



Timo Korhonen

HENKILÖAUTON ILMASTOINTILAITTEEN SUUNNITTELU JA  
RAKENTAMINEN

# HENKILÖAUTON ILMASTOINTILAITTEEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN

Timo Korhonen  
Opinnäytetyö  
8.5.2011  
Talotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

## OULUN SEUDUN AMMATTIKORKEAKOULU TIIVISTELMÄ

Koulutusohjelma	Opinnäytetyö	Sivuja	+	Liitteitä
Talotekniikka	Insinööriyö	61	+	10
Suuntautumisvaihtoehto	Aika			
LVI-tekniikka	2011			
Työn tilaaja	Työn tekijä			
Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö	Timo Korhonen			
Työn nimi				
Henkilöauton ilmastointilaitteen suunnittelu ja rakentaminen				
Avainsanat				
Henkilöauton ilmastointi, AC, ilmastointilaitte, kylmätekniikka				

Työn aiheena on auton ilmastointilaitteistot. Tavoitteena oli auton ilmastointilaitteen rakentaminen Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön lvi- ja autolaboratorion koulutuskäyttöön ja syventyä aiheeseen kirjallisesti. Teoriaosassa perehdytään kylmäprosessiin, auton ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteiston toimintaan sekä järjestelmän komponentteihin. Lisäksi käsitellään ilmastointilaitteen suunnittelua, rakentamista ja koekäyttöä.

Laite rakennettiin henkilöautosta puretuista komponenteista. Järjestelmään kuuluvat kompressori, lauhdutin ja automaatti-ilmastoinnin ilmanjakoyksikkö, jossa on paisuntaventtiili, höyrystin ja ohjauspaneeli. Kylmäainepiiri valmistettiin kupariputkesta. Lauhdutinpuhallin, ohjauspaneeli ja ilmanjakoyksikkö puhaltimien toimivat 12 V tasajännitteellä. Ohjausvirtapiiri toimii 230 V jännitteellä ja kompressoria pyörittävä sähkömoottori, jota käytetään taajuusmuuntajalla 400 V jännitteellä. Laite on rakennettu siirrettävään kaksitasoiseen runkoon.

Opinnäytetyön tekijä valmisti laitteen itsenäisesti Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön tiloissa ja välineillä. Työ sisälsi metallitöitä, kylmäkoneasennuksia sekä sähkö- ja automaatiotöitä. Ohjaajana toimi Mikko Niskala ja sähkötoissa opasti Esa Pakonen. Valmiista laitteesta tuli havainnollinen ja toimiva sekä kirjallisesta osuudesta riittävän kattava syventämään ymmärrystä henkilöautojen ilmastointilaitteista.

# SISÄLTÖ

## TIIVISTELMÄ

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	6
2 KYLMÄTEKNIIKAN HISTORIAA.....	7
3 KYLMÄPROSESSI .....	9
3.1 Kylmäkerroin .....	10
3.2 Log p, h-tilapiirros.....	11
3.3 Teoreettinen kylmäprosessi.....	14
4 HENKILÖAUTOJEN LÄMMITYS- JA ILMASTOINTILAITTEET .....	15
4.1 Lämmitys- ja tuuletuspuhaltimet .....	15
4.2 Ilmastointilaitteet.....	16
4.2.1 Kompressorit .....	17
4.2.2 Magneettikytkin .....	22
4.2.3 Lauhdutin .....	23
4.2.4 Kuivainvaraaja.....	24
4.2.5 Paisuntaventtiili .....	25
4.2.6 Kuristin .....	27
4.2.7 Höyrystin .....	28
4.2.8 Kylmäaineet .....	29
4.2.9 Kylmäaineöljyt ajoneuvoissa .....	30
4.2.10 Epäpuhtaudet järjestelmässä .....	31
4.2.11 Ilmastoinnin ohjaus.....	31
4.2.12 Manuaalinen ilmastointi.....	33
4.2.13 Automaattinen ilmastointi .....	33
5 ILMASTOINTILAITTEEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN.....	35
5.1 Suunnitelma .....	35
5.2 Komponentit .....	36
5.3 Sähkösuunnitelmat .....	41
5.4 Rakentaminen .....	44
5.4.1 Runkorakenne .....	44
5.4.2 Sähkömoottori-kompressoripeti.....	45
5.4.3 Moniurahihiapyörä sähkömoottorin akselille .....	46
5.4.4 Putkitukset ja varusteet .....	46

5.4.5 Putkiston tiiveyskoe ja tyhjiöinti .....	51
5.4.6 Kompressorin voiteluöljy .....	53
6 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS.....	54
6.1 Kylmäaineen täyttö .....	54
6.2 Koeajo .....	55
6.3 Suorituskyvyn testaus ja tulokset .....	55
7 YHTEENVETO.....	57
8 LÄHTEET.....	58
9 LIITTEET.....	61

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kylmäprosessin periaatteisiin ja etenkin henkilöauton ilmastointilaitteisiin ja niiden toimintaan. Aloite työhön tuli Oulun seudun ammattikorkeakoulun LVI-tekniikan opettaja Mikko Niskalalta. Koululla oli tarve saada lvi- ja autolaboratorion koulutuskäyttöön simulaattori auton ilmastointilaitteesta, jonka rakentaminen on opinnäytetyön merkittävin osa.

Tavoitteena oli rakentaa toimiva henkilöauton ilmastointilaitte Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön auto- ja lvi-laboratorion koulutuskäyttöön. Suunnitelmien lähtökohtana oli autotekniikan puolelle käyttämättä jäänyt kolariauton ilmastointilaitteisto, josta moottori oli otettu autolaboratorion testikäyttöön. Ilmastointilaitteen osat olivat vuosimalliltaan 2002 Peugeot 406 2.0l Hdi -henkilöautosta.

## 2 KYLMÄTEKNIIKAN HISTORIAA

1800-luvun lopulta vuoteen 1929 jäähdytyslaitteissa käytettiin kylmäaineina hiilidioksidia sekä myrkyllisiä kaasuja, kuten ammoniakkaa, metyylikloridia ja rikkidioksidia. 1920-luvulla sattuihin useita kuolemaan johtaneita onnettomuuksia metyylikloridin päästessä vuotamaan jääkaapeista. Kolme amerikkalaista yritystä, Frigidaire, General Motors ja DuPont, alkoivat kehittää vaarattomampia menetelmiä jäähdyttämiseen. (1.)

Vuonna 1928 Thomas Midgley ja Charles Franklin Kettering kehittivät aineen nimeltään freon. Freoni sisältää CFC-yhdisteitä (ChloroFluoroCarbons, suomeksi kloorifluorihili). Freoni on hajuton, väritön, palamaton ja korroosiota aiheuttamaton kaasu tai neste. Nykyään CFC-yhdisteiden käyttöä on rajoitettu sen aiheuttaman otsonikadon ja kasvihuoneilmiön vuoksi. (1.)

Vuoden 1995 alussa astui voimaan laki, joka kielsi CFC-kylmäaineiden valmistuksen, maahantuonnin sekä sillä toimivien laitteiden markkinoinnin ja myynnin. CFC-aineiden huoltokäyttö kiellettiin vuonna 2001. Osa vanhoista CFC-laitteistoista on muutettu toimimaan korvaavilla HCFC- ja HFC-kylmäaineilla ja niiden seoksilla (HydroChloroFluoroCarbon, HydroChloroFluoro). (2.) HCFC-aineita ovat esimerkiksi R22, R401, R402, R403, R408, R409 ja HFC-aineita ovat R134a, R404a, R407a, R410a, R507a (2).

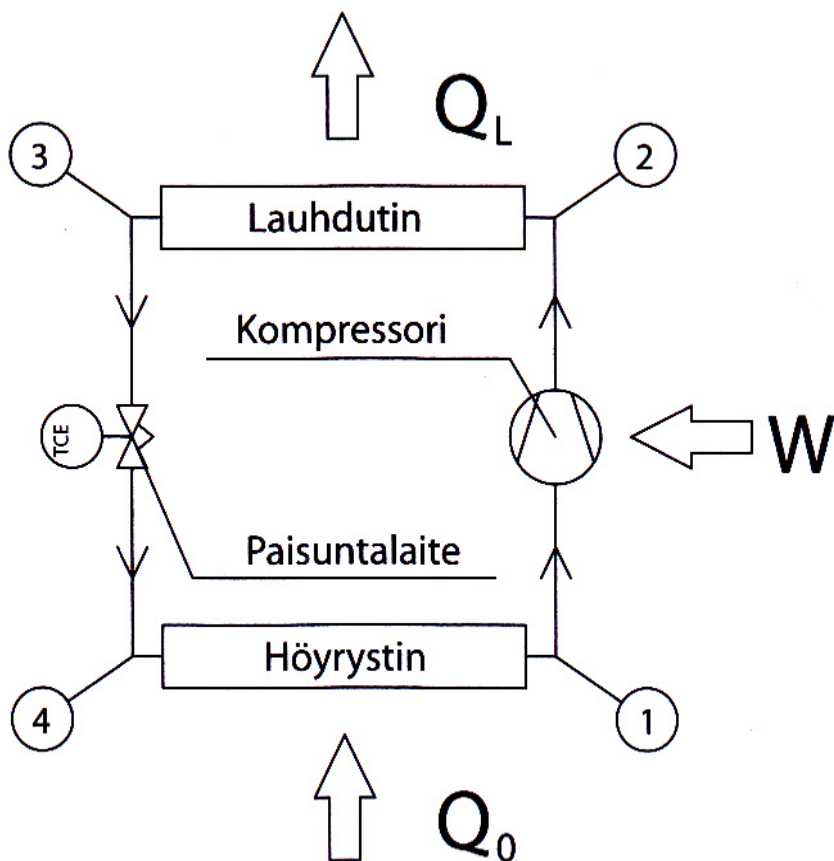
HCFC-kylmäainetta sisältävien laitteiden maahantuonti ja myynti kiellettiin 1.1.2000, ja uuden HCFC-kylmäaineen käyttö kiellettiin vuoden 2010 alussa. Kierrätettyä HCFC-ainetta saa käyttää saman omistajan laitoksissa vuoden 2014 loppuun. HFC-kylmäaineiden käyttö on sallittua tämänkin jälkeen. Ne eivät tuhoa otsonikerrosta, mutta niillä on voimakas kasvihuoneilmiötä aiheuttava vaikutus. (2.)

Tulevaisuuden kehityssuuntana ovat luonnonmukaiset kylmäaineet. Näitä aineita esiintyy luonnossa eivätkä ne ole kasvihuonehaitallisia tai niiden ilmastohaitallisuus on vähäinen. Luonnonmukaiset kylmäaineet jaetaan HC-kylmäaineisiin (hydro-carbon) eli puhtaisiin hiilivetyihin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. (3.)



### 3 KYLMÄPROSESSI

Yleisimmin jäähdytys saadaan aikaan kiertoprosessilla (kuva 1), jossa kiertävä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ja lauhtuu luovuttaen lämpöä. Höyrystin, lauhdutin, kompressori ja paisuntalaite ovat kylmäprosessin tärkeimmät komponentit.



KUVA 1. Kiertoprosessi (4, s. 10)

1. kylmäkaasu (matalapainepuoli)
2. kuumakaasu (korkeapainepuoli)
3. neste (korkeapainepuoli)
4. neste-höyryseos (matalapainepuoli)

Kylmäaine höyrystyy höyrystimessä matalassa paineessa, josta kompressori imee kylmän- ja matalapaineisen kylmäainehöyryn ja puristaa sen korkeampaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee. Kuuma höyry pumpataan lauhduttimeen, jossa se lauhtuu takaisin nesteeksi luovuttaen samalla lämpöä ympäristöön. Lauhduttimen jälkeen neste virtaa paisuntalaitteen läpi, jolloin sen paine ja lämpötila putoaa, ja se muuttuu neste-höyryseokseksi. (4, s. 10.)

### 3.1 Kylmäkerroin

Kylmäprosessin hyötysuhde, eli kylmäkerroin  $\varepsilon$  (kaava 1), lasketaan jakamalla höyrystimen sitoma lämpö kompressorin tekemällä työllä. (4, s. 10.)

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{W_k}$$

KAAVA 1.

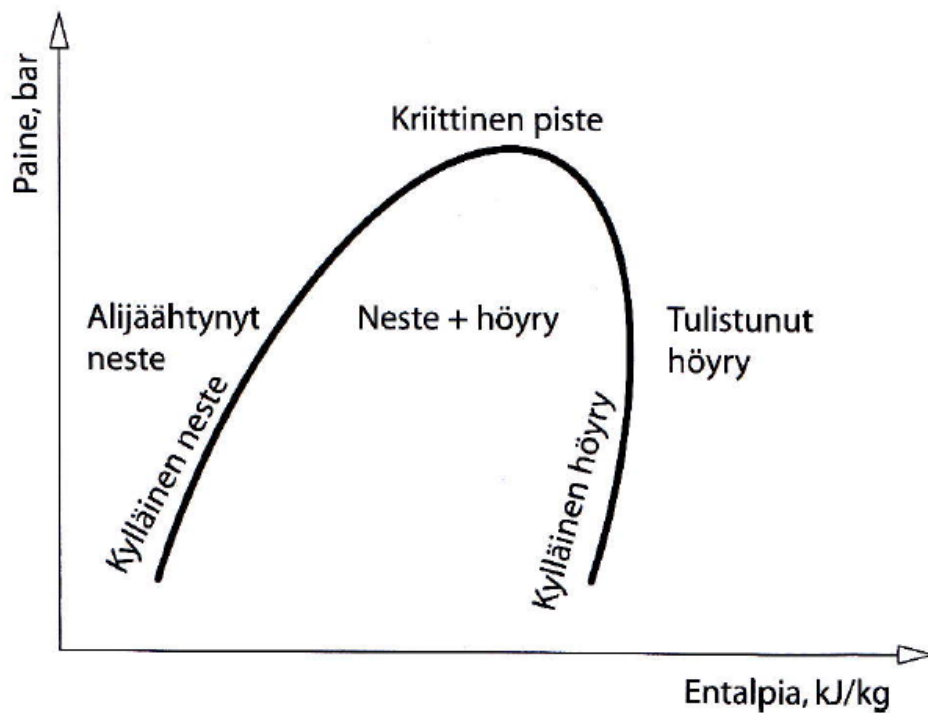
$\varepsilon$  = kylmäkerroin

$Q_0$  = höyrystimen sitoma lämpöenergia

$W_k$  = kompressorin tekemä työ

### 3.2 Log p, h-tilapiirros

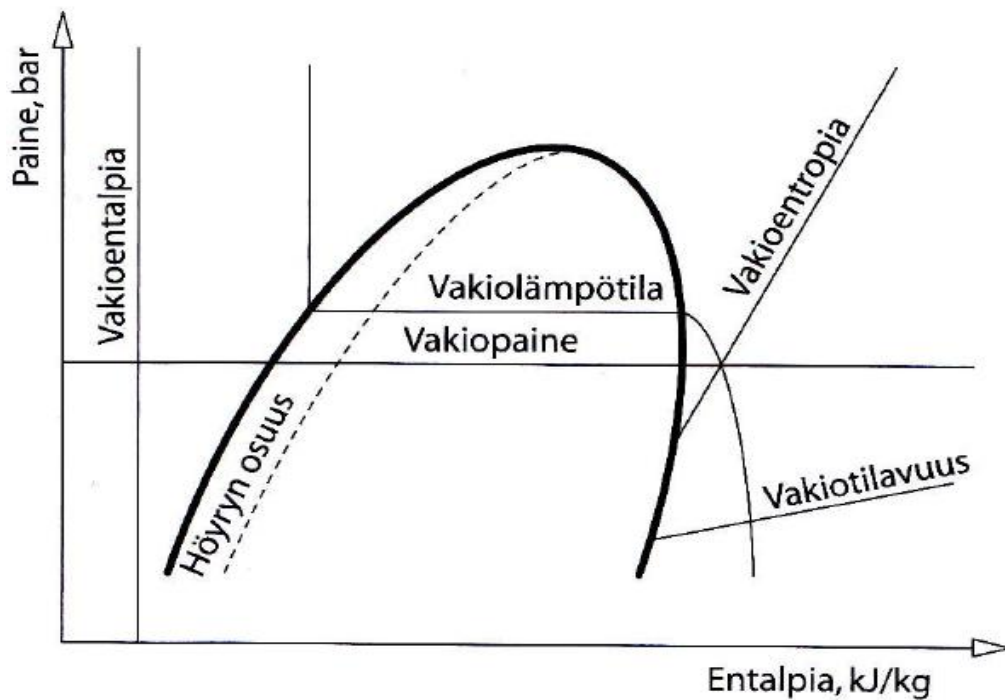
Kylmäaineen logaritminen paine-entalpiatilapiirros on tärkeä havainnointiväline arvioitaessa kylmäaineen ominaisuuksia. Tilapiirroksessa (kuva 2) vaakasuora asteikko on kylmäaineen entalpia ja pystysuora asteikko ilmaisee absoluuttisen paineen. Rajakäyrä määrittää kylmäaineen olomuodot. Kylläisen nesteen rajakäyrän vasen puoli on alijäähtynyttä nestettä, ja kylläisen höyryn oikealla puolella on tulistunutta höyryä. Rajakäyrien välisellä alueella on nestettä ja höyryä. Kriittisen pisteen yläpuolella kylmäainehöyry ei voi nesteytyä. (4, s. 11.)



KUVA 2. Kylmäaineen tilapiirros ja kylmäaineen olomuodot (4, s. 11)

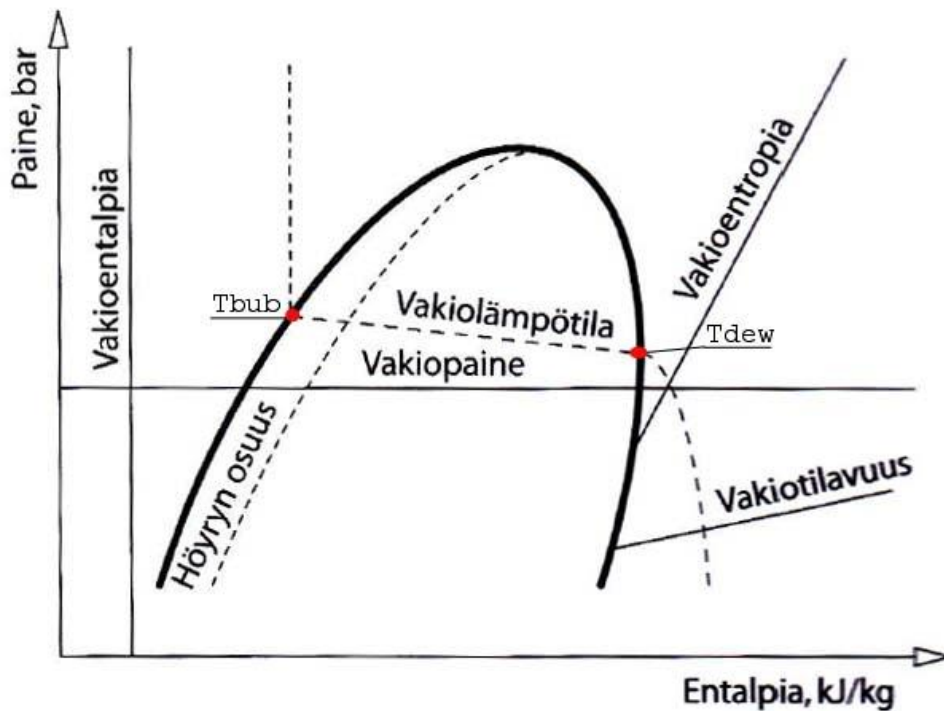
Log p, h-tilapiirroksessa voidaan esittää myös x-käyrät, jotka ilmoittavat höyryn osuuden massasta. Nesteen alueella isotermit, eli vakio­lämpötilakäyrät s, ovat lähes pystysuoria, joten niitä ei yleensä esitetä. (4, s. 11.)

Lämpötilan muutos on otettava huomioon järjestelmiä suunniteltaessa. Atseotrooppisilla kylmäaineseoksilla, esimerkiksi R507, ja yksikomponenttisilla kylmäaineilla, esimerkiksi R134a, höyrystyminen ja lauhtuminen tapahtuvat vakio­lämpötilassa, eli lämpötilaliukumaa ei ole. (Kuva 3.) (4, s. 11.)



KUVA 3. Atseotrooppisen kylmäaineen log p, h-tilapiirros (4, s. 11)

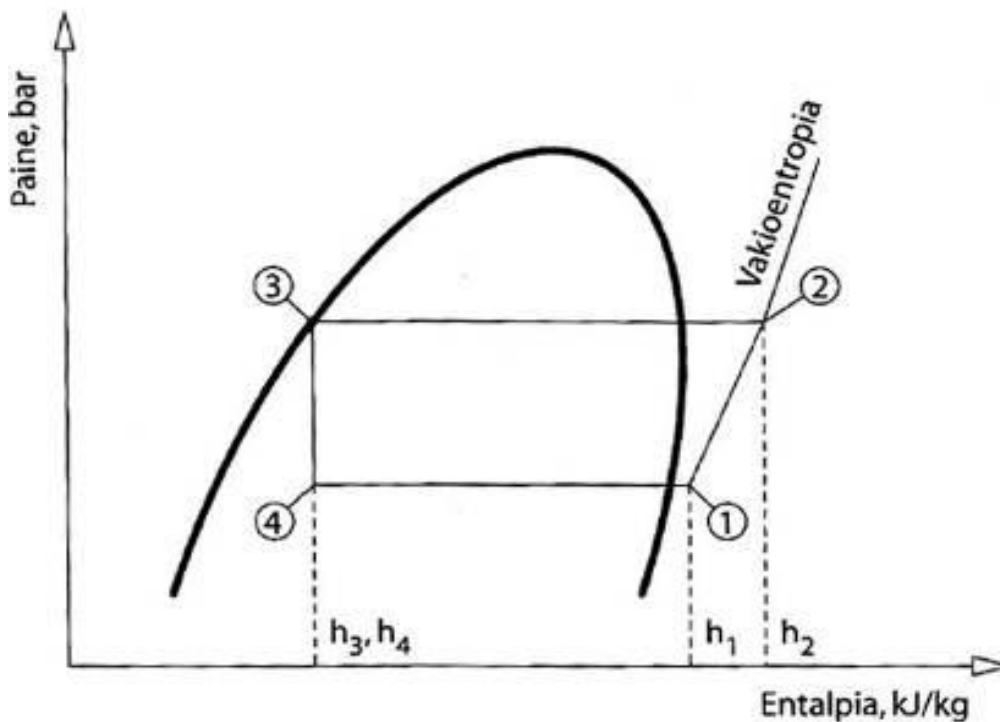
Tseotrooppisilla kylmäaineseoksilla, esimerkiksi R407C, on lämpötilaliukuma eli lämpötila muuttuu höyrystymisen ja lauhtumisen aikana, vaikka paine pysyy vakiona (kuva 4) (3, s. 11). Kylläisen nesteen lämpötilaa, eli pistettä, jossa ensimmäiset höyrykuplat ilmaantuvat vakiopaineessa, kuvataan  $T_{\text{bub}}$ -pisteellä.  $T_{\text{bub}}$ -piste tarkoittaa samaa kuin yksikomponenttisessa kylmäainessä höyrystymislämpötila. Kylläisen nesteen lämpötilapistettä, jota myös kutsutaan kastepisteeksi vakiopaineessa, merkitään  $T_{\text{dew}}$ -pisteellä.  $T_{\text{dew}}$ -pisteessä höyry alkaa lauhtua nesteeksi. (15.)



KUVA 4. Tseotrooppisen kylmäaineen log p, h-tilapiirros (4, s. 12)

### 3.3 Teoreettinen kylmäprosessi

Teoriassa kylmäprosessi on log p, h-tilapiirroksen (kuva 5) kaltainen. Kylmäaineen höyrystyminen ja vähäinen tulistuminen tapahtuu höyrystimessä vakioaineessa, joka on esitetty kuvassa 5 välillä 4 - 1. Tulistunut höyry imeetään ja puristetaan korkeampaan paineeseen kompressorilla ja samalla höyryn lämpötila nousee, kuvassa 5 välillä 1 - 2. Teoriassa isentrooppisessa puristuksessa ei oteta huomioon häviöitä, joten puristuskäyrä kulkee vakioentropiakäyrää pitkin. Lauhduksessa tulistus poistuu ja höyry lauhtuu nesteeksi sekä hieman alijäähtyy, kuvassa 5 välillä 2 - 3. Kylmäainenesteen paine putoaa paisuntalaitteessa, jolloin sen lämpötila laskee ja se muuttuu neste-höyryseokseksi, kuvassa 5 välillä 3 - 4. (4, s. 12.)



KUVA 5. Teoreettinen kylmäprosessi log p h-tilapiirroksessa (4, s. 12)

Entalpia-asteikolta (kuva 5) 4 - 1 voidaan lukea höyrystimen sitoma lämpöenergia  $Q_0$ . Väliltä 1 - 2 saadaan kompressorin tekemä työ  $W$ , joilla voidaan laskea kylmäkerroin  $\varepsilon$  (kaava 1, s.10), jos massavirta tunnetaan. (4, s. 12.)

## **4 HENKILÖAUTOJEN LÄMMITYS- JA ILMASTOINTILAITTEET**

Auton ilmanvaihto on tärkeä tekijä matkustajien turvallisuuden, matkustusmukavuuden ja kuljettajan ajokyvyn kannalta. Ohjaamolämpötilan nousu tai näkyväisyyden huonontuminen lasien huurtuessa ja jäätyessä voi aiheuttaa vaaratilanteita liikenteessä. Tämän vuoksi riittävän tehokas lämmitys- ja ilmastointilaitteisto on autossa lähes välttämätön. (11, s. 11.)

Henkilöautossa sisäilma lämmitetään auton moottorin tuottamalla hukkalämmöllä, jonka moottorin jäähdytysneste kuljettaa ilmanvaihtolaitteen lämmityskennoston läpi. Kennon läpi virtaava lämmin ilma puhalletaan matkustamoon sähkötoimisella puhaltimella. Matkustamon jäähdyttämiseen tarvittava kylmäteho tuotetaan kylmäprosessilla, jonka tarvitsema käyttöteho saadaan mekaanisesti autonmoottorista. (11, s. 13.)

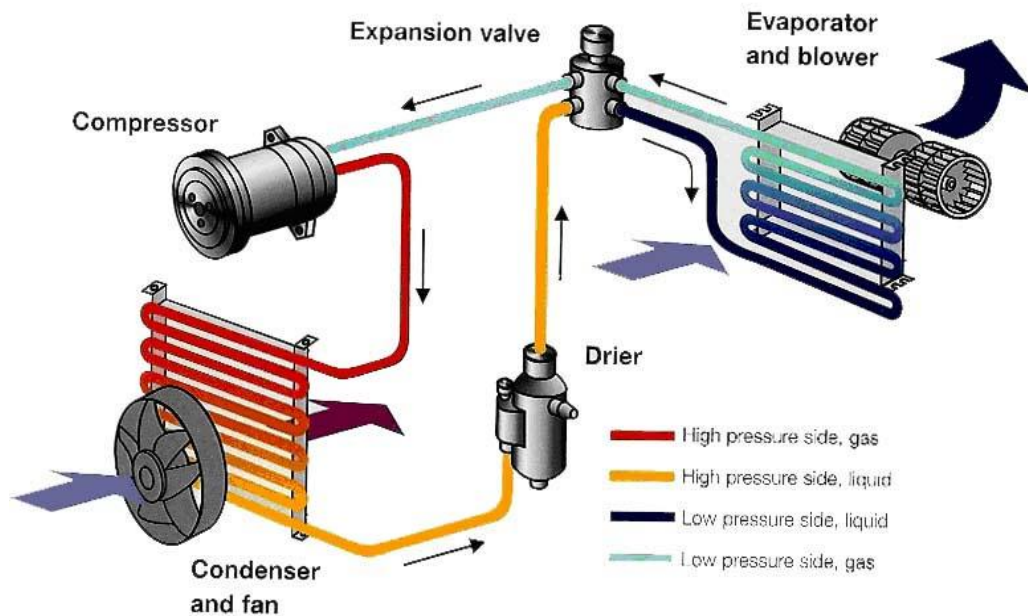
### **4.1 Lämmitys- ja tuuletuspuhaltimet**

Ilman siirtämiseen on yleisemmin käytetty sähkötoimista keskipakoispuhallinta. Ilma puhalletaan joko suoraan ulkoa tai lämmityskennon läpi. Auton sisätiloissa olevilla kohdistettavilla suuttimilla ilmavirta voidaan ohjata tarvittaviin osiin matkustamossa. (6, s. 109.)

Puhallinmoottorin pyörintänopeutta voidaan säätää portaittain tai jopa täysin portaattomasti. Portaallinen säätö toteutetaan yleensä vastusten avulla ja portaaton jännite säädöllä. Puhallinmoottorit ovat toimintaperiaatteeltaan kestopinnoitettuja- tai sivuvirtamoottoreita. Rakenteeltaan ne ovat vaikeasti korjattavia, joten vioittuneet komponentit on vaihdettava uusiin. (6, s. 109.)

## 4.2 Ilmastointilaitteet

Auton ilmastointijärjestelmän (kuva 6) kylmäainepiirin pääkomponentit ovat kompressor, puhaltimella varustettu lauhdutin, kuivain, paisuntalaite ja höyrystin. Kylmän tuotto tapahtuu, kuten kylmäprosessin perusteissa aikaisemmin selvitettiin. Kompressor puristaa kylmän kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi. Lauhduttimessa höyry lauhtuu nesteeksi, jonka paine ja lämpötila putoaa paisuntalaitteessa. Höyrystimen läpi puhallettava ilma höyrystää kylmäaineen ja virtaa viilentyneenä ohjaamoon.



KUVA 6. Auton ilmastointijärjestelmä (7)



## 4.2.1 Kompressorit

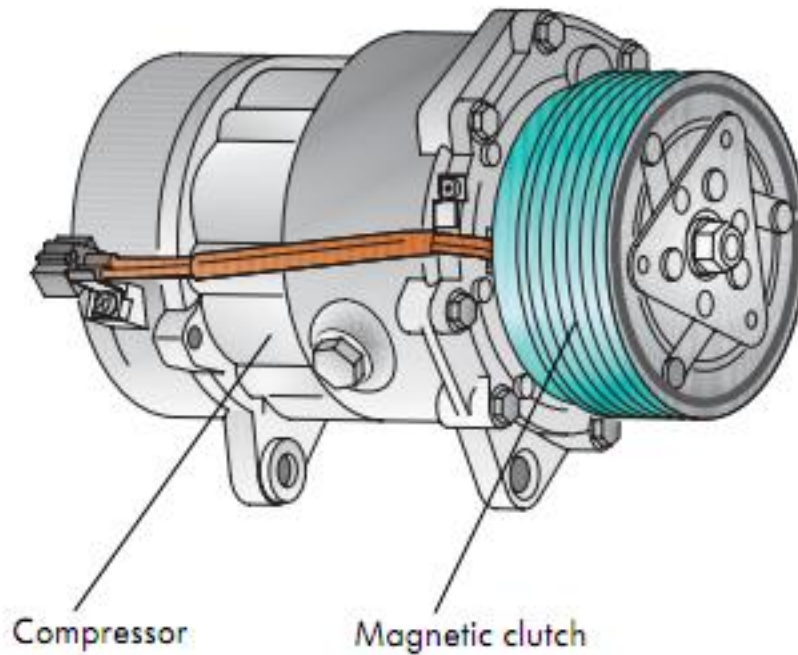
Kompressori on pumppu, joka kierrättää kylmäainetta ja voiteluöljyä järjestelmässä. Se imee matalapaineisen, kylmän kylmäainehöyryn ja puristaa sen korkeapaineiseksi, kuumaksi höyryksi, joka johdetaan painejohtoa pitkin lauhduttimeen. On tärkeää, ettei kylmäaine pääse nestemäisenä kompressoriin, sillä nestemäinen kylmäaine voi rikkoa venttiilit ja jopa männät, koska neste ei puristu kokoon. (6, s. 112.)

Ajoneuvojen ilmastointijärjestelmissä käytetään monenlaisia kompressorityyppejä. Paine voidaan tuottaa spiraali-, mäntä-, siipikenno- sekä vinolevykompressorilla (kuva 7). Nykyaikaisissa järjestelmissä on usein säätyvätilavuuksinen vinolevy- tai huojulevymäntäkompressori. (6, s. 112.) Uusimmissa autoissa voi olla jatkuvakäyntinen muuttuvatilavuuksinen kompressori. Siinä ei ole ollenkaan perinteistä magneettikytkintä, vaan vinolevyä säätämällä saadaan kompressorin toiminta säädettyä tarpeen mukaan, jopa pysäytettyä. Hybridi- ja sähköautoissa käytetään myös sähkötoimisia kompressoreja, joissa on integroitu sähkömoottori. (10.)



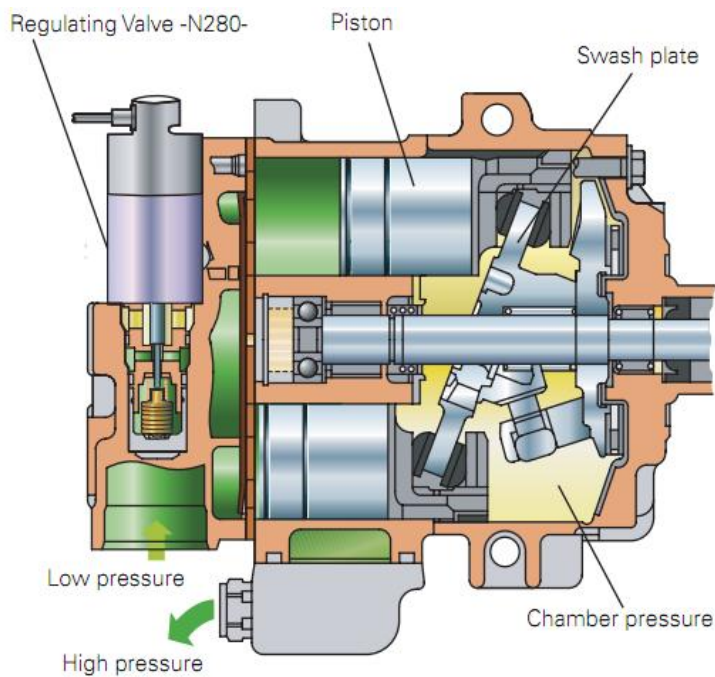
*KUVA 7. Vinolevymäntä-, siipi- ja spiraalikompressori (11, s. 25)*

Normaalisti auton ilmastointikompressorin (kuva 8) saa pyörintävoimansa hihnan välityksellä polttomoottorista ja tehon tarve on yleensä 7 - 12 kW. (8, osa 2, s. 30). Kompressorin kytkeytyminen pyörimään siinä olevan magneettikytkimen avulla, jota ohjaa ilmastointijärjestelmän automatiikka. Voitelun kompressorin saa kylmäaineöljystä, joka määräytyy järjestelmän ja kylmäaineen mukaan. (6, s. 114.)



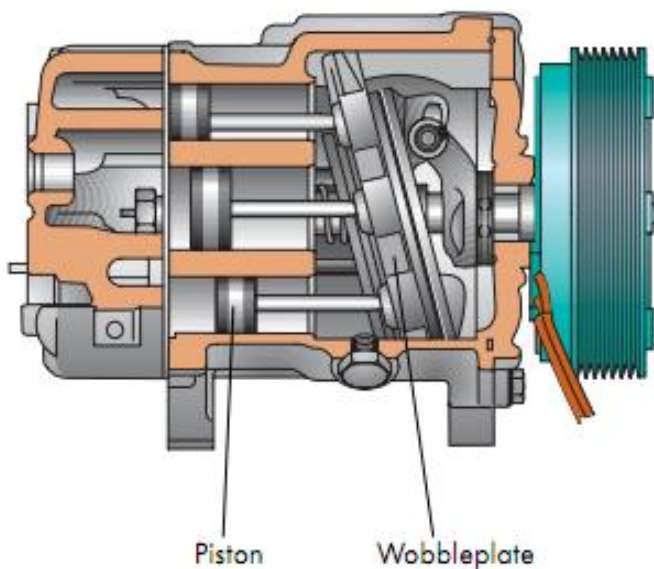
*KUVA 8. Kompressorin (9, s. 16)*

Kompressorityypeistä yleisimmät ovat vino- ja huojulevykompressorit. Kompressorissa on kolmesta kymmeneen mäntää ja se voi tyypiltään olla vakio- tai muuttuvatilavuuksinen. Vinolevykompressorissa mäntien edestakainen liike saadaan aikaan muuttamalla roottorin akselin pyörimisliike aksiaaliseksi käyttämällä vinolevyä. Männät laahaavat ohjauskengillä suoraan kiinni vinolevyssä (kuva 9). (6, s. 114.)



*KUVA 9. Muuttuvatilavuuksinen vinolevykompressori (21, s. 34)*

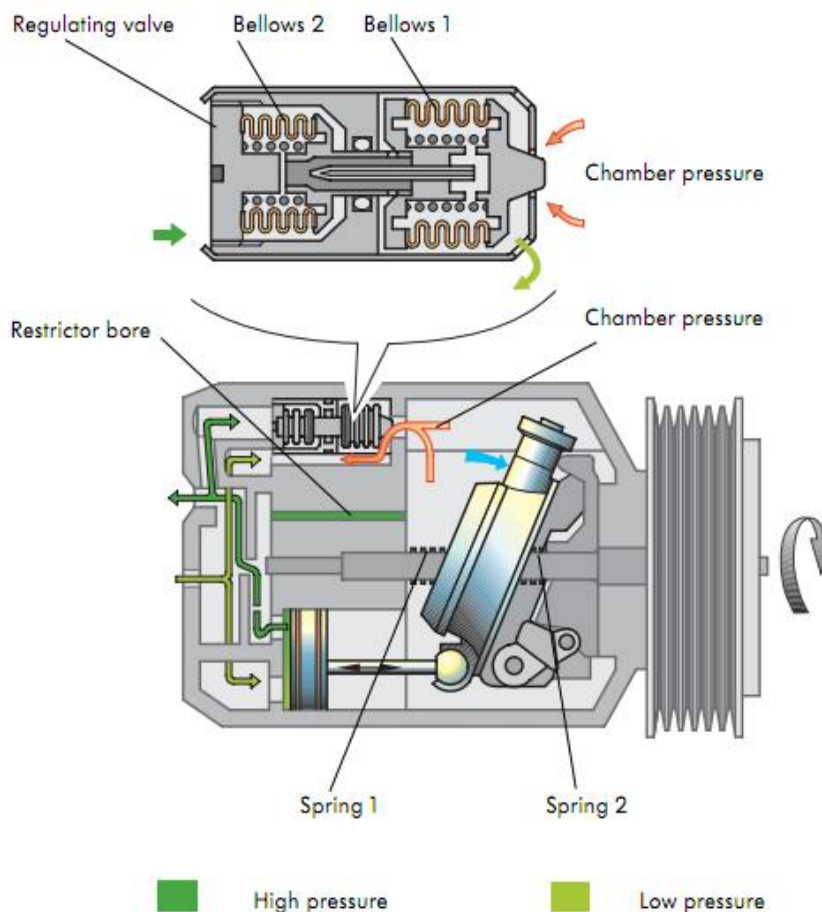
Huojulevymallisessa (kuva 10) rakenteessa mäntien liike välitetään työntötangoilla (6, s. 114).



*KUVA 10. Muuttuvatilavuuksinen huojulevykompressori (9, s. 17)*

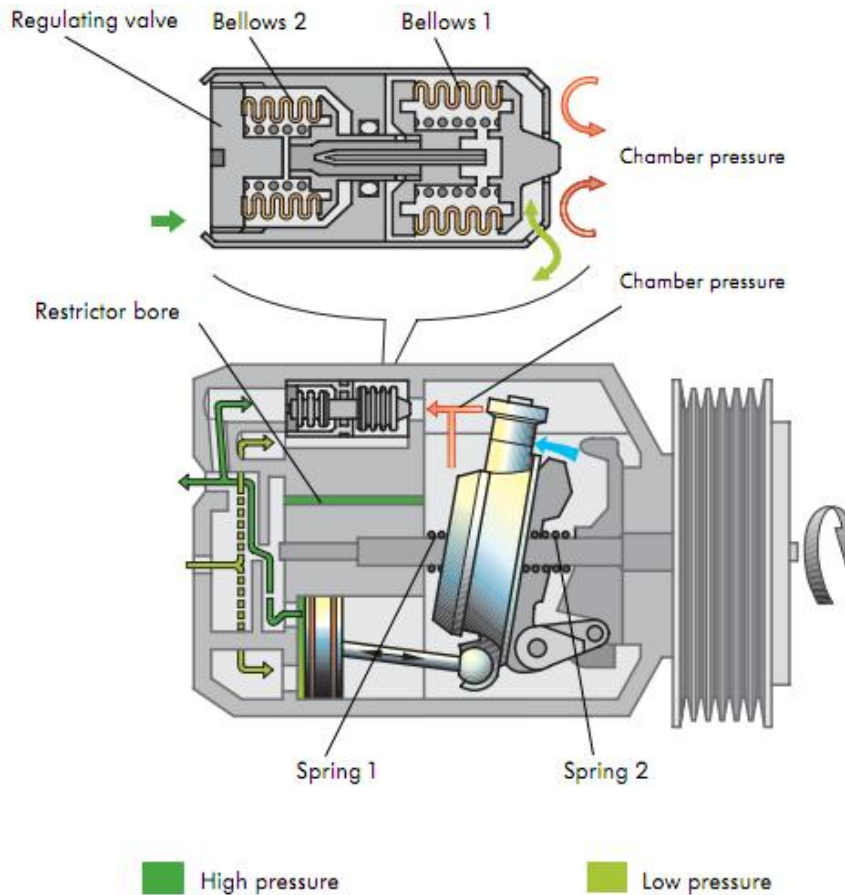
Kylmäaineen tilavuusvirta muuttuu mäntien iskunpituutta säätämällä, jolloin kompressorin kylmäteho saadaan vastaamaan käyttöolosuhteita. Muuttuvatilavuuksisessa kompressorissa vinolevyn kulmaa säättävät paine-ero mäntien eri puolilla, ja vinolevyn kulmaa ohjaavat jouset. Kun paine kammiossa nousee, painaa se mäntiä vastaan kammion puolelta ja näin pitää niiden iskupituutta lyhyempänä. Kammiopaineen pienentyessä jousivoima pääsee työntämään vinolevyä suurempaan kulmaan ja iskutilavuus kasvaa. (11, s. 26.)

Kammiopaine säädetään venttiilillä, josta on yhteydet imu- ja painepuolelle sekä kammioon. Kun lämpökuorma höyrystimellä kasvaa ja imupuolen paine nousee, venttiili päästää painetta kammioista imupuolelle (kuva 11). Pienentynyt kammiopaine sallii vinolevyn kulman kasvun, joka suurentaa kompressorin tilavuusvirtaa ja lisää jäähdytystehoa. (9, s. 19.)



KUVA 11. Tilavuuden säätö lämpökuorman lisääntyessä (9, s. 19)

Kun höyrystimen lämpötila laskee jäädytystarpeen vähentyessä ja paine imupuolella pienenee, sulkeutuu säätöventtiili (kuva 12). Porauksen kautta korkeapainepuolen paine vaikuttaa kammioon ja noussut kammiopaine pienentää vinolevyn kulmaa ja vähentää jäädytystehoa. (9, s. 20.)



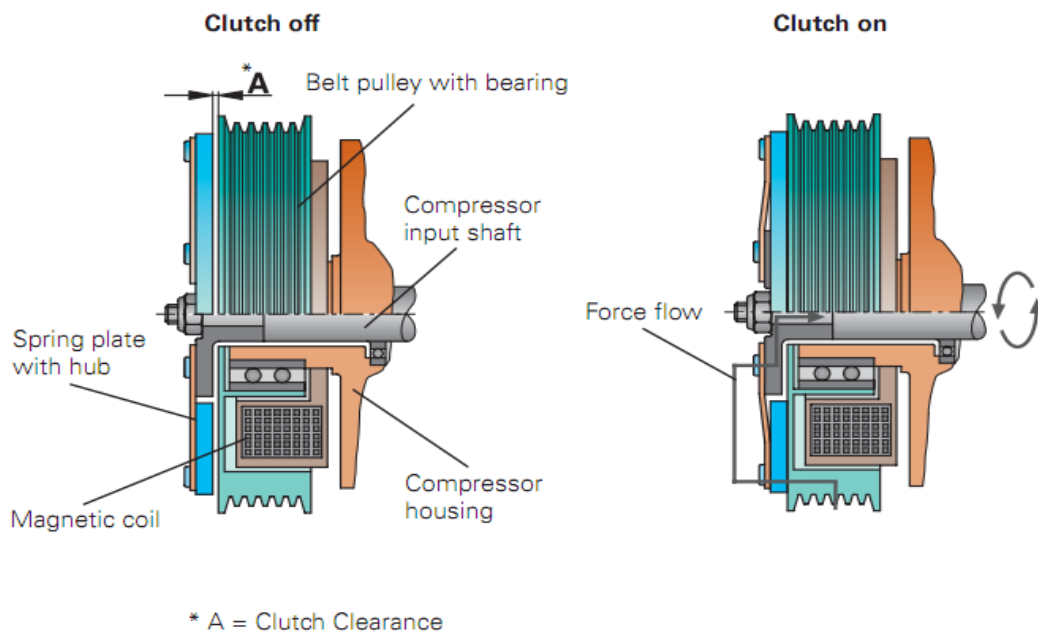
KUVA 12. Tilavuuden säätö lämpökuorman pienentyessä (9, s. 20)

Kompressorin säätöventtiili voi olla mekaaninen tai elektroninen. Mekaaninen venttiili on edullinen ja varmatoiminen, mutta sen säätökyky on rajallinen. Normaalisti mekaanista venttiiliä käytettäessä tuloilma joudutaan lämmittämään höyrystimen jälkeen, koska höyrystin jäädyttää ilman liian kylmäksi. Elektronista säätöventtiiliä käyttämällä voidaan säätää höyrystimen lämpötilaa sen sijaan, että höyrystinlämpötila säätäisi kompressorin iskutilavuutta. Elektronisesti säätävässä järjestelmässä voidaan vaikuttaa suoraan höyrystimen lämpötilaan ja näin välttyä jäädyttämästä ilmaa liikaa säästäen polttoainekuluissa. (17.)

Jatkuvakäyntisissä kompressoreissa elektronisella säädöllä voidaan pumpaus lähes pysäyttää, vaikka kompressorin pyöriminen on normaalisti. Tästä on etua etenkin talvella, jolloin perinteinen kompressorin on pysäytettynä ja höyrystimen tuottaa ilmankosteuden poistoa tarvittaisiin huurtuneiden ikkunoiden kuivattamiseen. Kompressorin käyttöikäkin pitenee, kun tiivisteet saavat voitelua läpi talven. (17.)

#### 4.2.2 Magneettikytkin

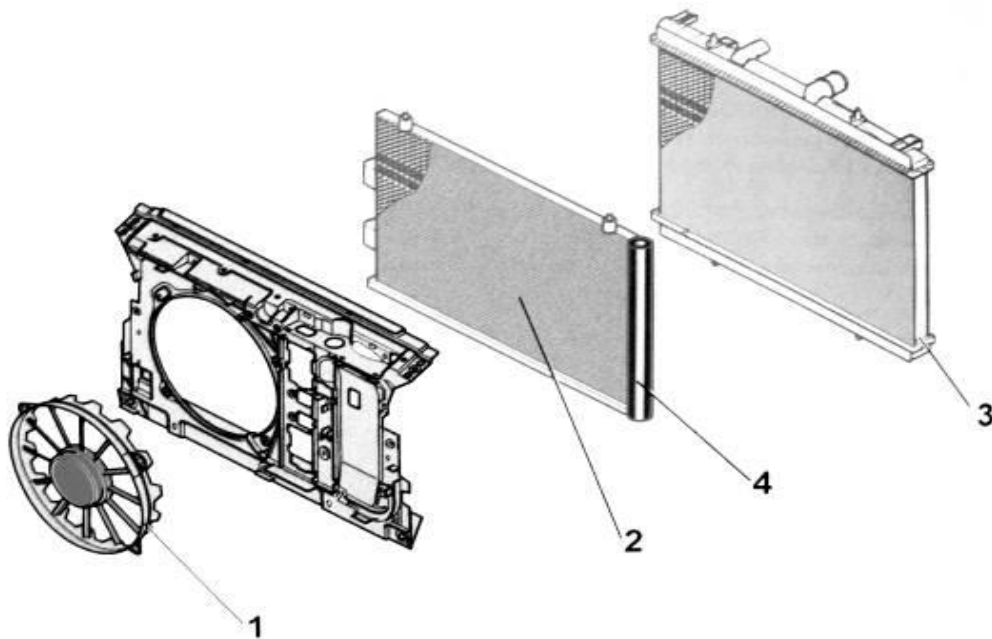
Magneettikytkimen tarkoitus on kytkeä kompressorin pyörimään ja näin käynnistää ilmastointijärjestelmän kylmäprosessin toimintaan. Kytkin (kuva 13) lukittuu, kun sen käämiin läpi kulkee sähkövirta. Käämiin syntyvä magneettikenttä vetää jousilevyn kiinni hihnapyörään. Kun virtapiiri katkeaa, levyjousen joustovoima irrottaa jousilevyn hihnapyörästä ja kompressorin pysähtyy. Hihnapyörä jää pyörimään vapaasti oman laakerointinsa varaan. (6, s. 115.)



KUVA 13. Magneettikytkimen rakenne ja toiminta (21, s. 57)

### 4.2.3 Lauhdutin

Lauhdutin (kuva 14) on toimintaperiaatteeltaan lämmönsiirrin. Korkeapaineinen, kuuma kylmäainehöyry lauhdutetaan takaisin nesteeksi lauhduttimessa, josta lämpö siirtyy ilmaan. Kompressorilta tuleva kuumakaasuputki on kytketty lauhduttimen yläosaan ja lauhdeputki, joka menee höyrystimeen kuivaimen kautta, lähtee lauhduttimen alaosasta. Lauhduttimen kennoston läpi virratessaan kuumakaasu lauhtuu nesteeksi. Pisteessä, jossa kaasu muuttuu nesteeksi, vapautuu suurin mahdollinen lämpömäärä. (6, s. 116.)



KUVA 14. Lauhduttimen sijainti (6, s. 116)

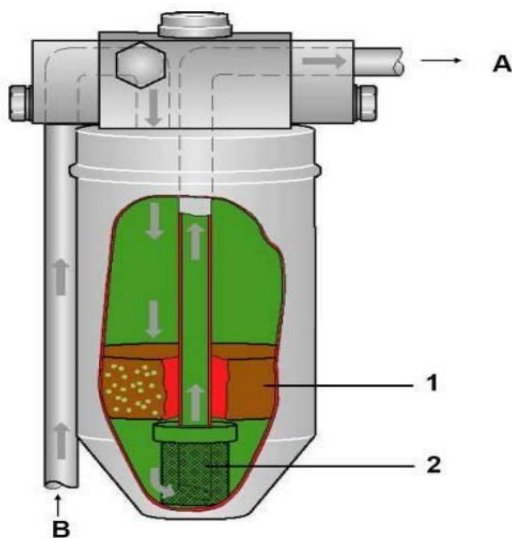
1. puhallin
2. lauhdutin
3. jäähdytin
4. kuivain

Lauhdutin on sijoitettu autossa moottorin jäähdyttimen eteen, saaden näin mahdollisemman tehokkaan jäähdytyksen. Lauhduttimeen on sijoitettu myös puhaltimet, jotka kytkeytyvät pyörimään ilmaston käynnistyttyä. Jos järjestelmässä on paineanturit, puhaltimet toimivat lauhdutinpaineen noustessa tarpeeksi korkeaksi. (6, s. 116.)



#### 4.2.4 Kuivainvaraaja

Kuivainvaraajan (kuva 15) tehtävänä on toimia varaajana kylmäainenesteelle ja sitoa kylmäaineeseen mahdollisesti päässyt kosteus ja epäpuhtaudet. Järjestelmään päässyt vesi voi muodostaa kylmäaineen kanssa korroosiota aiheuttavia yhdisteitä. Kosteutta poistaa silica-geelirakeet. Jos ilmastointijärjestelmä joudutaan avaamaan, täytyy kuivain yleensä vaihtaa uuteen. Uuden kuivaimen vaihdossa on huomioitava, että avonainen kuivain imee kosteutta ilmasta ja menee nopeasti pilalle. (6, s. 117.)



KUVA 15. Kuivainvaraaja (11, s. 40)

A. paisuntaventtiilille

B. lauhduttimelta

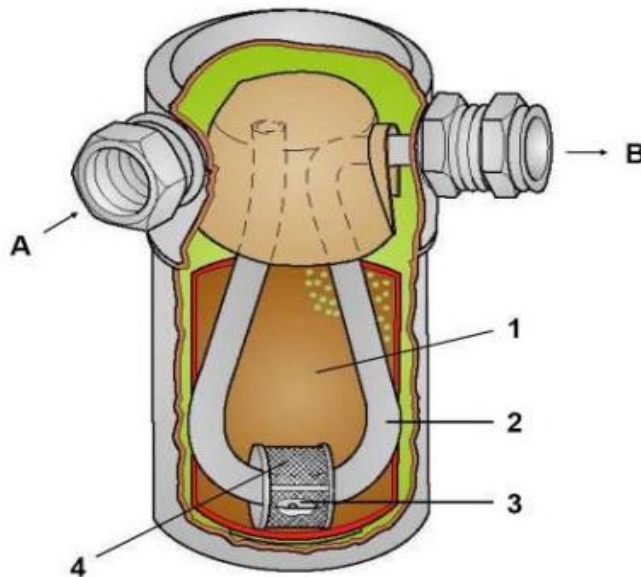
1. kuivain

2. suodatin

Laite on sijoitettu korkeapainepuolelle lauhduttimen ja paisuntalaitteen väliin. Joissakin järjestelmissä kuivain on lauhduttimen yhteyteen sijoitettu vaihdettava osa. Kuivaimen yhteydessä voi olla myös kosteudenilmaisin, joka vaihtaa väriä kosteuden noustessa. (6, s. 117.)



Jos järjestelmä on varustettu paisuntaventtiilin sijaan kuristimella, on kuivainvaraaja (kuva 16) sijoitettu höyrystimen ja kompressorin väliin. Tällöin kuivaimen tehtävänä on kosteuden poistamisen lisäksi estää mahdollisten kylmäainenestepisaroiden pääsy kompressoriin. (6 s. 117.)



*KUVA 16. Kuristinventtiilijärjestelmän kuivain (11, s. 41)*

*A. höyrystimeltä*

*B. kompressorille*

*1. kuivain*

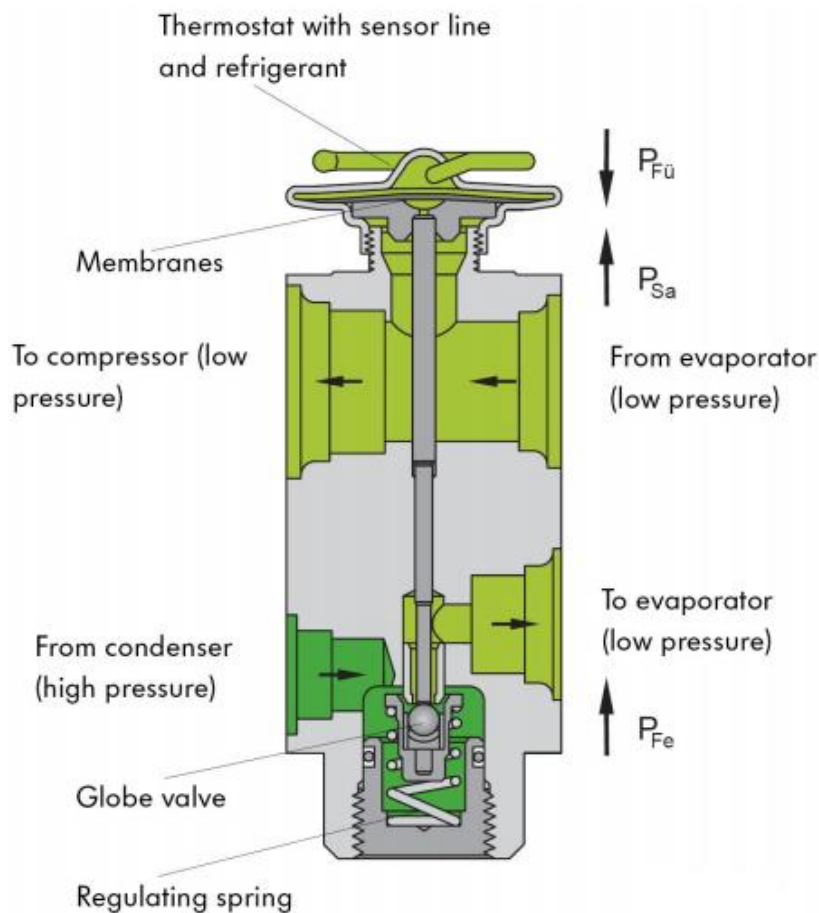
*2. U-putki*

*3. porauskylmäaineöljylle*

*4. suodatin*

#### **4.2.5 Paisuntaventtiili**

Paisuntaventtiili sijaitsee nestelinjassa ja on yleensä höyrystimen yhteydessä. Sen tehtävä on säädellä höyrystimelle virtaavan kylmäaineen määrää. Paisuntaventtiileitä on erilaisia: sisäisellä ja ulkoisella paineen tasauksella sekä H-tyyppisiä, joita tässä käsitellään (kuva 17). Perinteisesti toiminta on mekaaninen, mutta joissakin tapauksissa käytetään elektronisia paisuntaventtiileitä. (11, s. 42.)

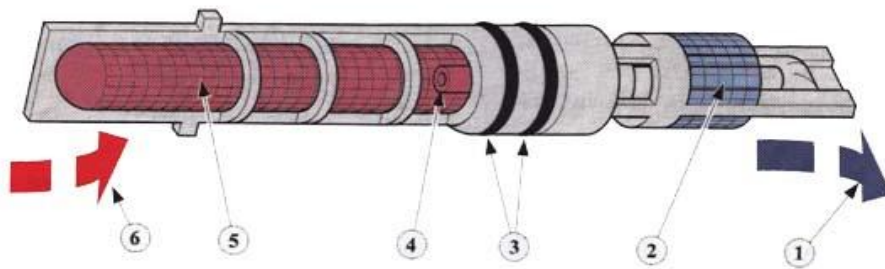


KUVA 17. H-mallisen paisuntaventtiilin poikkileikkaus (9, s. 24)

Kylmäaineen ruiskutukseen vaikuttaa höyrystimeltä lähtevän kylmäkaasun lämpötila ja paine, jotka muuttuvat eri kuormitusolosuhteissa. Kun kylmäaine tulistuu höyrystimessä lämpökuorman kasvaessa, laajenee termostaatissa oleva erikoiskaasu kohonneen lämmön vaikutuksesta, ja avaa nestepuolen kuulaventtiiliä kalvon ja työntötangon välityksellä. Tulistuksen vähentyminen höyrystimen ulostulopuolella saa termostaatin kaasun tilavuuden pienene- mään ja kalvon taipumaan takaisin ja sulkemaan kuulaventtiiliä. Näin paisun- taventtiili säättää tulistusta ja samalla höyrystimen jäähdystehoja vastaa- maan kuormitusta. Koska paisuntaventtiili säätyy lämmön vaikutuksesta, tulee se lämpöeristää ulkopuolisen lämmön vaikutukselta. (6, s. 118.)

## 4.2.6 Kuristin

Kuristin (kuva 18) on yksinkertainen sovellus paisuntaventtiilistä. Se pudottaa kylmäainenesteen paineen, mutta se ei mukaudu muuttuvaan kuormitukseen, vaan on mitoitettu järjestelmän täydelle teholle. Kylmäainevirta riippuu paineesta ja kuristimen porauksesta. Kuristimessa on myös sihdit, jotka suodattavat epäpuhtauksia. Laite on sijoitettu kuten paisuntaventtiili, lauhduttimen ja höyrystimen väliin. (7, osa 2, s.12.)



KUVA 18. Kuristin (6, s. 119)

1. matalapaineinen neste/sumu
2. ja 5. sihti
3. tiivisteet
4. kuristinputki
6. korkeapaineinen neste

Koska kuristin ei säädi virtausta, voi lämpökuorman pienentyessä liika kylmäaine tulla höyrystimestä nestemäisenä. Kompressoriin joutuessaan neste voi aiheuttaa vaurion. Kuristinjärjestelmässä tämä on ratkaistu sijoittamalla imulinjaan kuivain (kuva 16. s. 25), joka toimii myös pisaranerottajana. (11, s. 44.)

Jotta jäähdytysteho olisi kuormituksen mukainen, kuristinventtiilijärjestelmän käyntiä on syklitettävä. Toimintaa ohjataan imupuolelle sijoitetulla painekytkimellä. Jos lämpökuorma höyrystimellä vähenee, laskee paine imupuolella ja kompressori pysähtyy. Lämpökuorman lisääntyessä toiminta on päinvastainen. (11, s. 44.)

#### 4.2.7 Höyrystin

Höyrystin (kuva 19) sijaitsee ilmastointilaitteen ilmanjakoyksikössä. Höyrystimeen paisuntaventtiilin läpi virrannut matalapaineinen ja nestemäinen kylmäaine kiehuu ympäristöä matalammassa lämpötilassa, kiehumislämpötila voi olla jopa  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Höyrystyessään kylmäaine jäädyttää höyrystimen läpi ohjaamoon puhallettavan ilman. (6, s. 120.) Auton höyrystimen lämpötila pyritään pitämään kuitenkin yli  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ :n kondenssiveden jäätyksen estämiseksi (9, s. 34).



*KUVA 19. Höyrystinkenno ja paisuntaventtiili (14)*

Kesäkuumalla saattaa auton alle tippua vettä. Tämä ei johdu kuitenkaan rikkoontumisesta, vaan on ilmastointijärjestelmän ominaisuus. Höyrystimen pintalämpötila on yleensä alle kastepisteen, jolloin ilmassa oleva kosteus kondensoituu höyrystimen pintaan ja valuu poistoputkea pitkin maahan. Kivunut ilma poistaa tehokkaasti huurteen ikkunoista ja parantaa viihtyvyyttä matkustamossa. Kostea höyrystimen pinta myös sitoo ilman epäpuhtauksia raitisilmasuodattimen lisäksi. (6, s. 120.)

#### 4.2.8 Kylmäaineet

1990-luvun puoleen väliin autojen kylmäaineena käytettiin CFC-yhdiste R-12. Se oli erittäin toimiva, mutta se kiellettiin maapalloa suojelevaa otsonikerrosta tuhoavan kloorin vuoksi. Korvaavaksi aineeksi tuli hieman ominaisuuksiltaan heikompi R-134a, joka on HFC-yhdiste. R-134a ei sisällä klooria, joten siitä ei ole haittaa otsonille, mutta se on kuitenkin voimakas kasvihuonekaasu ja siitä pyritään luopumaan. R134a poistuu vaiheittain Euroopan alueelta vuoden 2011 alusta lähtien, ja vuoteen 2017 mennessä Yhdysvalloista. (11, s. 46.)

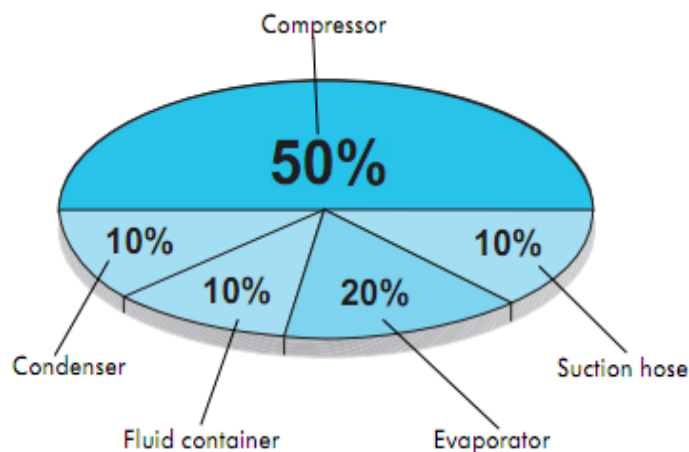
Kylmäaineiden haitallisuutta ilmastolle arvioidaan GWP-arvolla (global warming potential), joka kertoo aineen vaikutuksesta ilmaston lämpenemiseen 100 vuoden aikana. Vertailukohtana on 1 kilogramma hiilidioksidikaasua, jonka GWP-arvo on 1. R-134a:lla GWP-arvo on 1 300. Vuoden 2017 jälkeen ajoneuvojen kylmäaineiden GWP-arvo ei saa ylittää 150. (11, s. 46.)

Vanhan kylmäaineen, R-744:n, eli hiilidioksidin, ajateltiin tulevan korvaamaan ilmastolle haitalliset aineet. Se on luonnolle haitaton, eikä sitä tarvitse ottaa talteen. Muutamalla valmistajalla on hiilidioksidisovelluksia, esimerkiksi ajoneuvon ilmastointilaite toimii myös lämpöpumppuna, jolloin moottorin lisälämmitintä ei tarvitse. R-744:n käyttöön liittyy kuitenkin ongelmia: sen toimintapaineet ovat korkeat ja vaativat kestävä, painavat ja kalliit komponentit. Tekniikkakaan ei ole vielä tarpeeksi kehittyntä yleisempään käyttöön. (11, s. 46.)

Tavoitteena on kehittää kylmäaine, jota käytetään yleisesti kaikissa ajoneuvoilmastoinneissa. Näyttää siltä, että markkinat valtaa kylmäaine R-1234yf. Sen GWP-arvo on 4, mutta koko elinkaareen suhteutettuna haitallisuus on pienempi kuin hiilidioksidin. R-1234yf on luokiteltu lievästi syttyväksi, mutta testeissä se on todettu turvalliseksi käyttää polttomoottoriajoneuvoissa. Sähköautoissa syttyvyys on kuitenkin huomioitava korkeiden sähköjännitteiden vuoksi. Kylmäominaisuudet ovat lähellä R-134a:ta, joten siirtyminen uuteen aineeseen ei vaadi suuria muutoksia. (11, s. 47.)

#### 4.2.9 Kylmäaineöljyt ajoneuvoissa

Voiteluöljyn tehtävä ilmastointijärjestelmässä on voidella kompressoria ja tiivisteitä. Järjestelmän rakenteen vuoksi öljyä on aina kylmäainekierrossa (kuva 20). Kielletyn kylmäaineen R-12:n kanssa käytettiin mineraalipohjaisia voiteluöljyjä, joka aiheutti ongelmia siirryttäessä R-134a kylmäaineeseen. R-134a vaatii synteettisen voiteluöljyn, joka ei toimi mineraalipohjaisten öljyjen kanssa. (11, s. 45.)



KUVA 20. Voiteluöljyn jakaantuminen järjestelmässä (9, s. 11)

PAG eli synteettinen polyalkyleeniglykoliöljy on yleisin valmistajien suositteleva voiteluöljy R-134a järjestelmiin. Sitä käytetään järjestelmissä, joissa vaaditaan hyvää öljyn sekoittumista kylmäaineeseen. Sen ominaisuuksiin kuuluu suuri kosteuden hygroskooppisuus, mikä tulee ottaa huomioon aineen käsittelyssä. Kupari ei sovellu käytettäväksi PAG-öljyn kanssa, koska se aiheuttaa voimakasta kuparoitumista. (4, s. 27.)

POE eli synteettiset polyoliesteripohjaiset öljyt, ovat myös voimakkaasti hygroskooppisia. Niiden ensisijainen käyttökohde on kiinteät HFC-kylmälaitokset. (4, s. 27.) POE-öljyt toimivat R-12 ja R-134a kylmäaineilla ja sietävät hieman sekoittumista mineraaliöljyyn. Tästä syystä sitä onkin käytetty ajoneuvoissa, joissa on tehty kylmäainemuutos R-12:sta R-134a:han (16.)

#### **4.2.10 Epäpuhtaudet järjestelmässä**

Lian ja kosteuden pääsy kylmäainekiertoön tulisi pyrkiä estämään. Järjestelmään päässyt kosteus yhdessä kylmäaineen kanssa muodostaa syövyttäviä happoja, jotka syövät ja kuluttavat komponentteja sekä irrottavat pieniä partikkeleja. Hiukkaset taas kuluttavat liikkuvia osia ja tukkivat ahtaimpia paikkoja, kuten paisuntaventtiili ja kuristin. Vesi voi myös jäätyä paisuntaventtiiliin aiheuttaen toimintahäiriöitä. (18.)

Ilmastoinnin huolto suositellaan tehtäväksi 2 - 4 vuoden välein. Huollossa tarkistetaan kylmäainemäärä, paikallistetaan mahdolliset vuodot, kuivataan järjestelmä tekemällä se alipaineiseksi ja koekäytetään laitteisto. (19.) Kuivain on tärkeä osa ilmastointijärjestelmässä, ja se tulisi vaihtaa uuteen huollossa ja aina silloin, kun laite on ollut avoinna (21, s. 44).

#### **4.2.11 Ilmastoinnin ohjaus**

Ajoneuvojen ilmastointijärjestelmät toimivat erittäin vaihtelevissa olosuhteissa, jonka vuoksi ohjausyksikköön on liitetty monia järjestelmän toimintoja valvovia antureita (kuva 21), joiden perustella kompressorin käyntiä ohjataan. Ilmastointi voi kytkeytyä pois toiminnasta varotoimenpiteenä tai auton parempaa suorituskykyä vaativissa tilanteissa. Koska ilmastoinnin tehontarve on suhteellisen suuri, voi se kytkeytyä pois myös tarvittaessa lisätehoa, esimerkiksi kaasupolkimen ollessa täysin pohjassa. (21, s. 52)







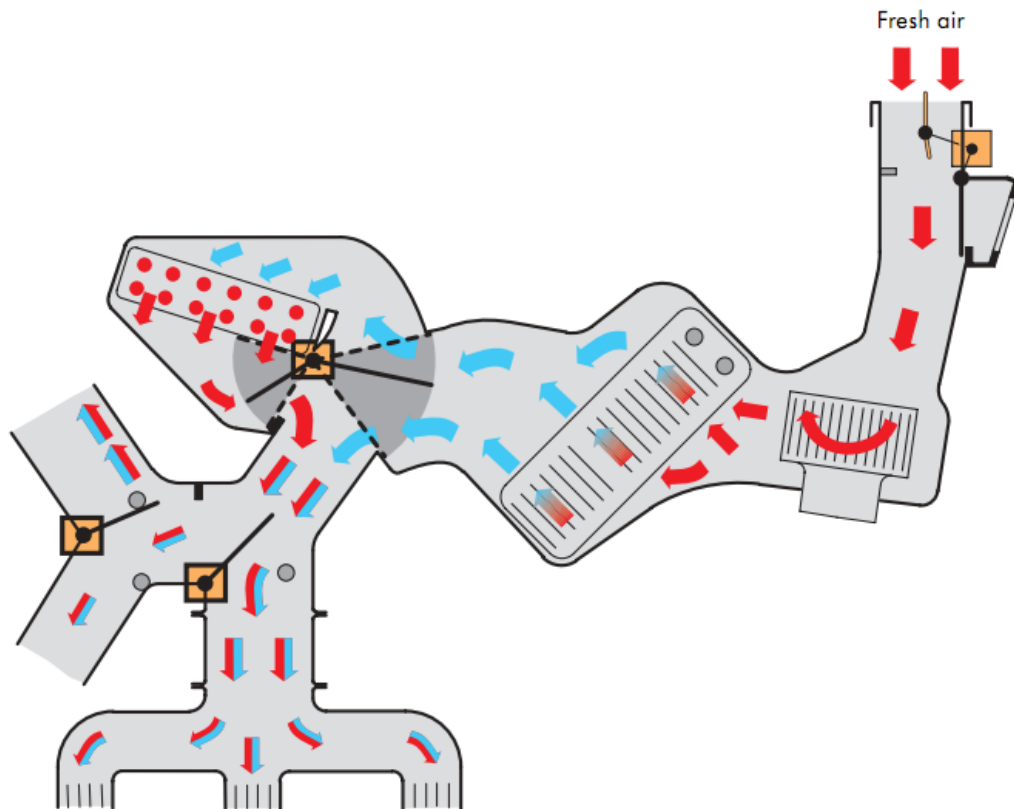
Lämpötiloihin on myös liitetty varotoimenpiteitä. Kompressorilla ei voi käynnistyä, jos ulkolämpötila on alle 5 °C, koska alhainen lämpötila saattaa aiheuttaa kylmäaineen nesteytymistä kompressorissa. Jos höyrystimen lämpötila laskee alle 0 °C, kompressorilla pysähtyy estäen kondenssiveden jäätyksen höyrystimen pintaan. Tätä toimintoa käytetään vakioilavuudella kompressorilla varustetussa järjestelmässä. Moottorin jäähdytysnesteen lämmetessä liikaa ilmastoinnin pois kytkeminen vähentää moottoriin kohdistuvaa kuormaa. (21, s. 56.)

#### **4.2.12 Manuaalinen ilmastointi**

Manuaalisessa ilmastointijärjestelmässä ei ole ohjausjärjestelmää, joka pyrkisi pitämään matkustamon olosuhteet automaattisesti sopivina ja reagoisi muuttuneisiin olosuhteisiin. Sääto tapahtuu kuljettajan toimesta, joka tekee muutoksen lämpötilaan, puhallusnopeuteen ja -suuntaan. Ohjauspaneelista sääto välitetään esimerkiksi vaijereiden avulla. Manuaaliset järjestelmät ovat alkaneet vähentyä uusista autoista, koska automaattiset järjestelmät eivät ole enää niin kalliita ja niiden käyttömukavuus on parempi. (11, s. 62)

#### **4.2.13 Automaattinen ilmastointi**

Olosuhteiden muuttuessa automaattinen ilmastointijärjestelmä pyrkii pitämään matkustamon lämpötilan asetetussa säätämällä puhallusnopeutta, puhallussuuntaa ja tuloilmanlämpötilaa. Se on huomattavasti miellyttävämpi käytössä kuin manuaalisäätöinen ilmastointijärjestelmä. Ilmanohjausläpät ovat yleensä moottoritoimisia ja ohjauspaneelin painikkeet elektronisia. Tuloilmanlämpötilaa säädetään sekoittamalla höyrystimen kautta tulevaa viileää ilmaa ja lämmintä ilmaa, joka virtaa lämmityskennon läpi (kuva 22). (11, s. 66.)



*KUVA 22. Tuloilman lämpötilansäätö (20, s. 55)*

Automaattinen säätö vaatii useita eri mittaustietoja, esimerkiksi sisäilman lämpötila mitataan mahdollisesti useista kohdista. Lisäksi järjestelmissä voi olla aurinkotunnistin, kosteusanturi ja ilman epäpuhtauksia mittaava-anturi. Monialueilmastoinnilla voidaan lämpötilaa säätää istuinpaikkakohtaisesti. Tällöin ilmanjakoyksikössä on säädettävät läpät eri alueille johtavissa kanavissa sekä omat lämpötila-anturit matkustamon eri osissa. (11, s. 67)

## **5 ILMASTOINTILAITTEEN SUUNNITTELU JA RAKENTAMINEN**

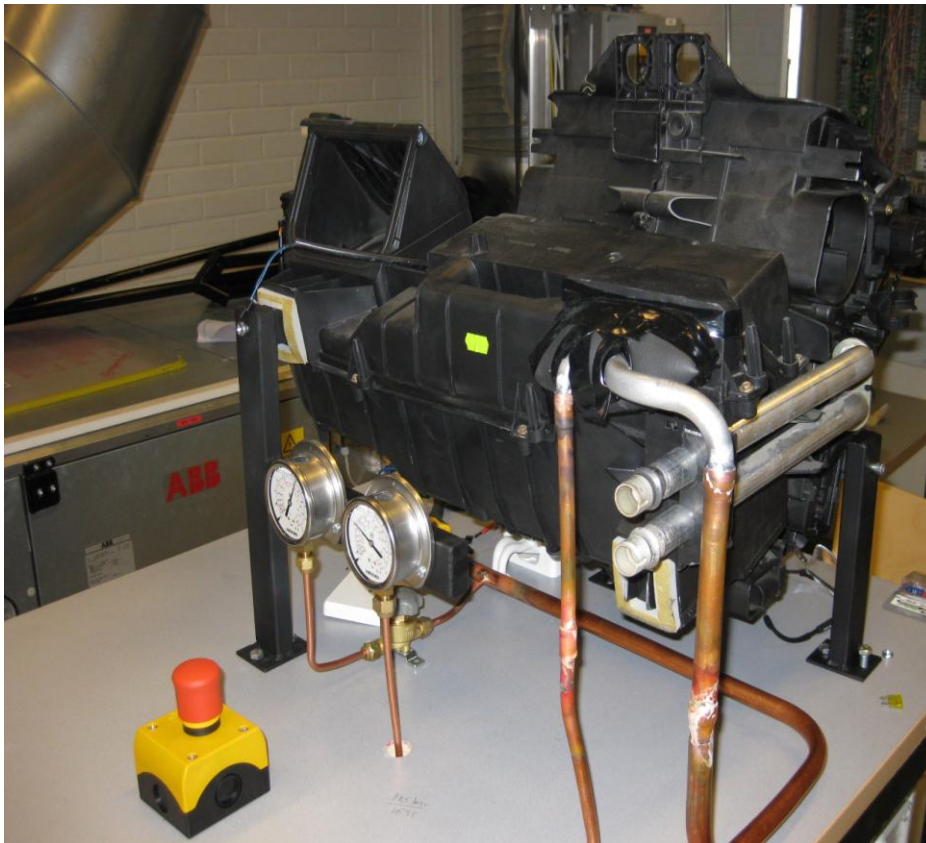
### **5.1 Suunnitelma**

Laite rakennetaan pyörillä kulkevaan runkoon, jossa on kaksi tasoa. Ylätasolle tulee ilmanohjausyksikkö ja höyrystin. Alatasolle sijoitetaan lauhdutin puhaltimiseen, kompressori, jota pyöritetään kolmivaihe sähkömoottorilla, sekä taajuusmuuntaja. Kaapelivetojen lyhentämiseksi myös sähkökeskus asennetaan alatasolle.

Laite ohjataan päälle kytkimestä, ja kylmäprosessi toimii itsenäisesti, kuten perinteisessä kylmäkoneessa. Kompressori käynnistyy magneettikytkimellä, jota tarvittaessa ohjaa kaksoispainekytin. Lauhduttimen puhallin ohjataan käyntiin myös painekytimellä. Moottorin kierrosnopeutta voidaan säätää taajuusmuuntajaan kytketyllä potentiometrillä, jolloin voidaan simuloida auton moottorin kierrosvaihtelua. Ilmanjakeluyksikön toimintoja ohjataan auton ilmastoinnin säätöyksiköllä.

## 5.2 Komponentit

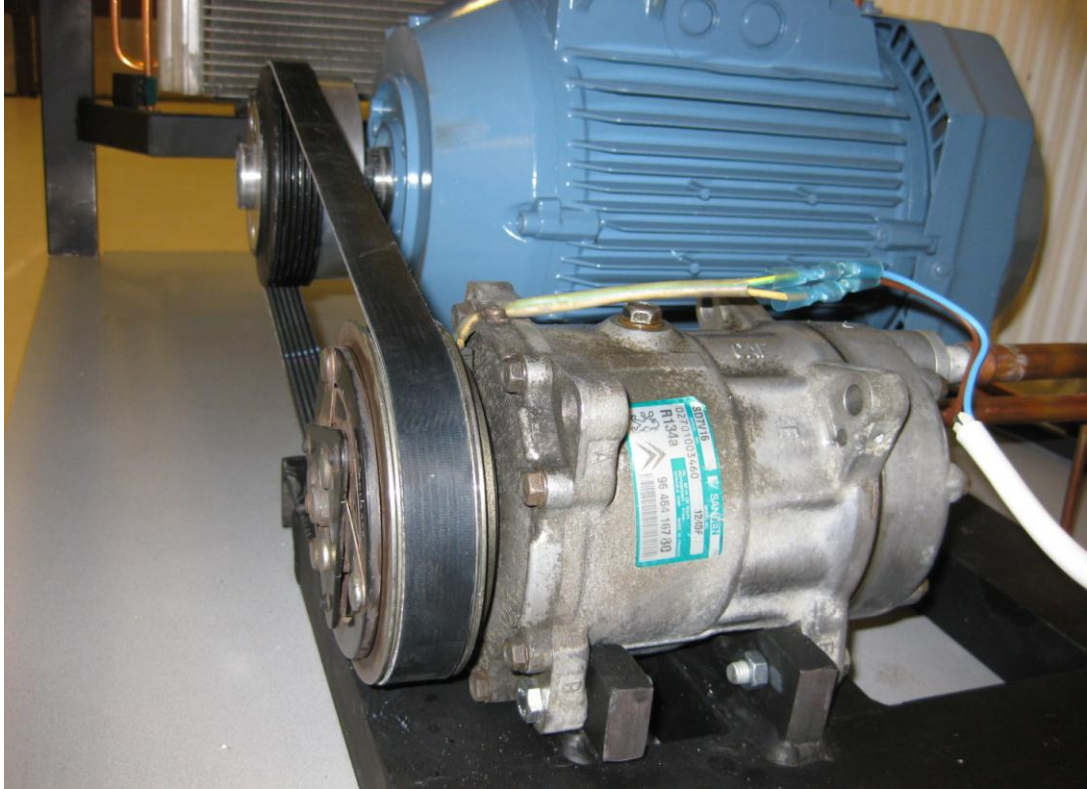
Automaatti-ilmastoinnin ilmanjakeluyksikön (kuva 23) on valmistanut Valeo. Yksikkö on auton ilmanvaihtojärjestelmän keskeisin komponentti. Siihen on integroitu puhallin, lämmityslaitteen kenno, ilmastoinnin höyrystin paisunta-venttiilin kanssa, ilmavirtaa ohjaavat säätöläpät moottoreineen ja lämpötila-anturit.



*KUVA 23. Automaatti-ilmastoinnin ilmanjakeluyksikkö*

Ohjaamoon puhallettava ilma imetään ulkoa raitisilmasuodattimen läpi tai käytetään sisäilman kierrätystä. Sisäilmankierrolla voidaan tehostaa lämmitystä tai viilennystä sekä estää epämiellyttävien hajujen pääsy sisätiloihin. Ilman lämpötilaa säädetään sekoittamalla lämmintä ja viileää ilmaa.

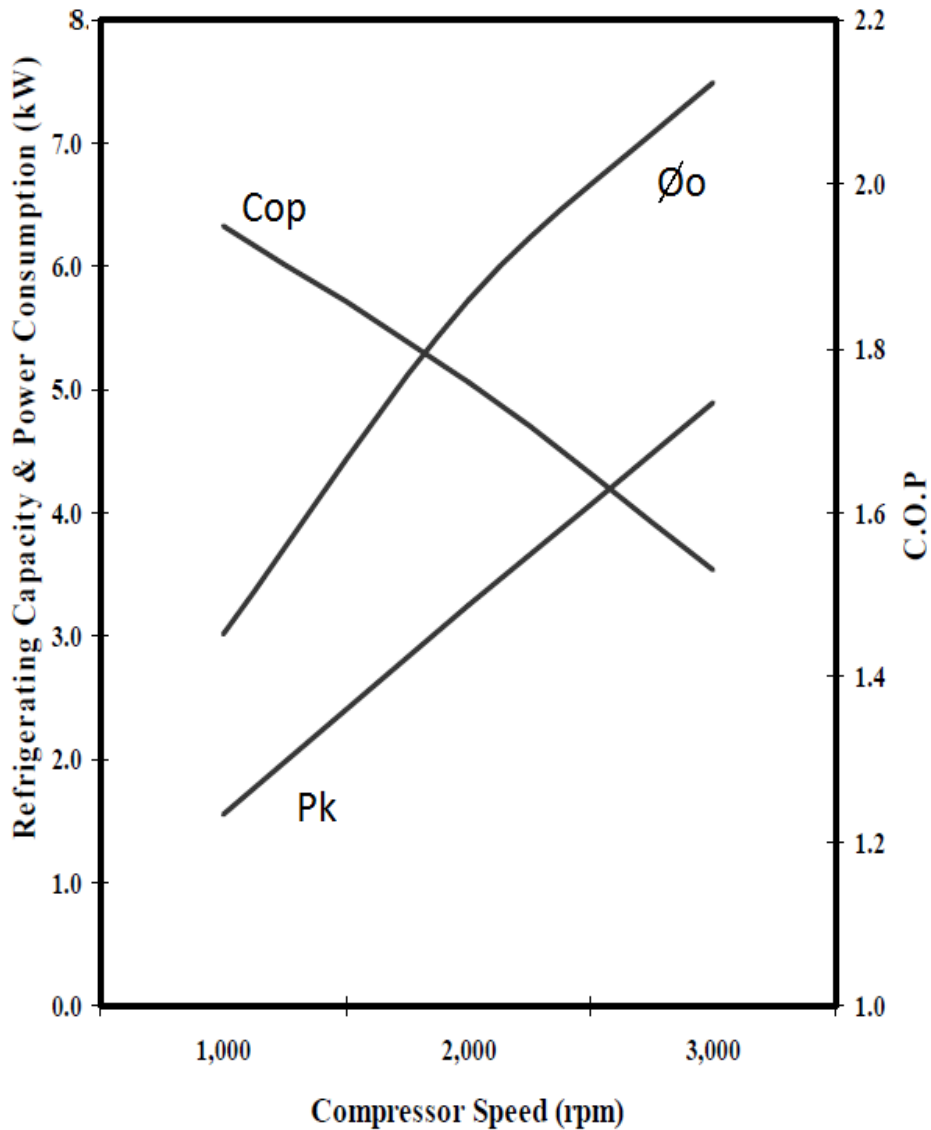
Kompressorin (kuva 24) valmistaja on Sanden ja malliltaan se on SD7V16. Toiminnaltaan se on muuttuvatilavuuksinen huojulevymäntäkompressor, jossa on seitsemän mäntää. Tilavuusvirtaa voi säätää välillä  $8,1 \text{ cm}^3 - 161 \text{ cm}^3$  ja suurin sallittu kierrosnopeus on 8 000 rpm. (24.)



*KUVA 24. Kompressor Sanden SD7V16*

Auton ilmastoinnissa kylmäkertoimeen vaikuttavat kylmäteho ja ilmanlämpötila. Kompressorin ominaisuuskäyrästä (kuva 25) on luettavissa kylmäkertoimen huonontuminen kompressorinkierroksien ja tehontarpeen noustessa. Alimmainen käyrä merkitsee kompressoritehoa, ylimmäinen käyrä kylmätehoa ja laskeva käyrä kylmäkerrointa. Liitteessä 5 on piirretty log p, h-tilapiirroksen prosessin kulku tehokäyrästä (kuvan 25) mukaisessa tilanteessa.

Pressure Dis /Suc : 1.67(MPa) / 196(kPa) [gage]  
 Sub Cool / Super Heat : 0 / 10(K)



KUVA 25. Sanden SD7V16 -kompressorin kylmäkerroinkäyrästä (5)

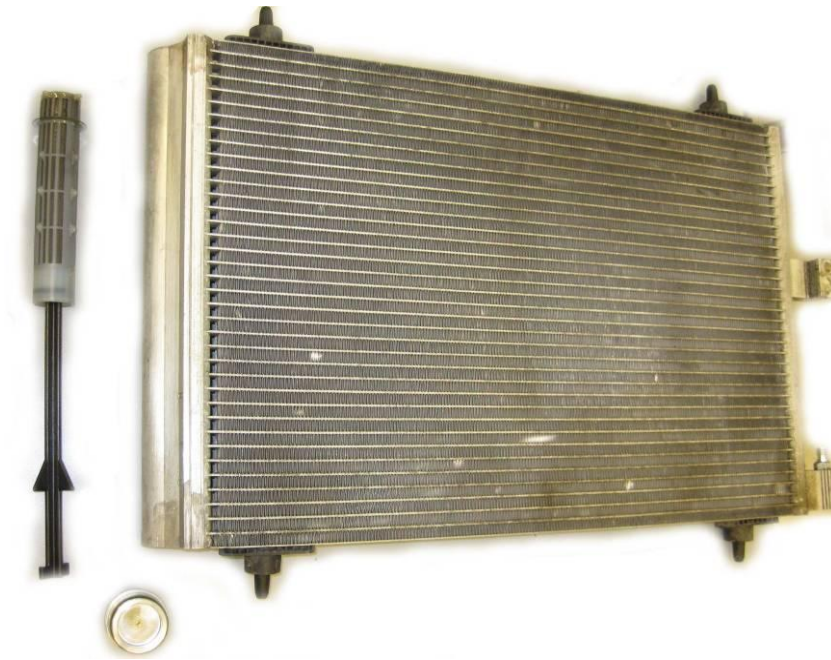
$Cop$  = kylmäkerroin

$P_k$  = kompressorinteho

$\varnothing_o$  = kylmäteho

Lauhduttimen (kuva 26) yhteydessä on nestevaraaja, jonka sisässä on alkuperäinen suodatinkuivain. Koska lauhdutin oli ollut liittimet avonaisena, oli vanha suodatinkuivan altistunut ilman kosteudelle ja mennyt käyttökeltomaksi. Varaosaliikkeen mukaan uusi suodatinkuivain tulisi vain uuden lauhduttimen mukana.





*KUVA 26. Lauhdutin ja alkuperäinen suodatinkuivain*

Sen vuoksi nestelinjaan asennettiin erillinen suodatinkuivan sekä nestelasi (kuva 27) ja vanha kuivain jätettiin pois. Suodatinkuivain asennettiin siten, että virtaus tuli ylhäältä alas. Näin mahdolliset höyrykuplat eivät kulkeutuisi paisuntaventtiiliin ja häiritsisi sen toimintaa.



*KUVA 27. Suodatinkuivain ja nestelasi*

Taajuusmuuntaja (kuva 28) on merkiltään Vacon ja malliltaan CXL4G510. Teholtaan se on 7,5 kW. Laitteesta voidaan muun muassa lukea sen sähköverkosta ottama teho, jota tarvitaan kylmätehon (kaava 1, s. 10) määrittämisessä ja myös sähkövirta. Käytön helpottamiseksi nopeuden säätö tehtiin ohjattavaksi potentiometrillä.



*KUVA 28. Vacon CXL -taajuusmuuntaja*

Ennen käyttöönottoa taajuusmuuntajan välijännitepiirin kondensaattori täytyi ladata, koska laite oli ollut käyttämättömänä useamman vuoden ja kondensaattorit purkaantuneet. Lataus suoritettiin 560 VDC jännitteellä ja ettei sähkövirta kasvaisi liian suureksi, virtaa rajoitettiin säädettävillä vastuksilla. Käyttöönottoon kuului myös tarvittavien parametrien asettelu, esimerkiksi käynnistysrampit, momenttikäyrä ja moottorin kierrosnopeus sekä nimellisvirta.



### 5.3 Sähkösuunnitelmat

Autossa kompressori saa käyttövoimansa polttomoottorista, joten sähkömoottori oli ainoa voimanlähdevaihtoehto sisätiloissa toimivalle ilmastointilaitesimulaattorille. Sähkömoottoriksi valittiin 9,2 kW:n 3-vaihemoottori (kuva 29), joka soveltuu taajuusmuuntaja käyttöön. Moottori on tarpeettoman tehokas, mutta tästä ei kuitenkaan ole haittaa.



*KUVA 29. 3-vaihesähkömoottori*

Laitteen sähkösuunnitelmat käyvät ilmi piirikaaviossa (liite 3). Taajuusmuuntajan käyttöjännite syötetään 25 ampeerin gG tulppasulakkeiden ja pääkontaktorin kautta, jolle on oma ohjausvirtapiiri. Komponentit ja kaapelit mitoitettiin taajuusmuuntajan valmistajan ohjeiden mukaan ja ne on sijoitettu sähkökeskukseen (kuva 30). Sähkökeskukseen syöttöjännite saadaan 32 ampeerin voimapistotulpalla varustetulla 5 x 4 mm<sup>3</sup> kumikaapelilla. Syöttökaapeli taajuusmuuntajalle ja moottorille on tyypiltään MCMK ja kooltaan 4 x 6 mm<sup>3</sup>. Ohjauspiirien painikkeet sijoitettiin sähkökeskuksen kanteen. Käy/seis-painikkeilla ohjataan pääkontaktoria, taajuusmuuntajan käyntilupa, kompressorin magneettikytkintä ja lauhdutinpuhallinta.



*KUVA 30. Sähkökeskus ja taajuusmuuntaja*

Kompressorin magneettikytkin, lauhduttimen puhallin ja ilmanjakoyksikkö puhaltimieen toimivat 12 VDC jännitteellä, joten järjestelmään oli liitettävä muuntaja 230 VAC–12 VDC. Puhaltimien virrat olivat suuria, johtuen 12 voltin jännitteestä. Lauhdutin puhallin otti virtaa noin 20 ampeeria, ilmanjakoyksikön puhallin noin 17 ampeeria ja magneettikytkin 5 ampeeria. Muuntajiksi valittiin kaksi 300 voltiampeerin Noratel Halopower2 -muuntajaa (kuva 31). Koska muuntajat olivat vaihtovirtamuuntajia, täytyi toisiopuolelle rakentaa tassauntaussilta jäähdytyslevyineen ja kondensaattoreineen. Diodisiltojen virrankesto on 35 A ja kondensaattoreiden kapasitanssi 220 mF.



*KUVA 31. 300 VA muuntajat ja tasasuuntaussillat*

## 5.4 Rakentaminen

### 5.4.1 Runkorakenne

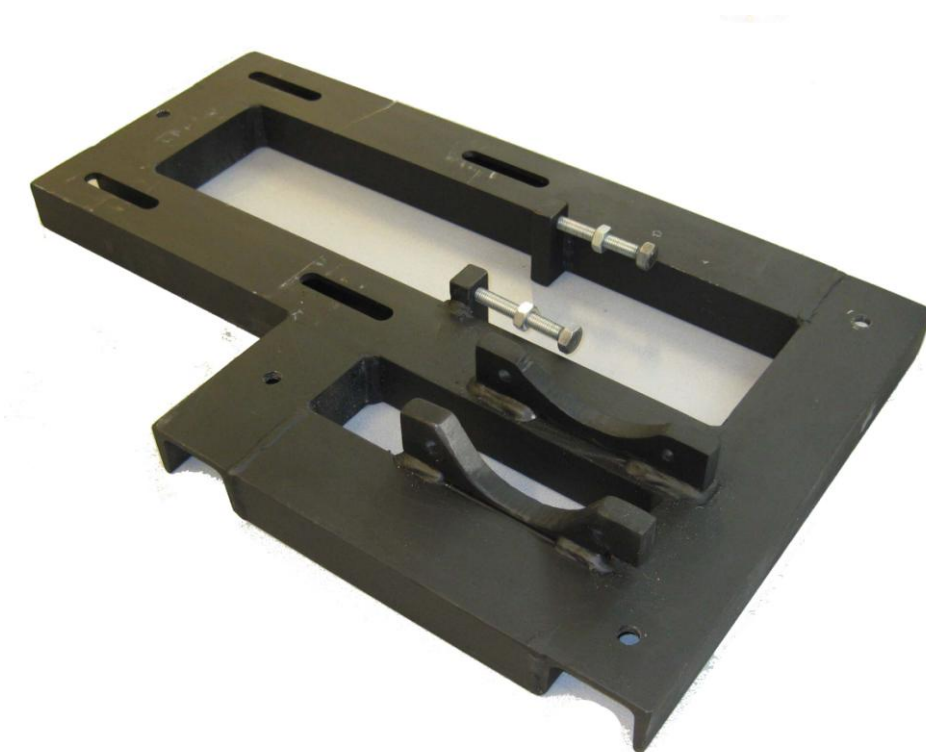
Laitteen fyysiset mitat valittiin siten, että se sopii kulkemaan oviaukoista ja olisi tarpeeksi avonainen järjestelmän havainnollistamiseen. Runko (kuva 32) rakennettiin 20 x 40 mm huonekaluputkesta ja hitsaukset tehtiin TIG-hitsaamalla. Runkoon tuli myös kiinnikkeet lauhduttimelle puhaltimiseen, taa-juusmuuntajalle, sekä sähkökeskukselle. Paikat varusteille suunniteltiin liikuttamisen kannalta runkorakenteen suojaan. Ylä- ja alatasot valmistettiin pöytälevyistä. Liikuttamisen helpottamiseksi laitteeseen asennettiin myös lukittavat pyörät. Työpiirustus on liitteenä 1.



*KUVA 32. Runkorakenne*

## 5.4.2 Sähkömoottori-kompressoripeti

Koska sähkömoottori pyörittää kompressoria hihnan välityksellä, täytyi niille valmistaa yhteinen peti (kuva 33). Lähtökohtana oli, että kompressorin on kiinteästi pedissä ja linjauksessa moottori on liikuteltava laite. Materiaaliksi valittiin 65 mm. U-profiili. Hitsaukset suoritettiin MIG-hitsauksena. Sähkömoottorille jysittiin pitkät reiät hihnan kiristämistä ja linjausta varten. Lisäksi moottorille on työntöpultit, joilla hihna kiristetään. Peti kiinnitetään pulteilla alatasolle. Työpiirustus on liitteenä 2.



*KUVA 33. Sähkömoottori-kompressoripeti*



### 5.4.3 Moniurahihnapyörä sähkömoottorin akselille

Voima sähkömoottorilta kompressorille välitetään moniurahihnalla. Hihna on kuusiurainen, tyypiltään PK6. Koska valmista hihnapyörää moottorille ei ollut saatavilla, hankittiin varaosaliikkeestä apulaitepyörä, joka muokattiin akselille sopivaksi. Varaosapyörän keskiö oli alumiinia ja se oli vulganoitu kumilla tämän vaimentamiseksi varsinaiseen hihnapyörään. Keskiön rakenteen vuoksi, sitä ei voitu sorvata sähkömoottorin akselin mittaan, vaan vanha keskiö poistettiin ja siihen sovitettiin uusi, alumiinista sorvattu keskiö akselisovitteeseen (kuva 34).



*KUVA 34. Moniurahihnapyörä ja keskiö*

### 5.4.4 Putkitukset ja varusteet

Auton alkuperäisiä putkituksia ei ollut juuri mahdollista hyödyntää, mutta vanhat liittimet pyrittiin säilyttämään ja niitä käytettiin uusien putkien kanssa. Vanhat putket olivat materiaaliltaan alumiinia, ja sen vuoksi alkuperäinen suunnitelma oli valmistaa putkitukset ja liittimet kuparista (kuva 35), koska alumiinin liittämisestä kupariin ei ollut kokemusta. Putkien koko valittiin alkuperäisten putkien perusteella. Niiden toimivuus tarkistettiin coolpack-ohjelmalla kompressorin suorituskykytaulukon (kuva 25, s. 38) arvojen mukaan (liitteet 6 - 8).



*KUVA 35. Kuparista koneistettu liitin*

Työn edetessä ja aiheeseen perehtyessä syvemmin löytyi juotoslisäaine, jolla voitiin tehdä alumiini-kupariliitoksia (kuva 36). Tämä vähensi työmäärää, koska liittimien koneistaminen väheni. Lisäaine on nimeltään Certanium j-63, joka on matalalämpöinen juote alumiinille ja alumiiniseoksille. Se liittää alumiinin, kuparin, ruostumattoman teräksen, sinkityn teräksen ja teräkset keskenään. Sitoutumislämpötila on 420 - 480 °C ja puikko sisältää juoksutteen. Lisäaineen käyttökohteita ovat muun muassa ohuet alumiinit, ilmastointilaitteet, kylmäkoneet ja alumiiniosien kunnostus.



*KUVA 36. Alumiini-kupariliitos*

Liitokset tehtiin noudattamalla kylmäalan yleisiä käytäntöjä. Työssä käytettiin laippamutteri- ja juotosliitoksia. Kupari-kupariliitokset juotettiin hopealla. Alumiini-kupariliitokset juotettiin certanium j-63 -alumiinijuotosaineella. Liitoksien teon aikana putken sisällä käytettiin suojakaasuvirtauksena typpikaasua. Tiivisteliitoksien o-renkaat vaihdettiin uusiin, jotka ovat HNBR-kumia (hydrage-noitu nitrili). Kyseinen materiaali on parhaiten soveltuva R134a-kylmäaineen kanssa (22).

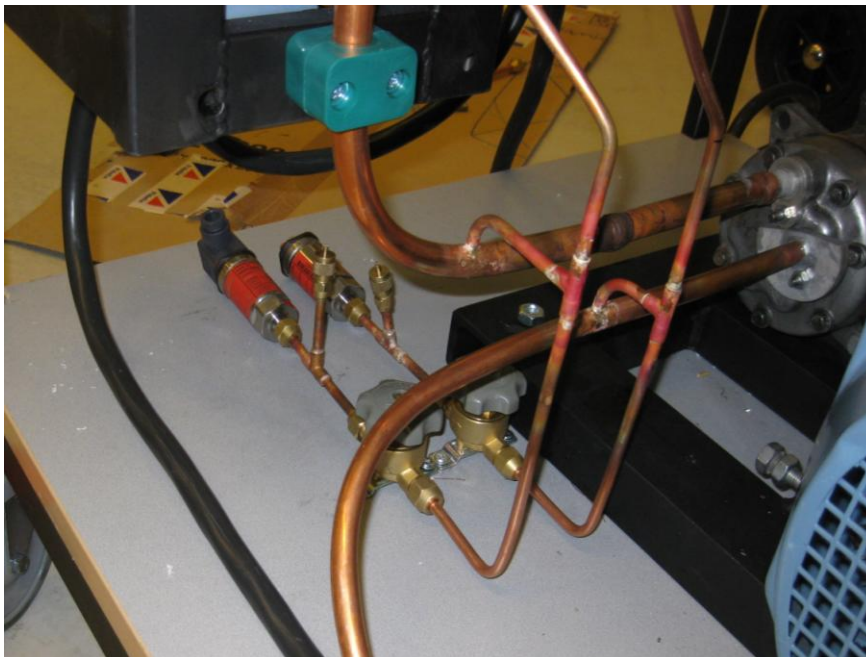
Piiriin asennettiin kiinteät matala- ja korkeapaine-mittarit (kuva 37), ettei huoltomittareita tarvitsisi käyttää tarkkailtaessa toimintapaineita. Matalapainemittari on kytketty kompressorin imupuolelle ja korkeapainemittari painepuolelle. Kumpikin mittari on varustettu sulkuventtiilillä, jotta ne voidaan tarvittaessa vaihtaa. Mittareista voi myös lukea painetta vastaavan kylmäaineen lämpötilan.





*KUVA 37. Painemittarit*

Huoltoventtiilit ja painelähttimet (kuva 38) asennettiin kompressorin imu- ja painelinjaan, nekin sulkuventtiilien taakse. Painelähttimet ovat mahdollisen myöhemmän koulutus- ja harjoituskäytön vuoksi.



*KUVA 38. Huoltoventtiilit ja painelähttimet*

Kompressorin käyntiä ja lauhdutinpuhallinta ohjataan painekeytimillä (kuva 39). Kompressor on muuttuvatilavuuksinen, joten kaksoispainepressostaatti toimii lähinnä varolaitteena. Alarajaksi säädettiin 1 bar. Lauhduttimen painekeytkin ohjaa lauhdutinpuhaltimen pyörimään, kun lauhtumispaine nousee asetellun rajan yli ja pysäyttää puhaltimen, kun paine on laskenut asetetun eroalueen verran.



KUVA 39. Painekeytkimet

### 5.4.5 Putkiston tiiveyskoe ja tyhjiöinti

Ennen putkiston tiiveyden varmistamista painekokeella vuotojen paikantamiseen käytettiin kahta tapaa: putkistoon päästettiin joko kylmäaine R134a:ta tai typpeä, jossa on seassa 3 % vetyä. Sen jälkeen paine nostettiin 15 Bar:iin puhtaalla typpikaasulla. Vuotokohdat paikallistettiin testilaitteen (kuva 40) avulla, joka tunnistaa kylmäainevuodon. Kun järjestelmä todettiin tiiviiksi, voitiin suorittaa tiiveyskoe. Koe tehtiin typpikaasulla, koepaine oli 15 bar ja kesto 15 tuntia.



*KUVA 40. Kylmäainevuodonilmaisin*

Tyhjiöinti tehdään tiiveyskokeen jälkeen. Sen tarkoitus on poistaa järjestelmään päässyt kosteus, ilma ja muut kaasut. Tyhjiö saadaan aikaan alipainepumpulla (kuva 41). Putkisto imetään alle 5 mbar loppupaineeseen, minkä jälkeen alipaine puhkaistaan tyypellä. Tämän jälkeen järjestelmä imetään uudelleen loppupaineeseen 2,5 mbar. Pumppu pysäytetään ja tyhjiön pysyvyyttä seurataan alipainemittarilla, jonka mittausalue on 1 - 150 mbar. Mittarin lukema kirjataan 10 minuutin välein yhden tunnin ajan. Mittaustulokista piirretään käyrä, jonka perusteella voidaan päätellä järjestelmän tila. Jos paine pysyy muuttumattomana, järjestelmä on kuiva ja tiivis. Käyrän kohotessa aluksi ja sitten tasaantuessa, on järjestelmässä kosteutta. Suoraan kohoava käyrä tarkoittaa ilmavuotoa, ja jos käyrä kohoaa ensin jyrkästi ja myöhemmin loivemmin, on järjestelmässä kosteutta ja ilmavuoto.



*KUVA 41. Tyhjiöinti*

#### 5.4.6 Kompressorin voiteluöljy

Kompressorin alkuperäinen voiteluöljy oli PAG-öljyä sen ominaisuuksiin kuuluu reagoiminen kuparin kanssa. Koska järjestelmän putkitukset tehtiin kuparista, täytyi öljy vaihtaa POE-öljyksi. POE-öljyt ovat erittäin hygroskooppisia, joten öljyn käsittelyssä ja lisäyksessä on oltava huolellinen, jotta se ei pilaantuisi ilmankosteudesta. Valmistajan mukaan kompressorin öljymäärä on 135 cm<sup>3</sup>. Lisätty öljy oli merkiltään Icematic sw 68, joka sopii HFC-kylmälaitteisiin. Öljyä otettiin nopeasti purkista oikea määrä lääkeruiskun avulla ja lopuksi purkkiin laskettiin typpeä ja kansi suljettiin. Ilmastointilaitteeseen ilman pääsy estettiin pitämällä kompressori koko ajan ylipaineisena ja lisäämällä kuivaa typpikaasua järjestelmään, joka virtasi ulos kompressorin öljyntäyttöreiästä.



## 6 KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

### 6.1 Kylmäaineen täyttö

Valmistajan mukaan autossa, josta ilmastointilaitteisto oli purettu, käytettiin 625g R134a-kylmäainetta. Koska putkitukset olivat muuttuneet ja tilavuus alkuperäisestä kasvanut, sopivaksi täyttömääräksi arvioitiin noin 680 g. Koska kylmäaine lisätään alipaineiseen järjestelmään, tyhjiöinti täytyi suorittaa ennen täyttöä.

Täyttö (kuva 42) suoritettiin siten, että kaasumaista kylmäainetta lisättiin imupuolen huoltoliittimen kautta ensin ainoastaan pullon paineen avulla, kunnes paine kylmäainepiirissä kohosi ja kaksoispainekytkin käynnisti kompressorin. Kompressorin pyörittettiin 1 500 rpm:n nopeudella, jolloin imupuolen paine laski ja mahdollistaen järjestelmän lopullisen täytöksen kylmäaineella. Kun 680 g:n täytös saavutettiin, käytettiin laitetta noin tunnin ajan.



*KUVA 42. Kylmäaineen täyttö*

## 6.2 Koeajo

Koeajon aikana kompressoria pyöritettiin 1 500 r/min:n nopeudella ja tuloilmapuhallinta suurimmalla nopeudella. Muuttuvatilavuuksinen kompressori pyrkii pitämään imupaineen noin 2 bar:ssa (22, s. 267), joka testiajon perusteella todettiin pitävän paikkansa. Koska lauhdutinpuhallin suunniteltiin yksinopeuksiseksi ja toimivaksi painekeytkimen ohjaamana, säädettiin se pitämään lauhdutinpaine 8 - 9 bar:ssa. Tämä vastaa 31 - 39,5 °C:n lauhtumislämpötilaa, jolloin lämpötilaeroksi 23 °C:n huoneen lämpötilaan verrattuna on 9 - 17,5 °C. Painemittareita, nestelasia sekä tuloilman lämpötilaa seuraamalla todettiin laitteen toiminta ja arvioitu täytösäärä sopivaksi. Jäähdytetyn tuloilman lämpötila oli noin 7 °C, mikä osoitti melko hyvää jäähdytystehoa.

## 6.3 Suorituskyvyn testaus ja tulokset

Laitteen suorituskykyä testattiin eri lämpötiloissa ja kierrosnopeuksilla. Olosuhteiden vaihtelut saatiin aikaan käyttämällä lämpöpuhallinta, jonka etäisyyttä vaihdeltiin lämpötilojen muuttamiseksi. Mittaukset suoritettiin 24 °C:n ja 30 °C:n lämpötiloissa, sekä 1 000, 1 500, 2 000, 2 500, 2 890 rpm:n kierrosnopeuksilla.

Ilmapuolen jäähdytysteho voidaan laskea, kun tiedetään ilmamäärä, ilman kosteus ja lämpötila ennen höyrystintä ja sen jälkeen. Kylmäkertoimen määrittämiseksi tarvittava kompressorin ottoteho mitattiin taajuusmuuntajan syöttöjohtimista Fluke 434 power quality analyzer- mittarilla (kuva 43). Laskelmissa täytyy ottaa huomioon sähkömoottorin ja hihnakäytön hyötysuhde, joka hihnakäytöllä voidaan arvioida olevan 95 % (23) ja sähkömoottorin osakuormalla 80%.



*KUVA 43. Sähkömoottorin ottotehon mittaus*

Tulokset olivat vertailtavissa, aiemmin esitettyyn kompressorin suorituskykykäyrästään (kuva 25. s. 38). Mittaukset (liite 9) osoittavat, että jos olosuhteet pysyvät samoina, muuttavakierroksinen kompressori pitää jäähdytystehon vakiona riippumatta pyörintänopeudesta. Kompressorin ottoteho kuitenkin kasvaa kierrosnopeuden noustessa, ja tämä taas vaikuttaa heikentävästi kylmäkertoimeen. Mittaukset 24 °C:n ja 30 °C:n ilman lämpötiloissa ja samalla lauhdutinpainella (11 - 13 bar), ei juuri muuttanut kylmäkerrointa. Kun lauhdutinpainetta säädettiin korkeammaksi (14 - 16 bar), kompressorin ottoteho kasvoi, mutta jäähdytysteho ei kuitenkaan parantunut, ja tämä huononsi kylmäkerrointa.



## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön päätarkoitus oli rakentaa havainnollinen auton ilmastointilaitte Oulun seudun ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön koulutuskäyttöön. Teoriaosassa käsiteltiin kylmätekniikan perusteita, auton ilmastointilaitteiden komponentteja ja toimintaa sekä laitteen rakentamista. Aluksi aihe tuntui melko suppealta, koska lähdetietoutta ei löytynyt riittävästi. Työn edetessä kuitenkin löytyi hyviä lähteitä, joiden ansiosta kokonaiskäsitys auton ilmastointijärjestelmistä syveni ja teoriaosuuden kirjoittaminen sekä rakentaminen helpottuivat. Kokonaistyömäärä oli ennakoitua paljon suurempi, ja koska ilmastointilaitetta rakennettiin samaan aikaan, kun teoriaosaa kirjoitettiin, työtä riitti lukuisina päivinä aamusta iltaan.

Työ oli monipuolinen, minkä vuoksi sen tekeminen vaati monenlaista osaamista: kylmäprosessin tuntemusta, metallialan taitoja ja myös osaamista automaatio- ja sähköalalta. Ilman talotekniikan koulutusohjelmaan kuuluneita kylmätekniikan kursseja työn tekeminen olisi ollut erittäin haasteellista

Ilmastointilaitteen suunnittelu ja rakentaminen itsenäisesti oli opettavaista ja mielekästä, koska teoriassa olevat asiat sovellettiin käytännössä. Haasteena oli, miten saada autosta purettu ilmastointilaitteisto toimimaan sisätiloissa. Ongelma kuitenkin ratkaistiin ja tilaajan kanssa sovittuun tavoitteeseen päästiin: opinnäytetyötä voi hyödyntää auto- ja lvi-tekniikan koulutuksessa Rakennettuun laitteeseen tutustumalla saa käsityksen autojen ilmastointilaitteiden perustoiminnasta ja raportin lukeminen syventää ymmärrystä.

## 8 LÄHTEET

1. Bellis, Mary. Freonin keksiminen. Saatavissa: <http://inventors.about.com/library/inventors/blfreon.htm>. Hakupäivä 9.2.2011.
2. Aalto, Esa 2008. Luonnolliset kylmäaineet – uusi askel ilmakehän suoje-  
lussa kylmäalalla. Saatavissa: <http://www.skll.fi/www/att.php?id=44>. Haku-  
päivä 1.3.2011.
3. Kianta, Jani 2008. Kylmaainetilanne 2008. Saatavissa:  
<http://www.skll.fi/yhdistys/www/att.php?type=2&id=37>. Hakupäivä 1.3.2011.
4. Hakala, Pertti - Kaappola, Esko 2007. Kylmälaitoksen suunnittelu  
Jyväskylä: Opetushallitus.
5. Sanden SD7V16-kompressorin suorituskykykäyrästä. Saatavissa:  
[http://www.sanden.com/originals/images/SD7V16\\_Performance.pdf](http://www.sanden.com/originals/images/SD7V16_Performance.pdf). Haku-  
päivä 10.2.2011.
6. Rantala, Jouko - Mikkolainen, Pekka - Kouvisto, Juha-Pekka 2005. Auto-  
ja kuljetusalan erikoistumisoppi 3 2005 Keuruu: Otava.
7. Ajoneuvojen ilmastointijärjestelmät. Saatavissa:  
[http://www.red-dragon-airconditioning.com/www.red-dragon-  
airconditioning.coms/info.php?p=9](http://www.red-dragon-airconditioning.com/www.red-dragon-airconditioning.coms/info.php?p=9). Hakupäivä 10.2.2011.
8. Haynes, John H. – Stubblefield, Mike. The Haynes automotive heating &  
aircondition system manual 2000 California, USA: Haynes Publications, Inc.
9. Self-Study Programme 208. Air Conditioner in the Motor Vehicle, Part 1.  
Saatavissa: [http://www.volkspage.net/technik/ssp/index3\\_eng.php](http://www.volkspage.net/technik/ssp/index3_eng.php). Hakupäi-  
vä 25.4.2011.

10. Meier, Peter F. 2009. A/C compressors look different than technicians remember. Saatavissa:  
<http://motorage.search-autoparts.com/motorage/Certified+Technicians/AC-compressors-look-different-than-technicians-rem/ArticleStandard/Article/detail/591360>. Hakupäivä 10.2.2011.
11. Laamanen, Mikko 2010. Ilmastointijärjestelmän vaikutus ajoneuvojen energiankulutukseen. Helsinki: Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu, Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta, koneenrakennustekniikan laitos. Diplomityö. Saatavissa: [http://www.transec.fi/files/236/Ilmastointijarjestelman\\_vaikutus\\_ajoneuvojen\\_energiankulutukseen.pdf](http://www.transec.fi/files/236/Ilmastointijarjestelman_vaikutus_ajoneuvojen_energiankulutukseen.pdf). Hakupäivä 2.3.2011.
12. Sanden SD-Kompressorien huolto- ja korjaus. Saatavissa:  
[http://www.sanden.com/originals/images/SD\\_Service\\_Guide\\_Rev.2.pdf](http://www.sanden.com/originals/images/SD_Service_Guide_Rev.2.pdf). Hakupäivä 1.3.2011.
13. Delphi ajoneuvojen ilmastointikompressorit. Saatavissa:  
[http://delphi.com/pdf/contact/brochures/Delphi\\_Compressors.pdf](http://delphi.com/pdf/contact/brochures/Delphi_Compressors.pdf). Hakupäivä 1.3.2011.
14. Kuva höyrystimestä. Saatavissa:  
[http://img.diytrade.com/cdimg/520742/3323685/0/1173261417/A\\_C\\_Evaporator.jpg](http://img.diytrade.com/cdimg/520742/3323685/0/1173261417/A_C_Evaporator.jpg). Hakupäivä 20.3.2011.
15. Arkema kylmäaineet. Saatavissa:  
[http://www.arkema.com/sites/group/en/products/detailed\\_sheets/fluorochemicals/forane/refrigerants/forane\\_407c.page](http://www.arkema.com/sites/group/en/products/detailed_sheets/fluorochemicals/forane/refrigerants/forane_407c.page). Hakupäivä 15.3.2011.
16. Ajoneuvojen kylmäaineöljyt. Saatavissa:  
[http://youracauthority.com/acterms/Refrigeration\\_Oil\\_AC\\_Compressor\\_Oil.shtml](http://youracauthority.com/acterms/Refrigeration_Oil_AC_Compressor_Oil.shtml). Hakupäivä 27.3.2011.

17. Gordon, Jacques 2005. Muuttuvatilavuuksiset kompressorit. Saatavissa: <http://www.polarbearinc.com/Articles/Variable%20Displacement%20Compressor.pdf>. Hakupäivä 1.4.2011.

18. Korroosio ajoneuvojen ilmastointijärjestelmissä. Saatavissa: <http://youracauthority.com/acterns/Auto-AC-Corrosion-in-Auto-AC-Systems.shtml>. Hakupäivä 1.4.2011.

19. Ketonen, Tapio 2004. Ilmastoinnin huolto. Saatavissa: <http://www.tuulilasi.fi/artikkelit/ilmastoinnin-huolto>. Hakupäivä 1.4.2011.

20. Self-Study Programme 208. Air Conditioner in the Motor Vehicle, Part 2. Saatavissa: [http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP\\_208\\_d2.pdf](http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_208_d2.pdf). Hakupäivä 25.4.2011.

21. Volkswagen Heating, Air Conditioning and Climate Control Systems Operation and Diagnosis. Technical Service Training, Self-Study Program Course Number 880213 2002. USA: Volkswagen of America, Inc.

22. Daly, Steven 2006. Automotive Air-conditioning and Climate Control Systems 1.painos. Englanti: Elsevier Ltd.

22. O-rengas tiivistemateriaalit. Saatavissa: <http://www.bergseals.com/hnbr.htm>. Hakupäivä 30.4.2011.

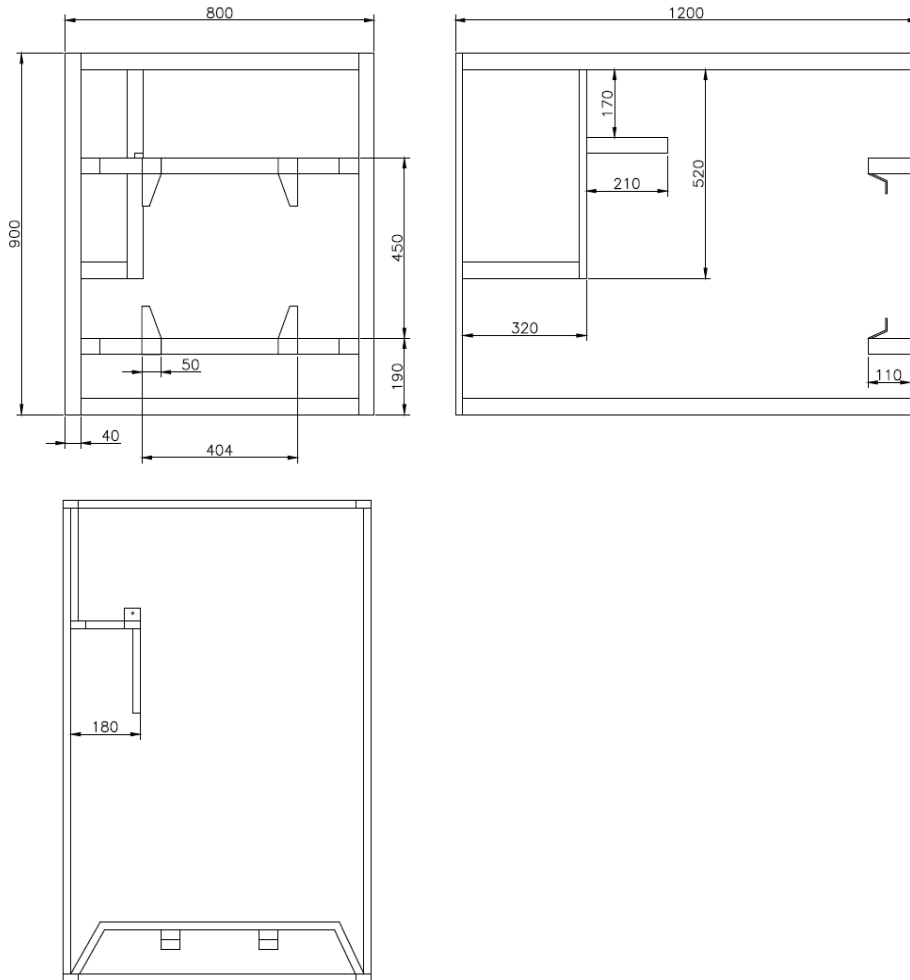
23. Hihnakäyttöjen hyötysuhde. Saatavissa: [http://www.cptbelts.com/pdf/misc/energy\\_loss\\_and\\_belt\\_efficiency.pdf](http://www.cptbelts.com/pdf/misc/energy_loss_and_belt_efficiency.pdf). Hakupäivä 1.5.2011.

24. Sanden mäntäkompressorit. Saatavissa: <http://www.sanden.com/index.php?tag=U5H0AMX7Q>. Hakupäivä 15.2.2011

## 9 LIITTEET

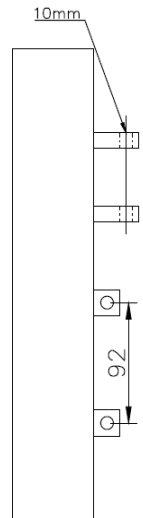
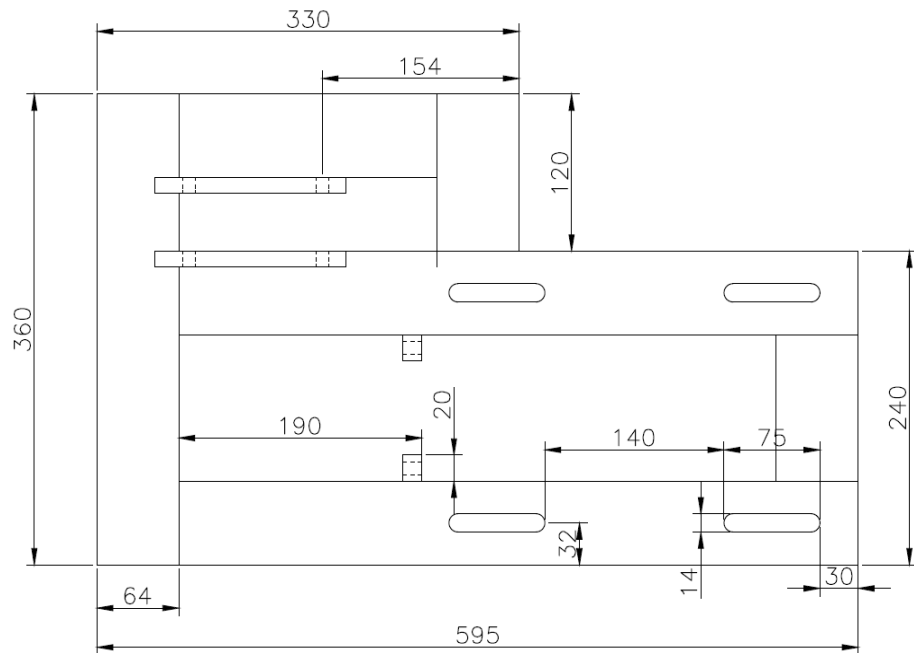
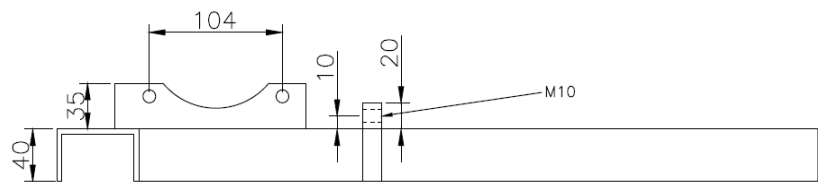
- Liite 1. Runkopiirustus
- Liite 2. Moottoripetiirustus
- Liite 3. Piirikaavio sähkökytkennöistä
- Liite 4. Kylmäainepiirin kytkentäkaavio
- Liite 5. Log, h-tilapiirros Sanden SD7V16 suoritusarvoilla
- Liite 6. Imujohdon painehäviö ja lämmönsiirto
- Liite 7. Painejohdon painehäviö ja lämmönsiirto
- Liite 8. Nestejohdon painehäviö ja lämmönsiirto
- Liite 9. Mittaustulokset
- Liite 10. Kuvia valmiista laitteesta

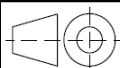
Rev	Muutos	Rev	pvm	Suun.
-----	--------	-----	-----	-------



Osa	Piirustus nro.	Osan nimitys	Standardi, muoto, mitat, malli	Laatu	kpl
Yleistoleranssit	Mittakaava	 Liittyy LIITTYY	Nimitys RUNKO ILMASTOINTILAITE		
YLEISTOL	1:16				
Piirt.	10.3.11	TK	<b>OAMK</b> <b>Tekniikan Yksikkö</b>		
Suun.	10.3.11	TK			
Tark.	TPVM	TARK			
Hyv.	HPVM	HYV			
			Piirustusnumero	1	

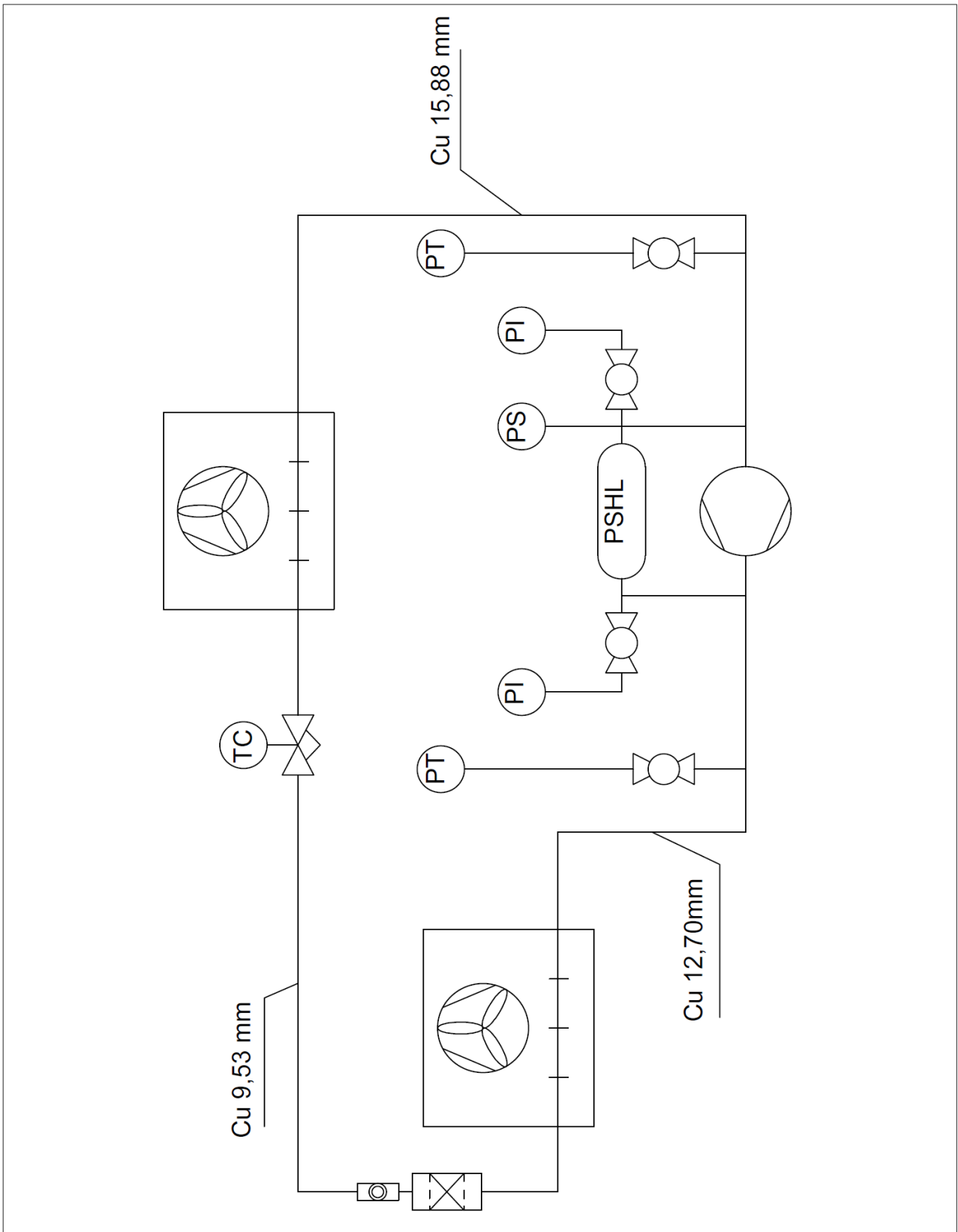
Rev	Muutos	Rev pvm	Suun.
-----	--------	---------	-------

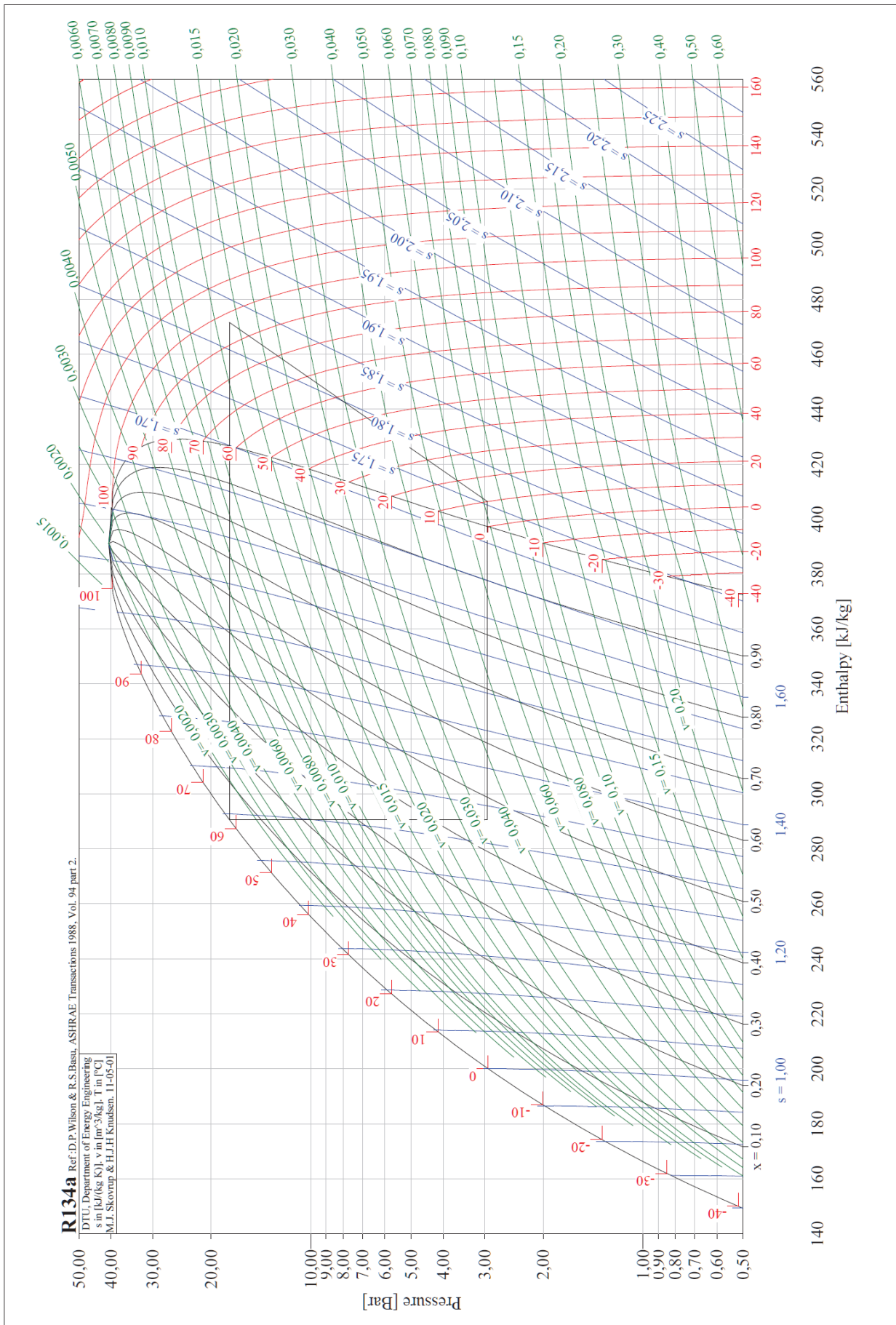


Osa		Piirustus nro.	Osan nimitys	Standardi, muoto, mitat, malli	Laatu	kpl
Yleistoleranssit		Mittakaava	 Liittyy LIITTYY	Nimitys MOOTTORIPETI ILMASTOINTILAITE		
YLEISTOL		1:5				
Piirt.	10.3.11	TK	<b>OAMK</b> <b>Tekniikan Yksikkö</b>			
Suun.	10.3.11	TK				
Tark.	TPVM	TARK				
Hyv.	HPVM	HYV				
			Piirustusnumero 1			









<b>CoolPack</b> Calculate Save inputs Load inputs Help Print	<b>GAS PIPES</b> > PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER																							
	<b>FLOW</b> Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] : 3		<b>CALCULATED VALUES</b> Mean velocity : 11,84 [m/s] Volume flow : 6,656 [m <sup>3</sup> /h] Mass flow : 0,0257 [kg/s]																					
	<b>PRESSURE IN INLET</b> $T_{DEW}$ [°C] : 0,2		Heat ingress : 25,79 [W] Surface temperature : 11,41 [°C]																					
	<b>TEMPERATURE IN INLET</b> $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>INLET</th> <th>OUTLET</th> <th>CHANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T [°C]</td> <td>10,20</td> <td>11,22</td> <td>1,02 [K]</td> </tr> <tr> <td>p [kPa]</td> <td>295,0</td> <td>292,0</td> <td>-3,1 [kPa]</td> </tr> <tr> <td><math>T_{DEW}</math> [°C]</td> <td>0,20</td> <td>-0,09</td> <td>-0,29 [K]</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{SH}</math> [K]</td> <td>10,00</td> <td>11,31</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			INLET	OUTLET	CHANGE	T [°C]	10,20	11,22	1,02 [K]	p [kPa]	295,0	292,0	-3,1 [kPa]	$T_{DEW}$ [°C]	0,20	-0,09	-0,29 [K]	$\Delta T_{SH}$ [K]	10,00	11,31	
		INLET	OUTLET	CHANGE																				
	T [°C]	10,20	11,22	1,02 [K]																				
	p [kPa]	295,0	292,0	-3,1 [kPa]																				
	$T_{DEW}$ [°C]	0,20	-0,09	-0,29 [K]																				
	$\Delta T_{SH}$ [K]	10,00	11,31																					
	<b>REFRIGERANT</b> R134a																							
<b>PIPE PARAMETERS</b> Pipe dimension : 5/8" Copper (ø15.88) Length [m] : 2,7      Fittings [-] : 0 $D_{O,USER}$ [mm] : 0,00 $t_{WALL,USER}$ [mm] : 0 <small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (<math>D_{O,USER}</math>) and wall thickness (<math>t_{WALL,USER}</math>) must be specified.</small>		<b>SURROUNDING AIR</b> $T_{AIR}$ [°C] : 30,00      RH [%] : 40,0 $T_{AIR,DEW}$ : 14,94 [°C]																						
<b>INSULATION PARAMETERS</b> Insulation thickness [mm] : 11,0 Insulation material : None $\lambda$ : 0,0000 [W/(m·K)] $\lambda_{USER}$ [W/(m·K)] : 0 <small>If "User defined" is selected for the insulation material, then specific thermal conductivity (<math>\lambda_{USER}</math>) must be specified.</small>		<b>FLOW CONVERTED TO REFRIGERATING CAPACITY</b> $T_C$ [°C] : 62,00 $\Delta T_{SC}$ [K] : 0,10 $T_E$ [°C] : 0,20 $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00 Cooling capacity : 3 [kW] <small>If Cooling capacity is selected as input for flow size the above temperatures are used.</small>																						
© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.46 TOOL A.4																								

<b>CoolPack</b> Calculate Save inputs Load inputs Help Print	<b>GAS PIPES</b> > PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER																							
	<b>FLOW</b> Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] : 7		<b>CALCULATED VALUES</b> Mean velocity : 27,63 [m/s] Volume flow : 15,53 [m <sup>3</sup> /h] Mass flow : 0,05996 [kg/s]																					
	<b>PRESSURE IN INLET</b> $T_{DEW}$ [°C] : 0,2		Heat ingress : 26,22 [W] Surface temperature : 10,78 [°C]																					
	<b>TEMPERATURE IN INLET</b> $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>INLET</th> <th>OUTLET</th> <th>CHANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T [°C]</td> <td>10,20</td> <td>10,24</td> <td>0,04 [K]</td> </tr> <tr> <td>p [kPa]</td> <td>295,0</td> <td>280,2</td> <td>-14,8 [kPa]</td> </tr> <tr> <td><math>T_{DEW}</math> [°C]</td> <td>0,20</td> <td>-1,22</td> <td>-1,42 [K]</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{SH}</math> [K]</td> <td>10,00</td> <td>11,45</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			INLET	OUTLET	CHANGE	T [°C]	10,20	10,24	0,04 [K]	p [kPa]	295,0	280,2	-14,8 [kPa]	$T_{DEW}$ [°C]	0,20	-1,22	-1,42 [K]	$\Delta T_{SH}$ [K]	10,00	11,45	
		INLET	OUTLET	CHANGE																				
	T [°C]	10,20	10,24	0,04 [K]																				
	p [kPa]	295,0	280,2	-14,8 [kPa]																				
	$T_{DEW}$ [°C]	0,20	-1,22	-1,42 [K]																				
	$\Delta T_{SH}$ [K]	10,00	11,45																					
	<b>REFRIGERANT</b> R134a																							
<b>PIPE PARAMETERS</b> Pipe dimension : 5/8" Copper (ø15.88) Length [m] : 2,7      Fittings [-] : 0 $D_{O,USER}$ [mm] : 0,00 $t_{WALL,USER}$ [mm] : 0 <small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (<math>D_{O,USER}</math>) and wall thickness (<math>t_{WALL,USER}</math>) must be specified.</small>		<b>SURROUNDING AIR</b> $T_{AIR}$ [°C] : 30,00      RH [%] : 40,0 $T_{AIR,DEW}$ : 14,94 [°C]																						
<b>INSULATION PARAMETERS</b> Insulation thickness [mm] : 11,0 Insulation material : None $\lambda$ : 0,0000 [W/(m·K)] $\lambda_{USER}$ [W/(m·K)] : 0 <small>If "User defined" is selected for the insulation material, then specific thermal conductivity (<math>\lambda_{USER}</math>) must be specified.</small>		<b>FLOW CONVERTED TO REFRIGERATING CAPACITY</b> $T_C$ [°C] : 62,00 $\Delta T_{SC}$ [K] : 0,10 $T_E$ [°C] : 0,20 $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00 Cooling capacity : 7 [kW] <small>If Cooling capacity is selected as input for flow size the above temperatures are used.</small>																						
© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.46 TOOL A.4																								

<b>CoolPack</b> Calculate Save inputs Load inputs Help Print	<b>GAS PIPES</b> > PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER																							
	<b>FLOW</b> Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] : 3		<b>CALCULATED VALUES</b> Mean velocity : 3,585 [m/s] Volume flow : 1,244 [m <sup>3</sup> /h] Mass flow : 0,0257 [kg/s]																					
	<b>PRESSURE IN INLET</b> $T_{DEW}$ [°C] : 62,0		Heat ingress : -35,31 [W] Surface temperature : 88,42 [°C]																					
	<b>TEMPERATURE IN INLET</b> $T$ [°C] : 90,00		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>INLET</th> <th>OUTLET</th> <th>CHANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T [°C]</td> <td>90,00</td> <td>88,84</td> <td>-1,16 [K]</td> </tr> <tr> <td>p [kPa]</td> <td>1761,4</td> <td>1760,3</td> <td>-1,1 [kPa]</td> </tr> <tr> <td><math>T_{DEW}</math> [°C]</td> <td>62,00</td> <td>61,97</td> <td>-0,03 [K]</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{SH}</math> [K]</td> <td>28,00</td> <td>26,86</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			INLET	OUTLET	CHANGE	T [°C]	90,00	88,84	-1,16 [K]	p [kPa]	1761,4	1760,3	-1,1 [kPa]	$T_{DEW}$ [°C]	62,00	61,97	-0,03 [K]	$\Delta T_{SH}$ [K]	28,00	26,86	
		INLET	OUTLET	CHANGE																				
	T [°C]	90,00	88,84	-1,16 [K]																				
	p [kPa]	1761,4	1760,3	-1,1 [kPa]																				
	$T_{DEW}$ [°C]	62,00	61,97	-0,03 [K]																				
	$\Delta T_{SH}$ [K]	28,00	26,86																					
	<b>REFRIGERANT</b> R134a																							
<b>PIPE PARAMETERS</b> Pipe dimension : 1/2" Copper (ø12.70) Length [m] : 1,5      Fittings [-] : 0 $D_{O,USER}$ [mm] : 0,00 $t_{WALL,USER}$ [mm] : 0 <small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (<math>D_{O,USER}</math>) and wall thickness (<math>t_{WALL,USER}</math>) must be specified.</small>		<b>SURROUNDING AIR</b> $T_{AIR}$ [°C] : 30,00      RH [%] : 40,0 $T_{AIR,DEW}$ : 14,94 [°C]																						
<b>INSULATION PARAMETERS</b> Insulation thickness [mm] : 11,0 Insulation material : None $\lambda$ : 0,0000 [W/(m·K)] $\lambda_{USER}$ [W/(m·K)] : 0 <small>If "User defined" is selected for the insulation material, then specific thermal conductivity (<math>\lambda_{USER}</math>) must be specified.</small>		<b>FLOW CONVERTED TO REFRIGERATING CAPACITY</b> $T_C$ [°C] : 62,00 $\Delta T_{SC}$ [K] : 0,10 $T_E$ [°C] : 0,20 $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00 Cooling capacity : 3 [kW] <small>If Cooling capacity is selected as input for flow size the above temperatures are used.</small>																						
© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.46 TOOL A.4																								

<b>CoolPack</b> Calculate Save inputs Load inputs Help Print	<b>GAS PIPES</b> > PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER																							
	<b>FLOW</b> Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] : 7		<b>CALCULATED VALUES</b> Mean velocity : 8,365 [m/s] Volume flow : 2,904 [m <sup>3</sup> /h] Mass flow : 0,05996 [kg/s]																					
	<b>PRESSURE IN INLET</b> $T_{DEW}$ [°C] : 62,0		Heat ingress : -35,6 [W] Surface temperature : 89,24 [°C]																					
	<b>TEMPERATURE IN INLET</b> $T$ [°C] : 90,00		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>INLET</th> <th>OUTLET</th> <th>CHANGE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T [°C]</td> <td>90,00</td> <td>89,43</td> <td>-0,57 [K]</td> </tr> <tr> <td>p [kPa]</td> <td>1761,4</td> <td>1756,1</td> <td>-5,3 [kPa]</td> </tr> <tr> <td><math>T_{DEW}</math> [°C]</td> <td>62,00</td> <td>61,87</td> <td>-0,13 [K]</td> </tr> <tr> <td><math>\Delta T_{SH}</math> [K]</td> <td>28,00</td> <td>27,56</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			INLET	OUTLET	CHANGE	T [°C]	90,00	89,43	-0,57 [K]	p [kPa]	1761,4	1756,1	-5,3 [kPa]	$T_{DEW}$ [°C]	62,00	61,87	-0,13 [K]	$\Delta T_{SH}$ [K]	28,00	27,56	
		INLET	OUTLET	CHANGE																				
	T [°C]	90,00	89,43	-0,57 [K]																				
	p [kPa]	1761,4	1756,1	-5,3 [kPa]																				
	$T_{DEW}$ [°C]	62,00	61,87	-0,13 [K]																				
	$\Delta T_{SH}$ [K]	28,00	27,56																					
	<b>REFRIGERANT</b> R134a																							
<b>PIPE PARAMETERS</b> Pipe dimension : 1/2" Copper (ø12.70) Length [m] : 1,5      Fittings [-] : 0 $D_{O,USER}$ [mm] : 0,00 $t_{WALL,USER}$ [mm] : 0 <small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (<math>D_{O,USER}</math>) and wall thickness (<math>t_{WALL,USER}</math>) must be specified.</small>		<b>SURROUNDING AIR</b> $T_{AIR}$ [°C] : 30,00      RH [%] : 40,0 $T_{AIR,DEW}$ : 14,94 [°C]																						
<b>INSULATION PARAMETERS</b> Insulation thickness [mm] : 11,0 Insulation material : None $\lambda$ : 0,0000 [W/(m·K)] $\lambda_{USER}$ [W/(m·K)] : 0 <small>If "User defined" is selected for the insulation material, then specific thermal conductivity (<math>\lambda_{USER}</math>) must be specified.</small>		<b>FLOW CONVERTED TO REFRIGERATING CAPACITY</b> $T_C$ [°C] : 62,00 $\Delta T_{SC}$ [K] : 0,10 $T_E$ [°C] : 0,20 $\Delta T_{SH}$ [K] : 10,00 Cooling capacity : 7 [kW] <small>If Cooling capacity is selected as input for flow size the above temperatures are used.</small>																						
© 1999 - 2001 Department of Mechanical Engineering Technical University of Denmark Version 1.46 TOOL A.4																								

**CoolPack**
**LIQUID PIPES**  
> PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER

Calculate

Save inputs

Load inputs

Help

Print

<b>FLOW</b>		<b>CALCULATED VALUES</b>	
Cooling capacity [kW]	3,000	Mean velocity : 0,50 [m/s]	Heat ingress : -33 [W]
<b>PRESSURE IN INLET</b>		Volume flow : 0,08862 [m <sup>3</sup> /h]	Surface temperature : 61,18 [°C]
T <sub>BUB</sub> [°C]	62,0	Mass flow : 0,0257 [kg/s]	
<b>TEMPERATURE IN INLET</b>			
ΔT <sub>sc</sub> [K]	0,10		
<b>REFRIGERANT</b>			
R134a			

	INLET	OUTLET	CHANGE
T [°C]	61,90	61,09	-0,81 [K]
p [kPa]	1761	1760,0	-1,4 [kPa]
T <sub>BUB</sub> [°C]	62,00	61,96	-0,04 [K]
ΔT <sub>sc</sub> [K]	0,10	0,88	
x [kg/kg]		-100	
ΔT <sub>DEW</sub> : -0,04 [K]			

<b>PIPE PARAMETERS</b>		<b>SURROUNDING AIR</b>	
Pipe dimension:	3/8" Copper (ø9.53)	T <sub>AIR</sub> [°C] :	30,0
Length [m] :	3,5	RH <sub>AIR</sub> [%] :	40,0
Fittings [-] :	0,00	T <sub>AIR,DEW</sub> :	14,94 [°C]
D <sub>O,USER</sub> [mm] :	0,00		
t <sub>WALL,USER</sub> [mm] :	0,0		
<small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (D<sub>O,USER</sub>) and wall thickness (t<sub>WALL,USER</sub>) must be specified.</small>			
<b>INSULATION PARAMETERS</b>		<b>FLOW CONVERTED TO COOLING CAPACITY</b>	
Insulation thickness [mm] :	0,0	T <sub>C</sub> [°C] :	62,0
Insulation material :	None	ΔT <sub>sc</sub> [K] :	0,10
λ <sub>USER</sub> [W/(m·K)] :	0,020	T <sub>E</sub> [°C] :	0,2
<small>If "User defined" is selected for the insulation material, then (λ<sub>USER</sub>) must be specified.</small>		ΔT <sub>sh</sub> [K] :	10,00
		Cooling capacity : 3,0 [kW]	
		<small>If cooling capacity is selected as input for flow size the temperatures specified above are used.</small>	

© 1999 - 2001  
Department of  
Mechanical Engineering  
Technical University  
of Denmark  
Version 1.46  
TOOL A.3

**CoolPack**
**LIQUID PIPES**  
> PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER

Calculate

Save inputs

Load inputs

Help

Print

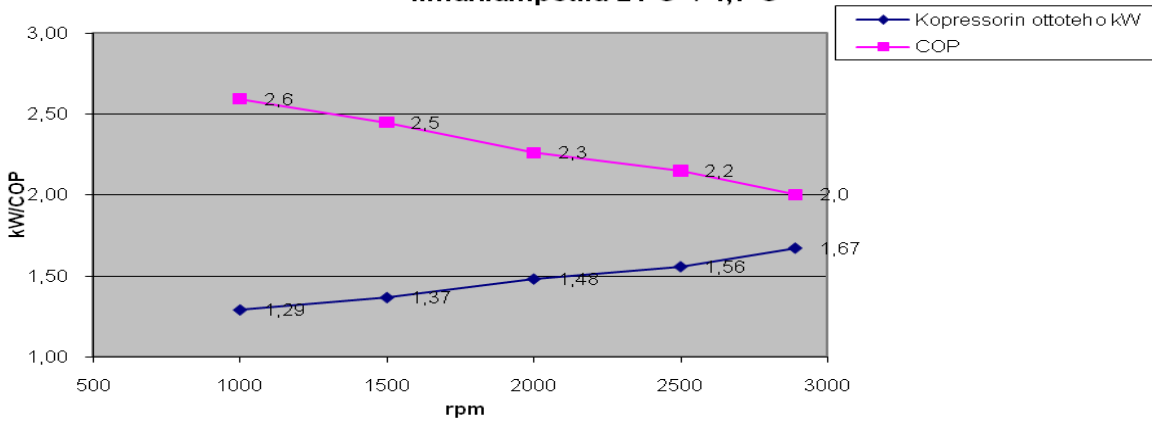
<b>FLOW</b>		<b>CALCULATED VALUES</b>	
Cooling capacity [kW]	7,000	Mean velocity : 1,17 [m/s]	Heat ingress : -33 [W]
<b>PRESSURE IN INLET</b>		Volume flow : 0,2068 [m <sup>3</sup> /h]	Surface temperature : 61,57 [°C]
T <sub>BUB</sub> [°C]	62,0	Mass flow : 0,05996 [kg/s]	
<b>TEMPERATURE IN INLET</b>			
ΔT <sub>sc</sub> [K]	0,10		
<b>REFRIGERANT</b>			
R134a			

	INLET	OUTLET	CHANGE
T [°C]	61,90	61,55	-0,35 [K]
p [kPa]	1761	1754,8	-6,6 [kPa]
T <sub>BUB</sub> [°C]	62,00	61,84	-0,16 [K]
ΔT <sub>sc</sub> [K]	0,10	0,29	
x [kg/kg]		-100	
ΔT <sub>DEW</sub> : -0,16 [K]			

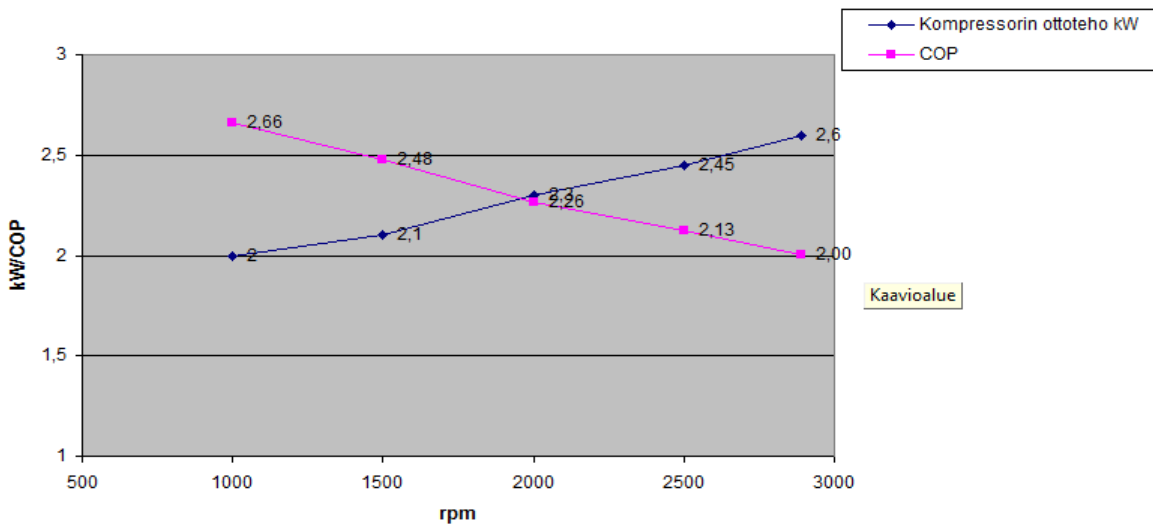
<b>PIPE PARAMETERS</b>		<b>SURROUNDING AIR</b>	
Pipe dimension:	3/8" Copper (ø9.53)	T <sub>AIR</sub> [°C] :	30,0
Length [m] :	3,5	RH <sub>AIR</sub> [%] :	40,0
Fittings [-] :	0,00	T <sub>AIR,DEW</sub> :	14,94 [°C]
D <sub>O,USER</sub> [mm] :	0,00		
t <sub>WALL,USER</sub> [mm] :	0,0		
<small>If "User defined" is selected for the pipe dimension, then pipe outer diameter (D<sub>O,USER</sub>) and wall thickness (t<sub>WALL,USER</sub>) must be specified.</small>			
<b>INSULATION PARAMETERS</b>		<b>FLOW CONVERTED TO COOLING CAPACITY</b>	
Insulation thickness [mm] :	0,0	T <sub>C</sub> [°C] :	62,0
Insulation material :	None	ΔT <sub>sc</sub> [K] :	0,10
λ <sub>USER</sub> [W/(m·K)] :	0,020	T <sub>E</sub> [°C] :	0,2
<small>If "User defined" is selected for the insulation material, then (λ<sub>USER</sub>) must be specified.</small>		ΔT <sub>sh</sub> [K] :	10,00
		Cooling capacity : 7,0 [kW]	
		<small>If cooling capacity is selected as input for flow size the temperatures specified above are used.</small>	

© 1999 - 2001  
Department of  
Mechanical Engineering  
Technical University  
of Denmark  
Version 1.46  
TOOL A.3

Höyrystinpaine: 1,9 bar, Lauhdutin paine: 11 bar, Jäähdytysteho 3,4 kW, ilmanlämpötila 24 C° / 4,7 C°



Höyrystinpaine: 1,8 bar, Lauhdutin paine: 11 bar, Jäähdytysteho 3,8 kW, ilma +30 C°/6,7C°



Höyrystinpaine: 1,7 bar, Lauhdutin paine: 15 bar, Jäähdytysteho 3,7 kW, ilmanlämpötila 30 C° / 7 C°

