

Pauli Havukainen

**AUTON ILMASTOINTILAITE  
SIMULAATTORI**  
Laitteen kehittäminen ilmastointihuolto-  
kurssien opetusvälineeksi

Opinnäytetyö  
Auto- ja kuljetustekniikka


Toukokuu 2011




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  3.5.2011				
<b>Tekijä(t)</b>  Pauli Havukainen	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Auto- ja kuljetustekniikka				
<b>Nimeke</b>  Auton ilmastointilaitesimulaattori: laitteen kehittäminen ilmastointihuoltokurssien opetusvälineeksi					
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää vuonna 2004 Mikkelin autolaboratorion opetusvälineeksi rakennettua auton ilmastointilaitesimulaattoria niin, että sitä voidaan hyödyntää ilmastointihuoltokoulutuksissa. Ilmastointisimulaattorista puuttuivat toimiva ilmastoinnin ohjaus, kylmäainekierto ja moottori.</p> <p>Työssä syvennyttiin auton ilmastointilaitteiston, ilmastoinnin sähköjärjestelmän sekä ilmastointihuollon toimintaan ja hyödynnettiin kerättyä tietoa simulaattorin kehittämisessä. Ilmastoinnin ohjaus saatettiin toimivaksi ja simulaattoriin mitoitettiin ja lisättiin sähkömoottori. Simulaattorin kylmäaineputkisto rakennettiin uudelleen ja putkistojen väliin tehtiin järjestelmän painetiloja simuloivia sulkuventtiilejä. Ilmastoinnin ohjaukseen tehtiin myös vikatila- ja lämpötila-antureiden simulointikytkentöjä.</p> <p>Simulaattorin toimintaa tarkasteltiin tutkimalla, kuinka simulointi vaikuttaa ilmastointiin. Tämän lisäksi työssä tutkittiin sähkömoottorin tehoa ja ilmastoinnin ohjainlaitteen itsediagnoosia.</p> <p>Opinnäytetyössä päästiin tavoitteeseen eli ilmastointisimulaattorista saatiin tehtyä toimiva ilmastointijärjestelmä, jota pystytään käyttämään, huoltamaan ja sen vikatiloja sekä antureita pystytään simuloimaan. Simulaattori soveltuu erittäin hyvin ilmastointihuoltokurssien opetuslaitteeksi, jossa simulaattoria joudutaan liikuttelemaan paikasta toiseen.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  ilmastointi, simulaattori, ilmastointihuolto					
<b>Sivumäärä</b>  66 + 20	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 50%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>  					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  DI Jarkko Peltonen	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Kaha Oy Ab				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  3.5.2011
<b>Author(s)</b>  Pauli Havukainen	<b>Degreeprogramme and option</b>  Automotive and transportation technology	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  An automotive air conditioning simulator : developing an educational device for air conditioning maintenance courses		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this thesis was to develop an air conditioner simulator made in 2004 for education purpose for automotive laboratory of Mikkeli Polytechnic. The idea of this work was to make changes to the simulator so that it can be used as an educational device in air conditioning maintenance courses. The air conditioner simulator had a lack of working control of the air conditioning, inoperative refrigerant lines and an engine that rotates a compressor pulley.</p> <p>This thesis presents the theory of air conditioning and air conditioning diagnostics in cars. Theory was exploited in developing the simulator. The air conditioning of the simulator was made to a working device and an electric motor was adapted into the simulator. A new refrigerant line and valves that simulates pressure states in refrigerant line was adapted into the simulator. Electrical fault connections and potentiometers that simulate temperature sensors were added to the air conditioning control.</p> <p>Simulator functions were tested by exploring effects of simulating air conditioning signals in the air conditioning system. The study also examined the need of power of the electric motor and air conditioning control unit self-diagnostics.</p> <p>The thesis reached the goal of making the air conditioning simulator a working device that can be easily simulated and diagnosed. The air conditioning simulator is very suitable for air conditioning lesson where simulator has to be transported place to another.</p>		
<b>Subjectheadings, (keywords)</b>  air conditioning, simulator, air conditioning system maintenance		
<b>Pages</b>  66+20	<b>Language</b>  Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b>  Jarkko Peltonen, Msc	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Kaha Ltd	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ILMASTOINTI .....	2
2.1	Jäähdytyksen perusteet .....	2
2.2	Henkilöauton ilmastointi .....	5
2.2.1	Komponentit .....	6
2.2.2	Ilmanjakelu ja ohjaus .....	15
2.2.3	Kylmäaineet .....	18
2.2.4	Kompressoriöljyt.....	20
2.2.5	Lainsäädäntö .....	20
2.2.6	Ilmastointihuolto sekä laitteisto .....	21
3	ILMASTOINTILAITE-SIMULAATTORI .....	24
3.1	Ilmastoinnin ohjainlaite .....	25
3.2	Ilmanjakeluyksikkö.....	26
3.3	Lämpötila-anturit sekä aurinkotunnistin.....	26
3.4	Lauhdutin, lauhduttimen puhaltimet sekä ohjainlaite.....	28
3.5	Kuristinputki ja huoltoliittimet .....	29
3.6	Kompressori.....	29
4	ILMASTOINTILAITESIMULAATTORIN MUUTOKSET JA TOTEUTUS....	30
4.1	Tavoitteet .....	30
4.2	Magneettikytkimen ohjaus.....	30
4.3	Lämpötila-antureiden simulointi .....	36
4.4	Vikatilasimulointi .....	37
4.5	Sähkökaaviot.....	39
4.6	Sähkömoottorin sovittaminen simulaattoriin.....	39
4.7	Kylmäaineputkisto ja sulkuventtiilit.....	47
4.8	Ilmastointisimulaattorin koeponnistus ja täyttö kylmäaineella .....	52
5	SIMULAATTORIN TESTAUS, TULOKSET JA TARKASTELU .....	54
5.1	Kompressorin vaatima sähkömoottorin teho .....	54
5.2	Lämpötila-antureiden simulointi .....	56
5.3	Aurinkotunnistimen simulointi.....	56
5.4	Ajonopeuden simulointi.....	58
5.5	Painetilojen simulointi sulkuventtiileillä .....	59

5.6	Sähköisten vikatilojen simulointi .....	60
5.7	Ilmastoinnin ohjainlaitteen itsediagnoosi .....	61
6	YHTEENVETO .....	62
7	POHDINTA .....	63
	LÄHTEET .....	65

#### LIITTEET

- 1 Audin sähkökaaviot
- 2 Simulaattorin alkuperäinen virtapiirikaavio
- 3 Lämpötila-antureiden vastusarvot
- 4 Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot
- 5 Sähkömoottorin mitat
- 6 Moottorin kiinnitys CAD-kuva
- 7 Hihnankiristin CAD-kuva
- 8 Adapteriholkki CAD-kuva
- 9 Simulaattorin kylmäpiirikaavio

## 1 JOHDANTO

Ilmastoinnin käyttö autoissa on lisääntynyt suuresti, minkä seurauksena autojen ilmastointihuoltojen tarve on kasvanut. Samalla ilmastointihuoltoja koskeva lainsäädäntö on kiristynyt, joten nämä yhdessä aiheuttavat kysyntää ilmastointihuoltokoulutukselle.

Autojen ilmastointilaitteen komponentit ovat piilossa konehuoneessa sekä kojetaulun alla muiden komponenttien seassa, minkä takia ilmastoinnin toiminnan hahmottaminen autossa on hankalaa. Vuonna 2004 opinnäytetyönä tehdyssä autonilmastointilaitesimulaattorissa henkilöauton ilmastoinnin komponentit ovat sijoitettuna liikuteltavaan telineeseen, jossa niiden sijainti ja rooli ilmastoinnin toiminnan kannalta hahmotuu paremmin, kuin autosta. Ilmastointisimulaattorilla ei pystynyt kuitenkaan käyttämään ilmastointia, koska siitä puuttui toimiva kylmäpuoli, ilmastoinnin ohjaus sekä voimanlähde ilmastoinnin kompressorille.

Ilmastointihuoltokursseja vetävä DI Jarkko Peltonen ehdotti aihetta ilmastointisimulaattorin kehittämistä niin, että sitä voitaisiin hyödyntää Kahan järjestämässä ilmastointihuoltokoulutuksissa. Kaha Oy Ab on henkilö- ja hyötyajoneuvojen varaosien ja lisätarvikkeiden maahantuonti ja tukkuliike. Tämän lisäksi yritys tuo maahan ajoneuvoteollisuuden komponentteja. Kaha järjestää myös Tukesin hyväksymiä ilmastointihuoltokoulutuksia.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada ilmastointisimulaattorista toimiva ilmastointijärjestelmä, jota pystytään huoltamaan auton ilmastointihuoltolaitteella. Tämän lisäksi simulaattoriin pystyttäisiin tekemään sähköisiä sekä kylmäaineen paineisiin vaikuttavia vikatiloja. Ilmastoinnin kompressorin pyörittämistä varten simulaattoriin rakennetaan sähkömoottori. Simulaattorin kylmäaineputkisto rakennetaan uudelleen ja putkistoon tehdään kylmäaineen painetiloja simuloivia sulkuventtiileitä. Opinnäytetyössä perehdytään myös auton ilmastointijärjestelmän toimintaan sekä käydään läpi ilmastointihuoltoa ja menetelmiä.

## 2 ILMASTOINTI

Ihminen tuntee olonsa mukavaksi kapealla lämpötila-alueella, joka on noin 20–26 C°. Otettaessa huomioon ilmankosteus lämpötila alue kasvaa, koska kosteampi ilma siirtää iholta hitaammin lämpöä kuin kuivempi ilma. Esimerkiksi 26 C° lämpötila ja 30 % ilmankosteus voi tuntua yhtä lämpimältä kuin 21 C° lämpötila ja 90 % ilmankosteus. (Stubblefield & Haynes 2000, 1-1.) Lämpötilalla ja ilmankosteudella on myös vaikutusta kuljettajan ajokykyyn, siksi ilmastointi toimii osana aktiivista turvajärjestelmää (Volkswagen 2009, 4). Auton ilmastoinnissa ilma viilennetään, kuivataan ja puhdistetaan, ennen kuin ilma päästetään auton sisälle. Ilmastointi absorboi auton sisällä olevan ja sisälle tulevan lämmön ja siirtää sen ulos. (Stubblefield & Haynes 2000, 1-2.) Kuva 1 havainnollistaa ilmastoinnin vaikutusta auton sisätilan lämpötilaan, kun auto on auringon paisteessa ja ulkoilman lämpötila on 30 C°.

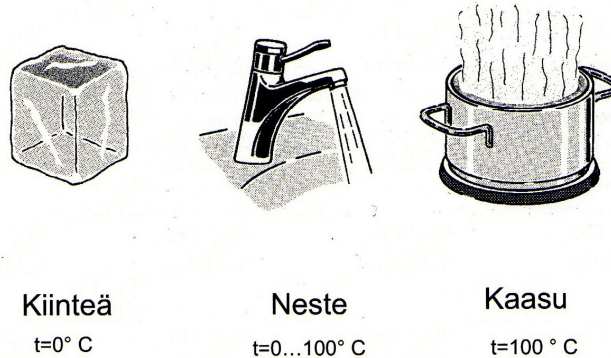
Temperatures in a mid-range passenger car where: driving time 1 h ambient temperature 30°C sunlight penetration into car			with air conditioning	without air conditioning
Area				
Head	→	23 °C	42 °C	
Chest	→	24 °C	40 °C	
Feet	→	28 °C	35 °C	

**KUVA 1. Ilmastoinnin vaikutus sisätilan lämpötilaan (Volkswagen 2009, 4)**

### 2.1 Jäähdytyksen perusteet

Aineella on kolme olomuotoa (kuva 2): kiinteä, neste ja kaasu. Aineen muuttaessa olomuotoa lämpöä joko siirtyy aineeseen tai aineesta pois. (General Motors 1995, 2-6.)

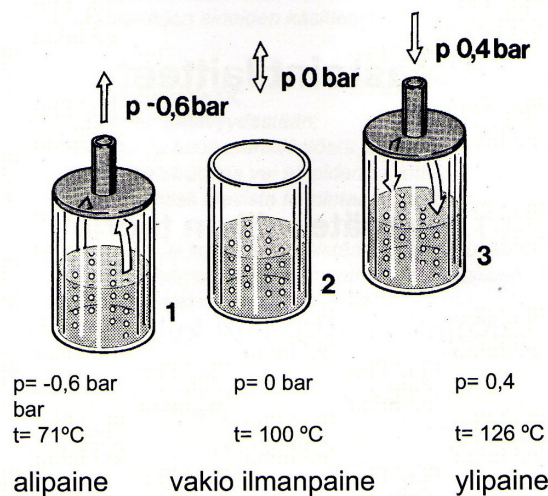
## Aineen olomuodot (esim. Vesi)



**KUVA 2. Veden eri olomuodot (Toivonen, 12)**

Kun veteen absorboituu tarpeeksi lämpöä, se alkaa kiehua ja sen olomuoto muuttuu kaasuksi. Tämä tapahtuu vedelle  $100^{\circ}\text{C}$  celsiusasteen lämpötilassa. Kiehuvan veden lämpötila ei pysty normaalissa ilmanpaineessa nousemaan  $100^{\circ}\text{C}$  celsiusastetta korkeammalle ilman, että se muuttaa olomuotoaan kaasuksi. Kun höyry puolestaan muuttaa olomuotoaan kaasusta nestemäiseksi, se luovuttaa lämmön pois, jonka se on saanut höyryksi muuttuessaan. Tästä aineen olomuodon muutoksesta käytetään termiä kondensoituminen. (Marsh & Olivo 1979, 13.) Veden joutuessa ylipaineeseen sen kiehumispiste nousee yli  $100^{\circ}\text{C}$  celsiusasteen (kuva 3).

## Paineen vaikutus veden kiehumispisteeseen

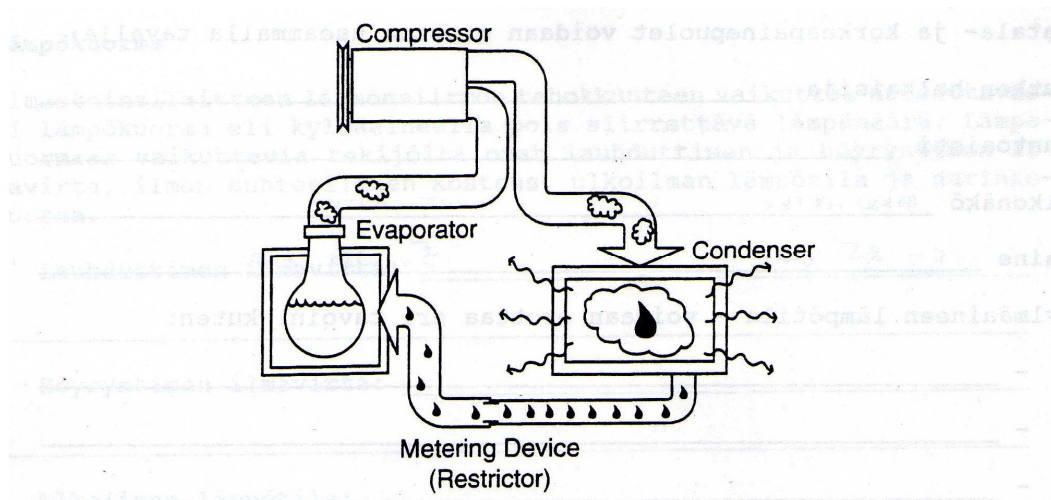


**KUVA 3. Paineen vaikutus kiehumispisteeseen (Toivonen, 12)**



Paine vaikuttaa samalla tavalla myös muihin kaasuihin ja niiden höyrystymiseen. Yli-paineistettu kaasu nostaa lämpötilaa, koska sama määrä lämpöä pakotetaan pienem-pään tilaan. Paineen avulla kaasun lämpötilaa saadaan nostettua, ilman että siihen tuo-daan lisää lämpöä. Tätä fysikaalista ilmiötä käytetään hyväksi jäädytysjärjestelmissä paineistamalla kylmäaine kompressorilla. (General Motors 1995, 2-11.) Jotta lämmön siirtyminen saataisiin tehokkaaksi, tarvitaan kylmäaine, joka kiehuu normaalissa il-manpaineessa hyvin matalassa lämpötilassa, noin -30 celsiusasteessa. Tällöin aine absorboi paljon lämpöä itseensä. (Stubblefield & Haynes 2000, 1-6.)

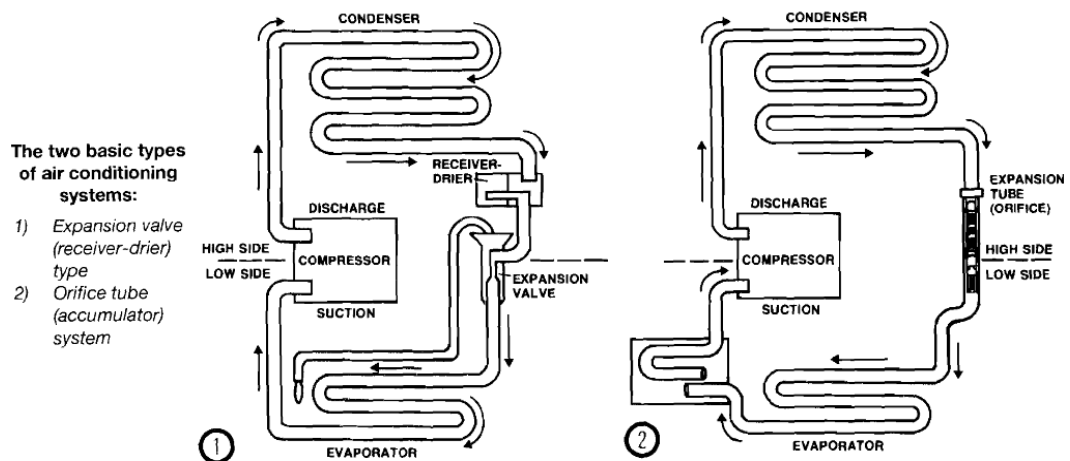
Perinteisessä jäädytysjärjestelmässä kylmäaine paineistetaan lauhduttimeen, josta se kulkee höyrystimeen kylmäainevirtausta säätelevän venttiilin läpi. Tämä venttiili päästää paineistetun kylmäaineen höyrystimeen, jossa se pääsee laajenemaan ja seura-uksena on paineen lasku. Paineen laskiessa kylmäaine muuttua olomuotoa höyryksi ja samalla absorboi itseensä lämpöä höyrystimen ohi virtaavasta ilmasta. Näin ohi vir-taava ilma jäähtyy. Jotta jäädytyskierto voidaan päättää, täytyy kylmäaineen luovut-taa absorboitunut lämpö pois ja muuttua nesteeksi. Siksi höyrystimessä kaasuuntunut kylmäaine kulkee takaisin kompressoriin, jossa se paineistetaan takaisin lauhdutti-meen. Samalla, kun kylmäaine paineistetaan, sen lämpötila kasvaa. Kuuma kylmäaine luovuttaa lauhduttimen ympärillä olevaan viileämpään ilmaan lämpöä ja samalla kon-densoituu nesteeksi. Seuraavaksi kylmäaine kulkee takaisin virtausta säätelevän vent-tiilin kautta höyrystimeen ja kiertää saman syklin (kuva 4). (Stubblefield & Haynes 2000, 1-6.)



**KUVA 4. Kylmäainekierto (Järvinen 1995, 13)**

## 2.2 Henkilöauton ilmastointi

Henkilöautoissa käytetään perinteellisesti kahdenlaisia ilmastointijärjestelmiä. Järjestelmien ero syntyy lauhduttimen ja höyrystimen välissä käytettävästä mittaventtiilistä: paisuntaventtiilistä ja kuristinputkesta. (Stubblefield & Haynes 2000, 2–1.)



**KUVA 5. Paisuntaventtiiliä ja kuristinputkea käyttävät järjestelmät (Stubblefield & Haynes 2000, 3-2)**

Paisuntaventtiiliä käyttävä järjestelmä näkyy kuvassa 5 vasemmalla puolella. Tässä järjestelmässä kompressori paineistaa kylmäaineen lauhduttimeen, josta se kulkee kuivaimen. Kuivaimessa korkeapaineisesta nestemäisestä kylmäaineesta erottuu mahdollinen vesi ja epäpuhtaudet pois. Tämän jälkeen kylmäaine kulkee paisuntaventtiiliin, jonka jälkeen kylmäaine muuttuu osittain kaasuksi. Seuraavaksi kylmäaineseos kulkeutuu höyrystimeen, jossa loput nestemäisestä kylmäaineesta muuttuu höyryksi. Matalapaineinen höyry kulkeutuu takaisin kompressoriin paineistettavaksi. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-2.)

Kuvan 5 oikealla puolella on kuristinputkea käyttävä järjestelmä. Kuristinputkella varustetussa järjestelmässä kompressori paineistaa kylmäainekaasun lauhduttimeen kuten paisuntaventtiiliä käyttävässä järjestelmässä. Tämän jälkeen nesteeksi kondensoitunut kylmäaine kulkeutuu kuristinputkeen, joka rajoittaa kylmäainevirtausta ja päästää kylmäaineen höyrystimeen, muuttaen kylmäaineen matalapaineiseksi nesteeksi. Höyrystimessä suurin osa kylmäaineesta muuttuu kaasuksi, mutta osa saattaa kuitenkin vielä säilyä nestemäisessä muodossa. Höyrystimen jälkeen kylmäaine kulkeu-

tuu nestettä varaavaan kuivaimeen, jossa loput nestemäisestä kylmäaineesta muuttuu höyryksi. Samalla kuivan imee itseensä myös mahdollisen kosteuden. Tämän jälkeen kylmäainehöyry kulkeutuu takaisin kompressoriin. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-3.)

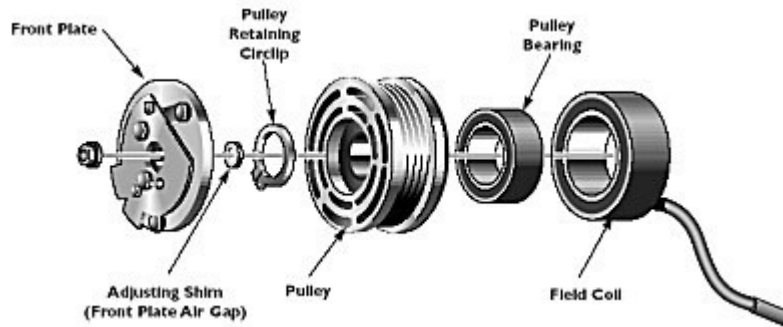
Mittaventtiilien lisäksi ilmastoinnin painetta säädetään tiettyjen rajojen sisällä. Korkeapaine ei saa nousta liian suureksi ja puolestaan matalapaine ei laskea liian matalaksi. Sääto toteutetaan jaksottamalla kompressorin käyntiä tai muuttamalla tilavuutta.

Ilmastointilaitteen tehokkuuteen vaikuttaa lämpökuorma eli lämpömäärä, jota kylmäaineella siirretään pois. Lämpökuorma riippuu lauhduttimen ja höyrystimen ilmavirrasta, ilman suhteellisesta kosteudesta, ulkoilman lämpötilasta ja aurinkokuormasta. (Järvinen 1993, 14–15.)

### **2.2.1 Komponentit**

#### **Kompressori**

Kompressori on pumppu, joka kierrättää kylmäainetta ja öljyä auton kylmäainejärjestelmässä. Kompressori imee matalapaineisen kylmäainekaasun kompressoriin ja paineistaa kylmäaineen. Korkeapaineinen kaasu kuumenee ja liikkuu kompressorin ulostulosta lauhduttimeen. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-4.) Perinteinen auton kompressori ottaa käyttövoiman moottorin kampiakselilta hinnan välityksellä. Kompressorin päälle kytkemistä ohjataan magneettikytkimellä, jolla otetaan kompressori käyttöön tai pois käytöstä. Magneettikytkin voi olla jatkuvasti päällä tai sen kytkeytymistä voidaan ohjata jatkuvasti paineen ja lämpötilan mukaan. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-4.) Kun elektro-magneettinen kytkin (kuva 9) saa ohjausjännitteen ja kytkeytyy päälle, välittää kytkin hihnapyörältä voiman kompressoria pyörittävälle akselille. Kun puolestaan kytkin ei ole päällä, kompressorin hihnapyörä pyörii vapaasti ilman kompressorin kytkintä ja akselia. (Mistermatic 2005.)



**KUVA 9. Magneettikytkin (Mistermatic 2005)**

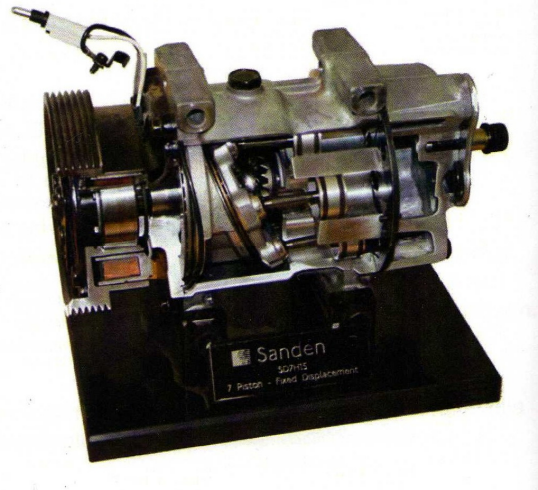
Autoissa käytetään kolmentyyppisiä kompressoreita. Näitä ovat mäntäkompressori (kiinteä- tai muuttuvatilavuuksinen), spiraalikompressori ja siipikompressori. (Toivonen, 27–29.) *Mäntäkompressorissa* mäntä tekee liikkeessään imu- ja puristustahdin. Liikkeessään alaspäin mäntä imee kylmäainekaasua sylinteriin. Männän liikkeessä ylöspäin imupuoli sulkeutuu ja kaasu paineistuu sylinteriin. Paineistunut kaasu pääsee purkautumaan ulos kompressorista kohti lauhdutinta. (Stubblefield & Haynes 2000, 2–5.) Autoissa käytettävissä mäntäkompressorissa on useita mäntiä, jotka painavat kylmäainekaasun suureen paineeseen. Hihnapyörä pyörittää kompressorin sisällä olevaa vinolevyä, joka puolestaan pyöriessään aiheuttaa mäntiin edestakaista liikettä sylinterissä. (Toivonen, 27.) Kuvassa 6 on kiinteätalavuuksinen mäntäkompressori, jossa vinolevy pysyy samassa asennossa pitäen tuoton vakiona. Muuttuvatilavuuksisessa mäntäkompressorissa vinolevyn asentoa pystytään muuttamaan, jolloin mäntien iskunpituus muuttuu. Tilavuuden muutos mahdollistaa ns. nollatuoton, joten kompressori pyörii koko ajan moottorin mukana. Siksi kompressori ei myöskään tarvitse hihnapyörälle kytkintä. (Toivonen, 28.) Muuttuvatilavuuksisen kompressorin tuottoa ohjataan mekaanisella tai elektronisella säätöventtiilillä. Säätöventtiili säätää painetta kompressorin sisällä olevalle männälle, joka vaikuttaa vinolevyn asentoon. Mekaanisen säätöventtiilin paineen säätö tapahtuu kompressorin paine-eron avulla. Nykyään on alettu käyttää elektronista säätöventtiiliä, jolloin kompressorilla pystytään säätämään höyrystimen lämpötilaa. Elektronisen säätöventtiilin tarkemman säädön ansiosta kompressorin kytkimestä on päästy eroon ja kompressori voi toimia jatkuvasti mukana. (Jacques 2005, 1–2.)

### Mäntäkompressori

- männät puristavat kaasua korkeaan paineeseen
- mäntiä useita, 3 – 10 mäntää.

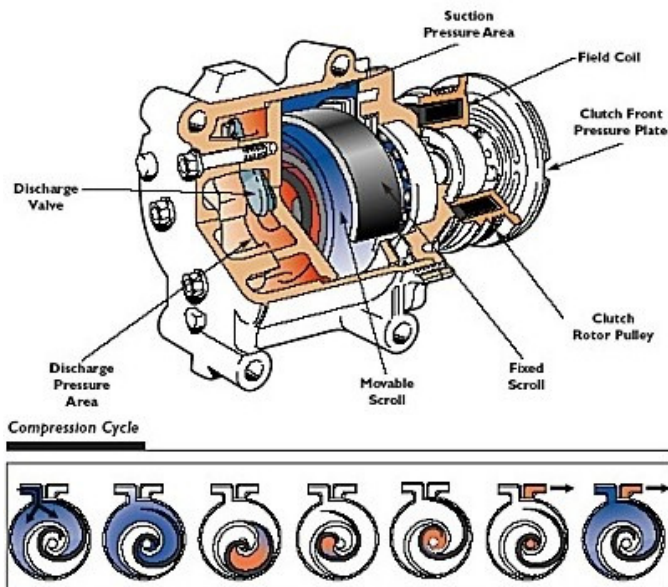
### Kiinteätilavuuksinen

- vinolevy pysyy jatkuvasti samassa asennossa
- kompressorin tuotto on vakio
- voima välitetään kompressorille hihnapyörältä sähkömagneettisen kytkimen kautta.



**Kuva 6. Vinolevymäntäkompressori (Toivonen, 27)**

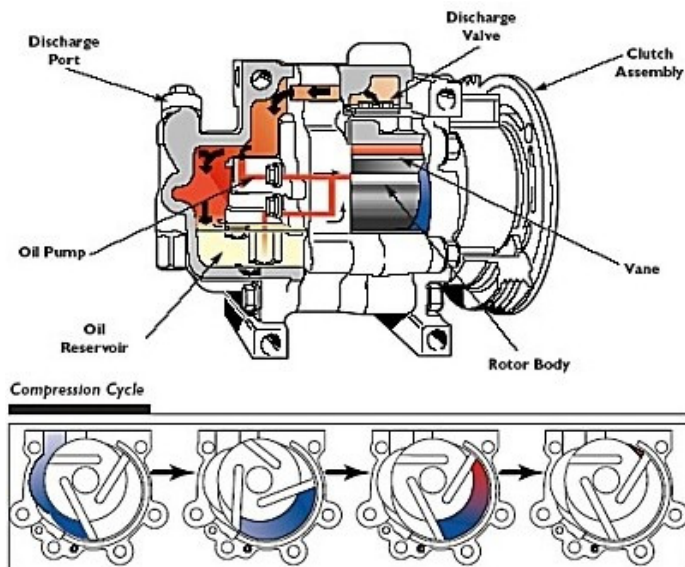
Kuvan 7 *spiraalikompressorissa* kaasu puristetaan kahden spiraalin keskinäisellä paikankuutoksella. Spiraaleista toinen on kiinteä ja toinen liikkuu akselin mukana. Matalapaineinen kaasu tulee sisään spiraalin ulkolaidasta. Spiraalin liikuessa kaasu pakkaantuu pienempään tilaan ja samalla kaasun paine kasvaa. Paineistettu kaasu pääsee purkautumaan ulos spiraaleiden keskeltä. (Mistermatic 2005.)



**KUVA 7. Spiraalikompressori (Mistermatic 2005)**

*Siipikompressori* koostuu pyörivästä akselistä, johon on kytketty lamellisiipiä (kuva 8). Matalapaineinen kaasu imetään kahden pyörivän siiven väliin. Tämän jälkeen pyörivät siivet pakottavat kaasun pienempään tilaan. Kierroksen lopussa korkeapaineinen

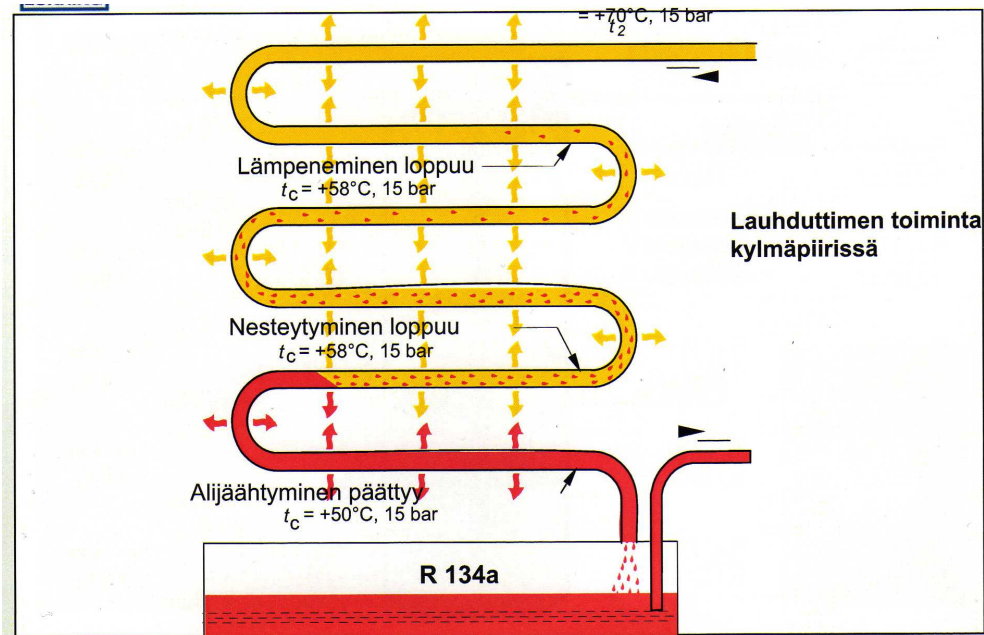
kaasu purkautuu ulos ja lamellit keräävät matalapaineisen kaasun sisään. Lamellit tiivistyvät seinämiin keskipakoisvoiman sekä öljyn ansiosta. (Mistermatic 2005.)



**KUVA 8. Siipikompressor (Mistermatic 2005)**

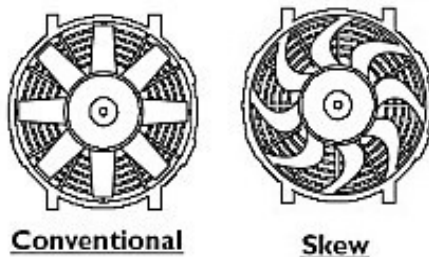
### Lauhdutin

Lauhdutin koostuu kylmäaineputkesta, jonka ympärillä on jäähdytysripoja. Putkisto kiertää lauhduttimessa niin, että se luovuttaa mahdollisimman paljon lämpöä käytettyyn tilaan nähden. Lauhdutin sijoitetaan auton etuosaan jäähdyttimen eteen, jossa sen läpi kulkee paras mahdollinen ilmavirta auton liikkeen tai jäähdyttimen puhaltimen aiheuttamana. (General Motors 1995, 3-10.) Kompressorilta tuleva paineistettu ja kuuma kylmäainehöyry kulkee lauhduttimen putkistoa pitkin ja muuttaa olomuotonsa nesteeksi. Samalla kylmäaine luovuttaa ohivirtaavaan ilmaan lämpöä. Normaalissa olosuhteissa lauhdutin sisältää kaksi kolmasosaa kylmäainehöyryä ja yksi kolmasosaa nestemäistä kylmäainetta (kuva 10). (Stubblefield & Haynes 2000, 2-9.)



**KUVA 10. Lauhduttimen toiminta kylmäpiirissä (Toivonen, 42)**

Useimmat lauhduttimet tarvitsevat sähköisen puhaltimen, jotta ilmavirta lauhduttimen läpi olisi riittävän suuri (kuva 11). Nykyään autojen keulat eivät ole enää niin aukinaisia, jonka seurauksena ilmavirta moottori tilaan heikkenee. Tästä johtuen puhallin on entistä suuremmassa roolissa varsinkin auton seisoessa paikallaan. Lauhduttimen puhallin voi olla puhaltavaa tai imevää mallia riippuen lauhduttimen sijainnista. (Mistermatic 2005.)

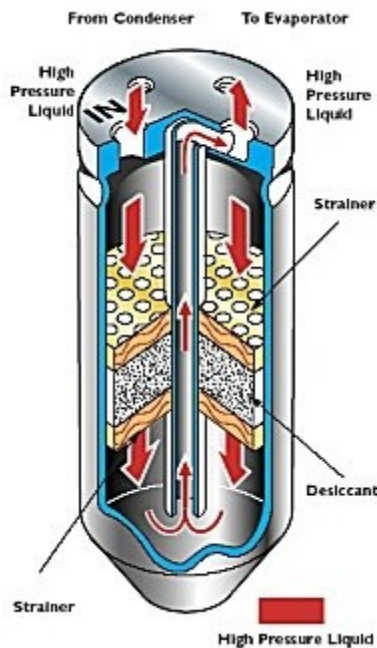


**KUVA 11. Lauhduttimen puhallin (Mistermatic 2005)**

### Kuivain

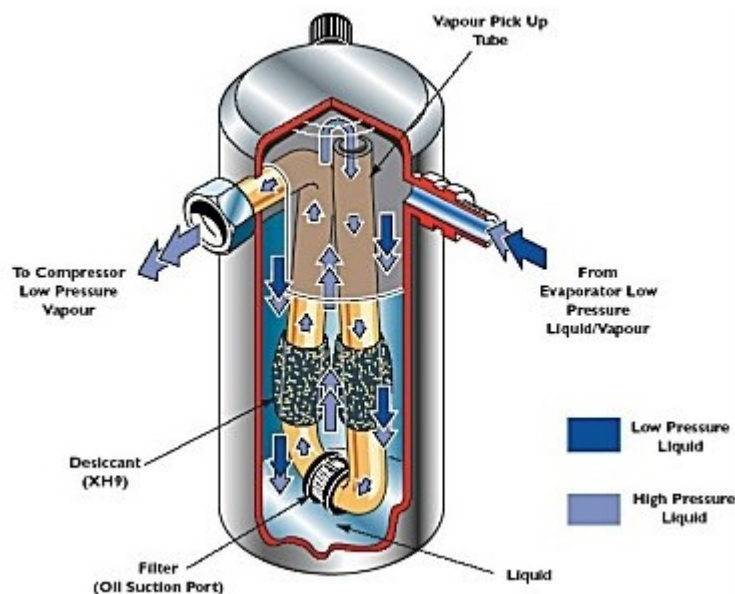
Autoissa käytetään kahdentyyppisiä kuivaimia kylmäaineen varastointiin ja kosteuden poistoon. Kuivaintyyppisiä ovat vastaanotin-kuivain ja nestevaraaja-kuivain. Vastaanotin-kuivain (kuva 12) on sijoitettu korkeapainepuolelle lauhduttimen ja paisuntaputken väliin. Sen tehtävänä on varastoida korkeapaineista kylmäainetta, jotta höyrystin saa tarvittavan määrän kylmäainetta olosuhteiden vaihdelta. Vastaanotin kuivain varmistaa, että paisuntaventtiilille menevä kylmäaine on nestemäisessä muodossa..

Tämän lisäksi kuivain suojaa kylmäainejärjestelmää, absorboiden itseensä kosteutta ja suodattaen kylmäaineesta epäpuhtaudet. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-10.)



**KUVA 12. Vastaanotinkuivain (Mistermatic 2005)**

Kuvan 13 nestevaraaja-kuivain on puolestaan sijoitettu matalapainepuolelle höyrystimen ja kompressorin väliin. Nestevaraaja-kuivaimen tehtävänä on erottaa höyry nestestä ja öljystä ja siten päästää kompressorille vain kylmäainehöyryä. Kuivain suodattaa myös epäpuhtaudet sekä absorboi kosteuden. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-10.)

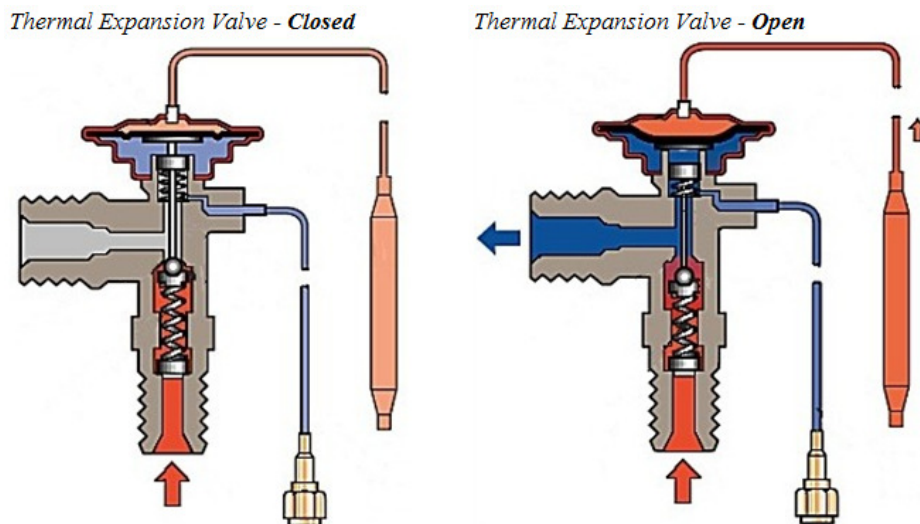


**KUVA 13. Nestevaraaja-kuivain (Mistermatic 2005)**



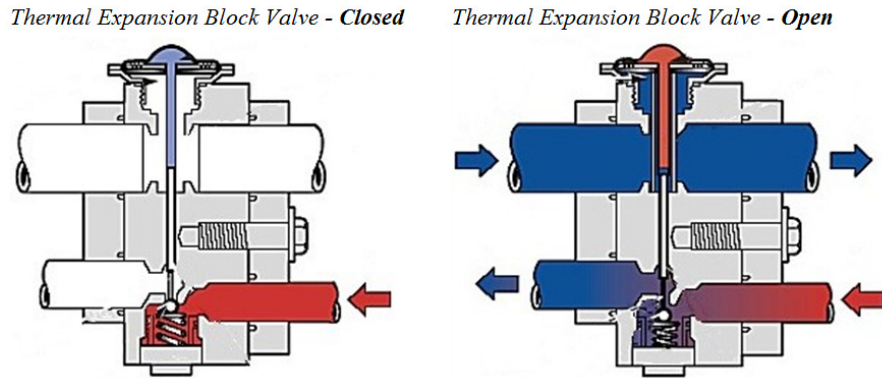
## Kylmäaineen virtauksen säätimet: paisuntaventtiili ja kuristinputki

Termostaattinen paisuntaventtiili sijaitsee höyrystimen tuloputkessa ja säätelee kylmäaineen määrää höyrystimelle. Paisuntaventtiilillä on kolme toimintoa: kylmäaineen kuristus, säätö sekä mittaus. Paisuntaventtiilissä on pieni kanava ja venttiili, jotka kuristavat kylmäainevirtaa. (Järvinen 1993, 44.) Termostaattista paisuntaventtiiliä ohjaa kylmäaineen tulistus. Höyrystimen lähtevään putkeen on kytketty lämpöä tunnusteleva tuntoelin. Kun höyrystimestä lähtevän kylmäaineen lämpötila kasvaa, tuntoelimen paine kasvaa ja välittyy kapilaariputkea pitkin paisuntaventtiiliä ohjaavalle kalvolle. Tällöin venttiili aukeaa lisää ja päästää suuremman määrän nestettä höyrystimeen. Paisuntaventtiileissä käytetään ulkoista ja sisäistä paineentasausausta. Sisäisessä paineentasauksessa kalvon alapuolella on sama paine kuin venttiilin jälkeen. Kuvassa 14 näkyy ulkoinen paineentasaus, jossa kylmäaineen määrää säätelevän kalvon alla on höyrystimen jälkeinen paine. (Kaappola 1996, 223.) Sisäisiä paineentasaujia käytetään pienien höyrystimien yhteydessä ja ulkoisia puolestaan suuremmissa höyrystimissä, koska höyrystimen koon kasvaessa höyrystimen lämpötila ja paine-ero kasvaa. (Järvinen 1993, 45).



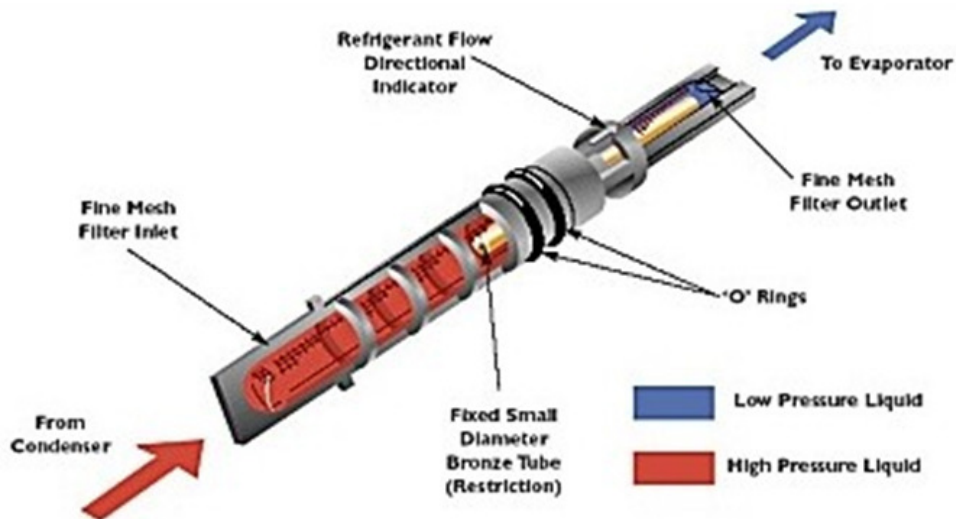
**KUVA 14. Paisuntaventtiili ulkoisella paineentasauksella (Mistematic 2005)**

Lohkoventtiili (kuva 15) on paisuntaventtiili, jossa kylmäaineen sisään- ja ulostulot ovat saman rakenteen sisässä. Muuten toimintaperiaate on sama kuin perinteisessä paisuntaventtiilissä. (Mistematic 2005.) Paisuntaventtiilin säätimen sekä venttiilin virheellinen toiminta ilmenee yleensä matalina paineina sekä heikkona jäähdytyksenä (Järvinen 1993, 45).



**KUVA 15. Lohkoventtiili (Mistematic 2005)**

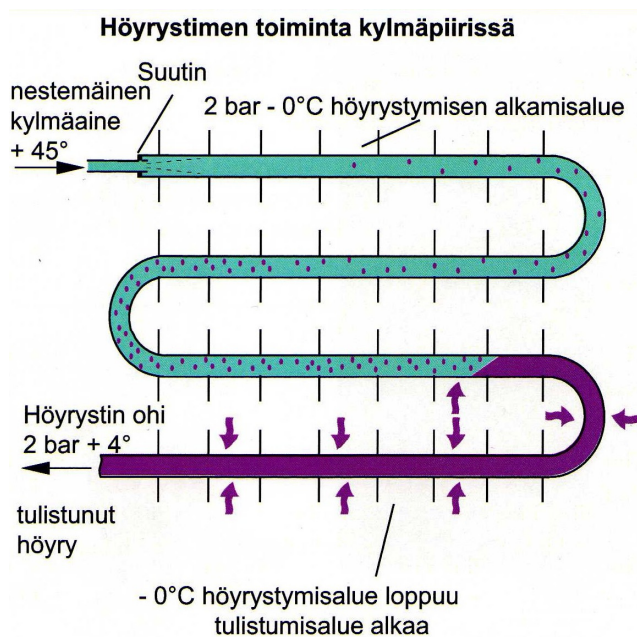
Kuvan 16 kuristinputki on sijoitettu lauhduttimen ja höyrystimen väliin. Se aiheuttaa kylmäainesteessä tarvittavan paineen laskun ja säätelee kylmäaineen määrää höyrystimeen kuristamalla kylmäainekiertoa. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-10.) Kuristinputken ympärillä oleva suodatinverkko estää kuristuksen tukkeutumisen. Sisääntulo puolen verkon tukkeutuminen ilmenee yleensä matalina järjestelmän paineina ja sitä kautta heikkona jäähtyksenä auton sisällä. (Järvinen 1993, 43.)



**KUVA 16. Kuristinputki (Mistematic 2005)**

## Höyrystin

Höyrystin on rakenteeltaan hyvin samanlainen kuin lauhdutin. Höyrystin on kooltaan pienempi, koska se on sijoitettu yleensä kojelaudan alle pieneen tilaan. Paisuntaventtiili tai kuristinputki annostelee matalapaineista kylmääainetta höyrystimen tulopuolella, jonka jälkeen höyrystimen läpi kulkeva ilma luovuttaa lämpöä kylmäaineeseen. Samalla kylmäaine muuttua olomuotoaan höyryksi ennen poistumistaan höyrystimestä. Höyrystimen tulopuolen ja lähtöpuolen kylmäaineella on keskimäärin muutaman asteen lämpötilaero, jolla varmistetaan, että kylmäaine on höyrystynyt ennen siirtymistä kompressoriin (kuva 17). Tämä lämpötilaero on tulistunutta höyryä. Höyrystimen ohi virtaavan ilman kosteus kondensoituu höyrystimen pintaan, joka johdetaan ulos autosta. Tämän takia pitkään paikallaan olevan auton alle saattaa muodostua vesilammikko, jos autossa on ollut ilmastointi päällä. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-20.)



**KUVA 17. Höyrystimen toiminta kylmäainepiirissä (Toivonen, 47)**

## Termostaatti

Termostaattia käytetään joissakin järjestelmissä aistimaan höyrystimen lämpötilaa ja säätämään kompressorin toimintaa sen mukaan. Kun höyrystimen lämpötila laskee liian alhaiseksi, termostaatti kytkee kompressorin pois päältä. Termostaatti antaa kompressorin toimia vasta, kun lämpötila on sallittu. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-20.)

## **Painekytkin**

Ilmastointijärjestelmissä käytetään painekeytkimiä, joilla tarkkaillaan korkeapainetta ja matalapainetta. Painekeytkimiä käytetään joissakin järjestelmissä ohjamaan kompressorin käyntiä. Tällöin kytkin mittaa matalapainetta ja säätelee kompressorin kytkintä jatkuvasti päälle ja pois.(Järvinen 1993, 48.) Korkeapaine- sekä matalapainekeytkin ottavat kompressorin magneettikytkimen pois käytöstä, jos paine ylittää tai alittaa tietyn rajan. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-23.) Painekeytkimen toiminta perustuu kalvon liikkeeseen, jota vastustaa jousikuorma. Painekeytkin vertaa järjestelmän painetta ulkoilman paineeseen (Järvinen 1993, 48). Paineen nousu järjestelmässä voi johtua tukkeutumasta kylmäainelinjassa tai lauhduttimen riittämättömästä jäähdytyksestä. Matalapaineen lasku voi johtua vuodosta tai tukoksesta kylmäainelinjassa. Matalapainekeytkin suojelee samalla kompressoria, koska tyhjentyneessä järjestelmässä öljynkierto heikkenee. (Stubblefield & Haynes 2000, 2-23.) Järjestelmissä käytetään myös kolmitoimisia painetunnistimia, jotka sijaitsevat korkeapainepuolella. Tunnistin mittaa järjestelmän painetta ja lähettää painetiedon ohjainlaitteelle, joka ohjaa kompressorin, joutokäynnin ja lauhduttimenpuhaltimen toimintaa. (Järvinen 1993, 49.)

## **Letkut ja huoltoliittimet**

Autojen ilmastoinnin letkut ovat kumia tai termoplastista muovia. R134a:ta kylmäaineenaan käyttävät järjestelmät tarvitsevat letkuihin myös nylonkerroksen väliin, jotta kylmäaineen vuoto olisi mahdollisimman vähäistä. (Stubblefield & Haynes 2000, 4-3.)

Huoltoliittimet ovat neulaventtiileitä, ja ne ovat yleensä sijoitettu korkea- ja matalapainepuolelle, tämän lisäksi ne ovat erikokoiset. R134a:n huoltoliittimiin kytketään pikaliittimet ja R12:ta käyttävän järjestelmän huoltoliittimiin kytketään kierreltiittimet. Pikaliitin ei päästä kylmäainetta ulos huoltolaitteen letkuista, kun letkut irrotetaan. (Järvinen 1993, 22–23.)

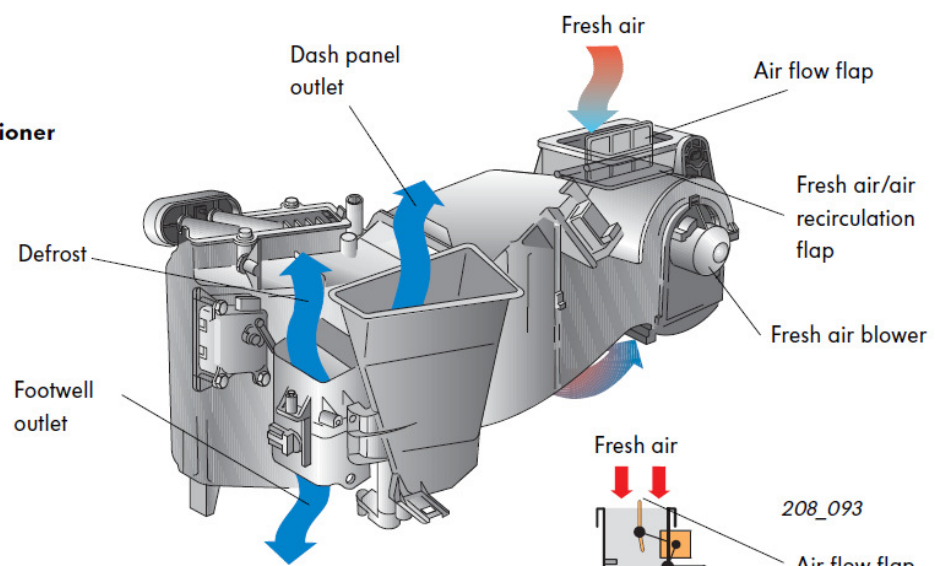
### **2.2.2 Ilmanjakelu ja ohjaus**

Ilmanjakelua säädetään ilmajakeluyksiköllä (kuva 19), ja sen tehtävänä on säätää ilmastoa auton sisätilassa muuttelemalla sisätilaan tulevan ilman virtausta ja lämpötilaa

(General Motors 1995, 6-1.) Ilmanjakeluyksikkö toimii kotelointina puhaltimelle, höyrystimelle sekä lämmityskennolle. Yksikkö päästää puhaltimelle ulko- tai sisäilmaa ja ohjaa ilman höyrystimen ja lämmityskennon läpi. Ilmavirtaa ohjaillaan yksikön sisällä olevien läppien avulla mm. jalkatilaan, keskikonsoliin ja tuulilasiin. (Järvinen 1993, 54.) Puhalluksen hoitaa sähkömoottori, jonka pyörintänopeutta säädetään kytkimellä etuvastuksen avulla tai portaattomasti säätövastuksen tai transistorin avulla. Puhallinta voidaan käyttää ilmavirran tuoton lisäksi puhallettavan ilman lämpötilan säätämisessä. Säätökeinoja ovat puhaltimen kennon jäähdytysnesteen määrän säätö tai kennon lämmittämisen ulkoilman sekoittaminen. (Juhala ym. 2005, 540.)

### Air ducting

#### The heater/air conditioner



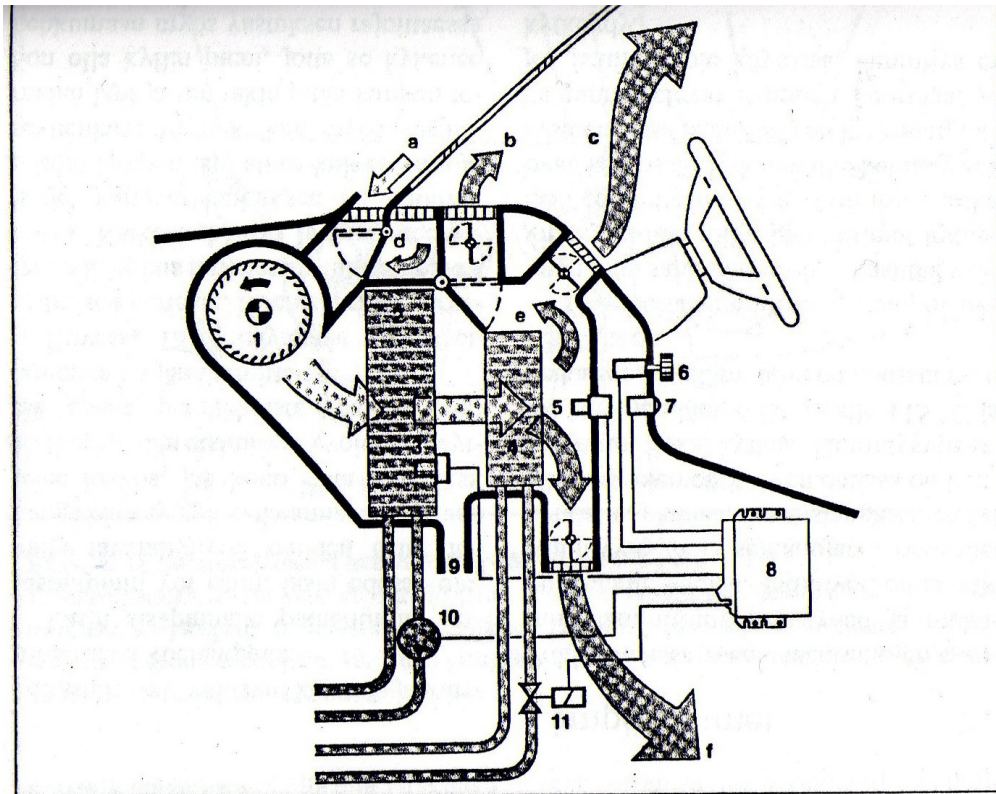
**KUVA 19. Ilmanjakeluyksikkö (Volkswagen 2009, 53)**

### Manuaalinen ilmastointi

Puhallinyksikkö puhaltaa auton sisätilaan ilmaa höyrystimen läpi. Pelkästään höyrystimen läpi tuleva ilma olisi liian kylmää, joten ilman kulkureittiä säädetään kulkemaan lämmityskennon kautta. Näin sisätilaan saadaan halutun suuruinen lämpötila. Auton sisätilan lämpötila voi kuitenkin vaihdella ulkoisten tekijöiden takia, kuten auton nopeuden aiheuttaman ilmavirran, ulkoilman lämpötilan ja auringonpaisteen takia. Tämän takia manuaalisissa ilmastoinneissa joudutaan säätämään lämpötilaa olosuhteiden muuttuessa. (Volkswagen 2009, 42.)

## Automaattinen ilmastointi

Hyvin varustelluissa malleissa lämpötilan säätö tapahtuu elektroniikan avulla automaattisesti ja lämpötila voidaan säätää erisuuruiseksi esimerkiksi kuljettajalle ja matkustajalle. Automaattiseen säätöön ohjainlaite tarvitsee lämpötila-antureilta tietoa muun muassa ulkoilman, sisäilman ja lämmityslaitteenkennon lämpötilasta. Ilmanvirtausta säädetään useiden ohjausläppien avulla, joiden asentoa ohjataan askelmootto-  
reiden avulla. Puhalluksen nopeutta käyttökäyttö ohjaa lähettämällä tietoa säätöelektroniikalle PWM- eli suorakaidesignaaleina. Ilmanvirtauksessa otetaan myös huomioon patopaine, joka kasvaa suurilla nopeuksilla. Myös auringon säteilyn intensiteetti voidaan ottaa huomioon anturin avulla. (Juhala ym. 2005, 540–543) Kuvassa 20 näkyy rakennekaavio automaattisen ilmastoinnin puhallusjärjestelmästä.



**Kuva 15.12** Elektronisen ilmastointijärjestelmän rakennekaavio vesiventtiiliohjauksella. 1. Puhallin, 2. Höyrystin, 3. Höyrystimen lämpötilan tunnistin, 4. Lämmittimen kenno, 5. Sisälle puhallettavan ilman lämpötunnistin, 6. Lämpötilan säädin, 7. Sisälämpötilan tunnistin, 8. Elektroninen ohjainlaite, 9. Tiivistyneen veden poisto, 10. Kompressorin osat, 11. Magneetti-venttiili, a = raitisilma, b = lämmitys (huurteenpoisto), c = ilmanvaihto, d = kiertoilma, e = ohivirtaus, f = puhallus jalkatilaan.

**KUVA 20.** Automaattinen ilmastointijärjestelmä (Juhala ym. 2005, 543)

### 2.2.3 Kylmäaineet

Autojen ilmastoinnissa käytettäviltä kylmäaineilta vaaditaan hyviä kylmätekniisiä ominaisuuksia, jotta ne soveltuvat ilmastoinnin laitteistoille, joilla on rajoituksia tilan sekä kustannuksien takia. Kylmäaine ei myöskään saa aiheuttaa varaa teknisen vian tai kolarin seurauksesta, eikä se saa olla vaarallinen ympäristölle tai ilmastolle. (Riikonen 2010, 38.)

Kaasujen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen on alettu seuraamaan GWP-indeksillä (Global warming potential), joka kuvaa kaasun auringosta absorboimaa säteilylämpöenergiaa. Indeksissä otetaan huomioon myös aineen hajoamisnopeus luonnossa, tarkastelujaksona on 100 vuotta ja vertailuaineena hiilidioksidi, jonka GWP-arvo on 1. Nykyään autoissa käytettävän kylmäaineen R134a:n indeksi on 1430 eli se on 1430 kertaa haitallisempaa kuin hiilidioksidi. Vuonna 2011 voimaan tullut GWP-raja on alle 150, joka koskee vuodesta 2011 alkaen uusia tyyppihyväksyntöjä ja vuodesta 2017 lähtien kaikkia uusia autoja. Tämän takia uusi kylmäaine Hfo-1234yf otettiin käyttöön. Uuden kylmäaineen GWP- arvo on 4, ja se hajoaa luonnossa noin 11 päivässä, kun puolestaan R143a:n hajoamisaika on 13 vuotta. Samassa direktiivissä määritettiin raja-arvo R134a:ta käyttävän järjestelmän vuodelle. (Riikonen 2010, 38.)

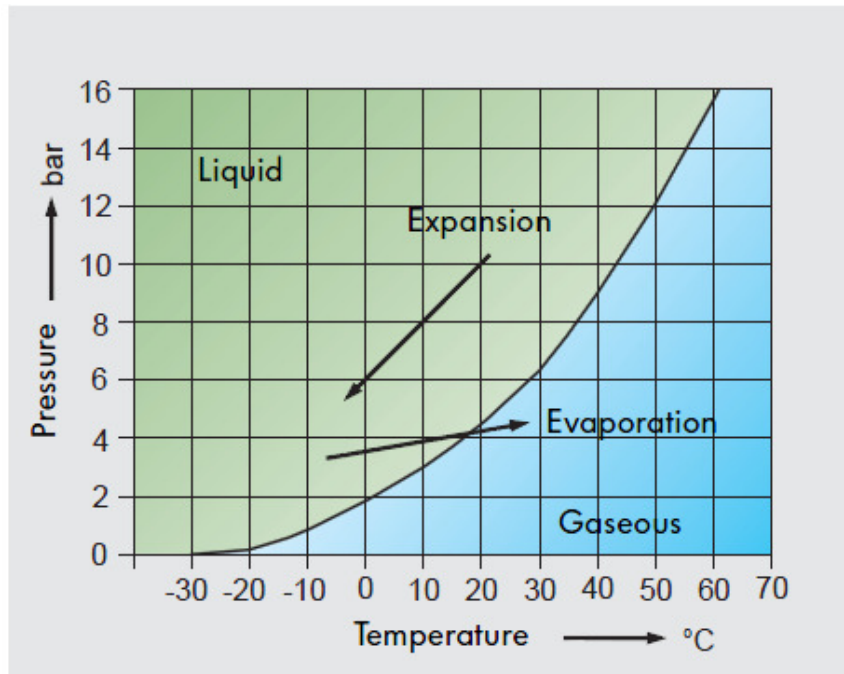
#### **R12**

R12 on ollut laajasti käytössä autojen ilmastoinnin kylmäaineena. Sen käyttö on lopetettu vuonna 1995. (Aittomäki & Aalto 2008, 117.) R12:ssa on hyvät kylmäaineen ominaisuudet, sillä se on vaaratonta järjestelmän materiaaleille, liukenee mineraaliöljyyn hyvin, eikä ole palava tai räjähtävä aine. R12:n käyttö vaikutti kuitenkin ilmakehän otsonikerroksen katoamiseen. (Järvinen 1993, 15.)

#### **R134a**

Otsoniongelmien seurauksena klooria sisältävistä yhdisteistä on jouduttu luopumaan ja etsimään tilalle korvaavia kylmäaineita. R134a on kylmäaine, jota käytetään nykyään autoissa. R134a:ta käyttävissä kylmäainejärjestelmissä pystytään käyttämään kaikkia normaaleja metalleja. R134a ei ole palava aine normaaleissa olosuhteissa, mutta ympäristöä korkeammassa paineessa ja ilmapitoisuuksissa voi muodostua sytty-

vä seos. Tämän takia painekokeissa ei saa käyttää ilman ja kylmäaineen seosta vaan tyypeä. (Aittomäki & Aalto ym. 2008, 117.) R134a:n kiehumispiste ilmakehän paineessa on  $-26,5\text{ C}^\circ$  (Volkswagen 2009, 7). Kaaviossa 1 nähdään R134a:n olomuodon, kiehumispisteen, lämpötilan ja paineen yhteys.



**Vapour pressure curve of R134a**

**KAAVIO 1. R134a:n höyrynpainekäyrä (Volkswagen 2009, 7)**

### Hfo-1234yf

Hfo-1234yf:n termodynaamiset ominaisuudet ovat samankaltaiset kuin aiemmin käytetyillä kylmäaineilla, joten järjestelmät eivät vaadi suuria muutoksia. Uusi kylmäaine läpäisee kuitenkin esimerkiksi nykyisessä järjestelmässä käytettäviä kumimateriaaleja, jonka seurauksena näitä materiaaleja joudutaan valitsemaan uudelleen. Uuden kylmäaineen paineet eroavat edeltäjästään ja sen tilavuusvirta pitää olla 20 prosenttia suurempi. Testikäytössä kuitenkin uutta kylmäainetta on käytetty vanhassa järjestelmässä muuttamalla ainoastaan paisuntaventtiili. Kylmäaineita ei kannata sekoittaa keskenään, koska sekoituksen kylmäaineominaisuudet ovat huonommat kuin puhtaan aineen. Tämän takia järjestelmän täyttöliittimet tulevat olemaan erilaiset. Huoltotekniikkaan tai laitteisiin ei tule suuria muutoksia. Hfo-1234yf:n itsesyttymislämpötila on 405 celsiusastetta, kun puolestaan R134a:lla se on 700 celsiusastetta. Paloherkkyyden takia uuden kylmäainejärjestelmän komponentit pitää sijoitella tarpeeksi kauas kuumista ja mahdollisesti kipinöivistä kohteista. (Riikonen 2010, 38–40.)



#### **2.2.4 Kompressoriöljyt**

Kylmäaineiden kehittyessä myös kompressoriöljyt kokevat jatkuvaa kehitystä (Aittomäki ym. 2008, 115). Autoissa kompressoriöljyltä vaaditaan hyvää sekoittuvuutta kylmäaineen kanssa, jotta kompressori saa hyvän voitelun. Autoissa käytettäviä öljytyyppejä ovat mineraaliöljy, PAG, POE ja PAO. Öljyissä käytetyt viskositeetit ovat ISO 45, ISO 100 ja ISO 150. (Toivonen, 33.)

R12 kylmäaineen kanssa käytettiin mineraaliöljyjä. R134a:ta käyttävissä järjestelmissä käytetään PAG (polyalkyleeniglykoli) -öljyä tai vaihtoehtoisesti esteriöljyjä (POE ja PAO). Kloorittomana ja hyvin polaarisenä kylmäaineena R134a ei liukene tarpeeksi hyvin vähemmän polaarisiin mineraaliöljyihin. Sekä PAG-öljyn, että esteriöljyn huonona puolena on sen suuri veden absorptio. Vesi muodostaa öljyn kanssa happoja, jotka ovat haitallisia järjestelmälle. (Aittomäki Aalto. 2008, 115.)

#### **2.2.5 Lainsäädäntö**

Ilmastointilaitteita huoltavalla sekä niistä kylmäainetta talteen ottavalla henkilöllä on oltava pätevyys. Pätevyys osoitetaan kokeella, jossa käydään läpi muun muassa ilmastoinnin toiminta, laitteisto, huolto ja säännökset. Ajoneuvojen ilmastointilaitteita huoltavan toiminnanharjoittajan palveluksessa on oltava vastuuhenkilö, jolla on ajoneuvon huoltoon soveltuva tutkinto ja joka on perehtynyt huollettavan ajoneuvon ilmastointilaitetyyppeihin. Vastuuhenkilö vastaa siitä, että huollossa noudatetaan ympäristösuojeluvaatimuksia sekä että ilmastointia huoltavat henkilöt täyttävät pätevyysvaatimukset. Toiminnanharjoittajalla on oltava vähintään perustyökalut sekä kylmäaineen käsittely- ja talteenottolaitteet. (Valtioneuvoston asetus otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta 452/2009, 4§, 8§, 9§.)

## 2.2.6 Ilmastointihuolto sekä laitteisto

### Ilmastointihuoltolaite

Ilmastoinninhuoltolaitteella (kuva 21) voidaan tehdä huoltotoimintoja kuten kylmäaineen talteenotto, puhdistus, tyhjiöimu, täyttö ja puhdistus. Tyhjiöimun yhteydessä laite tarkastaa järjestelmän tiiviyyden. Näiden lisäksi huoltolaitteella voidaan lisätä järjestelmään öljyä ja väriainetta. Laitteessa on yleensä mukana myös lämpömittari, jolla voidaan tarkistaa järjestelmän lämpötiloja.

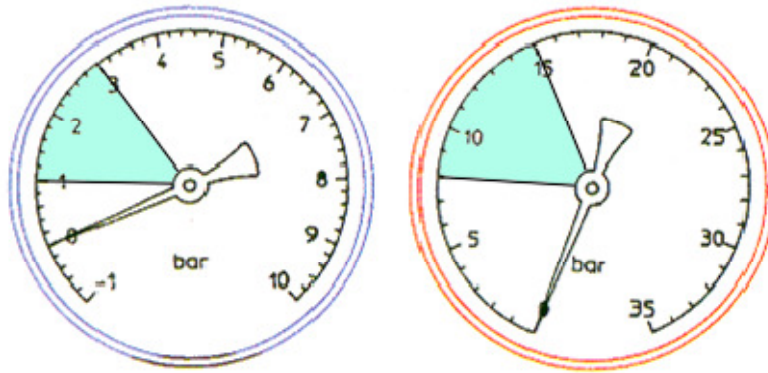


**KUVA 21. Ilmastointihuoltolaite**

Auton ilmastoinnin toimintaa voidaan tarkkailla monella eri tavalla, jonka jälkeen tehdään huoltoa koskevia päätöksiä. Toimintaa voidaan tarkastaa mm. seuraavin menetelmin:

- tarkkaillaan magneettikytkimen toimintaa
- tunnustellaan imu- ja paineputkien lämpötiloja (imuputki kylmä, paineputki kuuma)
- mitataan höyrystimen läpi virtaavan ilman lämpötilaa (4–6 celsiusastetta)
- luetaan painemittarin lukemat matala- ja korkeapainepuolella (imupuoli 0,5–1,5 bar, painepuoli 8–12 bar)
- tarkkaillaan kuivainsäiliön tarkastuslasia (tarkkaillaan kylmäaineen kuplintaa).

Ilmastointihuoltoliittimiin kytkettävällä ilmastointihuoltolaitteella voidaan tehdä laajoja päätelmiä ilmastoinnin vioista ja toiminnasta painemittareiden ansiosta. Ilmastointihuoltolaitteen kaksi painemittaria kertovat ilmastoinnin korkea- ja matalapainepuolen paineet (kuva 22). Punainen korkeapainemittari kertoo korkeapaineen kompressorin painepuolella, jonka asteikko on 0–35 baaria. Sininen matalapainemittari kertoo paineen kompressorin imupuolella, jonka asteikko on 1–10 baaria. Toimivan järjestelmän korkeapainepuolen normaalit painearvot liikkuvat 8–15 baarissa. Matalapainepuolen normaalit painearvot liikkuvat puolestaan 1–3 baarin tienoilla. Paineet mitataan ilmastoinnin ollessa päällä. (Peltonen 2010, 7.)



**KUVA 22. Ilmastointihuoltolaitteen painemittarit (Peltonen 2010, 9)**

Toivosen (60–64) mukaan painemittareiden keskinäisistä lukemista voidaan tehdä mm. seuraavanlaisia vikadiagnooseja:

Matala imupaine - normaali korkeapaine

- Viallinen termostaatti
- Laajennusventtiili tukossa
- Tukos nestesäiliön ja laajennusventtiilin välissä
- Kosteutta järjestelmässä
- Laajennusventtiili tukossa, jos imupaine nolla

Korkea imupaine - normaali korkeapaine

- Viallinen laajennusventtiili
- Laajennusventtiilin kapilaariputki viallinen tai ei yhteydessä höyrystimen ulostuloputkeen
- Viallinen kompressori

Korkea imupaine - matala korkeapaine

- Viallinen kompressori
- Viallinen laajennusventtiili

Korkea imupaine - hyvin korkea korkeapaine

- Järjestelmässä ylitäytös
- Lauhduttimen lamellit tukossa
- Lauhduttimen puhallin epäkunnossa
- Liikaa öljyä järjestelmässä

Yhtä suuri paine molemmissa

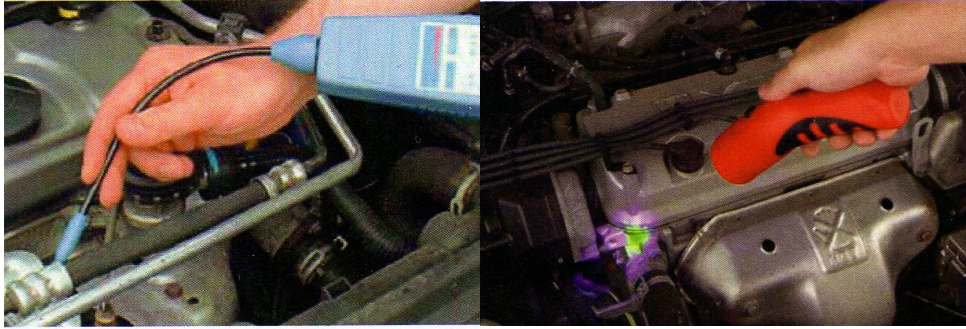
- Magneettikytkin ei toimi
- Viallinen kompressori
- Painekeytkin ei toimi
- Termostaatti ei toimi

### **Huuhtelumenetelmät ja -laitteisto**

Ilmastointijärjestelmän huuhtelulla päästään eroon kylmäaineen sekä kompressoriöljyn mukana kiertävästä epäpuhtaudesta. Järjestelmän huuhtelu on tärkeää, varsinkin kompressorivaurion jälkeen. Huuhtelun voi tehdä kylmäaineella, huuhteluliuksella tai tyrellä. Kylmäaineella suoritettava huuhtelu voidaan tehdä ilmastoinninhuoltolaitteella kierrättämällä kylmäainetta järjestelmässä. Huuhteluliuos on tehokas keino poistamaan kiinteän lian järjestelmästä, mutta se vaatii erillisen laitteen. Typpihuuhtelu puolestaan on hyvä keino kuivata järjestelmä, mutta se ei kuitenkaan poista kiinni tarttunutta likaa. Myös typpihuuhteluun tarvitaan erilliset laitteet. (Toivonen, 71–73.)

### **Vuodonetsimet**

Järjestelmän vuoto voidaan selvittää paineistamalla järjestelmä typpikaasulla, jonka jälkeen etsitään vuotokohta äänen perusteella tai suihkuttamalla kylmäainelinjoihin vuodonilmaisuainetta. Järjestelmään voidaan täyttää väriainetta erillisellä täyttöpistoolilla tai ilmastointihuoltolaitteella. Vuotokohta selvitetään ultraviolettivuodonetsimen (kuva 23) avulla, jolloin vuotokohta paljastuu UV-valon ansiosta. Vuotoa voidaan myös tutkia elektronisella vuodon etsimellä (kuva 23), jolloin laitteen kaasuanturi havaitsee vuodon ja antaa hälytysäänän. (Toivonen, 75–77.)



**KUVA 23. Vuodonetsimet (Toivonen, 74–76)**

### **3 ILMASTOINTILAITE-SIMULAATTORI**

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli vuonna 2002 opinnäytetyöksi tehty ilmastointisimulaattori (kuva 24), jossa Audi s4 vm.1998 ilmastointilaitteisto oli rakennettu liikuteltavaan metallikehikkoon. Kehikkoon oli sijoitettu Audin ilmastointilaitteen komponentit sekä rakennettu sulakerasia ja liitännät akulle. Näiden lisäksi simulaattoriin oli tehty kuvan 24 vasemmassa yläreunassa oleva kojetaulu, jossa oli simulaattorin virtakytkin, ilmastoinnin ohjainlaite/näyttö, Carb-liitäntä diagnoosilaitetta varten sekä kaksi lämpötilaa simuloivaa potentiometriä. Tauluun oli tehty myös mittausliitäntöjä, joista pystyttiin tutkimaan potentiometriä vastusarvoja sekä puhaltimen moottorin jännitettä. Tällä simulaattorilla pystyttiin lähinnä tutkimaan vain puhallusjärjestelmän toimintaa, koska järjestelmästä puuttuivat kylmäainekierto, voimanlähde kompressorille sekä sähköiset kytkennät, joilla saataisiin kompressorin magneettikytkin kytkeytymään.

Simulaattorissa käytettävän Audin automaattinen ilmastointi on kuristinputkityyppinen ilmastointijärjestelmä. Järjestelmän paine tuotetaan magneettikytkimellä ohjatulla vakiotilavuudella kompressorilla. Kylmäaineputkistot ovat alkuperäiset, minkä takia ilmastoinnin komponentit on sijoitettu telineeseen kuvan 24 tavalla. Lauhduttimelta lähtevä korkeapaineputki sekä kuivaimelta tuleva matalapaine putki eivät liity höyrystimeen, koska autossa puhallinlaitteisto olisi taempana kuin simulaattorissa.



**KUVA 24. Auton ilmastointilaitesimulaattori**

### **3.1 Ilmastoinnin ohjainlaite**

Ilmastointia ohjataan simulaattorin kojetauluun sijoitetulla ohjainlaitteella, johon on integroitu ilmastoinnin käyttöyksikkö (kuva 25). Käyttöyksiköstä saadaan ohjattua ilmastointi päälle, säädettyä puhallusta ja lämpötilaa, valittua automaattinen tai manuaalinen ilmastointi sekä kytkettyä sisäkierto ja huurteenpoisto. Ohjainlaite saa tietoa lämpötila-antureilta, puhalluksen säätöläpiltä, painetunnistimilta sekä muilta ohjainlaitteilta, jonka jälkeen se ohjaa ilmastoinnin päälle kytkeytymistä ja sisälle puhallettavan ilman lämpötilaa sekä suuntaa. Ohjainlaitteen diagnoosia pystytään tekemään Obd-pistokkeen eli Carb-liittimen (kuva 22) kautta erikseen kytkettävällä testauslaitteistolla. Testauslaitteiston avulla nähdään järjestelmän vikakoodit sekä antureiden ja toimilaitteiden tilat. Ohjainlaitteessa on myös oma diagnoosijärjestelmä, jolla voidaan tarkistaa vikakoodit ja antureiden sekä toimilaitteiden digitaaliset arvot. Ohjainlaite-diagnoosi tehdään ilmastointiohjainlaitteen segmenttinäytön avulla.



**KUVA 25. Ilmastoinnin ohjainlaite edestä ja takaa**

### 3.2 Ilmanjakeluyksikkö

Simulaattorin ilmanjakeluyksikkö (kuva 26) sisältää höyrystimen, lämmityslaitteen, puhaltimen, puhalluskanavat, ilmanohjausläpät sekä lämpötila-anturit. Ilmanjakeluyksikössä on raitisilman sisääntulokanava, josta puhallin imee ilmaa sisään. Ilmalla on kolme ulostuloreittiä: jalkatilaan, keskikonsoliin tai tuulilasiin. Matkalla ilman kulureittiä säätelee askelmootorilla ohjatut ilmanohjausläpät.



**KUVA 26. Simulaattorin puhallinyksikkö**

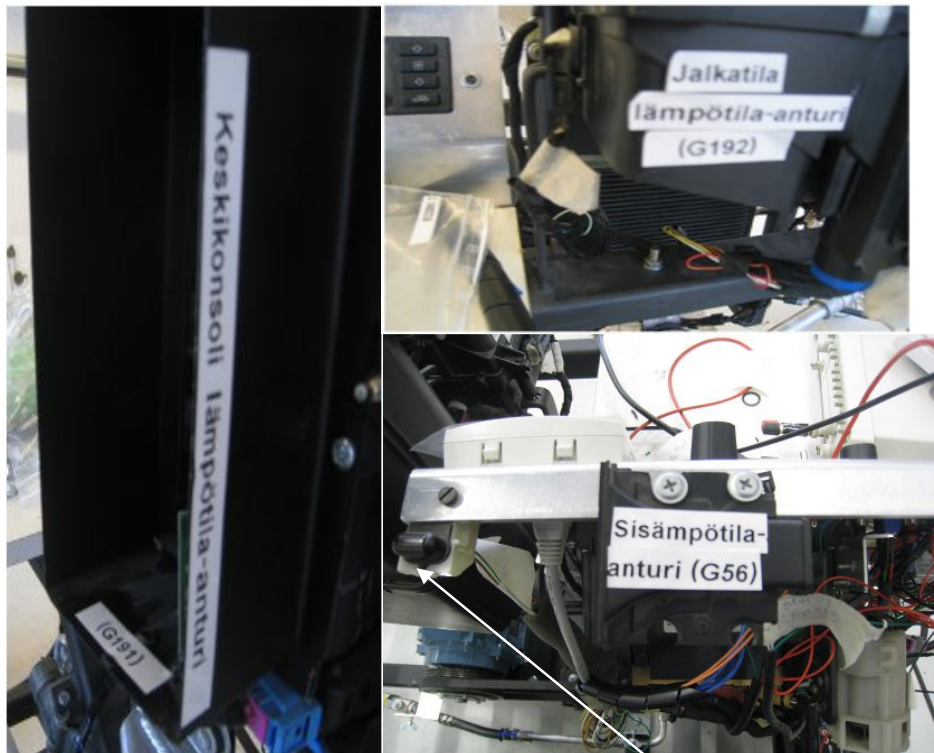
### 3.3 Lämpötila-anturit sekä aurinkotunnistin

Audin automaattisen ilmastoinnin lämpötila-anturit pitävät ilman lämpötilan auton eri kohdissa halutunlaisena säätämällä puhaltimen nopeutta sekä ilman kulkeutumista puhallinjärjestelmässä. Ulkoilman sekä raitisilman lämpötila-anturit säätävät myös magneettikytkimen toimintaa. Ilmastointisimulaattorissa on viisi lämpötila-anturia: ulko-, sisä-, raitisilma-, keskikonsoli- ja jalkatilalämpötila-anturi. Simulaattorissa ul-

kolämpötila-anturi sijaitsee lähellä lauhdutinta ja raitisilmalämpötila-anturi puhaltimen imupuolella (kuva 27). Sisälämpötila-anturi sijaitsee ohjainlaitteen yläreunassa, kun taas keskikonsolinlämpötila-anturi sekä jalkatilanlämpötila-anturi sijaitsevat puhalluksen ulostuloissa. Sisälämpötila-anturin vieressä oleva aurinkosensori tunnistaa auringon valon intensiteetin ja säätää puhallusta auringon paisteen voimistuessa. Tunnistin on sijoitettu simulaattorin kojetaulun yläosaan. (Kuva 28.)



**KUVA 27. Raitisilma- ja ulkolämpötila-anturi**

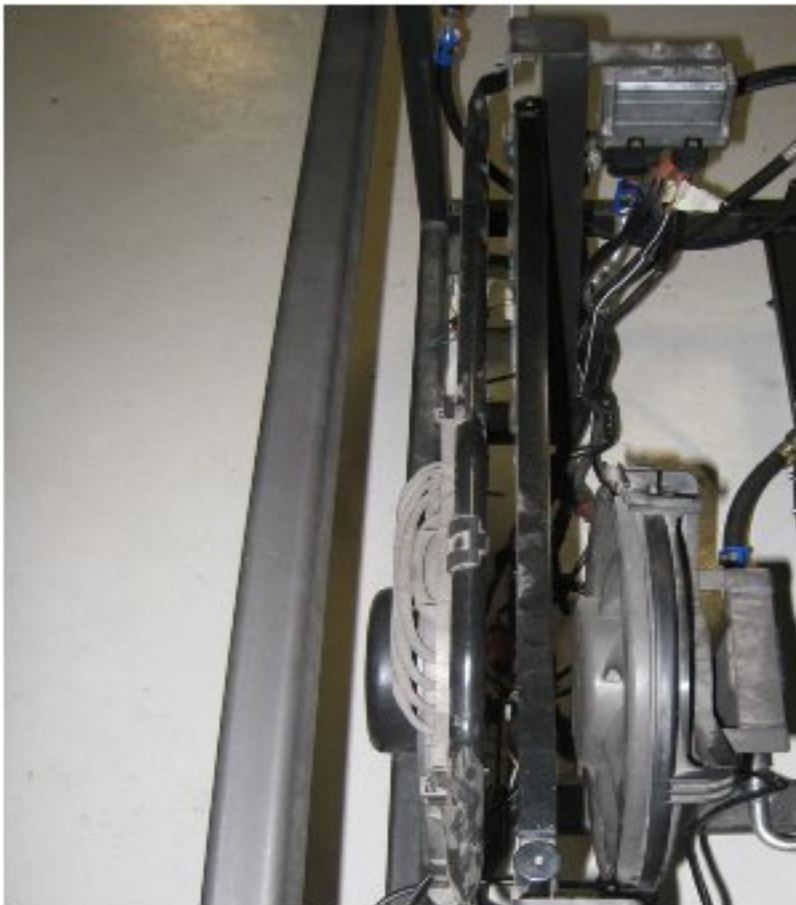


**KUVA 28. Sisätilanlämpötila-anturit ja aurinkosensori**



### 3.4 Lauhdutin, lauhduttimen puhaltimet sekä ohjainlaite

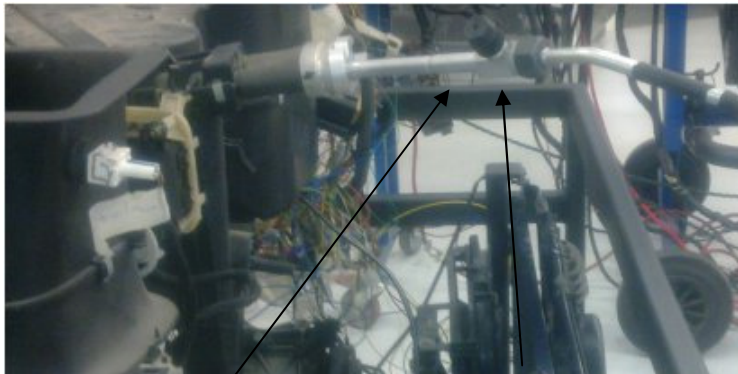
Ilmastointijärjestelmän lauhdutin on sijoitettu simulaattorin etuosaan eli vastaavalla tavalla kuin se olisi autossa. Riittävän jäähtymisen aikaansaamiseksi Audin järjestelmässä on kaksi lauhduttimen/jäähdyttimen puhallinta, joista toinen puhalttaa ja toinen puolestaan imee ilman lauhduttimen läpi. Puhaltimien toimintaa ohjaa kuvan 29 ylläreunassa näkyvä erillinen ohjainlaite. Ohjainlaite saa tietoa ilmastoinnin ohjainlaitteelta, lämpökytkimeltä sekä ilmastoinnin paineantureilta. Ohjainlaite säättää näiden tietojen perusteella lauhduttimien puhaltimien tehon, jotta jäähtytys olisi riittävä. Lähtötilanteessa lauhduttimien puhaltimet eivät toimi. (Kuva 29.)



**KUVA 29.** Lauhduttimien puhaltimet sekä puhaltimien ohjainlaite

### 3.5 Kuristinputki ja huoltoliittimet

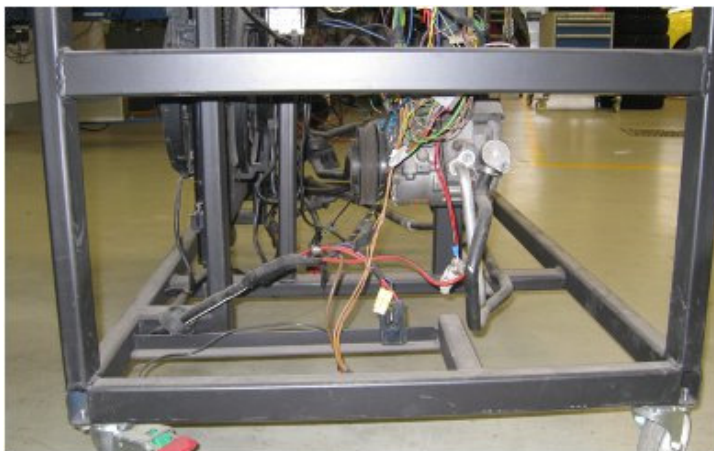
Simulaattorin käyttämä Audin ilmastointijärjestelmä käyttää kuristinputkea kylmäaineen virtauksen säätöön. Kuristinputki on sijoitettu höyrystimelle menevän putken sisälle. Simulaattorin ilmastoinnissa on kaksi huoltoliitintä: korkea- ja matalapaine huoltoliitin. Korkeapainehuoltoliitin on integroitu kuristinputken yhteyteen lähelle höyrystintä. Matalapaineliitos sijaitsee matalapainepuolella höyrystimen ja kuivaimen välissä. (Kuva 30.)



**KUVA 30. Paisuntaputki ja korkeapainehuoltoliitin**

### 3.6 Kompressor

Ilmastoinnin paineentuottajana simulaattorissa on Denson vakiotilavuuksinen kompressor, joka otetaan käyttöön magneettikytkimen avulla. Kompressorissa on 120 mm moniurahihnapyörä, jonka välityksellä se saa pyörimisliikkeen. Kompressor on kytketty pulteilla simulaattorin runkoon kiinni. (Kuva 31.) Kompressorin magneettikytkimen ohjaus ei toiminut ja kompressorilta puuttui momentin antava moottori.



**KUVA 31. Kompressor**

## 4 ILMASTOINTILAITESIMULAATTORIN MUUTOKSET JA TOTEUTUS

### 4.1 Tavoitteet

Simulaattorin kehittämisen tavoitteet:

- saada ilmastointilaite toimintakuntoon niin, että ilmastointi kytkeytyy päälle
- rakentaa ilmastoinnin kompressorille voimanlähde
- järjestelmään voidaan täyttää kylmäaine sekä kytkeä ilmastointihuoltolaite
- kylmäaineen painearvoja voidaan simuloida
- järjestelmään voidaan tehdä sähköisiä vikatiloja.

### 4.2 Magneettikytkimen ohjaus

Kompressorin päässä oleva magneettikytkin ohjaa kompressorin käyttöönottoa. Magneettikytkimen toimintaa ohjaa ilmastoinnin ohjainlaite, joka saa puolestaan tietoa eri antureilta. Lähtötilanteessa simulaattorin magneettikytkin ei toiminut, joten työn ensimmäinen vaihe oli sen toimintakuntoon saattaminen.

Tietoa Audi s4:n ilmastoinnin ohjauksen toiminnasta etsittiin korjaamokäsikirjoista, aiemmasta ilmastointisimulaattorista tehdystä opinnäytetyöstä sekä Internetistä. Löytyneiden materiaalien pohjalta lähdettiin etsimään magneettikytkimen ohjaukseen vaikuttavia signaaleita. Materiaalien pohjalta selvisi parametreja, jotka vaikuttavat elektromagneetin ohjaukseen:

- moottorin pyörintänopeuden pitää olla vähintään 600rpm
- moottorin lämpötila ei saa ylittää 116 °C
- järjestelmän paine liian korkea tai matala
- akun jännite riittävän suuri
- ulkolämpötila ja raitisilmälämpötila ei saa olla alle 2 °C.

Sähköjärjestelmän toiminnan selvittyä simulaattorille tehtiin mittauksia ja kokeiltiin järjestelmän toimivuutta. Magneettikytkimen virtapiuhaan syötettiin 12 voltin tasajännite akusta, jolloin elektromagneetin toimintakunto oli havaittavissa. Seuraavaksi selvitettiin elektromagneettia ohjaavan releen toimintakunto. Releen jännitteet tarkastettiin, jonka jälkeen releen maaohjaukseen kytkettiin suoraan maasignaali. Rele syötti

elektromagneetille virran ja elektromagneetti kytkeytyi. Audin sähkökaaviot löytyvät liitteestä 1, jossa magneettikytkin on N25 ja rele J44.

Magneettikytkimen toiminnan tarkastamisen lisäksi tutkittiin ohjainlaitteille tulevia jännitteitä ja havaittiin, että lauhduttimen puhaltimen ohjainlaite ei saanut jännitettä. Virran syöttö otettiin puhaltimen ohjainlaitteelle (J293) releeltä K2 (liite 4). Kun simulaattorin sähköjärjestelmän jännitteiden syöttö oli tarkastettu, kytkettiin Bosch KTS 670 yleisdiagnoosilaitte simulaattorin diagnoosipistokkeeseen ja katsottiin ilmastoinnin ohjainlaitteeseen kertyneet vikakoodit. Vikakoodeja olivat raitisilman lämpötilatunnistimen katkos, ”virta pois” epälooginen signaali ja moottorin lämpötilatunnistimen signaali. (Kuva 32.)



**KUVA 32. Ilmastointilaitteen vikakoodit**

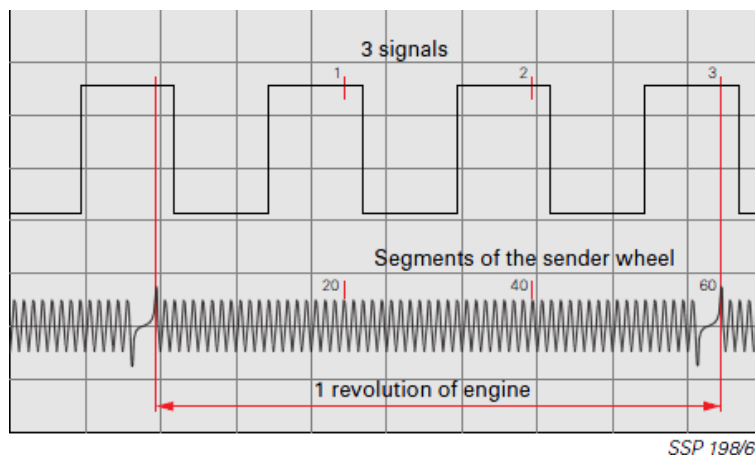
Seuraavaksi tehtiin toimilaitetestaus ilmastointilaitteen sekä puhallusjärjestelmän säätimille. Toimilaitetestissä voidaan diagnoosilaitteen avulla kytkeä päälle ja ohjata ilmastointilaitteen eri toimilaitteita, kuten

- magneettikytkin
- sisätilanpuhallin
- lauhduttimen puhallin
- puhalluksen säätöläppien moottorit
- lämpötilatunnistimet
- ilmastoinnin ohjainlaitteen näytön valot ja segmentit

Toimilaitetestin perusteella ilmastointilaitteen sekä puhallusjärjestelmän säätimet ja laitteisto olivat kunnossa.

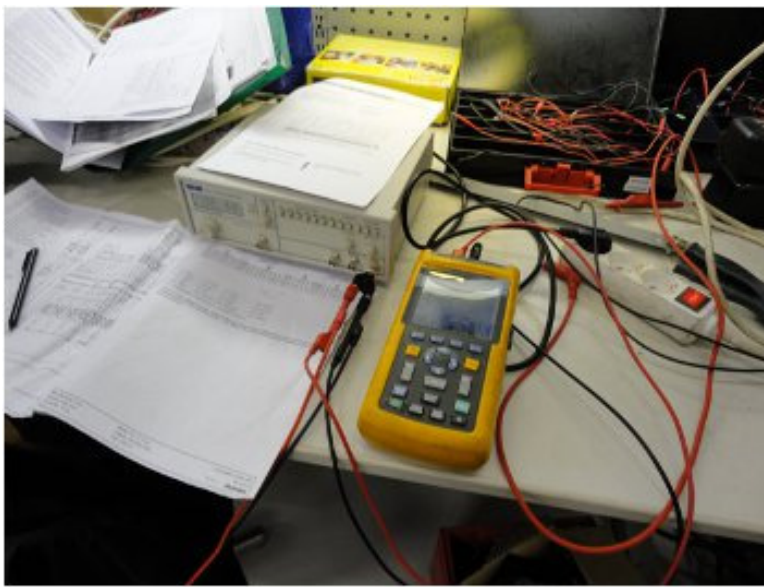
### **Moottorin pyörintänopeussignaali**

Ilmastoinnin ohjainlaite saa moottorin pyörintänopeussignaalin digitaalisessa muodossa (kuva 33) moottorin ohjainlaitteelta. Nopeussignaalin moottorin ohjainlaite on saanut moottorin vauhtipyörän kehällä olevalta induktiiviselta pyörintänopeustunnistimelta. Prosessori käsittelee analogisen pyörintänopeussignaalin ja lähettää muille ohjainlaitteille moottorin yhden kierroksen aikana kolme kantiaaltoista signaalia noin viiden voltin amplitudilla. (Audi Ag 1998, 54.)



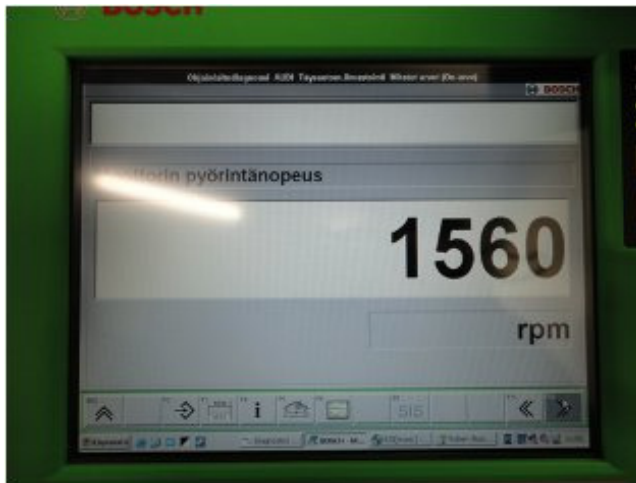
**KUVA 33. Moottorin pyörintänopeussignaali (Audi Ag 1998, 59)**

Moottorin pyörintänopeutta lähdettiin simuloimaan ilmastoinnin ohjainlaitteelle signaaligeneraattorin avulla. Sähkölaboratoriosta saatiin lainaan TTI TG351-signaali-generaattori, jolla pystytään syöttämään digitaalista kantimuotoista aaltoa sekä muuntamaan syöttöjännitettä ja -taajuutta. Signaaligeneraattorilla syötettiin ilmastoinnin ohjainlaitteelle signaali, jonka taajuus oli noin 80 Hz ja amplitudi oli 1,78V. Koska moottorin ohjainlaite syöttää kolme pulssia kierroksella, 80 Hz signaalin pitäisi vastata noin 1600 rpm. Signaalin muotoa tarkkailtiin kytkemällä lähtevien signaalijohtojen rinnalle Fluke-oskilloskooppi. (Kuva 34.)



**KUVA 34. Signaaligeneraattori ja oskilloskooppi**

Oskilloskoopin lisäksi Bosch diagnoosilaite kytkettiin simulaattoriin ja tutkittiin tunnistaako ilmastoinnin ohjainlaite simuloitun moottorinpyörintänopeuden. Ohjainlaite tunnisti simuloitun pyörintänopeussignaalin ja vastasi laskennallista arvoa. (Kuva 35.)



**KUVA 35. Moottorin simuloitu pyörintänopeus**

### **Moottorin pyörintänopeustunnistin**

Koska simulaattoria tullaan liikuttelemaan paikasta toiseen, ei signaaligeneraattorin raahaaminen simulaattorin mukana ole järkevää. Siksi sähkömoottorista otettiin pyörimisnopeustunnistus optisella takometrillä. Takometri lähettää infrapunavaloa ja ottaa vastaan takaisin heijastanutta valoa ja samalla lähettää eteenpäin digitaalisen kanttiaaltoisen pulssin. Koska ilmastointilaite tunnistaa yhdeksi moottorin pyörintänopeudeksi kolme kanttiaaltoista pulssia, hihnapyörään laitettiin kolme heijastavaa pintaa 120 asteen väleillä. Pyörintänopeustunnistin laitettiin kiinni suojakoteloon kulmaraudan avulla ja suojakoteloon tehtiin reikä tunnistimen infrapunasilmille. (Kuva 36.)

Pyörintänopeustunnistimen signaalipiuha kytkettiin ilmastoinninohjainlaitteeseen ja virta otettiin sulakkeelta neljä (liite 4).



**KUVA 36. Moottorin pyörintänopeustunnistin**

### **Painetunnistin**

Audin ilmastointijärjestelmässä käytetään kolmetoimista painetunnistinta (kuva 37). Painetunnistin sijaitsee lauhduttimen korkeapainelähdössä. Se tunnistaa kylmäaineen matalapaineen, korkeapaineen sekä ohjaa lauhduttimen puhaltimen tehoa rajapaineen ylittyessä. Matalapainetunnistin estää ilmastoinnin kytkeytymistä päälle, jos paine on alle sallitun arvon eli noin 2 Bar. Korkeapainetunnistin kytkee ilmastoinnin pois päältä paineen noustessa yli raja-arvon eli noin 25–30 Bar. Puhallinta ohjaava painetunnistin säättää myös lauhduttimien puhalluksen täydelle teholle, kun järjestelmän paine ylittää tietyn raja-arvon. Koska simulaattorin kylmäainepuolella ei ollut paineita, ohitettiin painetunnistin (F129) kytkemällä hyppyjohto painetunnistimen liittimeen, jolloin 12V jännite ohjautui suoraan ilmastoinninohjainlaitteella (kuva 38). Näin ilmastoinninohjainlaitteelle tuli tieto, että järjestelmässä on paine. Painetunnistin (F129) löytyy Audin sähkökaaviosta (liite 1).



**KUVA 37. Painetunnistin**



**KUVA 38. Painetunnistimen ohitus**

Kun moottorin pyörintänopeus ja painetunnistimen toiminta oli simuloitu, ilmastointilaitetta kokeiltiin kytkeä päälle, mutta mitään ei tapahtunut. Tähän ei keksitty muuta selitystä kuin moottorin lämpötilatunnistimen signaalista kirjautunut vikakoodi. Kirjallisuuden sekä sähkökaavioiden avulla selvitettiin, mistä ohjainlaite saa moottorin lämpötilatiedon. Audin sähkökaaviosta (liite 1) huomattiin, että ilmastoinnin ohjainlaite saa lämpötilatietoa (hot light switch) mittariston prosessorilta (J218). Audin mittaristo (kuva 39) oli rakennettu autolaboratorion opetustauluun, joten sen kytkeminen ilmastointi simulaattoriin oli mahdollista. Mittariston johdoista selvitettiin oikea piuha sähkökaavion perusteella ja yhdistettiin se ilmastoinnin ohjainlaitteeseen. Tämän jälkeen ilmastointilaite meni päälle ja magneettikytkin kytkeytyi.



**KUVA 39. Audi s4-mittaristo**

Koska ilmastointisimulaattorin käyttökohteena olivat autolaboratorion lisäksi ilmastointihuoltokurssit, ei mittariston kytkeminen simulaattoriin olisi ollut toimiva ratkaisu, sillä simulaattoria pitäisi pystyä myös liikuttelemaan paikasta toiseen. Tämän takia



alettiin miettiä mahdollisuutta ohittaa tai simuloida mittariston tuottama lämpötilasignaali. Signaali osoittautui epäsäännölliseksi datasihtaaliksi, jonka simulointi olisi ollut hankalaa. Ilmastointi kokeiltiin kuitenkin vielä kytkeä päälle ilman mittaristoa, jolloin ilmastointiohjainlaite antoi edelleen luvan ilmastoinnille kytkeytyä päälle. Vikakoodit poistettiin Bosch-diagnoosilaitteella ja simulaattorista kytkettiin virrat pois 20 sekunniksi. Tämänkin jälkeen ilmastointi suostui kytkeytymään päälle. Selitys tälle on todennäköisesti se, että ilmastoinnin ohjainlaitteen muistiin oli jäänyt tieto moottorin ylikuumentumisesta, ja kun ohjainlaite sai mittariston prosessorilta hyväksyttävän lämpötilasignaalin, antoi ohjainlaite ilmastoinnille luvan kytkeytyä päälle.

### 4.3 Lämpötila-antureiden simulointi

Lämpötilasimuloinnin avulla voidaan tarkastella lämpötila-antureiden vaikutusta eri puhallusreittien lämpötiloihin, puhallusnopeuksiin sekä ilmastoinnin päälle kytkeytymiseen. Simulaattorin lämpötila-antureista sisätila- (G56) ja raitisilmalämpötila-anturille (G89) oli edellisessä opinnäytetyössä tehty lämpötilaa simuloiva potentiometrisäätö. Sähkökaavio simuloinnista löytyy liitteestä 2.

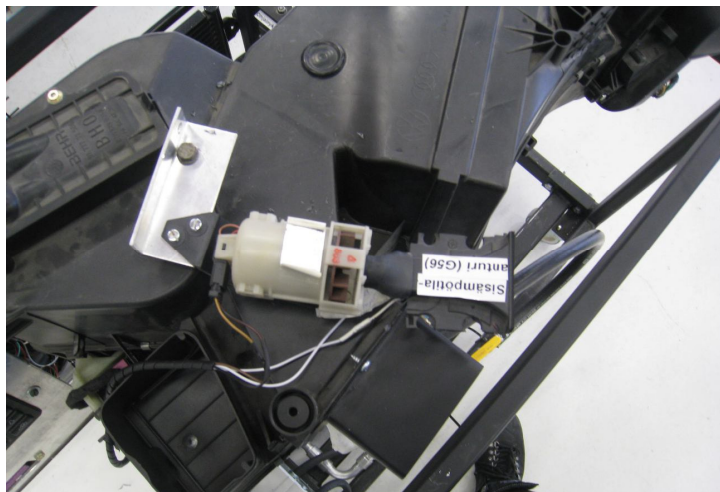
Ilmastoinnin loputkin lämpötila-anturit päätettiin tehdä simuloitaviksi, jotta nähdään niiden vaikutus lämpötilan säätöön. Lämpötila-antureiden simuloinnin suunnittelu aloitettiin tutkimalla Audin sähkökaavioista (liite 1) lämpötila-antureiden kulkureitit ja kytkennät. Lämpötila-antureiden toinen napa on kytketty maapotentiaaliin ja toinen ilmastointiohjainlaitteeseen. Lämpötilan muutos muuttaa anturin resistanssia ja siten ohjainlaite tunnistaa lämpötilan. Seuraavaksi etsittiin lämpötila-antureiden lämpötilavastusalue, jonka avulla potentiometri saadaan mitoitettua oikean kokoiseksi. Mitoitukseen hyödynnettiin taulukkoa lämpötilavastusarvoista (liite 3), jonka perusteella simuloitavien antureiden potentiometriä koot valittiin. Taulukosta näkee, että esimerkiksi ulkolämpötila-anturin (G17) resistanssiarvo  $-20-80$  celsiusasteen välillä muuttuu  $10\text{ kohm}-0\text{ ohm}$ . Taulukon perusteella ulkolämpötila-anturin potentiometrin kooksi valittiin  $10\text{ kohm}$  ja keskikonsoli- sekä jalkatilalämpötila-antureiden kooksi  $100\text{ kohm}$ .

Potentiometrit kytkettiin järjestelmään vastaavalla tavalla kuin edeltävässä opinnäytetyössä, jossa potentiometrit ja anturit oli kytketty vaihtokytkimeen. Vaihtokytkimellä saadaan valittua potentiometri- tai lämpötila-anturiohjaus ilmastoinnin ohjainlaitteelle. Tämän lisäksi ulkolämpötilaa simuloivan potentiometrin rinnalle tehtiin mittapisteet

(banaaniliittimet), joiden avulla lämpötila saadaan säädettyä halutunlaiseksi käyttämällä vastusmittausta. Kuvan 40 kojelaudan vasemmassa reunassa sijaitsevat ulkolämpötilan potentiometri, vaihtokytkin sekä näiden alapuolella mittapisteeet. Sisätilanlämpötila-anturin paikka ilmastointiohjainlaitteen takaa vaihdettiin lähelle keskikonsolin puhalluskanavaa, josta anturi havaitsee ilmastoinnin viilentävän ilman lämpötilan (kuva 41). Lämpötila-antureiden simuloinnin kytkentäkaaviot löytyvät simulaattorin virtapiirikaavioista (liite 4).



**KUVA 40. Lämpötilan simulointi**



**KUVA 41. Sisätilanlämpötila-anturin uusi sijainti**

#### 4.4 Vikatilasimulointi

Ilmastoinnin sähköisien vikatilojen suunnittelun lähtökohtana olivat realistiset vikatilanteet, joita auton ilmastointijärjestelmään voi tulla ja jotka vaikuttavat ilmastoinnin kylmätuottoon. Vikatilan kohteiksi valittiin magneettikytkin, painekeytkin ja lauhduttimen puhallus. Vikatilat toteutettiin kytkimillä, joilla saatiin katkaistua virran tai maadoituksen kulku haluttuun kohteeseen.

Magneettikytkimen vikatila tehtiin kytkemällä kytkin sarjaan elektromagneetin ohjauksen kanssa. Kytkimen ollessa off-asennossa magneettikytkin ei saa ohjausjännitettä eikä kompressorin pyöri. Ohjainlaitteen käyttönäytöllä ilmastoinnin symboli pysyy päällä ja lauhduttimen puhaltimet ovat päällä. Painekeytkimen vikatila tehtiin kytkemällä kytkin sarjaan painetunnistimelle menevän jännitteen kanssa. Kytkimen ollessa off-asennossa painetunnistin ei saa jännitettä, jolloin ohjainlaite tunnistaa, että järjestelmässä on liian pieni paine tai liian suuri paine. Ohjainlaite kytkee magneettikytkimen pois päältä. Puhaltimen vikatilat tehtiin laittamalla kytkimet sarjaan lauhduttimen puhaltimen ohjauslaitteen jännitteen sekä puhaltimen tehoa ohjaavan painetunnistimen kanssa. Kun puhaltimen ohjauslaite ei saa jännitettä, lauhduttimen puhaltimet eivät toimi ilmastoinnin ollessa päällä. Painekeytkimen puhaltimen ohjauksen vikatila toteutettiin kytkemällä kytkin painetunnistimen ja lauhduttimen puhaltimen ohjainlaitteen väliin. Kun ilmastointijärjestelmän paine nousee päällä ollessa tietyn raja-arvon, painekeytkin ohjaa puhallusnopeuden suuremmaksi. Vikatilan ollessa päällä ohjainlaite ei saa tätä painesignaalia eikä lauhdutin tarpeellista jäähdytystä. Ilmastointi pysyy kummasakin vikatilanteessa päällä. Vikatilasimuloinnin kytkimille tehtiin kytkentälaatikko (kuva 42). Vikatilalaatikko sijoitettiin simulaattorin alareunaan akun taakse, jotta vikatilalaatikko ja vikatilat eivät ole niin hyvin näkyvillä. Vikatilasimuloinnin kytkentäkaaviot löytyvät simulaattorin virtapiirikaavioista (liite 4).



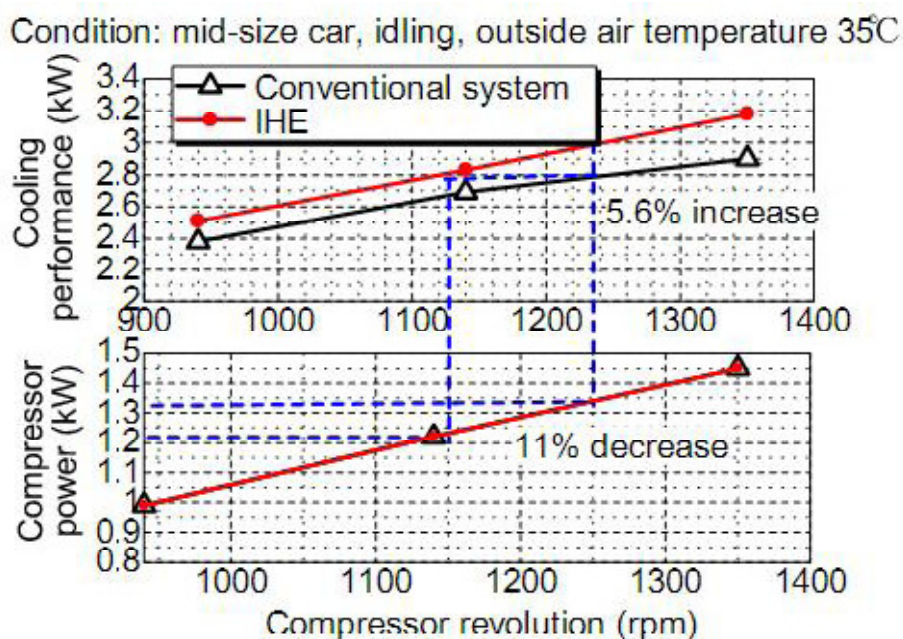
**KUVA 42. Vikatilalaatikko**

#### 4.5 Sähkökaaviot

Simulaattorin päävirta ja simulointikytkennät oli piirretty edeltävässä opinnäytetyössä yhteen sähkökaavioon (liite2). Simulointikytkentöjen lukumäärän kasvaessa sekä vikatilakytkentöjen tullessa mukaan sähköihin, virtapiirikaaviot piirrettiin uudelleen jaotellen sähköt omiin kaavioihin: päävirtapiirikaavio, lämpötila-antureiden simulointikytkennät ja vikatilalakytkennät. Sähkökaavioiden piirtämisessä otettiin huomioon lukemisen selkeys ja Din-normin mukaisten merkintöjen käyttö, jotta sähkökaaviot olisivat yhdenmukaisia Audin alkuperäisten kaavioiden kanssa. Tämä selkeyttää sähkökaavioiden lukemista. Kaavioiden piirtämisessä käytettiin ProfiCAD-ilmaisversiota. Simulaattorin virtapiirikaaviot löytyvät liitteestä 4.

#### 4.6 Sähkömoottorin sovittaminen simulaattoriin

Jotta ilmastointilaitteen kompressori saatiin pyörimään, täytyi simulaattoriin mitoitaa voimanlähde. Voimanlähteeksi päätettiin valita sähkömoottori, joka välittää pyörivän voiman kompressorille moniurahirnan välityksellä. Moottorin valintaan vaikuttivat kompressorin vaatima teho sekä pyörintänopeus. Koska ilmastointisimulaattorin kompressorin vaatimia teholumkia ei löytynyt, moottorin valintaan käytettiin kaavion 1 tehokäyrää. Kaaviossa 2 punaisella viivalla näkyy keskikokoisen auton ilmastointikompressorin vaatima teho kierrosnopeuden funktiona.



KAAVIO 2. ( Laamanen 2010, 111)

Sähkömoottorin mitoitus riippuu tehon lisäksi myös kompressorin pyörintänopeudesta. Kompressorin pyörintänopeus riippuu puolestaan auton moottorin pyörintänopeudesta sekä välityssuhteista. Audin järjestelmän käyttämä välityssuhde oli 1,33 ja ilmastointia käytetään pienimillään joutokäyntikiirroksilla.

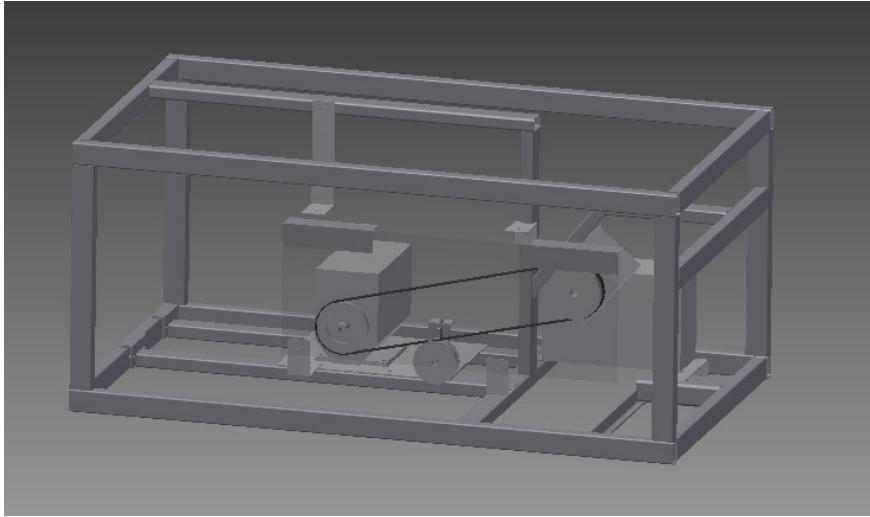
Simulaattoriin hankittiin sähkölaboratorion kautta ABB:n 2,2 kW (2890 rpm) vaihevirtamoottori (kuvassa 43 oikealla) sekä sähkömoottoria ohjaamaan ABB taajuusmuuntaja (kuvassa 43 vasemmalla). Sähkömoottorin fyysiset mitat löytyvät liitteestä 5.



**KUVA 43. Sähkömoottori ja taajuusmuuntaja**

### **Sähkömoottori**

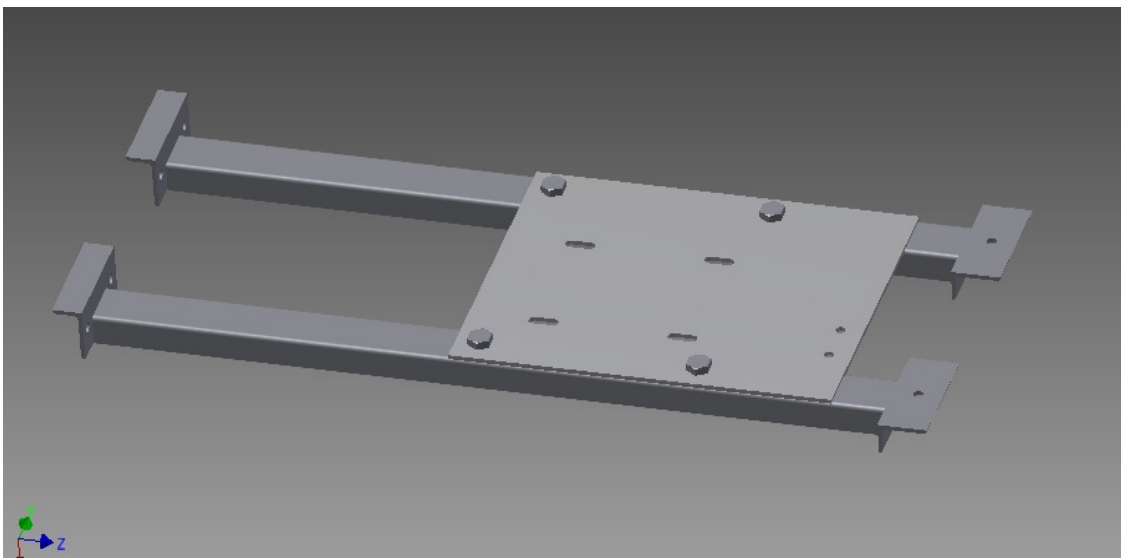
Oikeanlaisen voimalähteen löydyttyä moottori täytyi sovittaa kehikkoon. Moottorin sovittamisessa kehikkoon päädyttiin hyödyntämään Autodesk inventor -mallinnusohjelmaa. Kehikosta, kompressorista sekä sähkömoottorista piirrettiin 3D-mallinnus (kuva 44), jonka jälkeen moottorin sijoittelu sekä moottorin kiinnikkeiden suunnittelu oli helpompaa. Sähkömoottori sijoitettiin mahdollisimman lähelle kompressoria, jotta moottorin oikealle puolelle jäisi tilaa tulevaisuudessa mahdollisesti kytkettävälle toiselle kompressorille. Koska voima välitetään hihnalla, piti tilaa jättää hihnankiristimelle.



**KUVA 44. Ilmastointisimulaattorin 3D-mallinnus**

### **Moottorin kiinnitys**

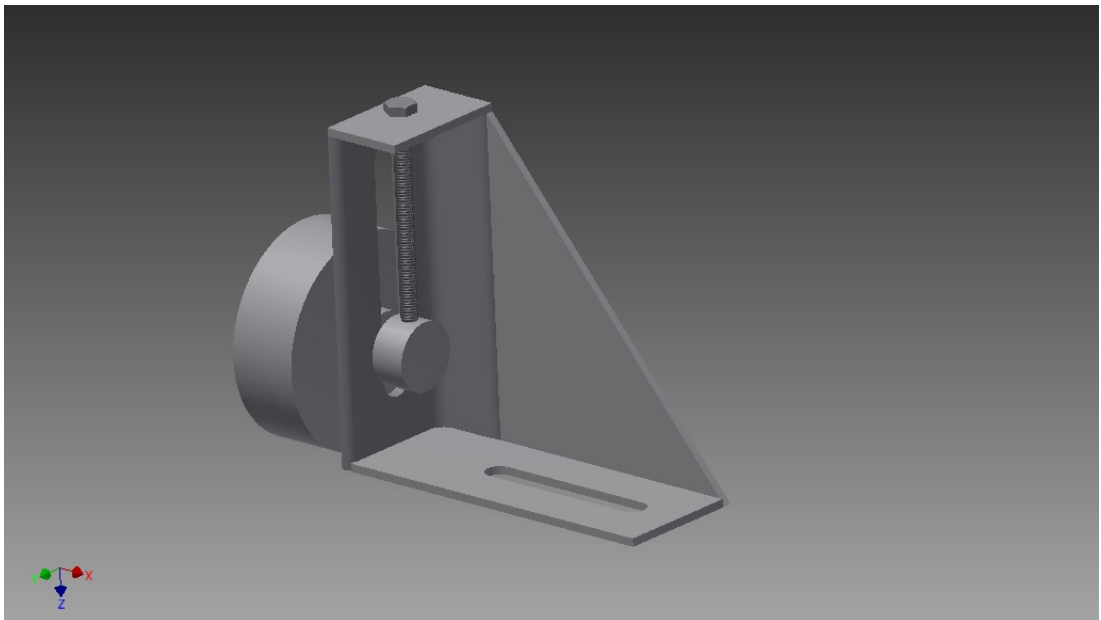
Moottori kiinnitettiin simulaattoriin pulteilla kiinnitettävän telineen avulla (kuva 45). Telineessä on neljä millimetriä paksu metallilevy, johon tehtiin kiinnitysurat sähkömoottorille sekä kiinnitysreiät kiristinpyörälle. Kiinnitysurien avulla sähkömoottorin sijaintia pystytään muuttamaan hihnan kiristysuuntaan ja näin hihnan asennus on helpompaa. Levy tulee kiinni kahteen 800 mm pitkään RHS-putkeen, jotka puolestaan kiinnitetään kulmarautojen avulla simulaattorin runkoon. Liitokset tehtiin M10-pulteilla. Kiinnityksen Cad-piirustus löytyy liitteestä 6.



**KUVA 45. Sähkömoottorin kiinnitys**

## Hihnan kiristin

Jotta hihnan välittämä voima saataisiin siirrettyä moottorin hihnapyörältä kompressorin hihnapyörälle, täytyy hihnan tiukkuuden olla riittävä. Tämän takia hihnalle täytyi tehdä hihnankiristin, jolla hihnan kireys saatiin sopivaksi. Hihnankiristinmekanismiksi (kuva 46) tehtiin ruuvilla säädettävä kiristinpyörä, joka kiristää hihnaa selkäpuolelta, jolloin hihnapyörillä on suurempi kosketuskulma hihnaan. Kiristinpyörän akseli on Mitsubishiin apulaitehinnan kiristäjästä. Mekanismille tehtiin uusi runko, joka saatiin kiinnitettyä sähkömoottorin kiinnikelevyyn. Hihnan kiristimeen tehtiin säätöoura, jonka avulla kiristimen linjausta saadaan säädettyä. Kiristinpyöräksi valittiin Volvon apulaitehinnan ohjausrulla. Liitteestä 7 löytyy hihnankiristimen rungon mitat.



**KUVA 46. Hihnankiristin**

## Sähkömoottorin hihnapyörä

Sähkömoottoriin löydettiin halkaisijaltaan (160 mm) samankokoinen hihnapyörä, joka oli välittänyt voiman kompressorille Audin moottorissa, jolloin välityssuhteet pysyivät samoina. Hihnapyörä kiinnitettiin sähkömoottorin akseliin erillisellä kartiokiinnikeholkilla. Hihnapyörän keskiö suurennettiin sekä siihen tehtiin kiinnikkeeseen sopivat reiät. Kiinnikeholkki puristui sähkömoottorin akseliin kartiokiinnityksellä, minkä ansiosta hihnapyörän paikkaa pystytään helposti säätämään akselilla ja hihnapyörät saadaan linjattua keskenään. Hihnapyörän kokoa jouduttiin hieman tiputtamaan, koska ilmastoinnin kompressorin käynnistysmomentti osoittautui oletettua isommaksi. Hih-

hahnyöräksi löytyi purkaamolta Toyotan 115 mm vesipumpun hahnyörä. Uudella hahnyörällä aikaisempi välityssuhde 1,33 muuttui 0,95:teen. Alla olevassa kuvassa 47 näkyvät vasemmalla 160 mm hahnyörä, keskellä 115 mm hahnyörä ja oikealla kiinnitysholkki.



**KUVA 47. Sähkömoottorin hahnyörät ja kiinnitysholkki**

### Hihna

Hihnan mitoituksessa käytettiin Gatesin kiilahihnakäytön suunnitteluopasta. Hihnan valintaan vaikuttivat hahnyörien koko, urien määrä sekä hahnyörien etäisyys. Hihnan teoreettinen pituus saatiin laskettua, kun moottorin sijainti kehikossa oli päätetty sekä moottorille oli löydetty hahnyörä. Hahnyörien akseliväliksi mitoitettiin aluksi 500mm. Akselivälin perusteella hihnan laskennallinen pituus  $TBL$  (mm) laskettiin alla olevan kaavan 1 mukaisesti. (Gates, 31.) Kaikissa alla olevissa kaavoissa  $D$  on isomman hahnyörän halkaisija ja  $d$  on pienemmän hahnyörän halkaisija.

$$TBL = 2 \times TCD + 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4 \times TCD} \quad (1)$$

$TCD$  on hahnyörien teoreettinen akseliväli (mm),

$$\begin{aligned} TBL &= 2 \times 500\text{mm} + 1,57(160\text{mm} + 120\text{mm}) + \frac{(160\text{mm} - 120\text{mm})^2}{4 \times 500\text{mm}} \\ &= 1440,4\text{mm} \end{aligned}$$



Laskennallisen hihnapituuden perusteella etsittiin hihna, joka olisi mahdollisimman lähellä laskennallista hihnapituutta. Varaosaliikkeestä löytyi neljäurainen 1440 PK hihna. Uusi todellinen akseliväli  $A$  (mm) laskettiin kaavan 2 perusteella

$$A = \frac{F - h(D - d)}{2} \quad (2)$$

jossa  $h$  on akselivälikerroin ja se valitaan taulukosta 1 kaavasta 4 saadun kertoimen avulla.  $F$ (mm) on hihnan jakopituus.

Kaavan 3 avulla saadaan jakopituus  $F$  (mm)

$$F = PL - 1,57(D + d) \quad (3)$$

, jonka avulla määritetään akselivälikerroin,  $PL$ (mm) on hihnan jakopituus eli valitun hihnan pituus.

$$F = 1440\text{mm} - 1,57(160\text{mm} + 120\text{mm}) = 1000,4\text{mm}$$

Hihnapyörien ja jakopituuden välinen suhdeluku lasketaan kaavan 4 avulla. Suhdelukua tarvitaan kertoimen  $h$  määrittämisessä.

$$\frac{D - d}{F} = \frac{160\text{mm} - 120\text{mm}}{1000,4\text{mm}} = 0,04 \quad (4)$$

Kaavasta 4 saadun suhdeluvun avulla valitaan alla olevasta taulukosta 1 h-arvoksi 0,02.

**TAULUKKO 1. Akselivälikerroin (Gates, 31)**

$\frac{D - d}{F}$	Kerroin $h$	$\frac{D - d}{F}$	Kerroin $h$	$\frac{D - d}{F}$	Kerroin $h$
0,00	0,00	0,21	0,11	0,40	0,22
0,02	0,01	0,23	0,12	0,41	0,23
0,04	0,02	0,25	0,13	0,43	0,24
0,06	0,03	0,27	0,14	0,44	0,25
0,08	0,04	0,28	0,15	0,46	0,26
0,10	0,05	0,30	0,16	0,47	0,27
0,12	0,06	0,32	0,17	0,48	0,28
0,14	0,07	0,34	0,18	0,50	0,29
0,16	0,08	0,35	0,19	0,51	0,30
0,18	0,09	0,37	0,20		
0,20	0,10	0,39	0,21		

$$A = \frac{F - h(D - d)}{2} = \frac{100,4\text{mm} - 0,02(160\text{mm} - 120\text{mm})}{2} = 499,8\text{mm}$$

Akseliväli pysyi lähes samana standardihihnalla, joten piirustuksiin ei tarvinnut tehdä muutoksia. Osat koneistettiin ja hitsattiin kasaan konelaboratoriossa, jonka jälkeen ne kasattiin simulaattorin kehikkoon.

Kompressorin vaatiman käynnistysmomentin takia hihnapyörän halkaisija muutettiin 115mm. Muutos tarkoitti sitä, että samaa hihnaa käytettäessä akseliväli piti muuttaa suuremmaksi. Muutokset toteutettiin laskemalla uusi akseliväli ja muuttamalla moottorinkiinnikelevyn sijaintia telineessä. Kuvassa 48 näkyy sähkömoottori sekä hihnavälitys rakennettuna telineeseen.



**KUVA 48. Sähkömoottori ja hihnavälitys**

### **Taajuusmuuntaja**

Taajuusmuuntajan ansiosta sähkömoottorin kierrokset, virta, momentti ja ramppi saadaan säädettyä halutunlaiseksi. Taajuusmuuntaja sijoitettiin kompressorin taakse lähelle moottoria, jossa se ei vie moottorin oikealta puolelta tilaa. Sen kiinnitystä varten tehtiin kiinnikerauta, joka pultattiin kehikkoon. Taajuusmuuntajan ohjainnäyttö sijoitettiin simulaattorin kojetaulun vasempaan reunaan, josta moottorin kierrosnopeus, taajuus, virta, teho sekä vikatilat on helppo havaita. Kierroksen säätöä varten ilmastointisimulaattorin kojetauluun laitettiin 10 kohm potentiometri sekä katkaisijaksi kaksiteoiminen kytkin, joka kytkettiin ohjaamaan sähkömoottorin käynnistymistä. (Kuva 49.)

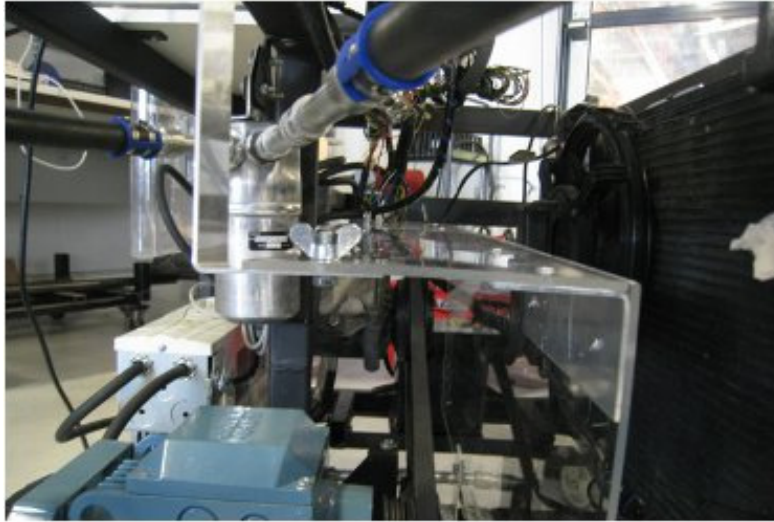
Taajuusmuuntajan säätäminen sähkömoottoriin osoittautui hankalaksi, koska moottori ei ensimmäisillä säädöillä jaksanut käynnistää kompressoria kunnolla kummallakaan hihnapyörällä. Edes virran rajoituksen nostaminen korkeammalle ei auttanut. Viaksi ilmeni taajuusmuuntajan PWM-taajuus, joka oli asetettu 12 kHz. Korkean taajuuden takia muuntajan syöttämästä virrasta osa hukkuu kaapelointiin eikä moottori saanut näin tarpeeksi vääntöä. Uusi taajuus asetettiin 1kHz, minkä jälkeen moottori jaksoi käynnistää kompressorin koko kierrosalueella.



**KUVA 49. Taajuusmuuntajan ohjausnäyttö**

### **Suojakotelo**

Simulaattorin turvallista käyttöä varten hihnan päälle tehtiin irrotettava suojakotelo. Suojakotelon tehtävänä on suojata käyttäjää mahdollisen hihnan katkeamisen aiheuttamalta vaaratilanteelta sekä estää esimerkiksi käsien joutumista liikkuvien osien väliin. Suojakoteloinnin suunnittelussa otettiin huomioon turvallisuus ja käytännöllisyys. Kotelo tehtiin läpinäkyvästä muovista ja alumiinikulmista. Kiinnitys tehtiin neljällä siipimutterilla simulaattoriin, joten se on nopea ottaa tarvittaessa pois tieltä. (Kuva 50.)



**KUVA 50. Suojakotelo**

#### **4.7 Kylmäaineputkisto ja sulkuventtiilit**

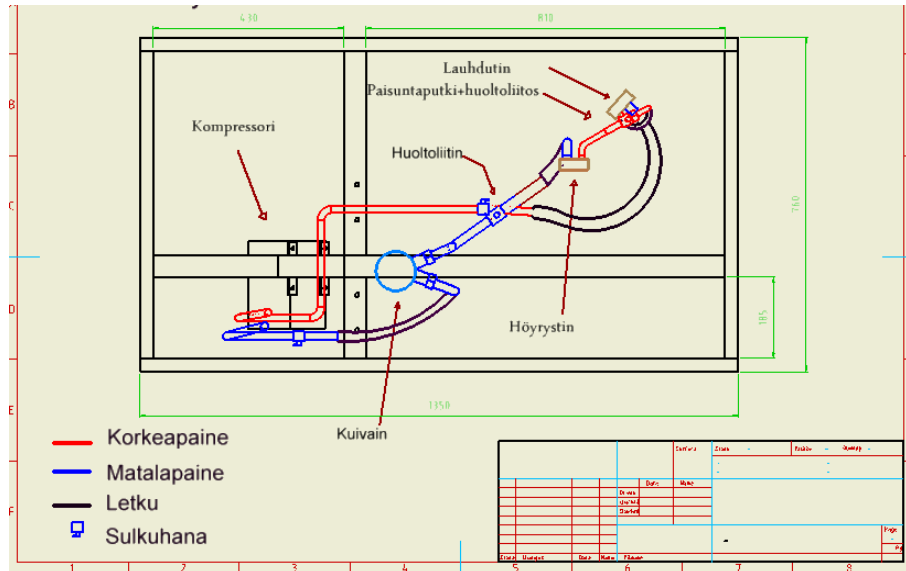
Simulaattorin alkuperäinen kylmäaineputkisto (kuva 51) päätettiin suunnitella uudelleen, koska Audin alkuperäinen putkisto oli sähkömoottorin tiellä. Se myös mahdollisti putkien, letkujen sekä sulkuventtiileiden sijoittelun halutulla tavalla. Alkuperäisen putkiston käyttö sellaisenaan olisi lisäksi vaatinut puhallinyksikön uudelleen sijoittelun, koska höyrystimelle tulevat putket ei yltäneet höyrystimeen.



**KUVA 51. Simulaattorin alkuperäinen putkisto**

Kun sähkömoottori sekä taajuusmuuntaja olivat löytäneet paikkansa kehikossa, päästiin hahmottelemaan uusien putkien ja letkujen kulkureittejä (kuva 52). Hahmotelman avulla päästiin käsiksi siihen, kuinka paljon putkea, letkua ja liittimiä tullaan suurin

piirtein tarvitsemaan. Hahmotelmassa ilmastoinnin komponentit säilyttivät entisen paikkansa lukuun ottamatta kuivainta, jonka sijainti muutettiin lähemmäksi kompressoria. Näin se ei vienyt tilaa moottorin oikealta puolelta.



**KUVA 52. Kylmäaineputkiston hahmotelma**

Ilmastointisimulaattorin putkistot, letkut sekä liitokset päätettiin tehdä Lokringin tuotteista, koska Kaha toimii niiden maahantuojana sekä osallistuu simulaattorin tekemiseen. Lokringin tuotteista löytyi laaja valikoima erilaisia korjausliitoksia auton ilmastoinnin putkiin ja letkuihin. Jotta uuden kylmäainelinjan virtaus säilyisi samanlaisena kuin alkuperäisessä putkistossa, putkien sekä letkujen sisähalkaisijat pidettiin mahdollisimman samankokoisina. Audin käyttämässä ilmastoinnissa on käytetty metristä standardia, kun puolestaan Lokringin putket, liitokset ja kierteet olivat pääasiassa tuumakokoja. Tämä aiheutti haasteita putkiston suunnitteluun.

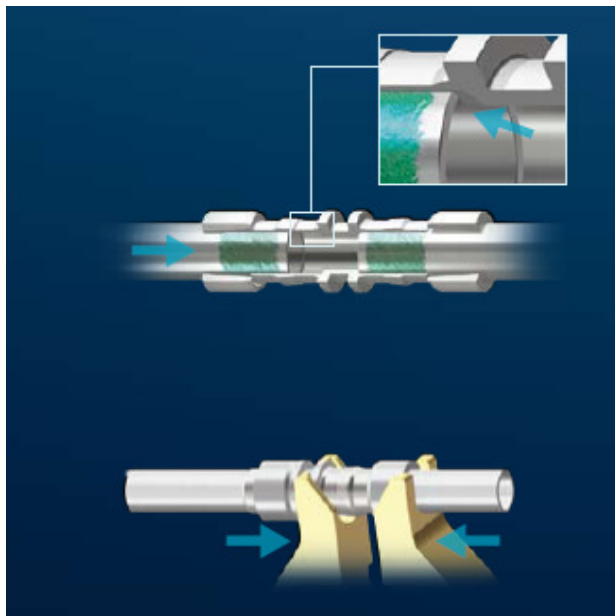
### Putket ja putkiliitokset

Järjestelmän putket ovat ohutseinämäisiä alumiiniputkia (kuva 53), joiden poikkipinta-ala vaihtelee korkeapainepuolen 10 millimetristä matalapainepuolen 18 millimetriin. Lokringin kuvastosta valittiin putkikoot, jotka olivat hyvin lähellä Audin käyttämiä putkikokoja. Alkuperäiset putkikoot olivat kompressorin ja lauhduttimen välillä 16 mm, lauhduttimen ja höyrystimen välillä 10 mm ja höyrystimen ja kompressorin välillä 18 mm. Putkikoko 18 mm vaihdettiin puristeliitoksen avulla 19 mm, 16 mm säilyi ennallaan ja 10 mm putkikoko muutettiin 9,54 mm.



**Kuva 53. Alumiiniputket (Vulkan lokring, 34.)**

Putkien liitokset tehtiin Lokringin putkiliitoksilla (kuva 54), jossa yhdistettävät alumiiniputket laitetaan liitoksen sisään ja puristetaan tiiviiksi kartioholkilla. Koska putkien pinnassa voi olla pieniä putken suuntaisia viiruja, liitospintaan sivellään tiivisyainetta, joka varmistaa liitosten hermeettisen tiiviyden.



**KUVA 54. Lokring-putkiliitos (Vulkan Lokring, 8.)**

## Letkut ja letkuliitokset

Käytettävä letkutyyppi määräytyi letkuliitoksen mukaan. Koska letkuliitokseksi valittiin locklip-liitos, uudet letkut ovat ulkohalkaisijaltaan pienemmät kuin simulaattorin alkuperäiset letkut. Tämän takia letkuliitoksia ei voinut tehdä vanhoihin letkuihin. Liitoksessa letku puristetaan jousirenkailla kiinni alumiiniliitokseen ja liitoksen toinen pää puristetaan kartiokiinnikkeellä putkeen. Letkun ympärille tuleva muovipididin pitää puristerenkaat oikeassa asennossa ja paikassa liitosta muodostaessa. Lokclip-liitos voidaan puristaa esimerkiksi hohtimilla, ja se voidaan myös jälkikäteen avata ja kasata uudelleen vaihtamalla pelkästään puristejouset. (Kuva 55.)



**KUVA 55. Locklip-letkuliitos (Vulkan Lokring, 9)**

## Sulkuventtiilit

Kylmäainekierron vikatilanteita simuloivia sulkuventtiileitä suunniteltiin simulaattoriin kolme kappaletta. Kaksi sulkuventtiiliä sijoitettiin korkeapainepuolelle, kompressorin ja lauhduttimen väliin sekä lauhduttimen ja kuristinputken väliin. Kompressorin ja lauhduttimen välille tehty sulkuventtiili otettiin pois käytöstä, koska se nosti järjestelmän paineen liian korkeaksi, ilman että painekytkin otti kompressoria pois käytöstä. Yksi sulkuventtiili tuli matalapainepuolelle kuivaimen ja kompressorin välille. Hanojen sijainti löytyy kylmäpiirikaaviosta, jossa sulkuventtiilit on nimetty hanoiksi. (Liite 9.) Sulkuventtiilien sijainnit valittiin niin, että niillä pystyttäisiin simuloimaan erilaisia painetiloja, siksi venttiilejä laitettiin sekä matala- että korkeapainepuolelle. Näitä si-

muloituja painetiloja voidaan tarkastella ilmastointihuoltolaitteen painemittareilla ja tehdä vikadiagnosi painemittarien kertomien mukaan.

Sulkuventtiiliksi valittiin hydraulikassa/pneumatikassa käytettävää palloventtiiliä (kuva 56), jonka paineenkesto on 30bar. Palloventtiilin koko valittiin letkun sisähalkaisijan mukaan, mutta kuitenkin niin, että se ei aiheuta virtausvastusta. Sulkuventtiilejä varten kuvastosta valittiin kuvan 56 vasemmassa laidassa oleva teräksinen letkuliitin, jonka toinen pää tuli kiinni loklip-liitoksella letkuun ja toinen pää kierreliitoksella sulkuventtiiliin. Koska venttiilissä oleva kierrestandardi on eriävä ilmastoinnissa käytettäviin standardeihin, jouduttiin venttiilin ja kierreliitoksen välille suunnittelemaan adapterit (liite 8), jotka mahdollistivat palloventtiilin kytkemisen putkistoon. Kuvan 56 keskellä oleva adapteri on teräksestä tehty holkki, jonka päissä on sopivat kierteet letkuliitokseen sekä palloventtiiliin. Holkin läpi on tehty poraus, joka vastaa letkuliitoksen sisähalkaisijaa. Adapteri tiivistyy sulkuventtiiliin kartiopinnan ja Usit-tiivisteeseen (HNBR) avulla ja letkunpuoleiseen liittimeen adapteri tiivistyy puolestaan O-renkaan (HNBR) avulla.



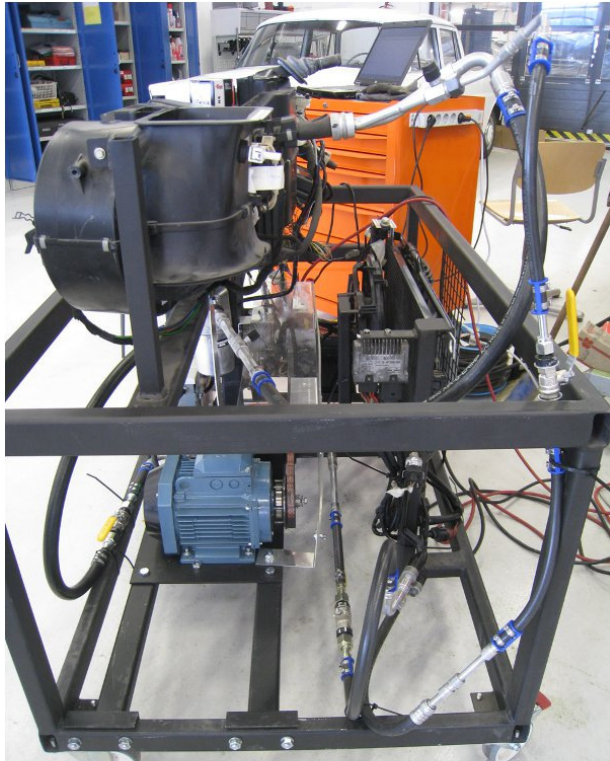
**KUVA 56. Sulkuventtiilin liittäminen letkuliittimeen**

### **Kuivain**

Koska simulaattorin ilmastointijärjestelmän virtauksen säätö toimii kuristinputkella, kuivain on järjestelmässä sijoitettu matalapainepuolelle lauhduttimen ja kompressorin väliin. Simulaattorissa kuivain oli sijoitettu alkuperäisten putkien pakottamana kauas kompressorista. Koska putkisto päätettiin rakentaa uudestaan, kuivain sijoitettiin kompressorin ja sähkömoottorin väliin, jossa se ei vie tilaa moottorin oikealta puolelta. Kuivain myös vaihdettiin uuteen, koska järjestelmä on ollut avonaisena monta vuotta ja imenyt kosteutta itseensä. Kuvassa 57 näkyvät valmis kylmäaineputkisto



sekä sulkuventtiilit matalapainepuolella lähellä sähkömoottoria sekä korkeapainepuolella kuvassa oikealla. Kompressorin ja lauhduttimen välissä oleva säätöventtiili otettiin pois käytöstä.



**KUVA 57. Simulaattorin kylmäaineputkisto ja sulkuventtiilit**

#### **4.8 Ilmastointisimulaattorin koeponnistus ja täyttö kylmäaineella**

Kun ilmastointilaitteen putkisto saatiin valmiiksi, järjestelmä päästiin koeponnistamaan tyypellä (kuva 58). Koeponnistusvaiheessa käytettiin vanhaa kuivainta, koska järjestelmässä oli todennäköisesti epäpuhtautta sekä jos järjestelmää olisi jouduttu käyttämään vielä auki, uusi kuivain olisi imenyt kosteutta itseensä. Koeponnistuksessa tyyppiä täytettiin matalapaineliitoksen kautta noin 15 bar verran. Tämän jälkeen liitoksiin suihkutettiin vuotokohdan paljastavaa ainetta. Vuotoa ilmaantui korkeapainehuoltoliittimestä, jota putkistoa uusittaessa ei vaihdettu. Huoltoliittimeen vaihdettiin uusi venttiili, jonka jälkeen järjestelmä osoittautui tiiviiksi.



**KUVA 58. Ilmastointisimulaattorin koeponnistus tyypellä**

Järjestelmän osoittautuessa tiiviiksi simulaattoriin päästiin lisäämään kylmäaine, öljy sekä uv-väriaine. Täyttöä varten simulaattoriin lainattiin ammattiopisto Wigam Amica -ilmastointihuoltolaite. Ilmastointihuoltolaitteella tehtiin tyhjiöimu (noin 45 minuuttia), jossa laite imee järjestelmästä kosteuden, epäpuhtaudet sekä testaa järjestelmän tiiveyden. Tämän jälkeen laite täytti simulaattoriin kylmäaineen, öljyn sekä väriaineen.

Simulaattoriin täytettiin kylmäainetta ja öljyä ohjearvojen suosittelema määrä:

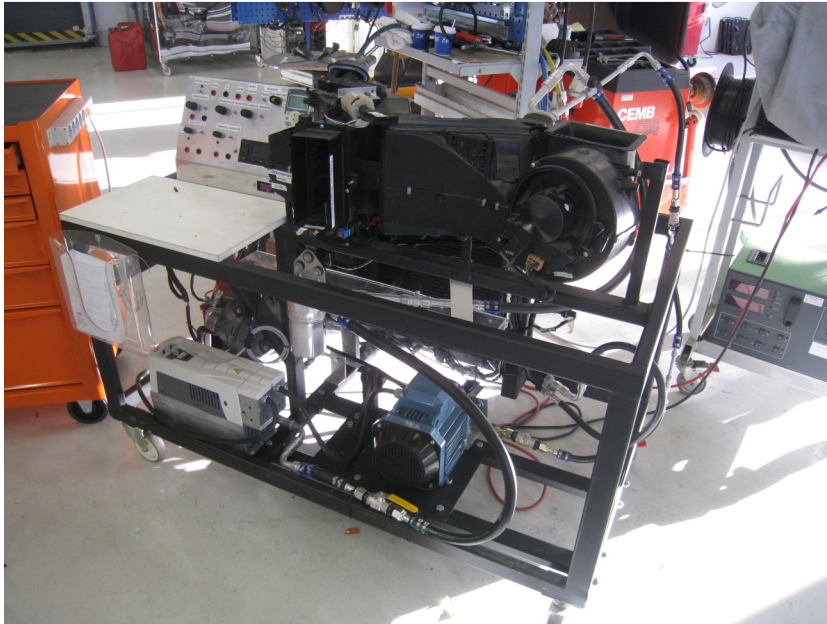
Kylmäainetta R134a:       600–650 g

Öljyä PAG ISO46:       250ml

### **Valmis simulaattori ja käyttöohjeet**

Kuvassa 59 näkyy valmis sähkömoottorista voiman saava ilmastointisimulaattori kylmäkiertoineen. Muutostöiden valmistuttua simulaattoriin tehtiin käyttöohjeet, jossa käydään läpi järjestelmän tekniset tiedot, käyttö, simulointimahdollisuudet sekä simulaattorin diagnoosi. Käyttöohjeesta tehtiin hyvin kattava, jotta simulaattoria käyttävä henkilö pystyy katsomaan ohjeesta, mitä simulaattorilla voidaan tehdä ja esimerkiksi ongelmatilanteessa turvautumaan siihen. Autolaboratorion muita simulaattoreita käyttäessäni olen huomannut, että käyttöohjeisiin ei ole panostettu, mikä on hankaloittanut

niillä tehtäviä laboratoriomittauksia. Simulaattorin etureunassa näkyy käyttöohjeelle tehty säilytyslaatikko.



**KUVA 59. Ilmastointisimulaattori**

## **5 SIMULAATTORIN TESTAUS, TULOKSET JA TARKASTELU**

Ilmastointisimulaattorin toimintaa testattiin ja mitattiin seuraavin menetelmin:

- sähkömoottorin ottama teho
- korkea- sekä matalapaine
- lämpötilat putkistojen eri kohdissa
- puhallinmoottorin ohjausjännite
- ilmanohjausläppien asento
- ulos tuleva lämpötila eri kanavista.

### **5.1 Kompressorin vaatima sähkömoottorin teho**

Kompressorin vaatimaa käynnistystehoa tutkittiin sähkömoottorin ottaman tehon kautta. Käynnistystehoa tarkasteltiin viidessä eri pyörimisnopeudessa välillä 1500–3000 kierrosta/minuutissa. Taajuusmuuntajalla asetettiin sähkömoottorille haluttu pyörimisnopeus, jonka jälkeen ilmastointi kytkettiin päälle. Taulukosta 2 nähdään, kuinka kompressorin vaatima teho kasvaa, mitä suuremmalla kierrosnopeudella se kytketään päälle.

**TAULUKKO 2. Kompressorin vaatima käynnistysteho eri kierrosnopeuksilla**

Kierrokset(rpm)	1000	1500	2000	2500	3000
Sähkömoottorin käynnistysteho(kW)	1,2	1,9	2,5	3	3,5

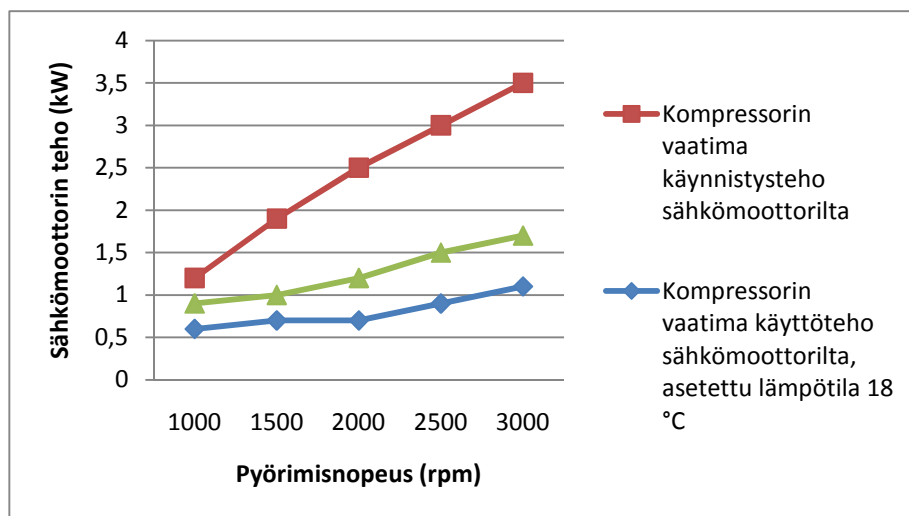
Ilmastoinnin toimintaa tarkkailtiin myös normaalitilassa eri kierrosnopeudella. Tarkkailtaviksi suureiksi otettiin moottorin teho, järjestelmän paineet sekä ulosvirtaava lämpötila. Mittaukset tehtiin kahdella eri asetuksella, jolloin ilmastoinninohjainlaitteesta valittiin lämpötilaksi 18 C° ja kylmin mahdollinen Lo-asento. Lo-asento suurentaa puhallusta sisätilaan ja kytkee sisäkierron päälle, jolloin jäähdytys tapahtuu nopeammin. Taulukosta 3 nähdään kompressorin vaatima teho sähkömoottorilta sekä asetetun lämpötilan vaikutus tehoon, kun sähkömoottorin kierrosnopeutta kasvatetaan 1000–3000 rpm. Kaavio 3 selventää, kuinka paljon suurempi käynnistysteho on verrattuna käyttötehoon eri kierrosnopeudella. Käyttötehon perusteella sähkömoottori (2,2 kW) riittää kompressorin pyörittämiseen koko kierrosalueella eikä tehonotto kasva liian suureksi.

**TAULUKKO 3. Ilmastoinnin vaatima sähkömoottorin teho eri kierrosnopeuksilla****Asetettu lämpötila 18 C°**

Kierrokset (rpm)	1000	1500	2000	2500	3000
Sähkömoottorin teho (kW)	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1

**Asetettu lämpötila Lo**

Kierrokset (rpm)	1000	1500	2000	2500	3000
Sähkömoottorin teho (kW)	0,9	1	1,2	1,5	1,7

**KAAVIO 3. Kompressorin vaatiman tehojen vertailu käynnistys- ja käyttövaiheessa eri kierrosnopeuksilla**

## 5.2 Lämpötila-antureiden simulointi

Lämpötila-antureiden simuloinnin toimintaa tarkasteltiin, simuloimalla kutakin lämpötila-anturia vuorollaan. Simuloinnissa testattavan lämpötila-anturin arvo syötettiin manuaalisesti potentiometrillä. Ilmastointi kytkettiin päälle ja asetettiin halutuksi lämpötilaksi 18 C°. Ympäristön lämpötila oli mittaushetkellä 19 C°. Ulkolämpötila-anturia sekä raitisilmälämpötila-anturia simuloitiin lämpötila-alueella -2 C° – 30 C°. Mittauksissa ilmastointi kytkeytyi pois päältä ulkolämpötilan alittaessa 0 celsiusastetta ja kytkeytyi takaisin päälle 5 C° kohdilla. Lämpötilaa kasvatettaessa ylöspäin puhallusteho kasvoi. Raitis-ilmalämpötila-anturi käyttäytyi simuloinnissa hyvin samalla tavalla, kuin ulkolämpötila-anturi. Ainoana merkittävänä erona oli, että ilmastointi kytkeytyi takaisin päälle vasta noin 10 C°. Sisätilan lämpötila-anturia simuloitiin -2 C° – 30 C° välillä. Asetettaessa sisälämpötilaksi -2 C° puhallusteho laski hyvin alhaiseksi ja ulostuleva lämpötila nousi noin 15 C°. Sisälämpötilaa kasvatettaessa puhallusteho hieman nousi ja ulostuleva lämpötila laski. Keskikonsoli- sekä jalkatilanlämpötila-antureita simuloitiin 5 C° – 30 C° välillä. Keskikonsolin lämpötilan asettaminen 5 C° laittoi keskusläpän lähes kiinni ja ulostulolämpötila nousi noin 12 C°. Lämpötilaa kasvatettaessa kohti 30 C° keskusläppä alkoi aueta, jolloin ilma pääsi suoraan höyrystimeltä keskikonsolin ulostuloon ja ulostuleva lämpötila laski noin 7 C°. Keskikonsolin lämpötilan vaihtelu näkyi ilmastoinnin toiminnassa hyvin nopeasti. Jalkatilan lämpötilan simuloinnissa vaikutukset olivat hyvin hitaita eikä varsinaisia muutoksia tapahtunut ilmastoinnin toiminnassa.

## 5.3 Aurinkotunnistimen simulointi

Aurinkotunnistimen vaikutusta ilmastoinnin toimintaan tutkittiin valaisemalla tunnistinta H4-halogeenipolttimolla (kuva 60). Halogeenipolttimon tarkoituksena oli simuloida auringonpaistetta. Tunnistimelle tulevaa valon voimakkuutta säädettiin muuttamalla polttimon etäisyyttä tunnistimeen.



**KUVA 60. Auringonpaisteen simulointi**

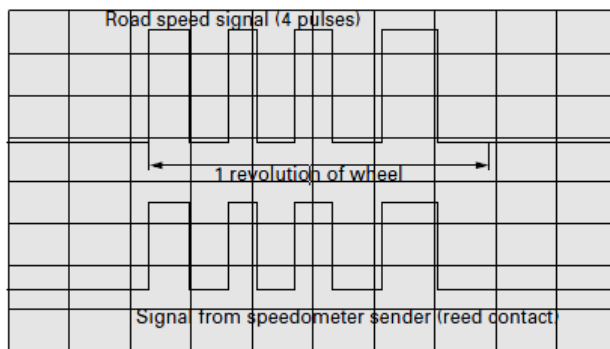
Simulaattoriin kytkettiin Bosch-diagnostiikkalaite, jolla voitiin ottaa vertailuarvoksi aurinkotunnistimen havaitsema valovoimakkuus prosentteina, puhaltimen jännite, ulostulevan ilman lämpötila ja ilmaläppien asento. Näistä aurinkotunnistimen havaittiin vaikuttavan vain puhalluksen tehoon ja sitä kautta ulosvirtaavaan lämpötilaan. Mittauksen aikana lämpötila oli 19 C° ja ilmastoinnin ohjainlaitteesta lämpötila oli laitettu Lo-asentoon. Seuraavalla sivulla olevasta taulukosta 4 nähdään, kuinka valovoimakkuuden kasvattaminen vaikuttaa puhaltimen jännitteeseen sekä ulostulevan ilman lämpötilaan.

**TAULUKKO 4. Aurinkosensorin vaikutus ilmastointiin**

Valon voimakkuus (%)	Puhallinjännite (V)	Ulosvirtauslämpötila (C°)
0 %	5	8
31 %	5,8	8
56 %	6,2	8
72 %	7	7
100 %	9	6

## 5.4 Ajonopeuden simulointi

Ajoneuvon nopeuden vaikutusta ilmastoinnin toimintaan tutkittiin syöttämällä signaaligeneraattorilla simuloitu autonrenkaiden pyörimisnopeus ilmastoinnin ohjainlaitteelle. Ilmastoinnin ohjainlaite tunnistaa auton nopeuden kuvan 61 kaltaisesta signaalista. Nopeussignaali on autossa saatu pyörännopeuden tunnistavalta Hall-anturilta. Pyörimisnopeussignaali kulkee mittariston kautta ilmastoinnin ohjainlaitteelle. Yksi renkaan pyörähdys tuottaa neljä kanttiaaltoista pulssia. Signaaligeneraattorin lähettämän signaalin amplitudiksi laitettiin 2 voltia ja signaalin muoto vastaavanlaiseksi kuvan 61 kanttiaalloksi. Ilmastoinnin ohjainlaitteen havaitsemaa ajoneuvon nopeutta tarkasteltiin Bosch-diagnoosilaitteen avulla. Mittauksissa havaittiin, että 1hz taajuus vastasi noin 0,85 km/h auton nopeutta.



**KUVA 61. Auton nopeussignaali (Audi Ag 1998, 54)**

Ilmastoinnin ohjainlaitteelle auton nopeudeksi simuloitiin 0-200 km/h ja vertailuarvoksi testauslaitteella valittiin puhaltimen jännite sekä patopaineläpän asento. Nopeuden nostaminen mittauksissa vaikutti ainoastaan patopaineläpän asentoon (kuva 62), jota ohjainlaite sääti enemmän kiinni nopeuden kasvaessa. Taulukossa 5 näkyy nopeuden vaikutus patopaineläpän asentoon auton nopeuksilla välillä 0-200 km/h.



**KUVA 62. Patopaineläppä**

**TAULUKKO 5. Auton nopeuden vaikutus ilmastointiin**

Auton nopeus (km/h)	Patopaineläppän asento (%)
0	Auki
50	25 % kiinni
100	75% kiinni
200	90% kiinni

### 5.5 Painetilojen simulointi sulkuventtiileillä

Kylmäainekierto on vaikuttavia sulkuventtiilejä on yksi matalapainepuolella ja yksi korkeapainepuolella (liite 9). Sulkuventtiilien vaikutuksia mitattaessa ilmastointi kytkettiin päälle ja sähkömoottorin kierrosnopeus asetettiin 1500 rpm. Ympäristön lämpötila oli mittaushetkellä 19 C° ja ilmastoinnille asetettu lämpötila 18 C°. Mittauksessa käytettiin digitaalista Fluke-lämpötilamittaria sekä Amica-ilmastointihuoltolaitetta, jolla mitattiin järjestelmän paineita. Mittaukset tehtiin venttiilit auki ja venttiilit osittain kiinni. Mitattavan sulkuventtiilin kahvan asento laitettiin 45 ° kulmaan, jolloin venttiili kuristi kylmäainekiertoa, mutta ei sulkenut sitä täysin. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa 6 hana 1 on sulkuventtiili korkeapainepuolella lauhduttimen ja kuristinputken välissä ja hana 2 matalapainepuolella kuivaimen ja kompressorin välillä. Lämpötilat mitattiin lauhduttimen tulo- ja lähtöpuolella, kuristinputken jälkeen, höyrystimen jälkeen sekä kuivaimen jälkeen.



## TAULUKKO 6. Säätoventtiilien vaikutus kylmäaineputkistojen lämpötiloihin ja järjestelmän paineisiin

Lämpötilat sekä paineet	Normaali	Hana1 (45 °)	Hana 2 (45 °)
Kompressorilauhdutin (C°)	31	29	30,5
Lauhdutin-kuristinputki (C°)	29	27	28,5
Kuristinputki-höyrystin (C°)	3,6	9	4
Höyrystin-kuivain (C°)	4	8	15,3
Kuivain-kompressorilauhdutin (C°)	6,5	9	10
Matalapaine (bar)	2	2	2,2
Korkeapaine (bar)	8	4	7

Mittauksista voidaan havaita, että hanan 1 vaikutus tiputtaa korkeapaineen matalaksi, koska hana sijaitsee ennen korkeapainehuoltoliitintä, josta korkeapainepainetieto saadaan. Höyrystimen lämpötila kasvaa, koska kuristinputken läpi virtaa pienempi määrä kylmäainetta. Lämpötila kompressorin jälkeen on lähes säilynyt ennallaan, jolloin paine on lähes 8 baaria. Hanan 2 vaikutus näkyy parhaiten lämpötilan kasvamisena höyrystimen ja kuivaimen välissä. Koska hana ahdistaa kompressorin imupuolta matalapaine hieman nousee ja korkeapaine laskee.

### 5.6 Sähköisten vikatilojen simulointi

Vikatilojen merkitystä tarkkailtiin tutkimalla niiden vaikutusta korkea- ja matalapaineisiin sekä ilmastoinnin ohjaukseen. Mittauksissa ilmastointi kytkettiin päälle, moottorin kierrosnopeus asetettiin 1500 rpm, lämpötila asetettiin 18 celsiusasteeseen ja vikatilat kytkettiin vuorotellen päälle. Seuraavan taulukossa 7 näkyy vikatilat ja niiden vaikutus ilmastoinnin ohjaukseen sekä painetiloihin. Vikatiloissa v1 ja v3 magneettikytkin meni pois päältä ja paineet tasoittuivat, koska kompressorilauhdutin ei tuottanut enää painetta. Vikatila v2 nosti korkeapaineen välittömästi ylöspäin, koska lauhduttimen puhallin lakkasi toimimasta. Vikatila v4:n vaikutusta ei kyseisellä ympäristön lämpötilalla päässyt näkemään, koska korkeapaine ei ollut riittävän suuri.

### Vikatilat

V1	Magneettikytkimen ohjausjännite
V2	Lauhduttimen puhaltimen ohjausyksikön jännite
V3	Painetunnistin
V3	Lauhduttimen puhaltimen ohjaus painetunnistimella

### TAULUKKO 7. Vikatilojen vaikutus ilmastoinnin toimintaan

	Vaikutus	Korkeapaine	Matalapaine
<b>V1</b>	Magneettikytkin pois päältä	Laskee	Nousee
<b>V2</b>	Lauhduttimen puhallin pois päältä	Nousee jyrkästi	Ei muutosta
<b>V3</b>	Magneettikytkin pois päältä	Laskee	Nousee
<b>V4</b>	Ei vaikutusta	Ei muutosta	Ei muutosta

### 5.7 Ilmastoinnin ohjainlaitteen itsediagnoosi

Keväällä suoritettavien testauksien aikaan saatiin tietää, että ilmastoinnin ohjainlaitteen ohjainnäytöstä löytyy itsediagnoosisovellus. Itsediagnoosin avulla voidaan lukea vikakoodit sekä tarkkailla ilmastointilaitteen säätimien ja antureiden toimintaa. Diagnoosi tehdään ohjainlaitteen segmenttinäytön avulla. Muun muassa lämpötila-antureiden lämpötilat saadaan näkymään digitaalisena arvona näytölle. Itsediagnoosia voidaan hyödyntää juuri varsinkin lämpötilojen tarkkailemisessa. Siksi itsediagnoosin kertomaa lämpötilatietoa lähdettiin testaamaan ja etsimään sen digitaalisille arvoille vastaavat celsiuslämpötilat. Esimerkiksi keskikonsolin lämpötila muutettiin simuloimalla lämpötila tiettyyn arvoon, minkä jälkeen lämpötila (C°) katsottiin Bosch-diagnoosilaitteella ja digitaaliarvo ohjainlaitteen näytöstä. Digitaaliarvoille tehtiin mittauksien perusteella muunnostaulukko, joka lisättiin käyttöohjeisiin, kuten myös ohjeet siitä kuinka itsediagnoosi tehdään. Seuraavan sivun taulukossa 8 näkyy esimerkiksi keskikonsolin lämpötila-anturin digitaalista arvoa vastaava lämpötila-arvo. Taulukon avulla lämpötilojen tarkkailemiseen ei tarvita enää erillistä diagnoosilaitetta tai lämpötilamittaria.

**TAULUKKO 8. Digitaaliarvo/ C° muunnostaulukko**

Keskikonsolinlämpötila-anturi ja jalkatilan lämpötila anturi	
Digitaali arvo	Lämpötila C°
0	150
2	124
4	96
6	78
8	64
10	53
12	44
14	35
16	27
18	18
20	9
22	-3
24	-20

## 6 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä kehitettiin vuonna 2004 tehty ilmastointilaitesimulaattoria niin, että se vastaa ilmastointihuoltokoulutuksien tarpeisiin. Simulaattorin ilmastoinnin ohjaukseen tehtiin tarvittavat kytkennät ja signaalien simuloinnit, jotta ilmastoinnin päälle kytkytyminen oli mahdollista. Kompressorin voimanlähteeksi mitoitettiin sähkömoottori, jolle suunniteltiin kiinnitysteline, hihnapyörävälitys sekä hihnan ympärille suojakotelo. Sähkömoottorin ohjausta varten simulaattoriin laitettiin taajuusmuuntaja. Simulaattorin kylmäaineputkisto rakennettiin uudelleen ja letkujen väliin tehtiin paineiloja simuloivia sulkuventtiilejä. Loputkin lämpötila-anturit eli ulkolämpötila-, keskikonsolilämpötila- ja jalkatilanlämpötila-anturi tehtiin simuloitavaksi. Simulaattoriin asennettiin pyörintänopeustunnistin eli optinen takometri. Pyörintänopeudelle tehtiin mittausliitäntä kojetauluun, josta voidaan oskilloskoopin avulla tarkistaa/katsoa moottorinpyörintänopeus signaalia. Kojetauluun kytkettiin simulointiliitäntä auton nopeudelle, johon voidaan lähettää haluttu nopeus signaaligeneraattorin avulla ja tarkkailla sen vaikutusta ilmastoinnin toimintaan. Simulaattoriin tehtiin myös vikatilalaukko, josta voidaan kytkeä ilmastoinnin toimintaan vaikuttavia vikatiloja päälle. Lopuksi simulaattorin kylmäainejärjestelmä koeponnistettiin ja täytettiin kylmäaineella, jonka jälkeen ilmastoinnin toimintaa testattiin ja mitattiin ilmastointihuoltolaitteen avulla. Simulaattorin käyttöä varten tehtiin kattavat käyttöohjeet, jotka sisältävät ohjeet simulaattorin käyttöön sekä diagnosointiin, sähkökaaviot, ilmastoinnin kylmäpiirikaavion sekä simulaattorin tekniset tiedot.

## 7 POHDINTA

Simulaattorissa päästiin mielestäni tavoitteeseen eli saatiin järjestelmä toimivaksi niin, että järjestelmän paineita pystytään simuloimaan ja ohjaukseen saadaan tehtyä vikatiloja. Simulaattori saatiin myös tehtyä itsenäiseksi laitteeksi, joka on siirrettävissä, ilman että siihen tarvitsee kytkeä erinäisiä laitteita saadakseen simulaattori toimintakuntoon. Näin ilmastointisimulaattori vastaa mielestäni erittäin hyvin ilmastointihuoltokoulutuksien tarpeisiin, joissa simulaattoria joudutaan liikuttelemaan paikasta toiseen. Varsinkin itsediagnoosisovelluksen löytyminen ilmastointilaitteesta oli hyvä lisä simulaattoriin. Itsediagnoosin avulla ilmastoinnista voidaan tutkia vikakoodeja ja lämpötiloja, ilman että simulaattoriin tarvitsee kytkeä erillistä testauslaitetta.

Simulaattorin valmistuminen viivästyivät muutamalla kuukaudella alkuperäisestä aikataulusta. Simulaattorin kylmäaineputkien suunnittelu ja osien saaminen vei paljon aikaa, koska alkuperäisten kylmäaineputkien ja liitoksien standardit olivat erilaisia kuin uusissa putkissa ja liitoksissa. Tämän takia putkien ja liitoksien suunnitteluun jouduttiin matkan varrella tekemään paljon muutoksia. Asiaa hankaloitti myös se, että putket, letkut ja liitokset valittiin luettelosta, josta oli hankala hahmottaa niiden kokoa ja muotoa. Kun oikeat putket, letkut ja liitokset saatiin, itse rakentaminen sujui nopeasti ja ongelmitta. Sähkömoottorin teho ei meinannut aluksi riittää ja taajuusmuuntaja kytki virransyötön pois päältä, kun ilmastointi kytkettiin päälle. Ratkaisuksi sähkömoottorin hihnapyörän kokoa pienennettiin, mutta se auttoi vain vähän. Lopuksi taajuusmuuntaja saatiin säädettyä niin, että sähkömoottori jaksoi käynnistää kompressorin.

Mittauksissa kompressorin ja lauhduttimen väliin laitettu säätöventtiili nosti korkeapaineen liian suureksi ja rikkoi putkistoa. Venttiilin sijainti osoittautui huonoksi, koska lauhduttimen painetunnistin ei tunnistanut paineen kasvua kompressorin ja säätöventtiilin välissä. Rikkoontunut putkisto korjattiin ja säätöventtiili otettiin pois käytöstä. Vikatila v4:n (lauhduttimen puhaltimen ohjausta painekytkimellä) vaikutusta ilmastoinnin toimintaan ei päästy mittaauksissa näkemään, koska paineet eivät nousseet raja-arvon suuruisiksi autolaboratorion lämpötilassa. Loput säätöventtiilit sekä vikatilat toimivat halutulla tavalla ja järjestelmän paineisiin pystyttiin niiden avulla vaikut-

tamaan. Mittauksissa onnistuttiin myös simuloimaan auringonvaloa sekä ajonopeutta ja nähtiin niiden vaikutusilmastoinnin toimintaan.

Ilmastointisimulaattoria voitaisiin tulevaisuudessa kehittää monellakin eri tavalla. Simulaattorin sähköjärjestelmä, varsinkin puhaltimet, kuluttavat paljon virtaa. Tämän takia simulaattoriin voitaisiin rakentaa latausjärjestelmä, joka lataisi simulaattorin akkua, kun simulaattoria käytetään tai sähkömoottorin voimavirtapistoke kytketään seinään. Tämän avulla vältettäisiin tilanteet, jossa simulaattorin ilmastointi ei toimi akun alhaisen jännitteen takia. Simulaattoriin voitaisiin myös rakentaa muuttuvatilavuuksinen kompressori, joka yhdistettäisiin kiinni nykyiseen putkistoon. Tällä kytkennällä voitaisiin tarkastella muuttuvatilavuuksisen ja vakio tilavuuksisen kompressorin eroja kylmän tuotossa, energiatehokkuudessa sekä vikatilanteissa. Sisätilanlämpötila-anturille voitaisiin rakentaa kotelointi, johon virtaisi puhallusjärjestelmästä ulostulevaa ilmaa. Koteloinnissa voisi olla jonkinlainen kerääjätila, johon sekoittuisi ilma jalkatilan, tuulilasin ja keskikonsolin puhalluskanavista. Kerääjätilan avulla nähtäisiin eri puhallusreittien vaikutus sisätilanlämpötilaan sekä ilmastoinnin säätöön.

## LÄHTEET

- Aittomäki, Antero & Aalto, Esa 2008. Kylmäteknikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Audi Ag 1998. The 2.7 V6 Biturbo design and Function Selfstudyprogramme 198. Germany.
- Gates. Kiilahihnakäytön suunnittelu opas. PDF-dokumentti.  
[http://www.sks.fi/download/sks\\_gates\\_kiilahihnakayton\\_suunnitteluopas/\\$file/Kiilahihnakaytonsuunnitteluopas1023250.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_gates_kiilahihnakayton_suunnitteluopas/$file/Kiilahihnakaytonsuunnitteluopas1023250.pdf). Ei päivytystietoja. Luettu 23.1.2011.
- General Motors 1995. HVAC System. General Motors Training Materials. General Motors Corporation.
- Juhala, Matti, Lehtinen, Arto, Suominen, Matti & Tammi, Kari 2005. Moottorialan sähköoppi. Helsinki: Autoalan koulutuskeskus.
- Järvinen, Juhani 1993. A/C Refrigeration. GM Product Service Training. Ilmastointikoulutus materiaali.
- Kaappola, Esko 1996. Sääto- ja varolaitteet. Teoksessa Aittomäki, Antero (toim.) Kylmäteknikka. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy, 223-250.
- Jacques, Gordon 2005. Variable displacement compressor. PDF-dokumentti.  
<http://www.polarbearinc.com/Articles/Variable%20Displacement%20Compressor.pdf>  
 Ei päivitys tietoa. Luettu 12.4.2011.
- Laamanen, Mikko 2010. Ilmastointijärjestelmien vaikutus ajoneuvojen energiakulutukseen. Opinnäytetyö. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu. PDF-dokumentti.  
[http://www.transec.fi/files/236/Ilmastointijarjestelman\\_vaikutus\\_ajoneuvojen\\_energiakulutukseen.pdf](http://www.transec.fi/files/236/Ilmastointijarjestelman_vaikutus_ajoneuvojen_energiakulutukseen.pdf). Ei päivytystietoja. Luettu 12.3.2011.
- Marsh, Warren & Olivo, Thomas 1979. Principles of Refrigeration. United states of America: Delmar publishers INC.
- Mistematic 2005. Air conditioning system types and components. WWW-dokumentti. <http://www.mistematic.co.uk/aircon/systems.htm>. Päivitetty 16.1.2011. Luettu 25.1.2011.
- Peltonen, Jarkko 2010. Ilmastointiviat luentomateriaali.
- Riikonen, Pauli 2010. Hfo- 134yf saa hyväksyntää. Suomen Autolehti 2/2010, 38-40.
- Stubblefield, Mike & Haynes, John 2000. Automotive Heating and Air Conditioning Systems Manual. United states of America: Haynes Puplication, Inc.
- Toivonen, Tomi. Kahan ilmastointikurssin luentomateriaali. KAHA.
- Valtioneuvoston asetus otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta 452/2009. WWW-dokumentti.

<http://www.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20090452?search=tukes>. Päivitetty 18.2.2011. Luettu 18.2.2011.

Volkswagen 2009. Selfstudyprogramme 208. PDF-dokumentti.  
[http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP\\_208\\_d2.pdf](http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_208_d2.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 12.3.2011.

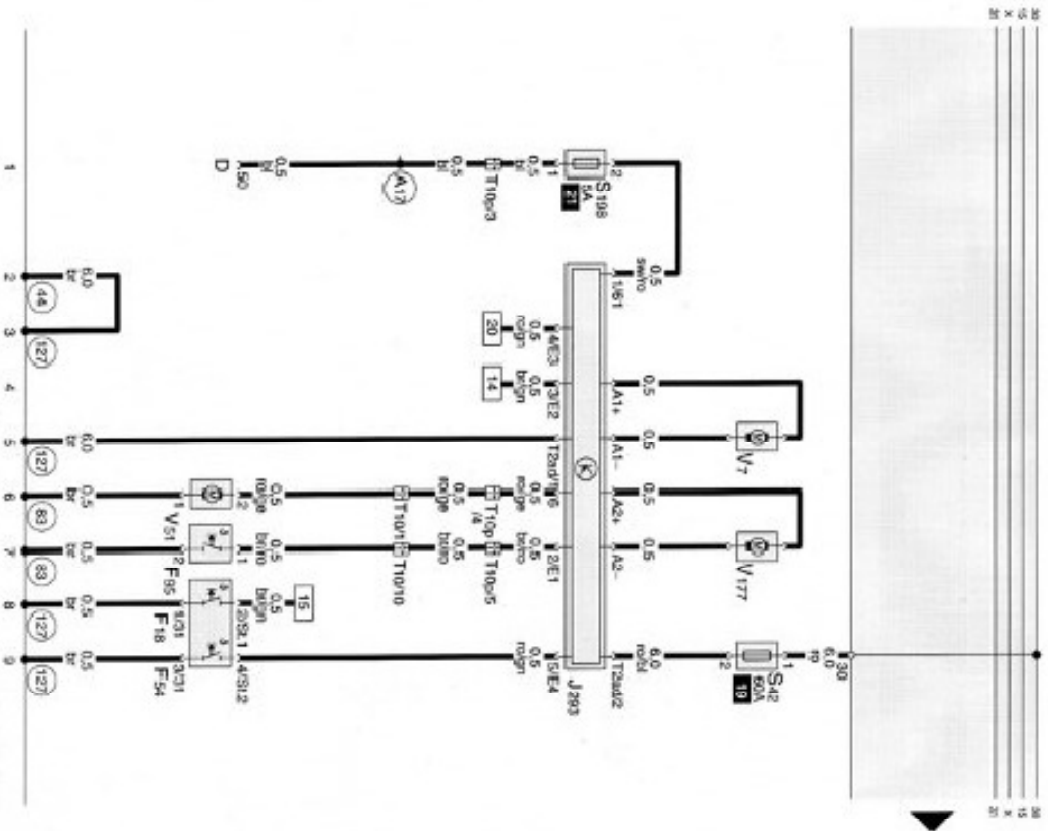
Vulkan lokring. Automotive air conditioning catalogue for servicing. PDF- dokumentti. [http://vulkanindia.com/sites/default/files/LOKRING\\_LOKCLIP\\_folder.pdf](http://vulkanindia.com/sites/default/files/LOKRING_LOKCLIP_folder.pdf). Ei päivitystietoa. Luettu 10.1.2011

**Audi A4**

**Current Flow Diagram**

**NO. 44/1**

**Air conditioner with automatic control (only applies to 2.7l bi-turbo engine, 195 kW, 6-cylinder)**



- ws = white
- sw = black
- ro = red
- br = brown
- gn = green
- bl = blue
- gr = grey
- li = purple
- ge = yellow

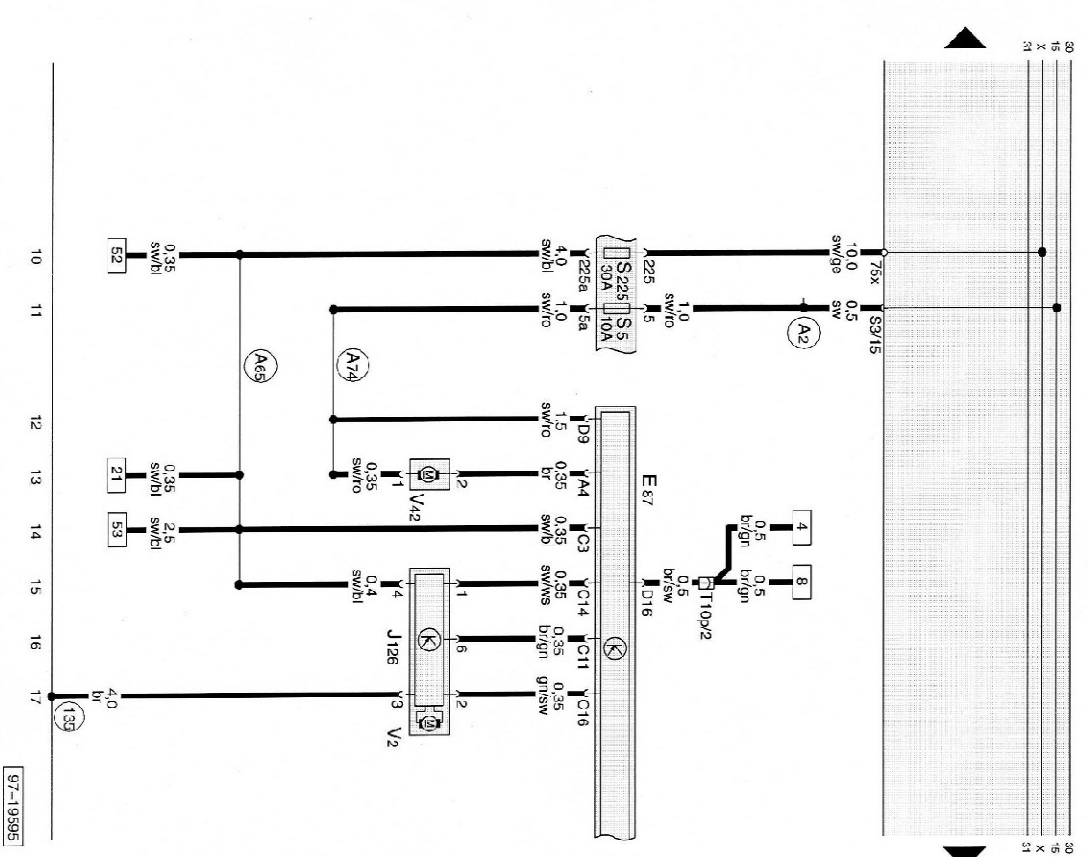
- D - Ignition/Starter switch
- F18 - Radiator fan thermo-switch
- F54 - Radiator fan thermo-switch
- F95 - Thermo-switch for continued coolant circulation
- J293 - Radiator fan control unit
- S42 - Radiator fan single fuse
- S198 - Fuse (61)
- T29d - 2-pin connector, on radiator fan control unit
- T110 - 10-pin connector, brown, connector point, electronics box, plenum chamber
- T10p - 10-pin connector, grey, left connector point, A pillar
- V7 - Radiator fan (suction fan)
- V51 - Continued coolant circulation pump
- V177 - Radiator fan -2-
- 44 - Earth point, lower part of left A-pillar
- 83 - Earth connection -1-, in front right wiring harness
- 127 - Earth connection -1-, in air conditioner compressor wiring harness
- A17 - Connection (61), in dash panel wiring harness



**Audi A4**

**Current Flow Diagram**

**NO. 44/2**



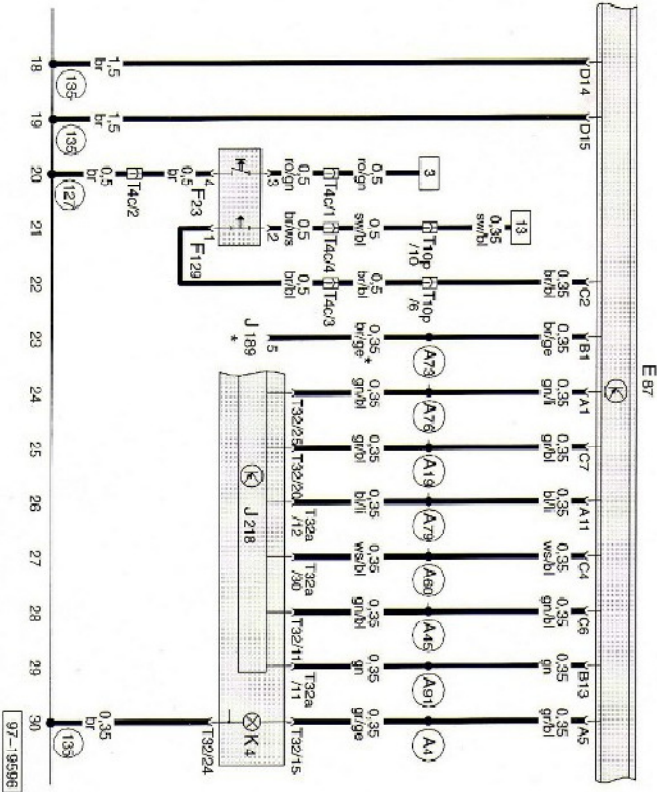
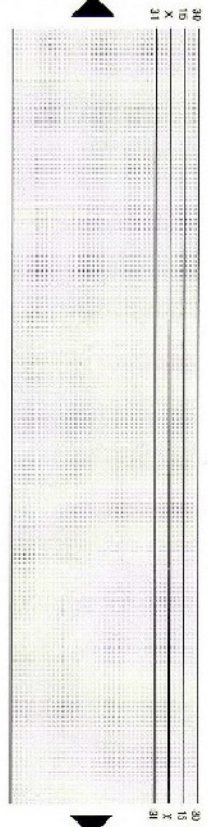
ws = white  
sw = black  
ro = red  
br = brown  
gn = green  
bl = blue  
gr = grey  
ll = purple  
ge = yellow  
or = orange

- Air conditioner with automatic control (only applies to 2.7 l bi-turbo engine, 195 kW, 6-cylinder)**
- E87 - Control and display unit for air conditioner
  - J126 - Fresh air blower control unit
  - T10p - 10-pin connector, grey, left connector point, A pillar
  - V2 - Fresh air blower
  - V42 - Temperature sensor blower
  - (135) - Earth connection -2-, in dash panel wiring harness
  - (A2) - Positive (+) connection (15), in dash panel wiring harness
  - (A65) - Connection (75a, digital air conditioner), in dash panel wiring harness
  - (A74) - Connection (15a, fuse 5), in dash panel wiring harness

**Audi A4**

**Current Flow Diagram**

**NO. 44/3**



**Air conditioner with automatic control (only applies to 2.7 l bi-turbo engine, 195 kW, 6-cylinder)**

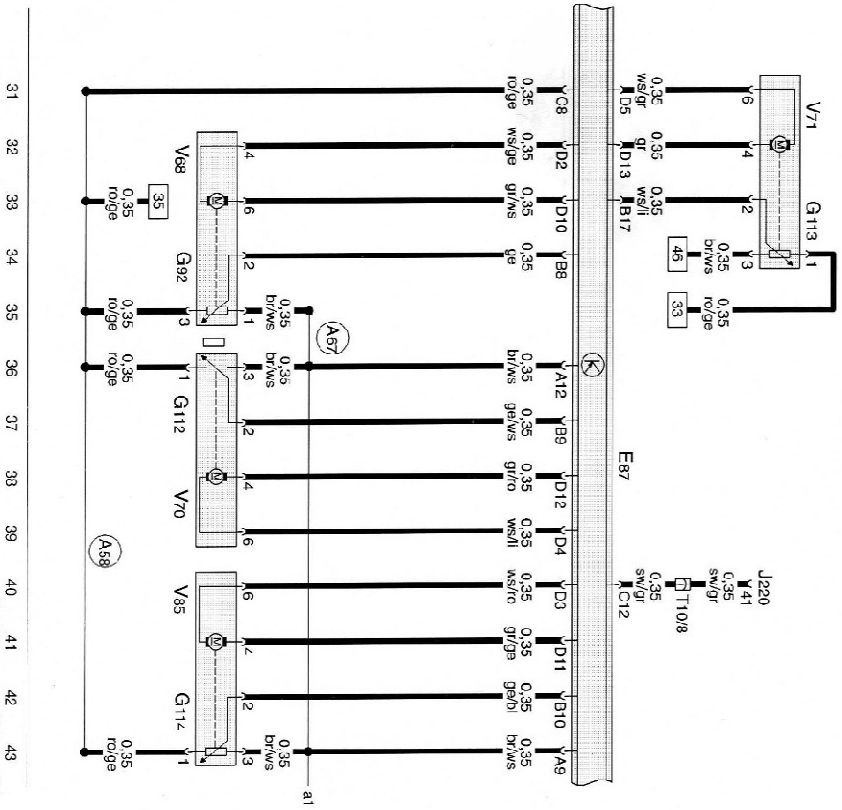
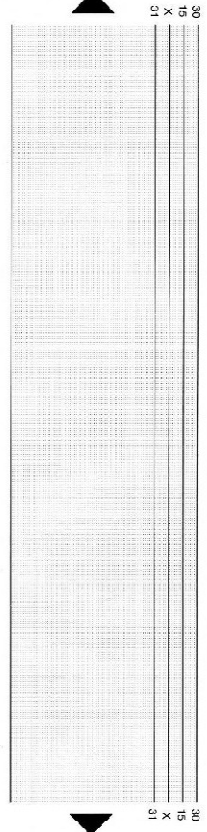
- E87 - Control and display unit for air conditioner
  - F23 - High pressure switch for air conditioner
  - F129 - Air conditioner pressure switch
  - J189 - Auto check system
  - J218 - Combi-processor in dash panel insert
  - K4 - Side light warning lamp
  - T4c - 4-pin connector, red, in engine compartment, front left
  - T10p - 10-pin connector, blue, left connector point, A pillar
  - T32 - 32-pin connector, blue, on dash panel insert
  - T32a - 32-pin connector, green, on dash panel insert
  - (127) - Earth connection -1-, in air conditioner compressor wiring harness
  - (135) - Earth connection -2-, in dash panel wiring harness
  - (A4) - Positive (+) connection (58d), in dash panel wiring harness
  - (A19) - Connection (58d), in dash panel wiring harness
  - (A45) - Connection (engine speed signal), in dash panel wiring harness
  - (A60) - Connection (vehicle speed signal), in dash panel wiring harness
  - (A73) - Connection (ambient temperature display), in dash panel wiring harness
  - (A76) - Connection (diagnosis wire K), in dash panel wiring harness
  - (A79) - Connection (not light switch), in dash panel wiring harness
  - (A91) - Connection (signal for dash panel insert), in dash panel wiring harness
- \* - Only models with driver information system

Audi A4

Current Flow Diagram

NO. 44/4

Air conditioner with automatic control (only applies to 2.7 l bi-turbo engine, 195 kW, 6-cylinder)



ws = white  
sw = black  
ro = red  
br = brown  
gr = green  
bl = blue  
gr = grey  
li = purple  
ge = yellow

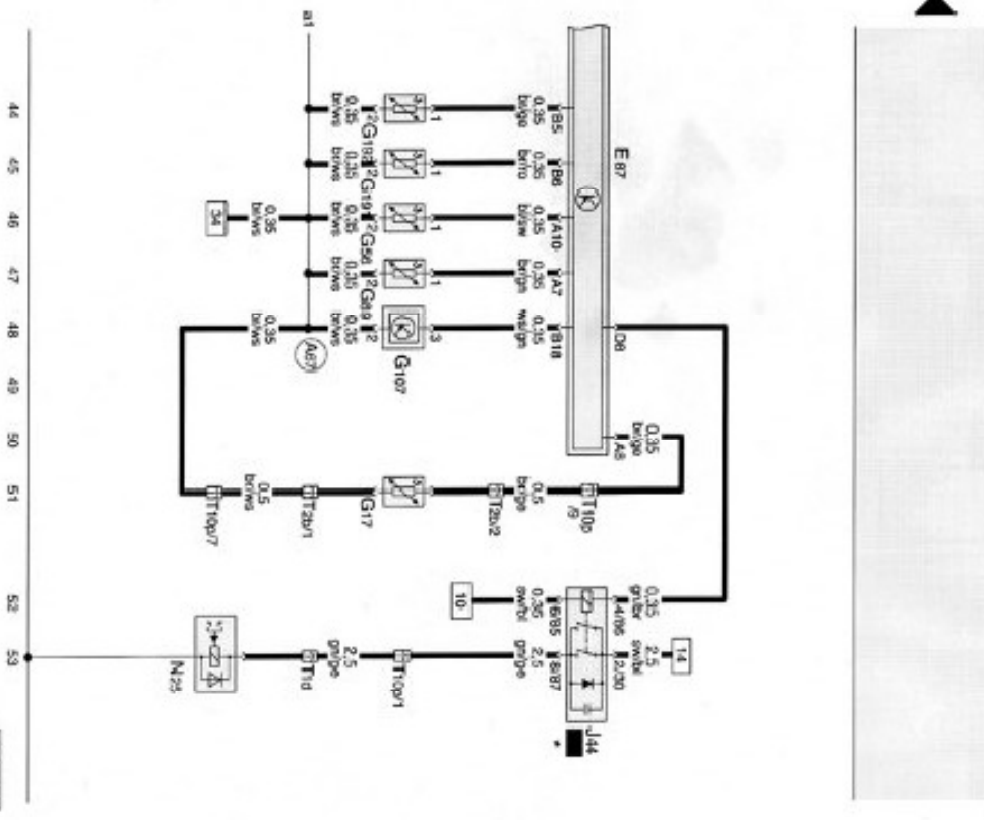
- E87 - Control and display unit for air conditioner
- G92 - Control motor potentiometer, temperature flap
- G112 - Control motor potentiometer, central flap
- G113 - Control motor potentiometer, air flow flap
- G114 - Control motor potentiometer, footwell/defroster flap
- J220 - Motronic control unit
- T110 - 19-pin connector, brown, connector point, electronics box, plenum chamber
- V68 - Temperature flap control motor
- V70 - Central flap control motor
- V71 - Air flow flap control motor
- V85 - Footwell/defroster flap control motor
- (A58) - Connection (5 volt), in dash panel wiring harness

Audi A4

Current Flow Diagram

NO. 44/5

20		20
X		X
20		20
A		A

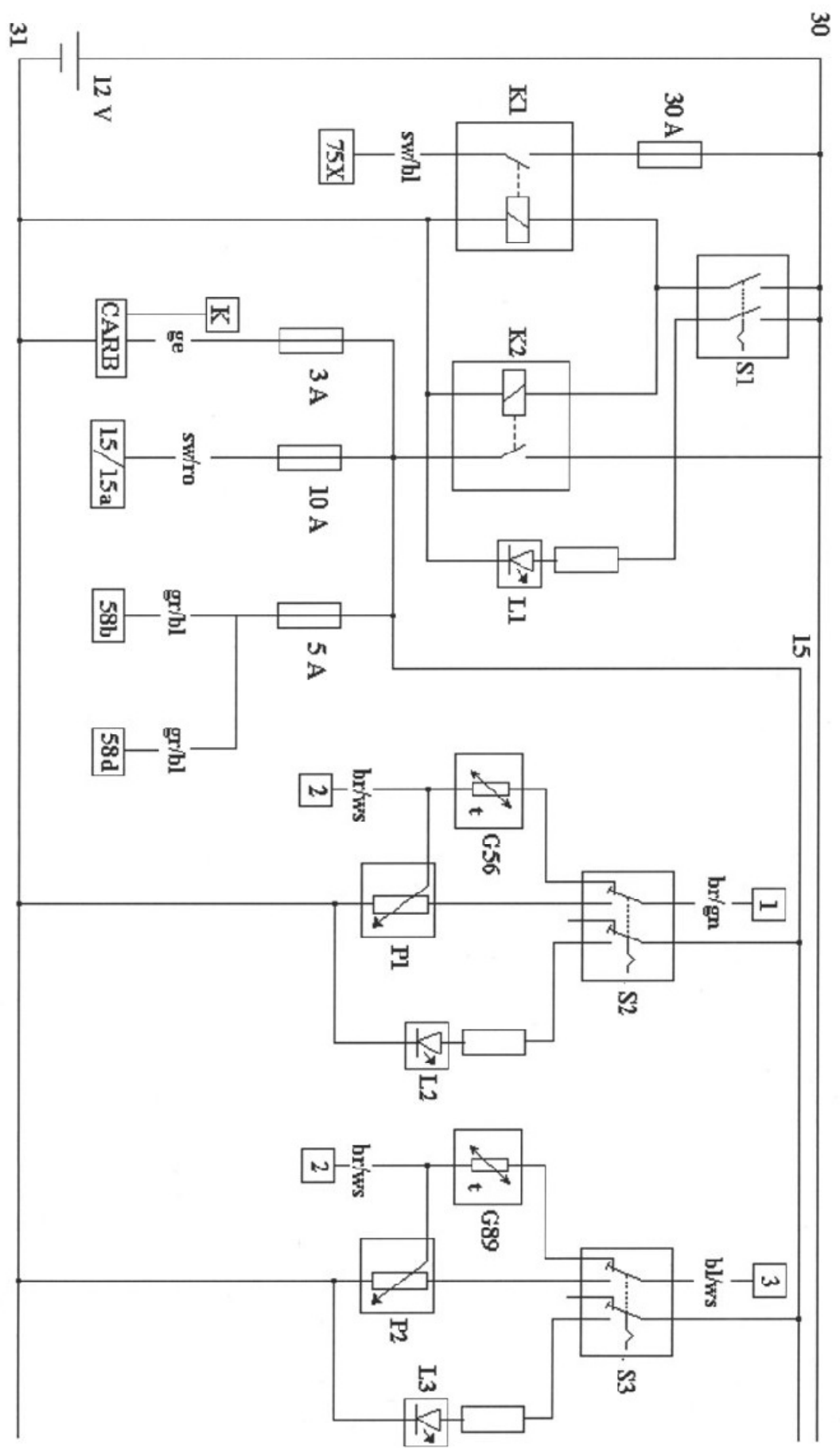


wst = white  
swt = black  
rd = red  
br = brown  
gn = green  
bl = blue  
gr = grey  
li = purple  
ge = yellow

Air conditioner with automatic control (only applies to 2.7 l Bi-turbo, 195 kW, 6-cylinder)

- E87 - Control and display unit for air conditioner
- G17 - Ambient temperature sensor
- G56 - Dash panel temperature sensor
- G89 - Fresh air intake duct temperature sensor
- G107 - Sunlight penetration photo sensor
- G191 - Vent temperature sender, centre
- G192 - Vent temperature sender, footwell
- J44 - Magnetic coupling relay
- N25 - Air conditioning system magnetic coupling
- T1d - Single connector, green, rear compressor
- T2b - 2-pin connector, black, in engine compartment, front
- T10 - 10-pin connector, brown, connector point, electronics box, plenum chamber
- T10p - 10-pin connector, grey, left connector point, A pillar
- (A67) - Connection (normal earth, digital air conditioner), in dash panel wiring harness
- - - Fit at any vacant relay point

Simulaattorin alkuperäinen virtapiirikaavio



**Simulaattorin alkuperäinen virtapiirikaavio**

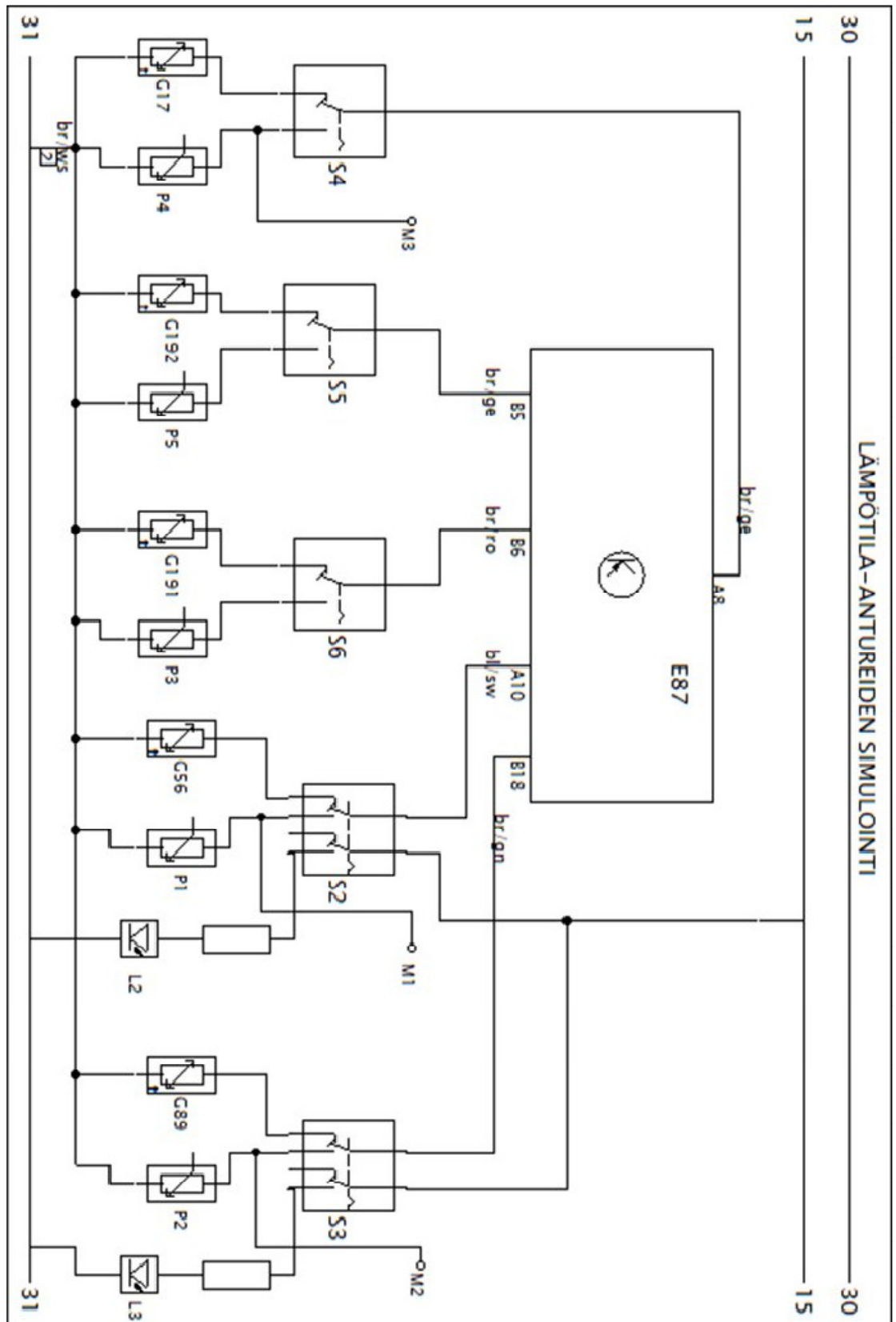
Virtapiirikaavion osat ja numerointien merkitykset.

- 1 – ohjainlaitteelta sisälämpötila-anturin tulo jännite, +5 V
- 2 – sisä- ja ulkolämpötila-anturien maadoitus
- 3 – ohjainlaitteelta ulkolämpötila-anturin tulojännite, +5 V
- 15/15a – virta virtalukon kautta
- 58b – näyttöyksikön taustavalo
- 58d – käyttöyksikön painikkeiden valaistus
- 75X – virransyöttö tuuletuspuhaltimelle
- CARB – diagnoosipistoke
- G56 – sisälämpötila-anturi
- G56 – ulkolämpötila-anturi
- K – diagnoosijohdin
- K1 – virtarele 75X:n ohjaukseen
- K2 – virtarele muiden virtojen ohjaukseen
- L1 – ledi, palaa simulaattorin ollessa päälle kytkettynä
- L2 – ledi, palaa manuaalisen sisälämpötilansäädön ollessa aktiivinen
- L3 – ledi, palaa manuaalisen ulkolämpötilansäädön ollessa aktiivinen
- P1 – potentiometri, sisälämpötilan manuaalinen syöttö
- P2 – potentiometri, ulkolämpötilan manuaalinen syöttö
- S1 – simulaattorin virtakytkin
- S2 – vaihtokytkin, valitaan joko alkuperäinen kytkentä tai manuaalinen sisälämpötilan säätö
- S3 – vaihtokytkin, valitaan joko alkuperäinen kytkentä tai manuaalinen ulkolämpötilan säätö

Lämpötila-antureiden vastusarvot

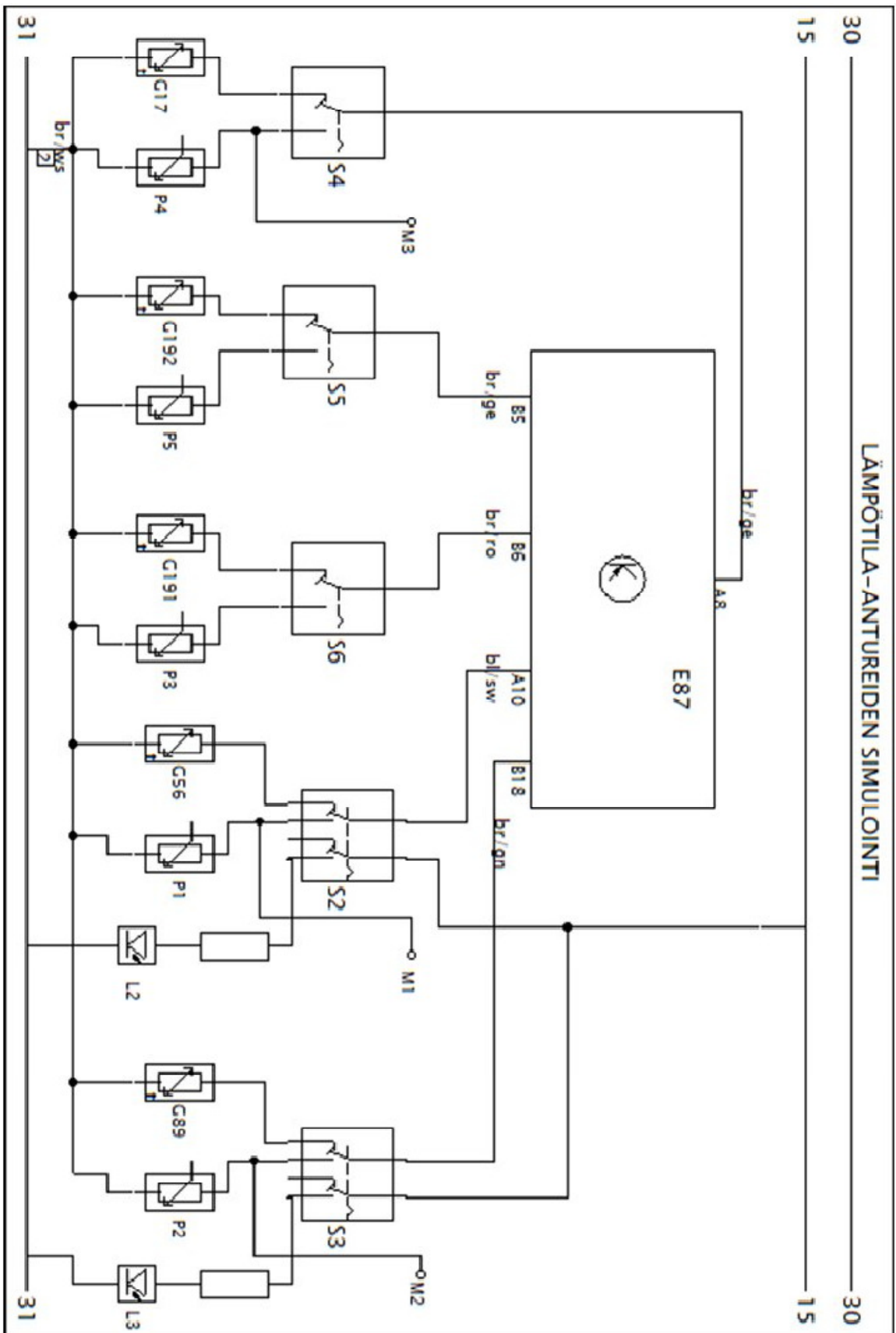
Outside temperature dependent resistance values of temperature sensors in KΩ (Kilo-Ohm)

Temperature measured at installation location of sensor in ° C (Degree Celsius)	Sensors	Sensors
	-G150- -G151- -G192-	-G17- -G89-
-20	(79)	9.95
-10	(47)	5.59
0	(29)	3.28
5	(23)	2.54
10	18.5	1.99
15	15.0	1.57
20	12.2	1.25
25	10.0	1.00
30	8.3	0.80
35	6.8	0.65
40	5.7	0.53
50	4.1	0.36
60	2.9	0.25
70	2.2	-
80	1.6	-

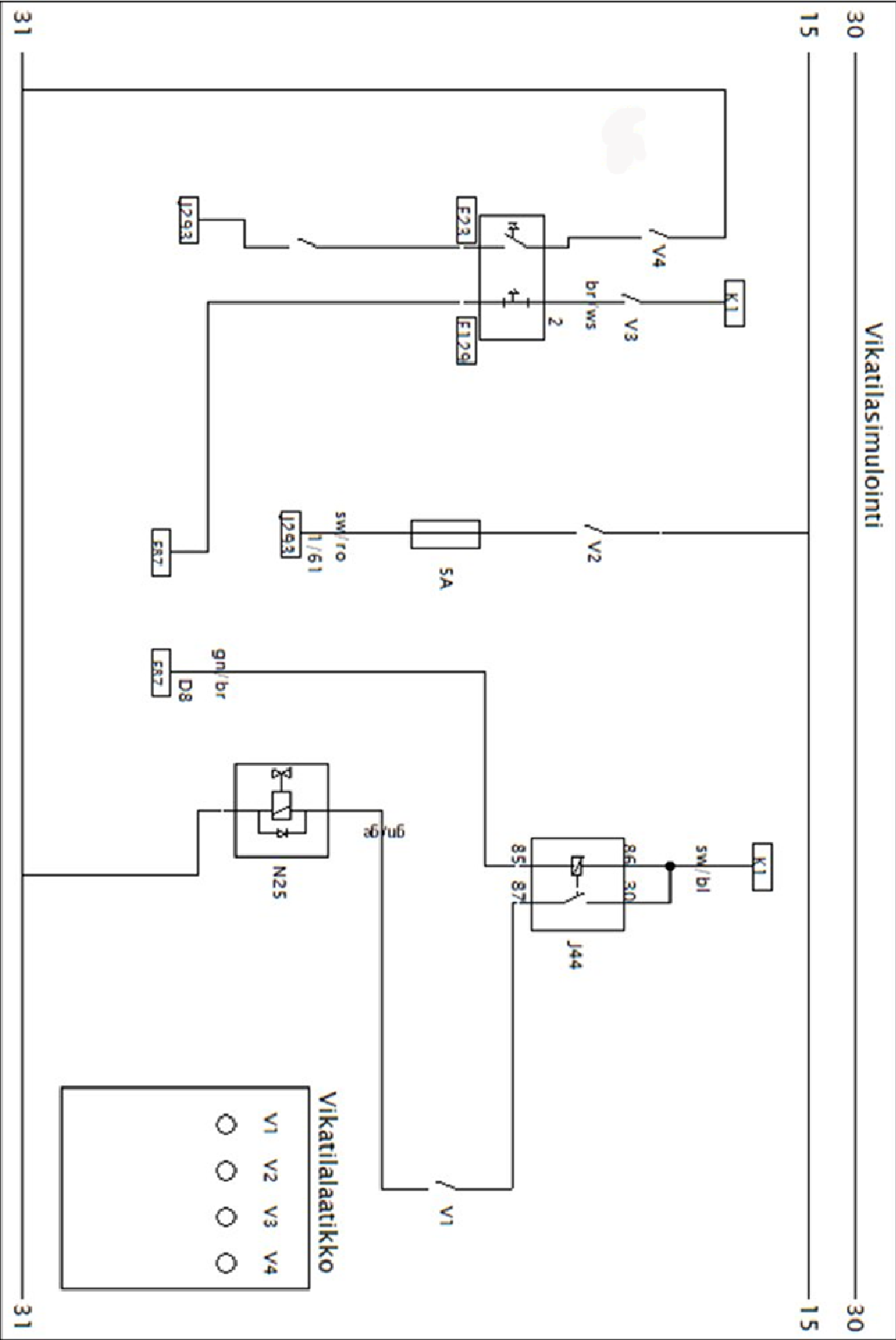




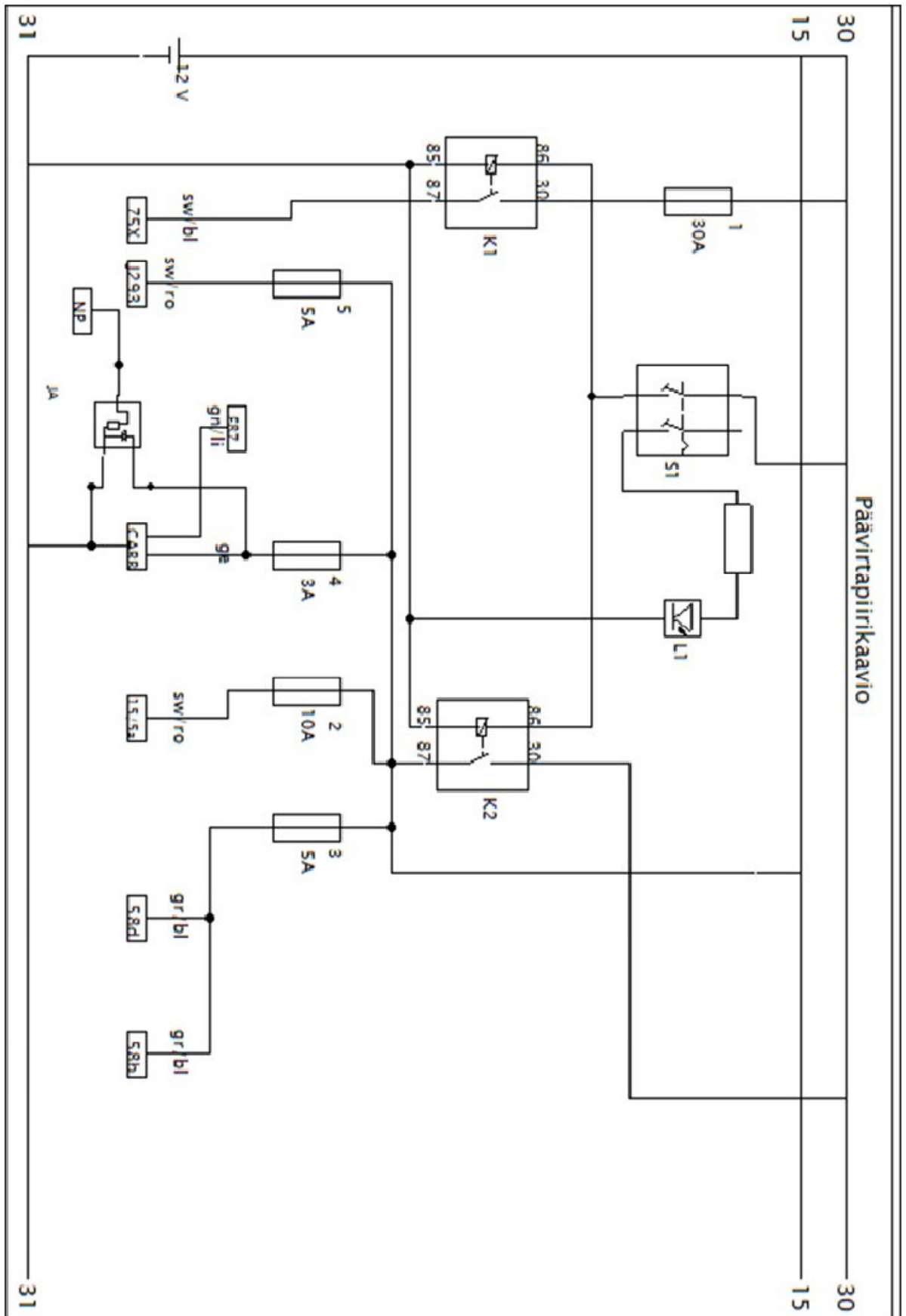
Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot



Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot



Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot



## Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot

## VIRTAPIIRIKAAVION SELITYKSET

15/5a	Virta virtalukon kautta
75X	Virransyöttö tuuletuspuhaltimelle
58b	Näyttöyksikön taustavalo
58d	Käyttöyksikön painikkeiden valaistus
CARB	Carb-liitin testauslaitteelle
E87	Ilmastoinnin ohjainlaite
F129	Kylmäaineen painekytkin
F23	Kylmäaineen korkeapainekytkin flektin ohjaukseen
G17	Ulkolämpötila-anturi
G56	Sisälämpötila-anturi
G89	Raitisilma lämpötila-anturi
G191	Keskikonsolin lämpötila-anturi
G192	Jalkatilalämpötila-anturi
J293	Jäähdyttimen puhaltimen ohjausyksikkö
JA	Jännitteen alentaja nopeustunnistimen signaalille
K1	Virtarele 75X:lle
K2	Virtarele muille virroille
L1	Simulaattorin virtakytkimen led
L2	Sisälämpötila-anturin vaihtokytkimen led
L3	Raitisilma lämpötila-anturin vaihtokytkimen led
M1	Mittaus liitäntä sisälämpötila-anturin potentiometri (banaaniliitos)
M2	Mittaus liitäntä raitisilmalämpötila-anturin potentiometri (banaaniliitos)
M3	Mittaus liitäntä ulkolämpötila-anturin potentiometri (banaaniliitos)
NP	Nopeustunnistin(takometri)
P1	Sisälämpötila-anturin potentiometri
S1	Simulaattorin virtakytkin
S2	Sisälämpötila-anturin vaihtokytkin
S3	Raitisilma lämpötila-anturin vaihtokytkin
S4	Ulkolämpötila-anturin vaihtokytkin
S5	Jalkatilalämpötila-anturin vaihtokytkin
S6	Keskikonsolin lämpötila-anturin vaihtokytkin
P1	Sisälämpötila-anturin potentiometri
P2	Raitisilma lämpötila-anturin potentiometri

**Simulaattorin uudet virtapiirikaaviot**

P3	Keskikonsolin lämpötila-anturin potentiometri
P4	Ulkolämpötila-anturin potentiometri
P5	Jalkatilalämpötila-anturin potentiometri
V1	Magneettikytkimen ohjausjännite vikatilakytkin
V2	Jäähdyttimen releen ohjausjännitteen vikatilakytkin
V3	Kylmäaineen painekykimen vikatilakytkin
V4	Kylmäaineen korkeapainekykimen moottorin puhaltimen ohjaus vikatilakytkin

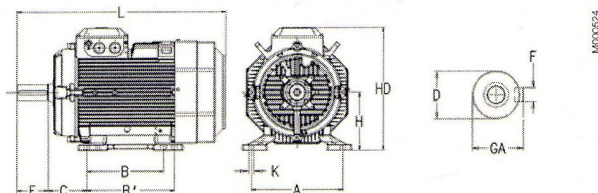
**Sulakkeet**

1	Päävirtasulake
2	Virtalukko
3	Ilmastoinnin ohjainlaite
4	Carb-pistokkeen virta ja nopeustunnistin
5	Puhaltimen releen ohjausvirta

General performance aluminum motors  
Dimension drawings

M2AA 56 - 250

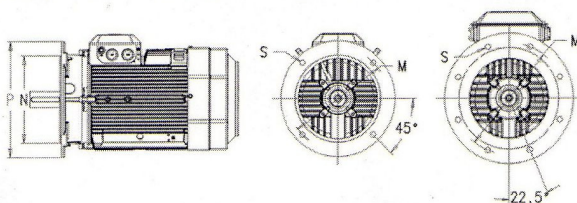
Foot-mounted motor IM1001, B3



Flange-mounted motor IM 3001, B5

Sizes 56-200

Sizes 225-250



Motor size	IM 1001, IM B3 and IM 3001, IM B5										IM 1001, IM B3				IM 3001, IM B5											
	D poles	GA poles	F poles	E poles	L max poles	A	B	B'	C	HD	K	H	M	N	P	S										
	2	4-6	2	4-6	2	4-6	2	4-6	2	4-6																
56	9	9	10,2	10,2	3	3	20	20	197	197	90	71	-	36	159	5,8	56	100	80	120	7					
63	11	11	12,5	12,5	4	4	23	23	214	214	100	80	-	40	171	7	63	115	95	140	10					
71	14	14	16	16	5	5	30	30	240	240	112	90	-	45	180	7	71	130	110	160	10					
80	19	19	21,5	21,5	6	6	40	40	265,5	265,5	125	100	-	50	193,5	10	80	165	130	200	12					
90 S	24	24	27	27	8	8	50	50	284,5	284,5	140	100	-	56	217	10	90	165	130	200	12					
90 L	24	24	27	27	8	8	50	50	309,5	309,5	140	125	-	56	217	10	90	165	130	200	12					
100	28	28	31	31	8	8	60	60	351	351	160	140	-	63	237	12	100	215	180	250	15					
112	28	28	31	31	8	8	60	60	393	393	190	140	-	70	249	12	112	215	180	250	15					
132 <sup>1)</sup>	38	38	41	41	10	10	80	80	447	447	216	140	178	89	295,5	12	132	265	230	300	14,5					
132 <sup>2)</sup>	38	38	41	41	10	10	80	80	550	550	216	140	178	89	321	15	132	265	230	300	14,5					
160	42	42	45	45	12	12	110	110	584	584 <sup>3)</sup>	254	210	254	108	370	14,5	160	300	250	350	19					
180	48	48	51,5	51,5	14	14	110	110	681	681	279	241	279	121	390	14,5	180	300	250	350	19					
200	55	55	59	59	16	16	110	110	726	726	318	267	305	133	425	18,5	200	350	300	400	19					
225	55	60	59	64	16	18	110	140	821	851	356	286	311	149	525 <sup>4)</sup>	18	225	400	350	450	19					
250	60	65	64	69	18	18	140	140	880	880	406	311	349	168	572 <sup>4)</sup>	22	250	500	450	550	19					

IM 3601, IM B14

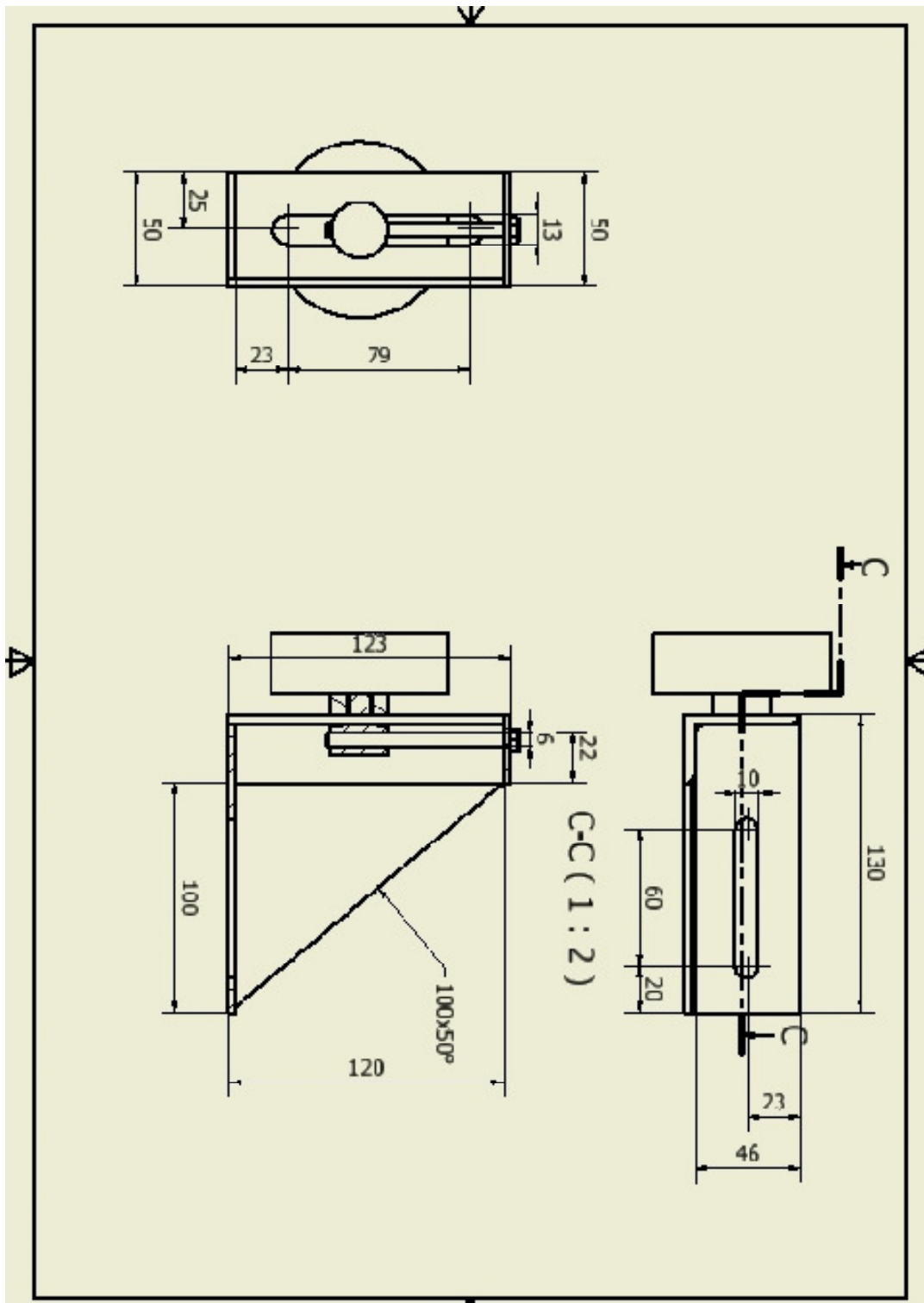
Motor size	M	N	P	S
56	65	50	80	M5
63	75	60	90	M5
71	85	70	105	M6
80	100	80	120	M6
90	115	95	140	M8
100	130	110	160	M8
112	130	110	160	M8
132 <sup>1)</sup>	165	130	200	M10
132 <sup>2)</sup>	165	130	200	M10

Tolerances	
A, B	±0,8
D	ISO k6 < Ø 50 mm
	ISO m6 > Ø 50 mm
F	ISO h9
H	-0,5
N	ISO j6
C	±0,8

<sup>1)</sup> M2AA 132 SA, SB, S, M, MA  
<sup>2)</sup> M2AA 132 SMA, SMC, SMD  
<sup>3)</sup> 160MLB 6-pole L=681  
<sup>4)</sup> For voltage code S add 32 mm to listed HD-dimension

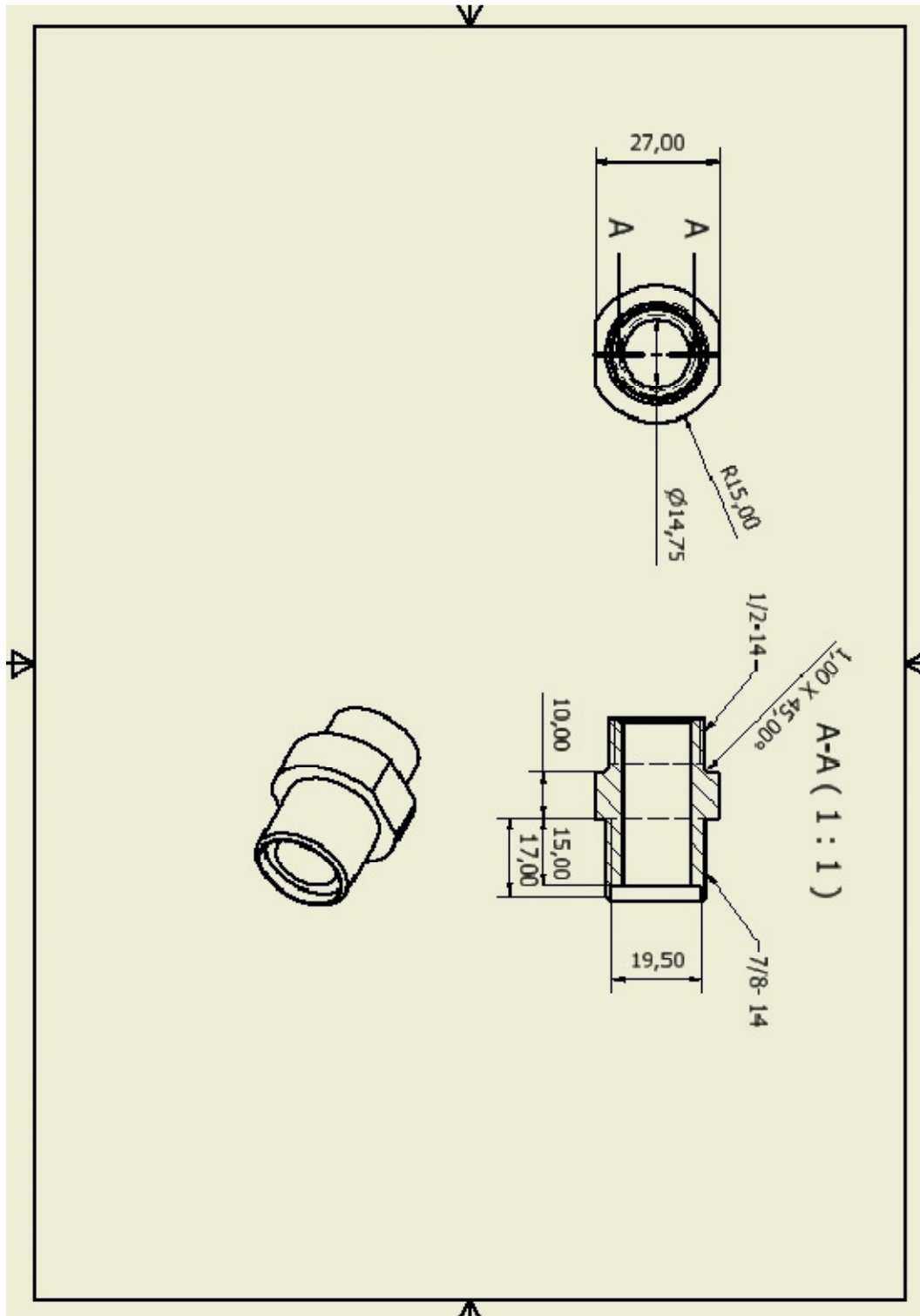
Above table gives the main dimensions in mm.  
 For detailed drawings please see our web-pages 'www.abb.com/motors&generators' or contact ABB.

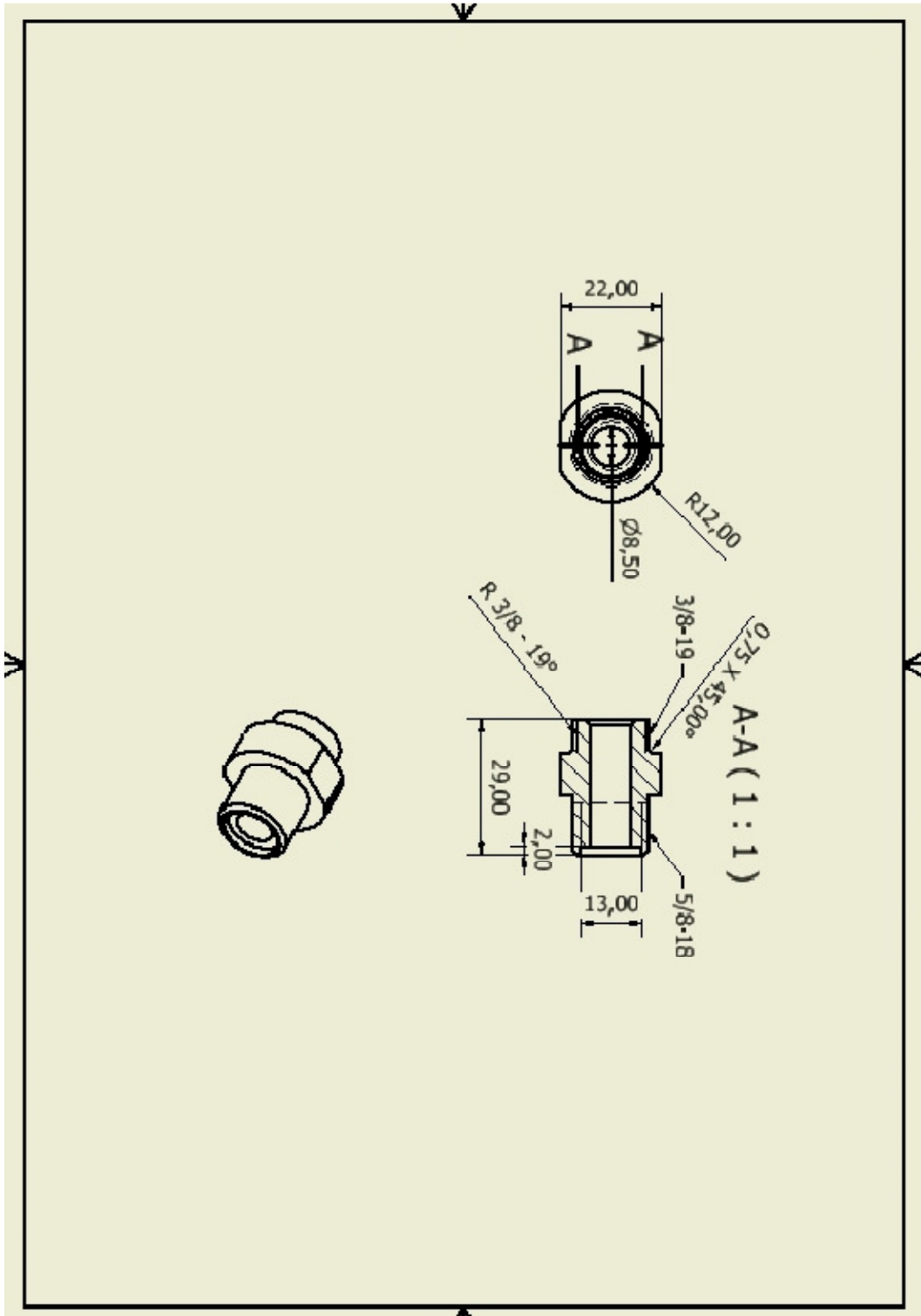






LIITE 8 (1).  
Adapteriholkki CAD-kuva





## Simulaattorin kylmäpiirikaavio

