0.33 in 9 ... 10 mm / 0.37 in
Width	12 mm
Weight	53.5 g
EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2, marine applications
EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-4, marine applications

WAGO-datalehdet

750-457, 750-459 / 753-457, 753-459

4-Channel Analog Input Module ± 10 V/0-10 V
Single-ended (S.E.)

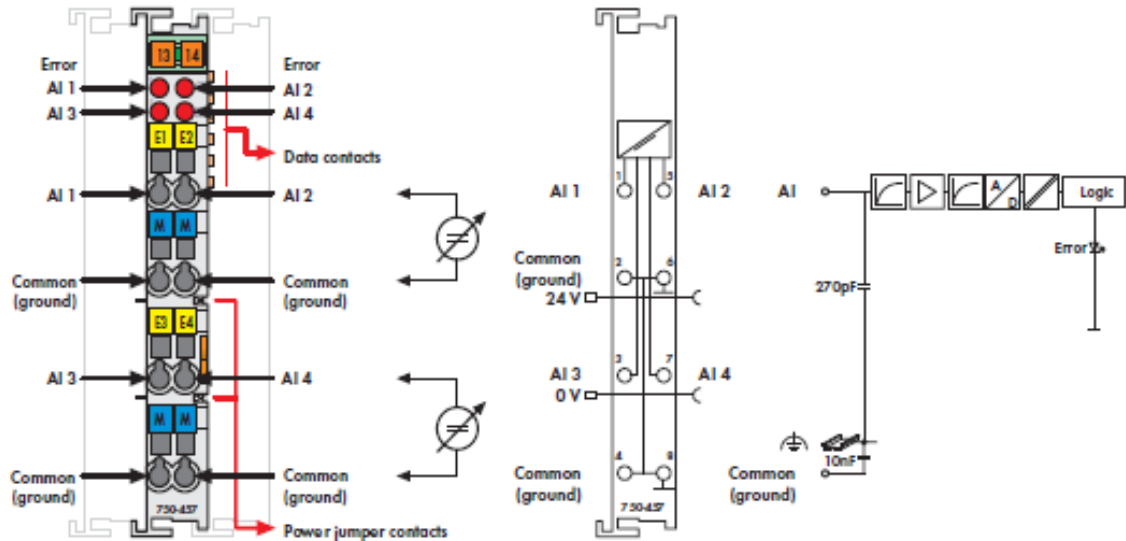


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The analog input module receives signals with the standardized values ± 10 V and 0-10V.

The input channels of a module have one common ground potential.

The input signal is electrically isolated and will be transmitted with a resolution of 12 bits.

The internal system supply is used for the power supply of the module.

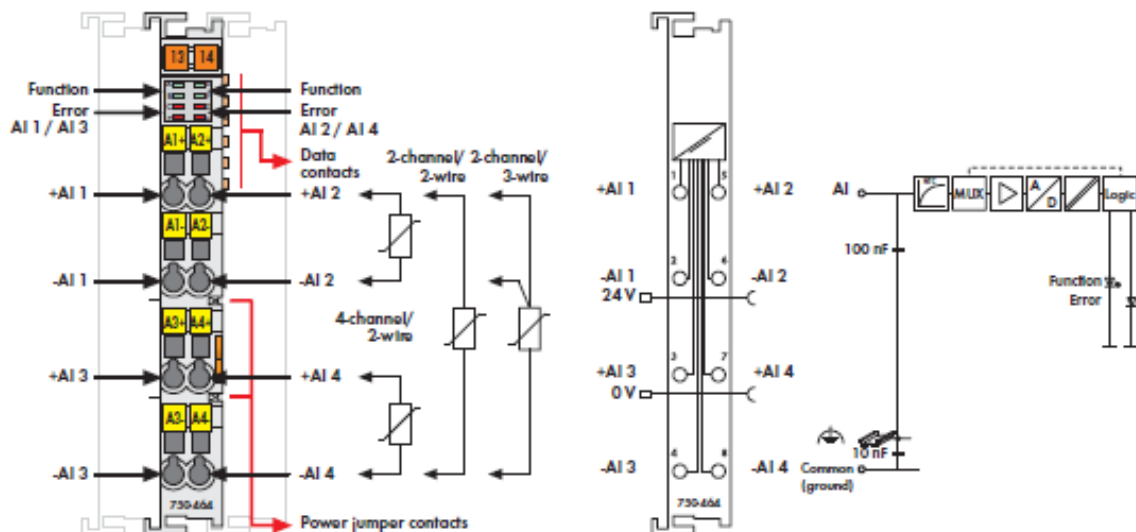
Description	Item No.	Pack. Unit
4AI ± 10 V DC S.E.	750-457	1
4AI 0-10V DC S.E.	750-459	1
4AI ± 10 V DC S.E./T	750-457/025-000	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
4AI ± 10 V DC S.E. (without connector)	753-457	1
4AI 0-10V DC S.E. (without connector)	753-459	1
Accessories		
753 Series Connectors	753-110	25
Coding elements	753-150	100
Miniature WSB Quick marking system plate with marking	248-501 see Section 11	5
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification		
Marine applications (versions upon request)	ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA	
UL 508		
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 07 ATEX 554086 X	II 2 Ex d I Mb II 3 G Ex nA IIC T4 Gc II 3 D Ex tc IIIC T135°C Dc	
IECEx TUN 09.0001 X	Ex d I Mb Ex nA IIC T4 Gc Ex tc IIIC T135°C Dc	

Technical Data	
Number of inputs	4
Power supply	via system voltage DC/DC
Current consumption (internal)	65 mA
Input voltage (max.)	± 40 V
Signal voltage	± 10 V (750-457 / 753-457) 0 V ... 10 V (750-459 / 753-459)
Input resistance	> 100k Ω
Resolution	12 bits
Conversion time (typ.)	10 ms
Measuring error (25 °C)	< ± 0.2 % of the full scale value
Temperature coefficient	< ± 0.01 % / K of the full scale value
Isolation	500V system/supply
Bit width	4 x 16 bits data 4 x 8 bits control/status (optional)
Wire connection	CAGE CLAMP®
Cross sections	0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14
Strip lengths, 750/753 Series	8 ... 9 mm / 0.33 in 9 ... 10 mm / 0.37 in
Width	12 mm
Weight	51 g
EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2, marine applications
EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-4, marine applications

WAGO-datalehdet

750-464

2-/4-Channel Analog Input Module for RTDs



Delivered without miniature WSB markers

The RTD (resistive temperature device) input module directly connects Pt or Ni resistance sensors and potentiometers.

It can be operated as a 2-channel (2- and 3-conductor technology) or 4-channel (2-conductor technology) module.

The module automatically linearizes the entire temperature range.

A sensor error is indicated by a red LED.

The module can be configured via WAGO-I/O-CHECK or GSD.

Multiple setting options and high accuracy stand out.

The 750-464/020-000 version may connect NTC sensors.

Technical data for variant 750-464/020-000:

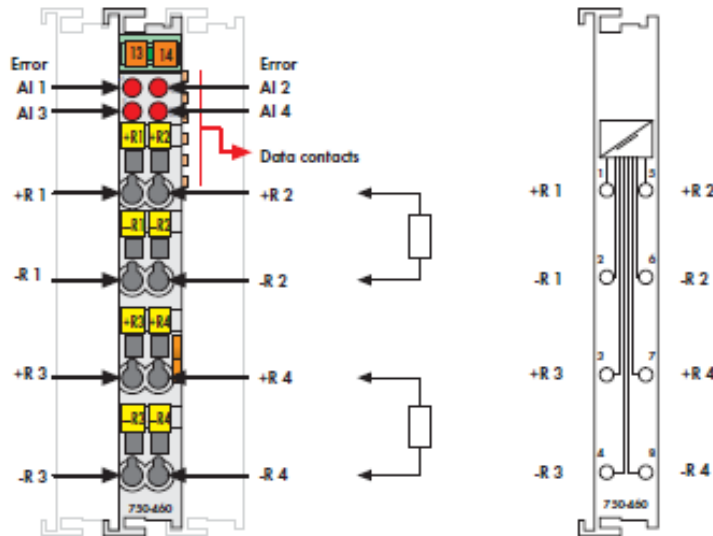
- Number of inputs: 4
- Sensor types: NTC 10 k Ω m, NTC 20 k Ω m, NTC 10 k Ω m (Thermokon)
- Sensor connection: 2-conductor
- Temperature range: -30 °C ... +120 °C
- Measuring error: ≤ 2 K over entire temperature range

Description	Item No.	Pack. Unit
2/4 AI RTD, configurable	750-464	1
4 AI NTC, configurable	750-464/020-000	1
Differing technical data see text		
Accessories		
WAGO-I/O-CHECK, RS-232 kit	759-302	1
Miniature WSB Quick marking system		
plot	248-501	5
with marking	see Section 11	
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification	☐	
Marine applications (versions upon request)	ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA	
UL 508		
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 07 ATEX 554086X	I M2 Ex d I Mb, II 3 G Ex nA IIC T4 Gc, II 3 D Ex tc IIIC T135 °C Dc	
IECEx TUN 09.0001 X	Ex d I Mb, Ex nA IIC T4 Gc, Ex tc IIIC T135 °C Dc	

Technical Data	
Number of inputs	2 / 4 (default setting)
Power supply	via system voltage DC/DC
Current consumption typ. (internal)	50 mA
Sensor types	Pt 100 (default setting), Pt 200, Pt 500, Pt 1000, Ni 100, Ni 120, Ni 1000, Potentiometer (only 2-channel operation), 10 Ω m ... 1.2 k Ω m, 10 Ω m ... 5 k Ω m
Sensor connection	2-conductor (default setting), 3-conductor (2-channel operation)
Temperature range	-200 °C ... +850 °C (Pt 100), -60 °C ... +300 °C (Ni 100, Ni 1000), -60 °C ... +250 °C (Ni 1000 TK5000), -80 °C ... +260 °C (Ni 120)
Resolution (over entire range)	0.1 °C
Measurement repetition rate (standard)	1.1 s
Measurement repetition rate (2-channel/ 2-conductor)	0.63 s
Response time (max.)	4 s
Measuring error (25 °C)	≤ 1 K in the entire temp. range, ≤ 0.5 K in the restricted temp. range* * -30 °C ... +120 °C, Pt 1000
Temperature coefficient	≤ 20 ppm/K
Isolation	500 V system/supply
Measuring current (typ.)	≤ 350 μ A
Bit width	4 (2) x 1.6 bits data 4 (2) x 8 bits control/status (option)
Wire connection	CAGE CLAMP [®]
Cross sections	0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14
Strip lengths	8 ... 9 mm / 0.33 in
Width	12 mm
Weight	50.6 g
EMC immunity of interference	occ. to EN 61000-6-1, EN 61000-6-2, marine applications
EMC emission of interference	occ. to EN 61000-6-3, marine applications

750-460

4-Channel Analog Input Module for RTDs






Delivered without miniature WSB markers

The RTD (resistive temperature device) input module allows the direct connection of Pt or Ni resistance sensors.

Only 2-conductor sensors can be connected.

The module automatically linearizes the entire temperature range. A sensor error is indicated by a red LED.

Description	Item No.	Pack. Unit
4AI Pt 100/RTD	750-460	10 ¹
4AI Pt 1000/RTD	750-460/000-003	1
4AI Ni 1000 TK6120/ RTD	750-460/000-005	1
¹ Also available individually		
Accessories	Item No.	Pack. Unit
Miniature WSB Quick marking system		
 plain	248-501	5
with marking	see Section 11	
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification		
UL 508		

Technical Data	
Number of Inputs	4
Power supply	via system voltage DC/DC
Max. current consumption (Internal)	65 mA
Sensor types	Pt 100 (basic variation), optional variations available for Pt 1000 and Ni 1000
Sensor connection	2-wire connection
Temperature range	-200 °C ... +850 °C (Pt) -60 °C ... +250 °C (Ni)
Resolution (over entire range)	0.1 °C
Conversion time	250 ms
Measuring error (25 °C)	< ± 0.2 % of the full scale value
Temperature coefficient	< ± 0.01 % / K of full scale value
Isolation	500 V system/supply
Measuring current (typ.)	0.5 mA
Bit width	4 x 16 bits data 4 x 8 bits control/status (optional)
Wire connection	CAGE CLAMP®
Cross sections	0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14
Strip lengths	8 ... 9 mm / 0.33 in
Width	12 mm
Weight	51.5 g
EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2
EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-4

750-461 / 753-461

2-Channel Analog Input Module for RTDs

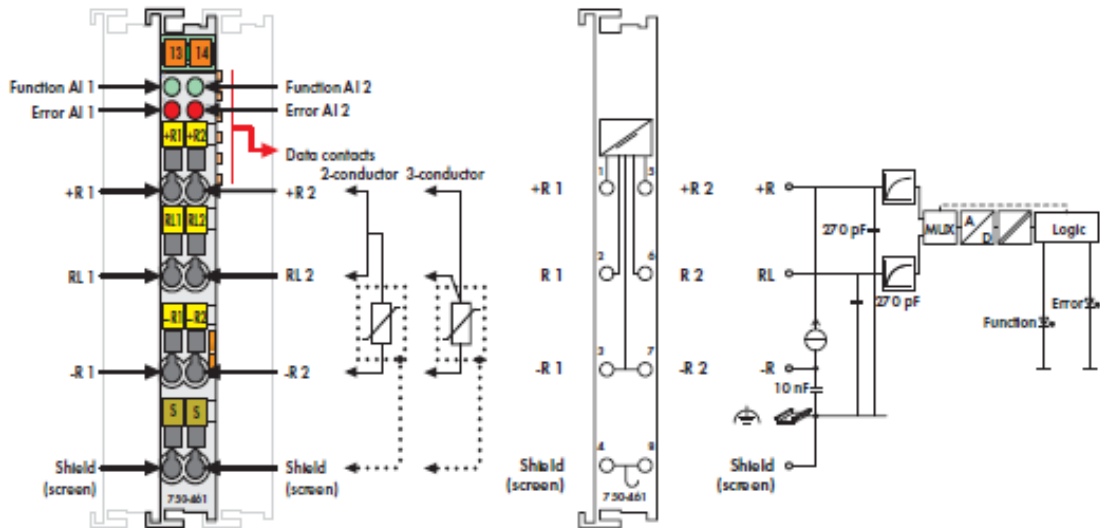


Fig. 750 Series
Delivered without miniature WSB markers

The RTD (resistive temperature device) input module directly connects Pt or Ni resistance sensors.
The connection of 2- or 3-conductor sensors is possible.
The module automatically linearizes the entire temperature range. A sensor error is indicated via red LED.
A green LED indicates readiness for operation and error-free communication with the buscoupler.
The shield (screen) is directly connected to the DIN rail.
All listed sensor types are supported by the configurable variation.
Set-up via WAGO-I/O-CHECK 2 software.

Other variations are available upon request:
Pt 100; Pt 200; Pt 500; Pt 1000; temperature range -200 °C ... +250 °C;
Ni 100; Ni 1000; temperature range -60 °C ... +250 °C and resistance measuring.
Technical data for the 750-461/020-000 model:
• Current consumption max. (internal): 65 mA
• Sensor types: NTC 20 kOhm
• Temperature range: -30 °C ... +130 °C
• Measuring error: 0.5 K ... 3.0 K (dependent on temperature)
• Temperature coefficient: < +/- 0.002 %/K of full scale value
• Measured current typ.: 0.05 mA at 25 °C

Description	Item No.	Pack. Unit
2AI Pt 100/RTD	750-461	1
2AI Resistance Measur. 10R-1k2	750-461/000-002	1
2AI Pt 1000/RTD	750-461/000-003	1
2AI Ni 100/RTD	750-461/000-004	1
Product discontinuation	Last coll: 31.05.2017	
2AI Ni 1000 TK6180/ RTD	750-461/000-005	1
2AI Resistance Measur. 10R-5k0	750-461/000-007	1
2AI Ni 1000 TK5000/ RT	750-461/000-009	1
2AI Pt 100/RTD S5 ¹⁾	750-461/000-200	1
2AI Pt 100/free configurable	750-461/003-000	1
2AI NTC 20k	750-461/020-000	1
Differing technical data see last		
2AI Pt 100/RTD/T	750-461/025-000	1
Extended temperature range: -20 °C ... +60 °C		
2AI Pt 100/RTD (without connector)	753-461	1
2AI Pt 100/free configurable (without connector)	753-461/003-000	1
¹⁾ Data format for S5 control with FB 251		
Approvals		
Conformity marking	CE	
Korea Certification	☒ ¹⁾	
Marine applications (various upon request)	ABS, BV, DNV, GL, KR, LR, NKK, PRS, RINA	
UL 508	45	
ANSI/ISA 12.12.01	Class I, Div. 2, Grp. ABCD, T4	
TÜV 07 ATEX 554086 X	II 2 Ex d I Mb II 3 G Ex nA IIC T4 Gc II 3 D Ex tc IIIC T135 °C Dc	
IECEx TUN 09.0001 X	Ex d I Mb Ex nA IIC T4 Gc Ex tc IIIC T135 °C Dc	
¹⁾ Does not apply to 750-461/020-000		

Technical Data	
Number of inputs	2
Power supply	via system voltage DC/DC
Current consumption typ. (internal)	80 mA
Sensor types	Pt 100 (basic variation), optional variations available for Pt 200, Pt 500, Pt 1000, Ni 100, Ni 120, Ni 1000, resistance measuring
Sensor connection	3-wire connection (factory preset) or 2-wire
Temperature range	-200 °C ... +250 °C (Pt) -60 °C ... +250 °C (Ni)
Resolution (over entire range)	0.1 °C
Conversion time	320 ms (per channel)
Response time (max.)	4 s
Measuring error (25 °C)	< ± 0.2 % of the full scale value
Temperature coefficient	< ± 0.01 % / K of the full scale value
Isolation	500 V system/supply
Measuring current (typ.)	0.5 mA
Bit width	2 x 16 bits data 2 x 8 bits control/status (optional)
Wire connection	CAGE CLAMP®
Cross sections	0.08 mm ² ... 2.5 mm ² / AWG 28 ... 14
Strip lengths, 750/753 Series	8 ... 9 mm / 0.33 in 9 ... 10 mm / 0.37 in
Width	12 mm
Weight	52.5 g
EMC immunity of interference	acc. to EN 61000-6-2, marine applications
EMC emission of interference	acc. to EN 61000-6-4, marine applications
Accessories	
753 Series Connectors	753-110 25
Coding elements	753-150 100
Miniature WSB Quick marking system	see Section 11

Käyttötestien tulokset

Suunnitellut arvot											
min	T1 neste	T2 imu	T3 paine	T4 lauhde	T5 paisari	T6 komp	T7 Jääh	T8 läm	Paine M	Paine K	Paine-ero
0	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50	12	3,42	12,79	9,37
1	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
2	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
3	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
4	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
5	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
6	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
7	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
8	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
9	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
10	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
11	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
12	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
13	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
14	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8		50,0	12,0	3,42	12,79	9,37
15	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8				3,42	12,79	9,37
16	4,4	9,4	64,17	44,8	44,8				3,42	12,79	9,37

Testiajo 5											
	T1 neste	T2 imu	T3 paine	T4 lauhde	T5 paisari	T6 komp	T7 Jääh	T8 läm	Paine M	Paine K	Paine-ero
0 min							51,5	13,4			0
1 min		40	34	20	22	37	50,8	18,2			0
2 min	14	43	40	22	22	40	50,1	19,3			0
3 min	14	42	48	32	32	46	45,4	22,3	3,5	8	4,5
4 min	18	36	54	38	39	54	40	26,3	4,2	9,4	5,2
5 min	19	18	58	43	44	58	34	30,9	4,5	11	6,5
6 min	18	17	61	47	48	61	29,3	35,5	4,5	12,8	8,3
7 min	16	15	62	49	51	63	25,5	39,3	4,2	13,5	9,3
8 min	15	14	63	50	52	64	22,1	43	3,8	14	10,2
9 min	14	13	64	52	54	66	19,4	46	3,6	14,8	11,2
10 min	14	13	64	54	56	66	17,4	48,8	3,6	15,2	11,6
11 min	13	12	62	55	57	65	15,9	51,2	3,6	15,6	12
12 min	13	12	61	56	58	63	14,7	53,2	3,4	16	12,6
13 min	12	11	61	57	59	62	13,8	55	3,4	16,3	12,9
14 min	12	11	61	58	60	63	13,3	56,2	3,4	16,6	13,2
15 min	12	11	62	59	60	63	12,9	57,2	3,4	16,8	13,4
16 min	12	11	62	59	61	63	12,6	58,2	3,4	17,2	13,8

Käyttötestien tulokset

Testajo 6											
min	T1 neste	T2 imu	T3 paine	T4 lauhde	T5 paisari	T6 komp	T7 Jääh	T8 läm	Paine M	Paine K	Paine-ero
0							50	14			0
1	5	38	21	18	19	19	50	16	0,1	5	4,9
2	10	44	27	25	25	25	47,8	17,7	2,6	6	3,4
3	12	40	32	29	30	31	42,3	21,4	3,2	7,1	3,9
4	16	33	42	35	35	40	36,3	25,2	3,9	8,6	4,7
5	18	26	49	40	41	48	30,9	29,4	4,4	10,2	5,8
6	14	20	53	44	45	53	25,7	33,6	4	11,6	7,6
7	14	16	56	46	47	55	22,5	36,9	3,5	12,2	8,7
8	15	13	57	49	50	57	19,4	40,2	3,8	13,2	9,4
9	13	12	54	50	52	55	17,3	43	3,6	13,8	10,2
10	13	11	55	51	52	55	15,8	45,5	3,5	14	10,5
11	13	11	55	52	53	55	14,6	47	3,4	14,2	10,8
12	13	12	56	52	54	55	13,9	49	3,4	14,4	11
13	13	12	56	53	54	55	13,6	50,3	3,5	14,6	11,1
14	14	13	56	53	54	56	13,6	51,4	3,6	14,8	11,2
15	14	13	57	54	55	56	13,9	52,3	3,6	14,9	11,3
16	15	14	57	54	55	56	14,3	53	3,7	15	11,3

Testien 5 ja 6 erot											
	T1 neste	T2 imu	T3 paine	T4 lauhde	T5 paisari	T6 komp	T7 Jääh	T8 läm	Paine M	Paine K	Paine-ero
0 min	0	0	0	0	0	0	-1,5	0,6	0	0	0
1 min	5	-2	-13	-2	-3	-18	-0,8	-2,2	0,1	5	4,9
2 min	-4	1	-13	3	3	-15	-2,3	-1,6	2,6	6	3,4
3 min	-2	-2	-16	-3	-2	-15	-3,1	-0,9	-0,3	-0,9	-0,6
4 min	-2	-3	-12	-3	-4	-14	-3,7	-1,1	-0,3	-0,8	-0,5
5 min	-1	8	-9	-3	-3	-10	-3,1	-1,5	-0,1	-0,8	-0,7
6 min	-4	3	-8	-3	-3	-8	-3,6	-1,9	-0,5	-1,2	-0,7
7 min	-2	1	-6	-3	-4	-8	-3	-2,4	-0,7	-1,3	-0,6
8 min	0	-1	-6	-1	-2	-7	-2,7	-2,8	0	-0,8	-0,8
9 min	-1	-1	-10	-2	-2	-11	-2,1	-3	0	-1	-1
10 min	-1	-2	-9	-3	-4	-11	-1,6	-3,3	-0,1	-1,2	-1,1
11 min	0	-1	-7	-3	-4	-10	-1,3	-4,2	-0,2	-1,4	-1,2
12 min	0	0	-5	-4	-4	-8	-0,8	-4,2	0	-1,6	-1,6
13 min	1	1	-5	-4	-5	-7	-0,2	-4,7	0,1	-1,7	-1,8
14 min	2	2	-5	-5	-6	-7	0,3	-4,8	0,2	-1,8	-2
15 min	2	2	-5	-5	-5	-7	1	-4,9	0,2	-1,9	-2,1
16 min	3	3	-5	-5	-6	-7	1,7	-5,2	0,3	-2,2	-2,5

Kylmäkoneikon käyttöohje

Talotekniikan laboratorion kylmäkoneikon käyttöohje 1.0

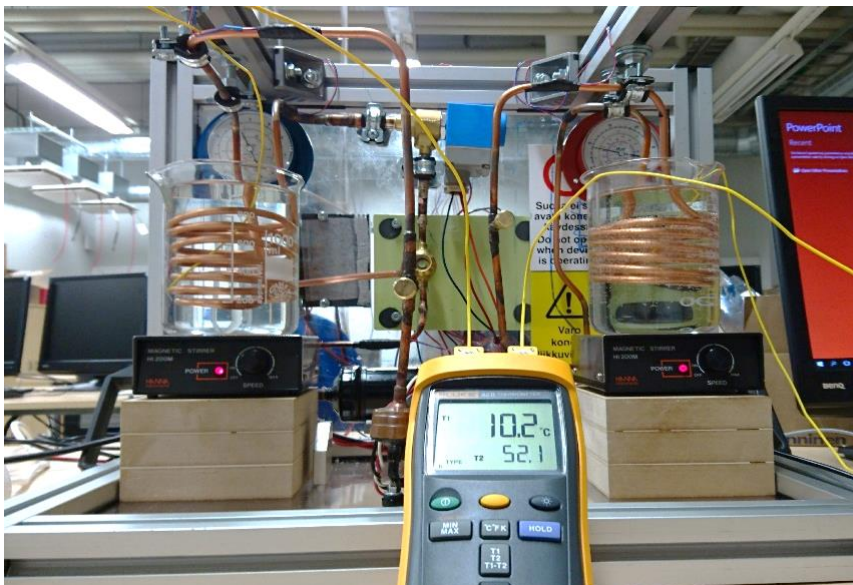
Koneikkoon kuuluu kiinteästi asennettujen komponenttien lisäksi:

- 2 kpl magneettisekoittajia
- 2 kpl vesiastioita
- 2 kpl korotuspalikoita

Virtalähteinä:

- Paisuntaventtiilille ulkoinen **24 VAC**
- Kompressorin piirikorttiin ulkoinen **24 VDC**
 - o Tarvittaessa lisätään virtalähteen ja piirikortin väliseen johdotukseen **kondensaattori** sekä plus-johtoon **ferriitti** (musta kumipäällysteinen rautapötkö) mikäli virtalähteen jännitteessä ilmenee virtapiikkejä. (kompressorin virtalähdettä suunniteltu korvattavaksi)

1. Valmistele kytkentäkaavion (liite) mukaiset kytkennät huolella ja ota yhteys WAGO:n 750-8202 -kontrolleriin **experimental -verkon kautta** ja varmista että ohjelma sisällä on **kylmä-koneikkodemoo ohjaus 1.0**.
2. Täytä vesiastiat halutun lämpöisellä vedellä. Kuumempi vesi höyrystimen (vasen) puolelle ja kylmempi vesi lauhduttimen (oikea) puolelle.
 - Vesiastian paikalleen laittaminen (kuva 1)
 1. Pujota astia lämmönvaihtimen ympärille.
 2. Korotuspalikka alle.
 3. Sekoittaja korotuspalikan ja astian väliin.



Kuva 41 Vesiastiat, sekoittimet ja korotuspalikat

Kylmäkoneikon käyttöohje

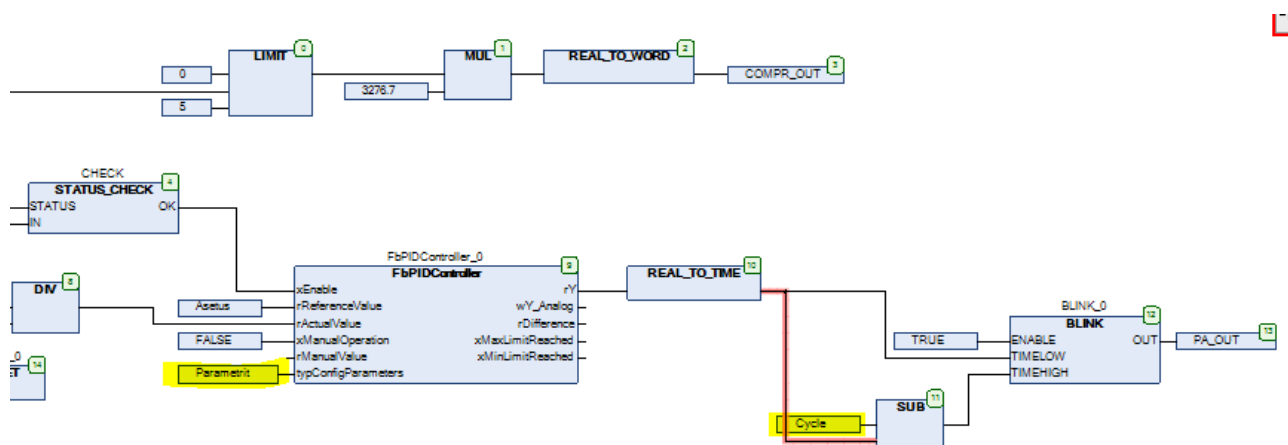
3. Kokoonpanon ollessa valmis, aseta ohjelman (kuva 2) PID-säätimen parametrit (kuva 3 tai kuva 4) osiosta **rOutputmax 1000** ja samanaikaisesti BLINK -funktion **CycleT 12** sekuntiin eli **12000**.

The screenshot shows the SIMATIC Manager interface. On the left is the 'Program structure' tree with 'PLC_PRG' selected. The main window displays a variable declaration table for 'PFC200_CS_2ETH_RS.Application.PLC_PRG'.

Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
FbPIDController_0	FbPIDController				
Parametrit	typConfigPIDController				
BLINK_0	BLINK				
IN	REAL	0			
Asetus	REAL	5			
PA_MINCLOSED	REAL	0			
PA_OUT	BOOL	FALSE			

Below the table is a ladder logic diagram showing various control blocks like LIMIT, MUL, REAL_TO_WORD, and FbPIDController_0.

Kuva 42 Yleiskuva ohjelmasta



Kuva 43 Muutettavien arvojen sijainti

Kylmäkoneikon käyttöohje

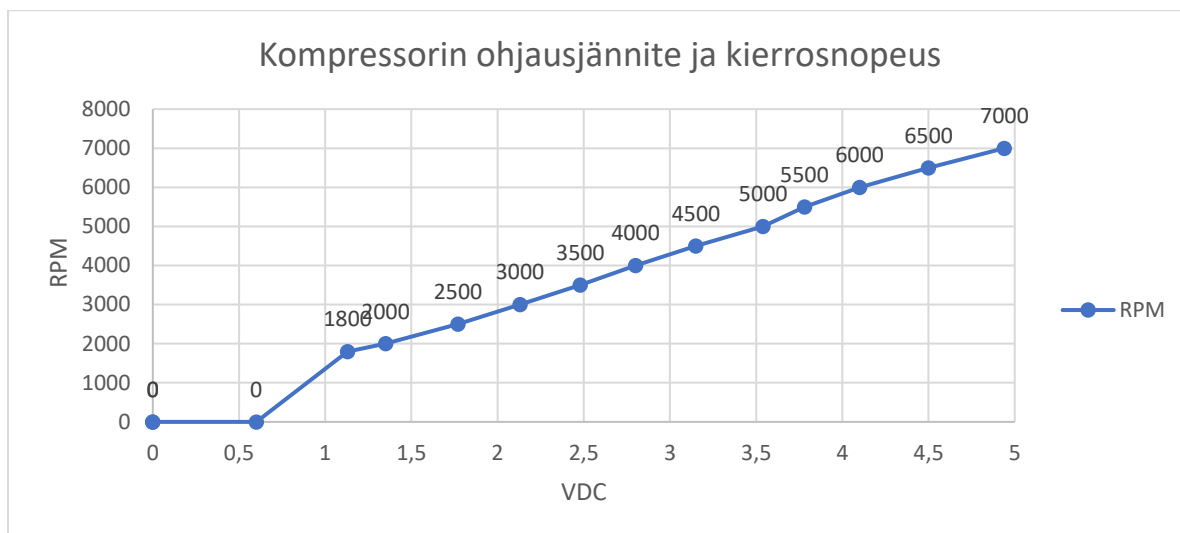
PFC200_CS_2ETH_RS.Application.PLC_PRG					
Expression	Type	Value	Prepared value	Address	Comment
⊕ FbPIDController_0	FbPIDController				
⊖ Parametrit	typConfigPIDController				
⊕ xChangeInDirection	BOOL	FALSE			Allows the operating direction of the controller...
⊕ xPresetOn	BOOL	FALSE			Ensures that the controller starts with the pre...
⊕ xPresetOff	BOOL	FALSE			Ensures that the controller outputs the preset...
⊕ rPresetValueOn	REAL	0			Preset value of the controller when switched on...
⊕ rPresetValueOff	REAL	0			Preset value of the controller when switched off...
⊕ tCycleTime	TIME	T#100ms			Defines the cycle time for the controller.
⊕ rOutputMin	REAL	0			Defines the minimum output value for the controller...
⊕ rOutputMax	REAL	4500			Defines the maximum output value for the controller...
⊕ rDeadZone	REAL	0			Defines the range around the reference value...
⊕ rKp	REAL	500			Defines the proportional gain of the controller...
⊕ rTn	REAL	60			Defines the reset time of the controller. (Parameter...)
⊕ rTd	REAL	0			Defines the derivative time of the controller. (Parameter...)
⊕ xDummy	BOOL	FALSE			Placeholder
⊕ BLINK_0	BLINK				
⊕ IN	REAL	0			
⊕ Asetus	REAL	5			
⊕ PA_MINCLOSED	REAL	0			
⊕ PA_OUT	BOOL	FALSE			
⊕ MITTAUKSET_0	MITTAUKSET				
⊕ CHECK	STATUS_CHECK				
⊕ STATUS_CHECK_0	STATUS_CHECK				
⊕ Cycle	TIME	T#6s			

Kuva 44 Muutettavat arvot korostettuna keltaisella

Nämä toimenpiteet tehdään, jotta paineet saadaan nostettua prosessin alussa. (Vaihtoehtoisesti **rOutputmax** voi asettaa arvoon **0** jolloin venttiili on auki koko ajan, mutta paineiden noustessa matalapainepuolella lähelle **4 – 5 baaria** täytyy olla hereillä vaihtamaan **rOutputmax** arvoon **1000** tai **1500**, jotteivät paineet nouse liian korkeiksi.)

Kylmäkoneikon käyttöohje

4. Kun parametrit on asetettu, voidaan kompressorin ohjausjännitettä nostaa sopivaan arvoon, että saadaan haluttu kierrosnopeus. Katso kuva 5.



Kuva 45 Ohjausjännitteen ja kierrosluvun suhde

Kompressori käynnistyy, kun ohjausjännite nostetaan yli **0,6** volttiin. (Vastaavasti sammuu, kun jännite alittaa 0,6 v) Kohdasta **Kompressorin ohjaus 1-5 V** (kuva 6) klikkaile nuolia ylös tai alas säätääksesi jännitettä.

Kuva 46 Kompressorin kierrosten ohjaus visualisaatiosta

Käynnistyksen jälkeen koneikolla menee muutama minuutti nostaa paineet haluttuihin **3,5-4 bar** ja **11-13 bar** tasoihin. Haluttaessa voidaan tässä vaiheessa kytkeä magneettisekoittajat päälle sopivalle kierrosasetukselle.

Kylmäkoneikon käyttöohje

5. Matalapainepuolen saavuttaessa **4 bar** vaihdetaan jaksonaika **CycleT** asetukseen **6s (6000)** ja **rOutputmax (1000-1500)**. Tämän jälkeen prosessi alkaa toimimaan tasaisesti. Lämpötilojen ja paineiden muutokset kuitenkin ajan myötä hieman hidastuvat, kunnes höyrystimen puoleinen astia saavuttaa mitoitettun höyrystymislämpötilan.
6. Koneikon käytön aikana tulee tarkkailla myös kompressorin lämpötilaa. Lämpötilan ylittäessä 80 C lämpösuoja laukeaisi, mikäli se olisi asennettu. Toistaiseksi lämpötilan tarkkailu on käyttäjän vastuulla, seuranta tapahtuu koneikon ohjelman visualisaation kautta. (Testauksissa kompressorin lämpötila oli 3.6 V ohjausjännitteellä 60°C luokkaa.)
7. Prosessin ollessa loppupuolella (käyntiajan ollessa noin 15 – 20 min) voidaan kompressorin ohjausjännite tiputtaa **0** ja ohjelma laittaa **stop -tilaan**. Paineet tasaantuvat järjestelmässä itsestään hiljalleen. Kompressorin suojo toiminto estää käynnistyksen, jos sammutuksesta on kulunut alle 30 sekuntia.

Esimerkkitehtävä

Jäähdytyskoneikko

Laboratoriotehtävä esimerkki

1. Tutustu jäähdytyskoneikon komponentteihin ja koneen kylmäprosessin kiertoon. (mitä tapahtuu missäkin osassa)
2. Valmistele koneikko käynnistyskuntoon käyttöohjeen mukaisesti. Käytä kierrosnopeutena 5000 RPM. Vesiastioiden lämpötila 10 °C ja 50°C.
3. Koneikon käynnistyttyä kirjataan ylös minuutin tai 30 sekunnin välein vesiastioiden lämpötilat, putkiston eriosien lämpötilat ja kompressorin virrankulutus. (mikäli ei virrankulutus toimi ohjelmallisesti, voidaan kulutus mitata yleismittarilla)
4. Piirrä harjoituksen ajoa vastaava log p,h-piirros ja vertaa sitä kompressorin datalehtien perusteella piirrettyyn oletettuun p,h-piirrokseen. Mistä erot piirroksissa voivat johtua?
5. Määrittele itse piirretyn log p,h -piirroksen avulla prosessille jäähdytys ja lämmitys COP arvot ja kompressorille isentroopinen hyötysuhde.
6. Laske astioiden lämpötilojen ja ajan avulla lämmönvaihtimien ja kompressorin tehot, ja virrankulutusmittauksen avulla kompressorin mekaaninen hyötysuhde.
7. Pohdi miten koneikon COP ja kompressorin hyötysuhdetta voitaisiin parantaa?
(Vaihtoehtoisesti voitaisiin myös ajaa testiajo kahdella eri kierrosnopeudella ja vertailla kompressorin kierrosnopeuden vaihtamisen vaikutusta prosessiin ja virrankulutukseen)

Tässä luvussa esimerkki miettimästämme laboratorioharjoituksesta, jota voitaisiin mahdollisesti hyödyntää koneikon ollessa opetuskäytössä. Harjoitus on mietitty tehtäväksi talotekniikan jäähdytysjärjestelmät -kurssin aikana, sillä pohjatieto kylmäprosessista on tarpeen, jotta harjoituksesta saataisiin enemmän irti. Mikäli harjoitus sijoitettaisiin muiden laboratorioharjoitus kurssien ohjelmaan, on syytä pienimuotoinen perehdytys aiheesta pitää ennen harjoituksen tekemistä.

Laboratorioharjoitus alkaa tutustumalla kylmäkoneikon eri komponentteihin ja niiden tarkoitukseen, sekä kylmäainekierto on järjestelmässä. Tämä voidaan toteuttaa lyhyellä tehtävällä, jossa ryhmä nimittää mielestään järjestelmän tärkeimmät komponentit ja lyhyesti kertoo niiden tehtävät kylmäprosessissa. Komponentit voivat olla myös valmiiksi osoitettu. Tämän jälkeen ryhmä lukisi koneikon käyttöohjeen ja valmistelisi koneikon laboratorioharjoitusta varten, käyttäen ennalta määrättyjä arvoja.

Esimerkkitehtävä

Koneikon käynnissä olon aikana ryhmä kirjaa ylös halutulla aikavälillä (30 – 60 s) vesiastioiden ja putkiston lämpötiloja, sekä kompressorin virrankulutuksen arvoja. Arvot voidaan kirjata käsin tai ohjelmallisesti mikäli mahdollista. Kompressorin virrankulutus voidaan seurata myös virtamittarilla, mikäli ohjelman mittaus ei toimi. Harjoitusajon pituus on noin 15 - 20 min riippuen annetuista asetusarvoista.

Harjoitusajon jälkeen ryhmä piirtää prosessista log p,h-piirroksen, ja vertaa sitä valmiiksi piirrettyyn log p,h-piirrokseen, jossa on käytetty asetusarvoja ja pohtii mistä mahdolliset erot johtuvat. Oman harjoitusajon p,h-piirroksesta ryhmä määrittää prosessilleen COP -arvot ja kompressorille isentrooppisen hyötysuhteen. Vesiastioiden lämpötilamittausten ja kompressorin virtamittauksen avulla oppilaat laskevat lämmönvaihtimen tehot ja kompressorin mekaanisen hyötysuhteen.

Lopuksi oppilaat miettivät ryhmässä, miten koneikon COP -arvoja ja kompressorin hyötysuhdetta voitaisiin parantaa ja olisiko itse koneikossa jotain parannettavaa. Tehtävän lisätehtävänä voitaisiin tehdä vielä toinen harjoitusajo, erilaisella kompressorin kierrosnopeudella ja tutkia kierrosnopeuden muutoksen vaikutusta kylmäprosessiin, virrankulutukseen ja hyötysuhteisiin.