

Nico Lindfors

Auton ilmastointilaitteen muuttaminen ilmalämpöpumpuksi

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Auto- ja kuljetustekniikka
Insinöörityö
21.5.2012

Tekijä(t) Otsikko	Nico Lindfors Auton ilmastointilaitteen muuttaminen ilmalämpöpumpuksi
Sivumäärä Aika	25 sivua + 1 liite 21.5.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Auto- ja kuljetustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotetekniikka
Ohjaaja	opettaja Pasi Oikarinen
<p>Tässä opinnäytetyössä käsitellään mahdollisuutta muuttaa auton ilmastointilaitetta toimimaan myös ilmalämpöpumppuna. Muutoksen lähtökohtana toimi Metropolia Ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratorion auton ilmastointisimulaattori.</p> <p>Työssä perehdytään kylmäprosessin periaatteisiin, auton ilmastointijärjestelmän komponentteihin ja niiden toimintaan sekä muutoksiin, joita järjestelmä vaatii toimiakseen. Työssä tarkastellaan nykyisiä henkilöautojen lämmityslaitteita ja verrataan niiden etuja ja haittoja ilmalämpöpumppuun.</p> <p>Opinnäytetyön suunnittelu- ja rakennusosiossa käsitellään ilmastointisimulaattorin hyötysuhde- sekä lämpö- ja kylmäkerroinmittauksia sekä tarkastellaan henkilöauton ilmastointijärjestelmän kompressorin kokonaishyötysuhdetta. Suunnitteluosiossa käsitellään myös lämpöpumppukonversion vaatimia komponentteja sekä perustellaan siihen tehtyjä osavaihtoja. Tässä osiossa kuvataan myös muutostyön eri vaiheet ja niiden toteutus.</p> <p>Järjestelmän toteutus epäonnistui järjestelmän paisuntaventtiileihin liittyvän ongelman vuoksi, joka jäi suunnitteluvaiheessa huomioimatta. Opinnäytetyön viimeisessä osiossa käsitellään paisuntaventtiileihin liittyviä ongelmia ja pohditaan, miten ne voitaisiin ratkaista tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	Autotekniikka, ilmastointijärjestelmä, ilmalämpöpumppu

Author(s) Title Number of Pages Date	Nico Lindfors Reconstruction of an Automotive Air Conditioning Unit to Function as a Warm Air Pump 25 pages + 1 appendix 21 May 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive and Transport Engineering
Specialisation option	Automotive Design Engineering
Instructor	Pasi Oikarinen, Lecturer
<p>This Bachelor's thesis is a research of the possibilities to convert an automotive air conditioning unit to function as a warm air pump. The starting point for the conversion was an automotive air conditioning simulator that is used for educational purposes.</p> <p>This thesis deals with the basics of the refrigeration cycle, the components required for an automotive air conditioning unit and which changes are necessary to the simulator for it to function properly as a warm air pump. Current heating systems are also dealt with together with their pros and cons in comparison to a warm air pump.</p> <p>Efficiency measurements were conducted including determination of the heating and cooling coefficients of the air conditioning unit and defining the overall efficiency of an air conditioning compressor. The basis for decisions of components and the conversion process of the simulator are dealt with in the design and manufacturing part of this thesis.</p> <p>The conversion failed due to an unsolved problem related to the expanding valves that was not taken notice of during the planning stage of the project. This problem and suggested solutions in the future are reflected on in the last part of this thesis.</p>	
Keywords	Automotive engineering, air conditioning, warm air pump

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Kylmäprosessi	1
2.1	Prosessin toteuttamiseksi tarvittavat komponentit	2
2.2	Lgp, h-tilapiirros	3
2.2.1	Teoreettinen kylmähöyryprosessi	3
2.2.2	Todellinen kylmähöyryprosessi	4
3	Henkilöauton ilmastointilaitteen komponentit	5
3.1	Kompressori	5
3.2	Lauhdutin	6
3.3	Kuivainvaraaja	6
3.4	Paisuntaventtiili	7
3.5	Höyrystin	7
4	Auton lämmityslaitteiden vertailua	8
4.1	Perinteiset lämmityslaitteet	8
4.1.1	Lämminvesikiertojärjestelmä	9
4.1.2	Polttoainelämmitin	9
4.2	Ilmalämpöpumppu lämmityslaitteena	10
4.2.1	Käännetty kylmähöyryprosessi	10
4.2.2	Ilmalämpöpumpun hyödyt ja haitat	12
5	Ilmalämpöpumpun suunnittelu ja rakentaminen	12
5.1	Ilmastointijärjestelmän hyötysuhteen mittaus	13
5.1.1	Isentrooppinen hyötysuhde	13
5.1.2	Kylmä- ja lämpökerroin	14
5.1.3	Kompressorin tuottama teho	14
5.2	Osavallinnat	15
5.3	Ilmastointisimulaattorin putkiston muutos	17

6	Paisuntaventtiilien aiheuttamat ongelmat	20
6.1	Perinteisen ilmalämpöpumpun paisuntaventtiili	21
6.2	Henkilöauton paisuntaventtiili	21
6.2.1	Miten ongelma voitaisiin sivuuttaa	21
6.2.2	Mahdolliset ongelmat järjestelmässä	23
7	Yhteenveto	24
	Lähteet	26
	Liitteet	
	Liite 1. Ilmastointisimulaattori Igp, h -kuvaaja 50Hz	

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä perehdytään kylmäprosessin periaatteisiin ja mahdollisuuksiin muuttaa henkilöauton ilmastointilaitte toimimaan ilmalämpöpumpuna. Työn aloite tuli Metropolia Ammattikorkeakoulun energiatekniikan opettaja Jarmo Perttulalta.

Moottorien hyötysuhteiden parannuttua ja niiden tuottaman hukkalämmön tuoton pienennyttyä on perinteisten lämmitysjärjestelmien tehokkuus on laskenut. Tämä on johtanut yhä pidempiin ajoneuvojen sisätilojen lämmitysaikoihin uusissa autoissa. Opinnäytetyössä pohditaan ilmalämpöpumpun mahdollistamia etuja verrattuna perinteisiin järjestelmiin sekä mahdollisuutta toteuttaa ilmalämpöpumpunkonversio jo olemassa oleviin autoihin.

Työn tavoite oli muokata Metropolia Ammattikorkeakoulussa olevaa henkilöauton ilmastointisimulaattoria niin, että se toimisi tarvittaessa myös ilmalämpöpumpuna. Ilmastointisimulaattori on valmistettu auton osista, joten tarvittaessa muutos voitaisiin suorittaa mihin tahansa henkilöautoon.

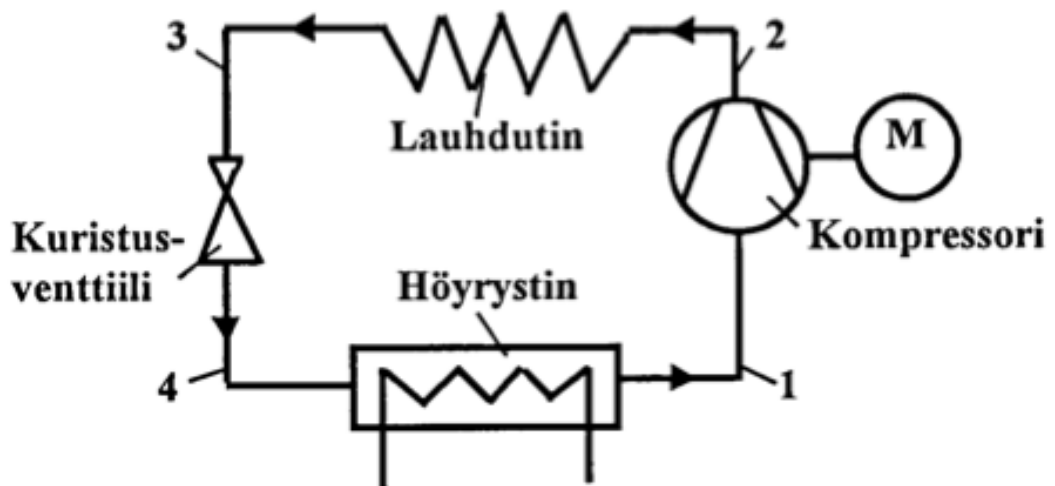
2 Kylmäprosessi

Yleisin tapa toteuttaa ilman jäädytys on soveltaa kylmähöyryprosessia. Prosessissa käytetään työaineena kylmäainetta, joista etenkin ajoneuvokäytössä freonit, eli klooratut hiilivedyt ovat yleisimpiä. (1, s. 82.) Työssä kuvatussa laitteistossa käytettiin kylmäainetta R134a, joka on yleisin ajoneuvokäytössä käytetty kylmäaine.

Kylmähöyryprosessi perustuu työaineen olotilamuutoksiin, jotka vaativat työaineen massa- ja lämpöenergiaa. Näin ollen myös pienillä massavirroilla saavutetaan suuri lämmönsiirtoteho. (1, s. 83.)

2.1 Prosessin toteuttamiseksi tarvittavat komponentit

Jotta kylmähöyryprosessi voidaan toteuttaa, tarvitaan neljä pääkomponenttia. Kuvassa 1 nähdään kylmähöyryprosessin toteutumiseksi vaadittavat neljä komponenttia: kompressorin, lauhdutin, kuristusventtiili ja höyrystin.



Kuva 1. Kylmähöyryprosessiin tarvittavat pääkomponentit (1, s. 83).

Ennen kompressorin kylmäaineen olomuoto on kyllästettyä höyryä. Kompressorin tehtävä on puristaa kylmäaine korkeampaan paineeseen, jonka seurauksena kylmäaineen olomuoto muuttuu tulistetuksi höyryksi. Ajoneuvokäytössä kompressorin on kytketty moottorin kampiakseliin hihnavälityksellä. Tulistettu höyry siirtyy lauhduttimeen, jossa kylmäaine luovuttaa ympäristöön osan siihen varastoidusta lämpöenergiasta. Tätä kutsutaan kylmäaineen lauhtumiseksi.

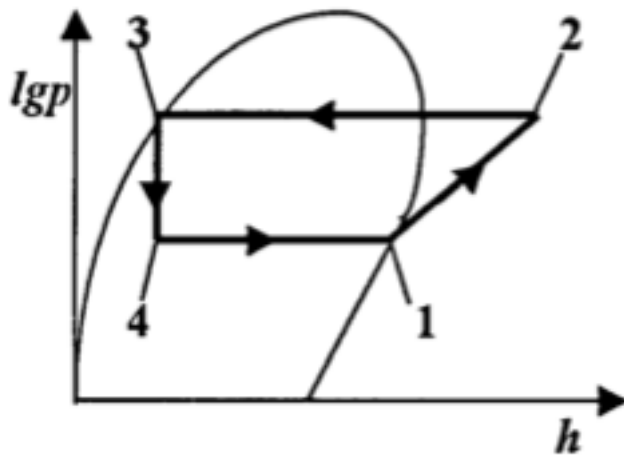
Kylmäaine johdetaan lauhduttimelta kuristusventtiilille, jolloin sen paine sekä lämpötila laskee. Tämä johtuu kylmäaineen osittaisesta höyrystymisestä. Höyrystyminen on prosessi, joka sitoo paljon energiaa. Tämä toteutetaan puhaltamalla tuulettimen avulla ilmaa höyrystimen läpi, jolloin ilman lämpöenergia siirtyy kylmäaineeseen. Kuljettuaan höyrystimen läpi on ilma luovuttanut osan lämpöenergiastaan kylmäaineelle. Lopputulos on viileä ilma, joka johdetaan suuttimien läpi auton matkustamoon. (1, s. 83–84.)

2.2 Lgp, h-tilapiirros

Kylmäaineen lgp (logaritminen paine), h (entalpia) -tilapiirros on tärkeä havainnointiväline arvioitaessa kylmäaineen ominaisuuksia. Sen avulla voidaan selvittää kylmäaineen ominaisentalpiat kiertoprosessin eri vaiheissa, joita tarvitaan kylmäaineen siirtämän lämpötehon laskemiseksi. Lgp, h -tilapiirroksen pysty akseli ilmaisee absoluuttista painetta ja vaakaa akseli kylmäaineen ominaisentalpiaa.

2.2.1 Teoreettinen kylmähöyryprosessi

Tarkasteltaessa kiertoprosessia ottamatta huomioon prosessissa syntyviä häviöitä, puhutaan teoreettisesta kylmähöyryprosessista (kuva 2).

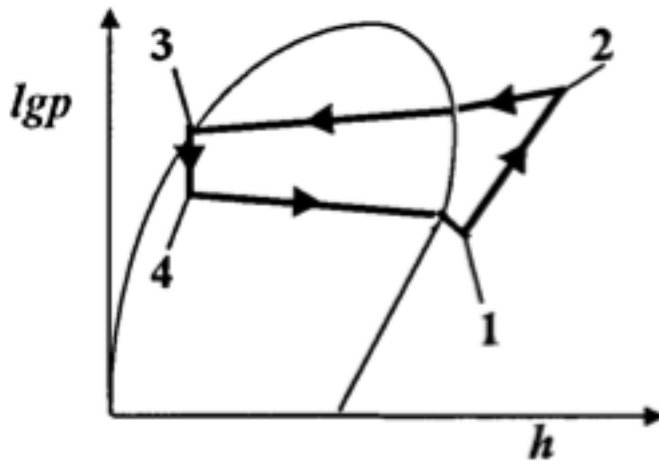


Kuva 2. Teoreettinen kylmähöyryprosessi kuvattuna lgp, h -tasossa (1, s. 85).

Väli 1-2 kuvaa kylmäaineen paineen muutosta kompressorissa. Kuvasta voidaan havaita, että kompressor nostaa kylmäaineen painetta sekä lisää kylmäaineen entalpiaa. Väli 2-3 kuvaa kylmäaineen lauhtumista lauhtuttimessa. Tällöin kylmäaineen paine pysyy vakiona, mutta luovuttaessaan lämpöenergiaa ympäröivään ilmaan sen entalpia laskee. Väli 3-4 kuvaa kylmäaineen paineen muutosta kuristusventtiilissä. Entalpia pysyy vakiona paineen laskiessa. Väli 4-1 kuvaa kylmäaineen höyrystymistä. Tällöin paine pysyy vakiona, mutta entalpia kasvaa kylmäaineen vastaanottaessa lämpöenergiaa ympäröivästä ilmasta.

2.2.2 Todellinen kylmähöyryprosessi

Todellisuudessa kiertoprosessissa syntyy aina painehäviöitä. Tämä johtuu putkissa syntyvistä pyörteilyistä sekä putkien ominaisuudesta vastustaa virtausta (kuva 3).



Kuva 3. Todellinen kylmähöyryprosessi kuvattuna lgp, h -tasossa (1, s. 85).

Tarkasteltaessa todellista prosessia voidaan havaita, että putkistojen häviöt johtavat aina painehäviöihin. Painehäviö johtaa myös aina kylmäaineen entropian lisääntymiseen. (1, s. 85.)

3 Henkilöauton ilmastointilaitteen komponentit

Henkilöauton ilmastointilaitteen jäähdytyspiiri koostuu viidestä pääkomponentista. Kylmän tuotto tapahtuu, kuten kylmähöyryprosessia käsiteltäessä todettiin. Kompressori puristaa kylmän kylmäainehöyryn korkeaan paineeseen. Lauhduttimessa höyry lauhtuu nesteeksi, jonka paine ja lämpötila putoaa paisuntalaitteessa. Höyrystimen läpi puhallettava ilma höyrystää kylmäaineen ja virtaa viilentyneenä ohjaamoon.

3.1 Kompressori

Kompressori on hihnavetoinen mäntäpumppu, joka kierrättää kylmäainetta ja voiteluöljyä auton jäähdytyspiirissä. Se imee matalapaineisen, kylmän kylmäai-

nehöyryn ja puristaa sen korkeapaineiseksi, kuumaksi höyryksi, joka johdetaan lauhduttimeen. On tärkeää, että kylmäaine on kaasumaisessa tilassa kompressorilla, sillä nestemäinen kylmäaine voi rikkoa kompressorin venttiilit sekä männän. Tämä johtuu siitä, että neste ei voi puristua kasaan.

Laitteistossa käytetty kompressor on henkilöautosta otettu mäntäkompressor. Kompressorin käyttövoima otetaan moottorin kampiakselilta hihnavälityksellä niin, että kompressorin kytkeytyy pyörimään siinä olevan magneettikytkimen avulla, jota ohjaa ilmastointijärjestelmän automatiikka. Voitelun kompressorin saa kylmäaineöljystä, joka määräytyy järjestelmän ja kylmäaineen mukaan.

Lähtökohtana olleessa ilmastointisimulaattorissa kompressorin käyttöteho otetaan sähkömoottorilta hihnavälityksellä. Koska järjestelmä on tarkoitettu opetuskäyttöön siinä ei myöskään tarvita magneettikytkintä. Sähkömoottorin pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti taajuusmuuntajalla, jonka taajuusalue on 0–50 Hz.

3.2 Lauhdutin

Lauhdutin toimii ilmastointilaitteessa samalla periaatteella kuin lämmönsiirrin. Paineistettu, kuuma kylmäainehöyry lauhdutetaan takaisin nesteeksi lauhduttimessa. Lauhtuessaan kylmäaine vapauttaa osan siihen varastoidusta lämpöenergiasta, joka siirretään puhaltimen avulla ympäröivään ilmaan.

3.3 Kuivainvaraaja

Ilmastointijärjestelmän kuivainvaraaja toimii kylmäaineen varastointisäiliönä ja sitoo samalla kylmäaineeseen päässeeseen kosteuden sekä epäpuhtaudet. Joutu-

essaan kosketukseen veden kanssa, kylmäaine muodostaa korroosiota aiheuttavia yhdisteitä, jotka saattavat vahingoittaa jäähdytyspiirin komponentteja. Varaajassa olevat silica-geelirakeet poistavat kosteuden kylmäaineesta. Kuvainvaraaja sijoitetaan korkeapainepuolelle lauhduttimen ja paisuntaventtiilin väliin.

3.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiili sijaitsee nestelinjassa ja on yleensä höyrystimen yhteydessä. Sen tehtävä on säädellä höyrystimelle virtaavan kylmäaineen määrää. Paisuntaventtiileitä on erilaisia: sisäisellä ja ulkoisella paineen tasauksella sekä H-tyyppisiä, joita kutsutaan myös paineakuiksi.

Kylmäaineen ruiskutukseen vaikuttaa höyrystimeltä lähtevän kylmäkaasun lämpötila ja paine, jotka muuttuvat eri kuormitusolosuhteissa. Kun kylmäaine tulistuu höyrystimessä lämpökuorman kasvaessa, laajenee termostaatissa oleva erikoiskaasu kohonneen lämpötilan vaikutuksesta ja avaa nestepuolen kuulaventtiiliä. Tulistuksen vähentyminen höyrystimen ulostulopuolella saa termostaatin kaasun tilavuuden pienenemään ja kalvon taipumaan takaisin näin ollen sulkien kuulaventtiiliä. Koska paisuntaventtiili säätyy lämmön vaikutuksesta on se eristettävä ympäröivän lämmön vaikutukselta.

3.5 Höyrystin

Höyrystin sijaitsee paisuntaventtiilin ja kompressorin välissä niin sanotussa ilmanjakoyksikössä. Höyrystimessä matalapaineinen ja jäähtynyt kylmäaine on nestemäisessä olomuodossa ja kiehuu ympäristöä matalammassa lämpötilassa. Höyrystyessään kylmäaine absorboi ympäristöstä lämpöenergiaa, jolloin höy-

rystin jäähdyttää sen läpi puhallettavan ilman. Jäähtynyt ilma ohjataan puhaltimen avulla auton ilmanvaihtokanaviin, josta se ohjataan suuttimien avulla matkustamoon.

Kuumana kesäpäivänä auton alle saattaa tippua vettä. Tämä ei kuitenkaan johdu järjestelmän rikkoontumisesta, vaan höyrytimen pintalämpötila on yleensä alle ilman kastepisteen. Näin ollen ilmassa oleva kosteus kondensoituu höyrytimen pintaan ja valuu poistoputkea pitkin maahan.

4 Auton lämmityslaitteiden vertailua

Ajoneuvon matkustamon ilmanvaihto on tärkeässä osassa niin matkustusmukavuuden kuin turvallisuudenkin kannalta. Riittävä jäähdysteho kuumalla ilmalla lisää matkustusmukavuutta, mutta pitää myös kuljettajan keskittymiskyvyn maksimitasolla vähentäen näin ollen vaaratilanteita liikenteessä. Riittävä auton sisäilman lämmitysteho lisää niin ikään matkustusmukavuutta, mutta estää myös ikkunoiden huurtumisen ja jäätyminen kylmällä ilmalla.

4.1 Perinteiset lämmityslaitteet

Perinteisesti henkilöauton ohjaamon lämmitys toteutetaan moottorin jäähdystynestekiertoa hyödyntämällä. Moottorin lämmitessä tai lämmitettäessä jäähdystynestettä ulkoisella vedenkeittimellä voidaan lämpö siirtää jäähdystynestestä matkustamoon.

4.1.1 Lämminvesikiertojärjestelmä

Yleisin tapa lämmittää henkilöauton sisäilmaa on hyödyntämällä auton moottorin tuottamaa hukkalämpöä. Lämpö siirretään moottorin jäähdytysnesteen avulla lämmityskennolle. Kennossa lämmennyt ilma puhalletaan sähköpuhaltimen avulla matkustamoon, joka seurauksena auton matkustamo lämpiää.

Moottorien kehityttyä ja etenkin hyötysuhteiden parannuttua hukkalämmön tuotto on pienentynyt huomattavasti. Tämän seurauksena lämminvesikiertojärjestelmä ei enää toimi niin tehokkaasti kuin vanhoilla, paljon hukkalämpöä tuottavilla moottoreilla. Ongelmaa on pyritty pienentämään syöttämällä moottorille rikkaampaa seosta muutaman minuutin ajan sen käynnistämisestä, jotta moottori lämpiäisi nopeammin. Tämä kuitenkin lisää polttoaineen kulutusta rikkaan seoksen käytön aikana.

4.1.2 Polttoainelämmitin

Polttoainelämmitin, usein paremmin tunnettu tuotenimillä Webasto ja Eberspächer, perustuu niin ikään jäähdytysnesteen kiertoon. Polttoainelämmitin ei kuitenkaan edellytä että auton moottori on käynnissä, vaan se lämmittää jäähdytysnestettä erillisellä polttoainelämmittimellä, jonka polttoaineena käytetään auton omaa polttoainetta. Lämmitetty jäähdytysneste kierrätetään erillisen jäähdytysnestepumpun avulla lämmityskennolle, joka lämmittää sen läpi puhallettua ilmaa. Lämmin ilma johdetaan puhaltimen avulla matkustamoon.

Koska polttoainelämmitin ei edellytä auton moottorin olevan käynnissä, voidaan se ajastaa esilämmittämään auton matkustamo. Polttoainelämmitin on myös erittäin tehokas, joten se tuottaa lämmintä ilmaa huomattavasti nopeammin kuin lämminvesikiertojärjestelmä. Polttoainelämmitin vaatii kuitenkin

polttoainetta toimiakseen, mikä lisää polttoaineen kulutusta. Tämän lisäksi järjestelmän tuottaa puhdistamattomia polttojätteitä, sillä polttoainelämmittimen polttokaasuja ei puhdisteta niin tehokkaasti, kuin auton pakokaasupäästöjä. Polttoainelämmitin vaatii myös sähkövirtaa toimiakseen, joten se kuluttaa myös auton akkua.

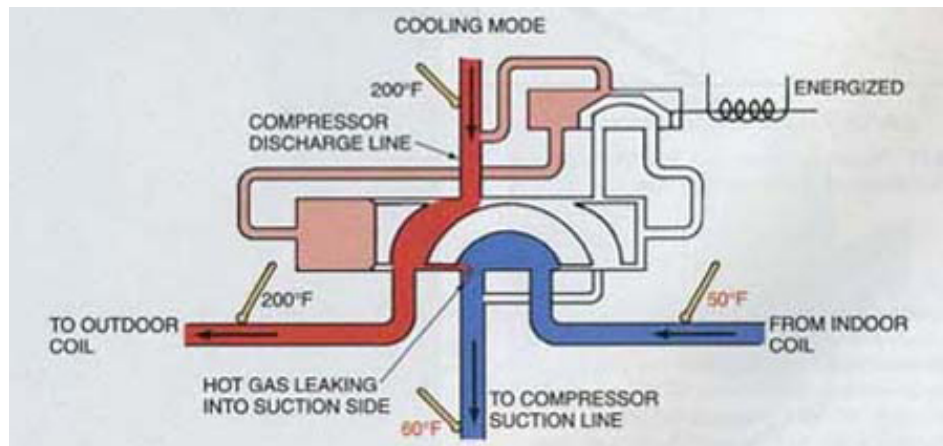
4.2 Ilmalämpöpumppu lämmityslaitteena

Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu kylmähöyryprosessiin. Sen sijaan, että kylmäaine johdetaan kompressorilta lauhduttimelle, käännetään kylmäaineen kierto vastakkaiseen suuntaan. Koska sisäilmapuhallin puhalttaa aina ilmaa höyrystimen läpi matkustamoon, toimii höyrystin tässä tapauksessa lauhduttimena. Näin ollen matkustamoon puhalletaan kylmän ilman sijaan lämmintä ilmaa.

4.2.1 Käännetty kylmähöyryprosessi

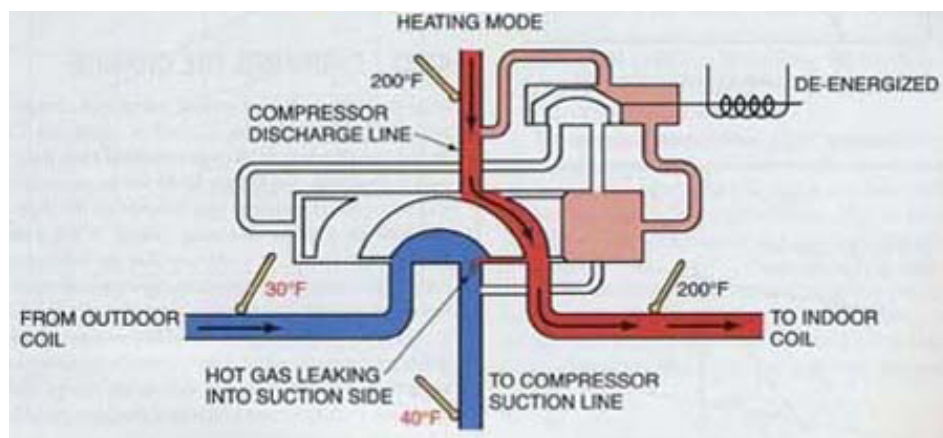
Kylmäainekierron suunnanmuutos toteutetaan ilmalämpöpumpuissa sähköisesti ohjatulla nelitieventtiilillä. Venttiili koostuu yhdestä tulolinjasta ja kolmesta menolinjasta. Solenoidi siirtää venttiilin sisällä olevaa ohjainmekanismia kääntäen nesteen kierron.

Kuvassa 4 venttiili on jäähdytysasennossa, jolloin kompressorin paineistama kuuma kylmäaine, kuvassa punaisella, johdetaan lauhduttimelle. Näin ollen höyrystimeltä johdetaan kylmää ilmaa auton ohjaamoon. Höyrystimeltä tuleva jäähtynyt kylmäaine, kuvassa sinisellä, kulkee venttiilin kautta takaisin kompressorille.



Kuva 4. Nelitieventtiili ilmastointiasennossa (2)

Kuvassa 5 venttiili on käännetty lämmitysasentoon, jolloin kompressorin painostama kuuma kylmäaine, kuvassa punaisella, johdetaan höyrystimelle. Näin ollen höyrystimeltä johdetaan kuumaa ilmaa auton ohjaamoon. Lauhduttimelta tuleva jäähtynyt kylmäaine, kuvassa sinisellä, kulkee venttiilin kautta takaisin kompressorille.



Kuva 5. Nelitieventtiili lämmitysasennossa (2)

4.2.2 Ilmalämpöpumpun hyödyt ja haitat

Suurin ilmalämpöpumpulla saatava etu on sen mahdollistama nopea lämmöntuotto. Koska kylmähöyryprosessi ei ole riippuvainen auton moottorin tuottamasta hukkalämmöstä, mahdollistaa se lämmöntuoton, vaikka moottori olisi kylmä. Moottoria ei myöskään tarvitse käyttää tarvittua rikkaammalla seoksella, mikä pienentää polttoaineen kulutusta.

Kocaelin yliopistossa rakennetun koelaitteiston todettiin tuottavan suuremman lämmitystehon kuin jäähdytystehon 13–30 °C:n lämpötiloissa samalla kompressorin pyörintänopeudella. Lämmitysteho pieneni kuitenkin dramaattisesti ulkolämpötilan laskiessa alle 13 °C:seen. Verratessa laitteiston lämmitys- ja jäähdytystehoa 1250 rpm:n pyörintänopeudella 30 °C:n lämpötilassa, todettiin laitteiston tuottavan noin 3,35 kW:n jäähdytystehon ja 5,0 kW:n lämmitystehon. Lämpötilan laskiessa 13 °C:seen lämmitysteho laski 4,0 kW:iin. Laitteistoa ei testattu tämän alhaisemmissa lämpötiloissa, mutta koelaitteiston rakentajat päättelivät, että ilmalämpöpumppua tulisi käyttää ainoastaan täydentävänä lämmitysratkaisuna alhaisen moottorin hukkalämmön tuottavissa ajoneuvoissa. (4, s. 554, 557.)

5 Ilmalämpöpumpun suunnittelu ja rakentaminen

Työn suunnitteluvaiheessa oli selvää, että osavalmiinat olivat suuressa roolissa työn onnistumisen kannalta. Myös järjestelmän tarkka mittaus sekä ennen että muutostyön jälkeen oli tärkeää, jotta tuloksia pystyttiin vertaamaan keskenään.

5.1 Ilmastointijärjestelmän hyötysuhteen mittaus

Jotta asennettujen osien vaikutusta järjestelmän hyötysuhteeseen pystyttiin vertaamaan, oli tärkeää mitata ilmastointijärjestelmän hyötysuhde sekä ennen muutostyötä että sen jälkeen. Koska ilmastointisimulaattorissa ei ollut toimivia painemittareita, jouduttiin järjestelmän lauhtumis- sekä höyrystymispaineet määrittämään kokeellisesti mittaamalla kylmäaineen lämpötilaa tarkasti valituista pisteistä. Paineiden määrittämiseksi käytettiin kylmäaineen entalpiadiagrammia, josta pystyttiin lukemaan järjestelmässä vallitseva paine, kun tiedetään kylmäaineen lämpötila lauhtuttimessa ja höyrystimessä. Tämän jälkeen entalpiadiagrammista pystyttiin lukemaan lgp, h -piirroksen tarvittavat entalpiat 1-4, jotka on kuvattu aikaisemmin luvussa 2.2. Esimerkki yhdestä lgp, h -piirroksista on liitetty tämän raportin loppuun (liite 1).

Mittauksissa käytettiin Testo 445- ja Testo 452-laitteita. Ilmastointilaitteen tuottaman kylmän ilman lämpötila sekä virtausnopeus määritettiin Testo 445-laitteella. Testo 452 -laitetta käytettiin kylmäaineen lämpötilan mittaamiseen.

5.1.1 Isentrooppinen hyötysuhde

Kun entalpiat 1-4 oli määritetty, pystyttiin määrittämään järjestelmän isentrooppinen hyötysuhde, η_s :

$$\eta_s = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}, \text{ jossa}$$

h_{2s} = ideaalipuristuksen entalpia

h_1 = entalpia ennen kompressoria

h_2 = entalpia kompressorin jälkeen

Isentrooppinen hyötysuhde kuvaa järjestelmän todellista suorituskykyä verrattuna ideaalitalanteeseen. Kompressorien isentrooppiset hyötysuhteet ovat tyypillisesti 75–85 % (3). Isentrooppiseksi hyötysuhteeksi laskettiin 66 %, joka on totuudenmukainen arvo järjestelmälle.

5.1.2 Kylmä- ja lämpökerroin

Ilmastointijärjestelmän kylmäkerroin kuvaa kylmähöyryprosessin hyötysuhdetta. Lämpökerroin puolestaan kuvaa lämpöpumpun hyötysuhdetta.

$$\varepsilon = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}, \text{ jossa}$$

ε = kylmäkerroin

h_4 = entalpia höyrytimen jälkeen

$$\phi = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}, \text{ jossa}$$

ϕ = lämpökerroin

h_3 = entalpia paisuntaventtiin jälkeen

5.1.3 Kompressorin tuottama teho

Jotta kompressorin hyötysuhde saataisiin selville, oli sen tuottama teho määrittävä. Todellista järjestelmää laskettaessa tämän avulla voidaan määrittää järjestelmän kokonaishyötysuhde vähentämällä kompressorin ottama teho tästä arvosta.

$$P_k = m_i * C_{pi} * (T_l - T_n), \text{ jossa}$$

P_k = kompressorin tuottama teho

m_i = ilman massavirta

C_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti

T_l = ympäröivän ilman lämpötila

T_n = järjestelmän viilentämän ilman lämpötila

Koska emme saaneet tarpeeksi tarkkoja mittaustuloksia kompressorimme ottamasta käyttötehosta, emme pystyneet määrittämään järjestelmän kokonaisyötysuhdetta riittävällä tarkkuudella.

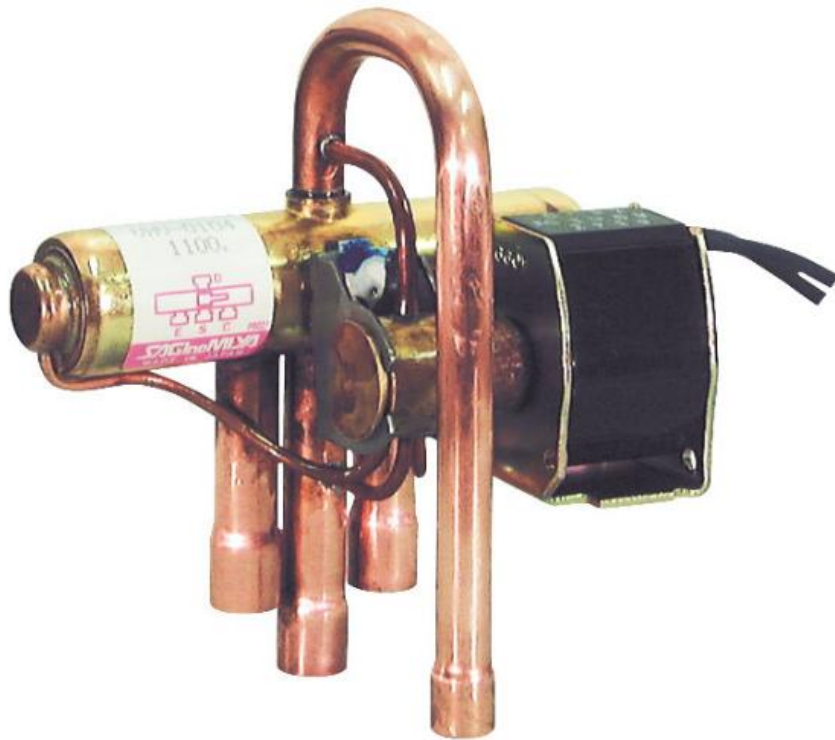
5.2 Osavallinnat

Koska järjestelmässä käytetty r134a-kylmäaine asettaa suuret vaatimukset komponenteille syövyttävän luonteensa takia, olivat osavallinnat suuressa osassa työn onnistumisen kannalta. Haluttiin myös, että nelitieventtiiliä pystytään ohjaamaan tarkasti ja luotettavasti, jotta järjestelmä toimisi mahdollisimman tehokkaasti.

Nelitieventtiili ja sen ohjaus päätettiin ottaa omakotitaloon tarkoitettuun ilmalämpöpumpusta. Näin ollen pystyttiin olemaan varmoja siitä, että nelitieventtiili on valmistettu materiaaleista, jotka kestävät kylmäaineen aiheuttaman rasituksen. Päätös mahdollisti myös sen, että ilmalämpöpumpussa olevaa venttiilin

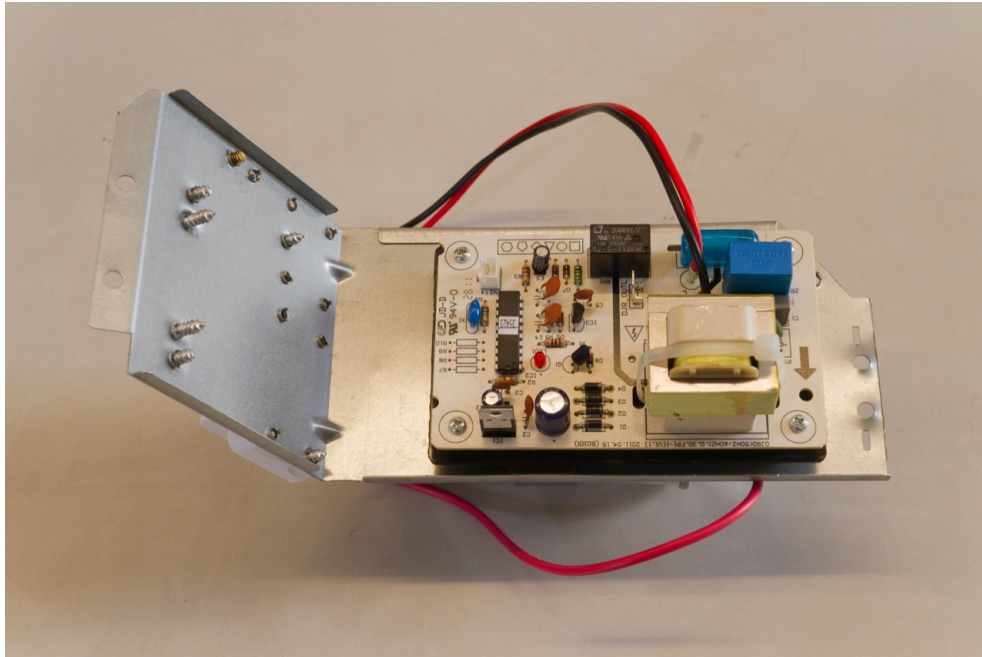
ohjausjärjestelmää pystyttiin käyttämään, jotta voitiin olla varmoja, että venttiilin automatiikka toimii luotettavasti.

Käyttämämme nelitieventtiili oli Anhui Tianda Groupin valmistama DSF-4-venttiili, jota säädetään solenoidilla (kuva 6).



Kuva 6. Valitsemamme nelitieventtiili

Solenoidin toimintaa pystytään ohjaamaan ilmalämpöpumpun mukana tulleella ohjausjärjestelmällä (kuva 7).



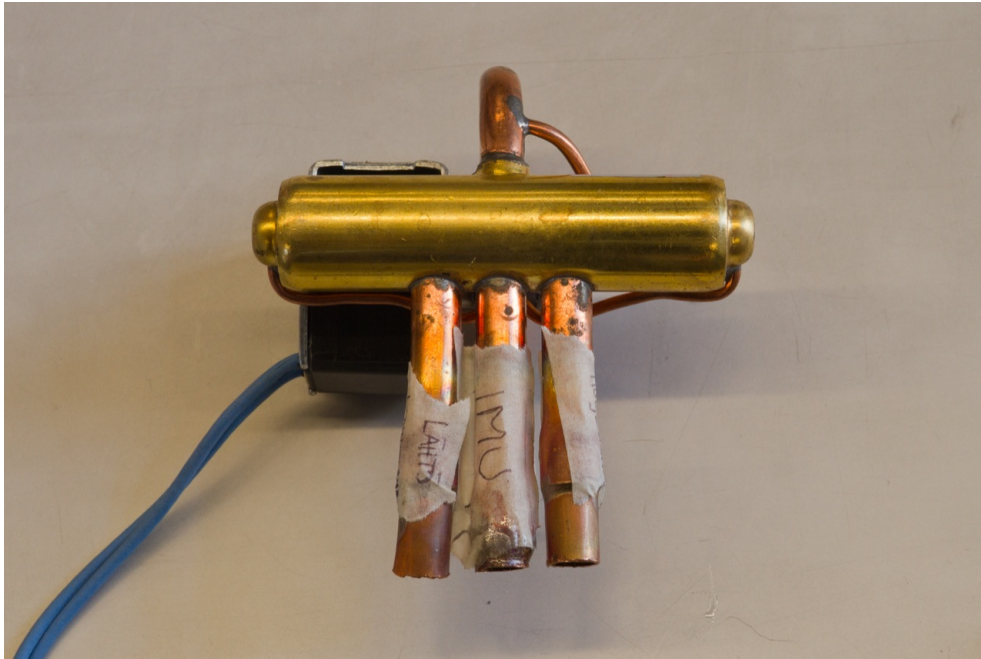
Kuva 7. Venttiiliä ohjaava ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmä saa lämpötilatiedon ulkoilmasta, sisäilmasta, lauhduttimen lämpötila-anturista sekä höyrystimen lämpötila-anturista. Näiden avulla se säättää nelitieventtiilin oikeaan asentoon riippuen siitä, tarvitseeko laitteen lämmittää vai jäähdyttää sisäilmaa.

5.3 Ilmastointisimulaattorin putkiston muutos

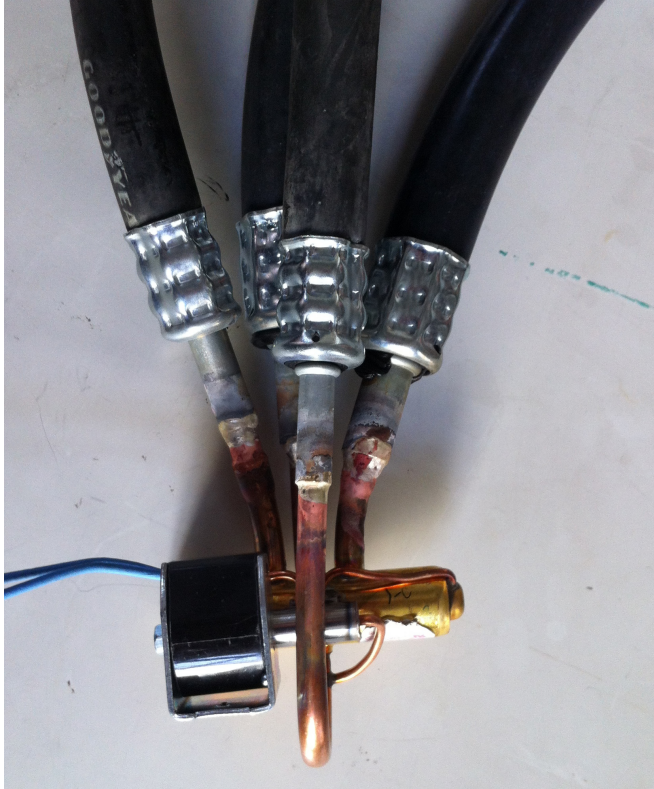
Jotta nelitieventtiili saatiin asennettua ilmastointisimulaattoriin, oli siinä olevia putkia muokattava sopiviksi. Sen sijaan, että kompressorin lähtö on kytketty suoraan lauhduttimelle ja höyrystin suoraan kompressorille, oli putkia muokattava niin, että kompressorin imu- ja päästöpuoli on kytketty nelitieventtiiliin, josta lähtee uudet linjat lauhduttimelle ja höyrystimelle.

Kuvassa 8 ylhäällä oleva linja kytketään kompressorin päästöpuolelle ja alhaalla keskellä oleva kompressorin imupuolelle. Kuvassa vasemmalla oleva linja kytketään lauhduttimelle ja oikealla oleva linja höyrystimelle.



Kuva 8. Nelitievientiili ennen uutta putkistoa

Koska järjestelmässä käytettiin r134a-kylmäainetta, oli putket teetettävä sertioidussa yrityksessä. Ilmastointisimulaattorin vanhoja linjoja päätettiin hyödyntää, sillä niissä oli valmiiksi sopivat liitännät kompressorille, lauhduttimelle sekä höyrystimelle. Putket katkaistiin sopivan pituisiksi, jonka jälkeen niihin teetätettiin teräksiset holkit, joiden avulla linjat voidaan kovajuottaa kupariin nelitievientiiliin. Juotos suoritettiin käyttämällä hopeaa, jotta eri materiaalien juotosliitos onnistuisi. Kovajuotetut liitokset, joilla nelitievientiili liitettiin laitteistoon, näkyvät kuvassa 9.



Kuva 9. Teetetyt linjat juotettuina nelitievientiiliin

Ensimmäisellä kerralla höyrystimelle lähtevän linjan juotos aiheutti kumiletkun sulamiseen, minkä vuoksi linja alkoi vuotamaan. Jouduimme avaamaan juotoksen ja teettämään uuden holkin linjaan, jotta se voitiin juottaa uudelleen. Juotoksen jälkeen nelitievientiili oli valmis asennettavaksi laitteistoon (kuva 10).



Kuva 10. Nelitieventtiili valmiina asennettavaksi laitteistoon

Nelitieventtiilin asennuksen jälkeen suoritettiin laitteistoon auton ilmastointijärjestelmän täyttölaitteella vakuumikoe järjestelmän tiiveyden varmistamiseksi. Toisella kerralla juotosliitos onnistui ja kaikki saumat olivat tiiviitä.

Koska kylmäainelinjat oli avattu, voitiin olettaa, että järjestelmään oli päässyt kosteutta ympäröivästä ilmasta. Järjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että kylmäaineen sekaan ei pääse vettä, sillä järjestelmässä vallitsevat olosuhteet ja kylmäaineen ominaisuudet johtavat tällöin korroosioon. Järjestelmään päätettiin asentaa uusi kuivainvaraaja, jotta voitiin olla varmoja, että järjestelmässä ei ole kosteutta.

Mekaanisten asennusten jälkeen järjestelmälle oli määrä suorittaa kokeita, joilla voitaisiin määrittää uuden järjestelmän hyötysuhde niin ilmastointi- kuin lämpöpumppukäytössä. Koska venttiilin ohjausjärjestelmää ei ollut vielä asennettu, oli ajatuksena ajaa venttiiliä manuaalisesti johtamalla solenoidiin virtaa, jonka avulla venttiili kääntää kylmäainekierron.

6 Paisuntaventtiilien aiheuttamat ongelmat

Kuivainvaraajaa ostettaessa törmättiin kuitenkin ongelmaan, jota ei ollut huomioitu projektin suunnitteluvaiheessa. Kävi ilmi, että oli sivuutettu projektin onnistumisen kannalta suurin haaste, joka liittyi järjestelmän paisuntaventtiileihin. Järjestelmä vaatisi kaksi paisuntaventtiiliä, sillä kylmäainekierron kääntäessä ilmastointilaitteen paisuntaventtiili ei höyrystäisi kylmäainetta ennen lauhdutinta. Tämä johtaisi kompressorin rikkoontumiseen, sillä kompressorille johdettaisiin nestettä kaasun sijaan.

6.1 Perinteisen ilmalämpöpumpun paisuntaventtiili

Perinteisissä ilmalämpöpumpuissa käytetään paisuntaventtiilin sijaan paisuntasäiliötä jossa kylmäaineen painetta lasketaan. Kylmäaineen siirtyessä suurempaan tilavuuteen pystyy se laajenemaan, jolloin kylmäaineen paine laskee ja kylmäaine höyrystyy. Perinteisissä ilmalämpöpumpuissa kylmäaine kierrätetään vain yhden paisuntasäiliön kautta joko lauhduttimelle tai höyrystimelle. Paisuntasäiliö toimii siis kumpaankin suuntaan riippumatta kylmäainekierron suunnasta.

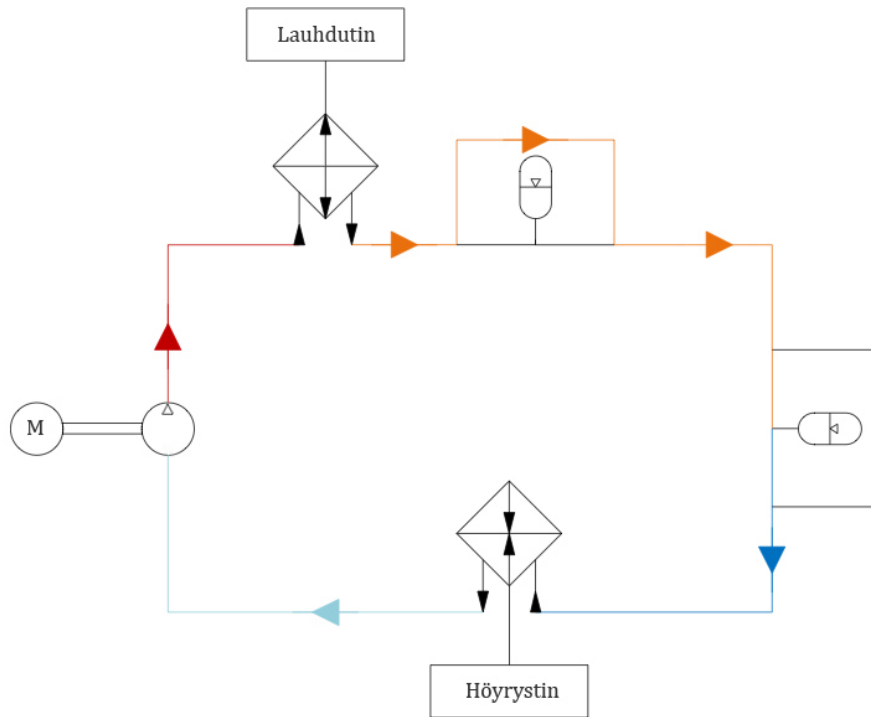
6.2 Henkilöauton paisuntaventtiili

Henkilöautojen ilmastointijärjestelmissä käytetään termostaattiohjattuja paisuntaventtileitä, kuten aikaisemmin mainittiin. Tämän johdosta paisuntaventtiili toimii vain kylmäaineen kiertäessä yhteen suuntaan. Tämä muodostuu ongelmaksi kylmäainekierron suuntaa käännettäessä.

Koska paisuntaventtiili avaa höyrystimen puolella olevaa kalvoa kylmäaineen lämpötilasta riippuen, kylmäaine ei pysty virtaamaan paisuntaventtiilin läpi kylmäainekierron käynnön jälkeen. Jos kylmäaine kuitenkin pääsee kulkemaan paisuntaventtiilin läpi, kulkisi se nestemäisenä lauhduttimelle ja siitä kompressorille. Koska nestettä ei voida puristaa kasaan kaasun tavoin hajottaisi tämä kompressorin.

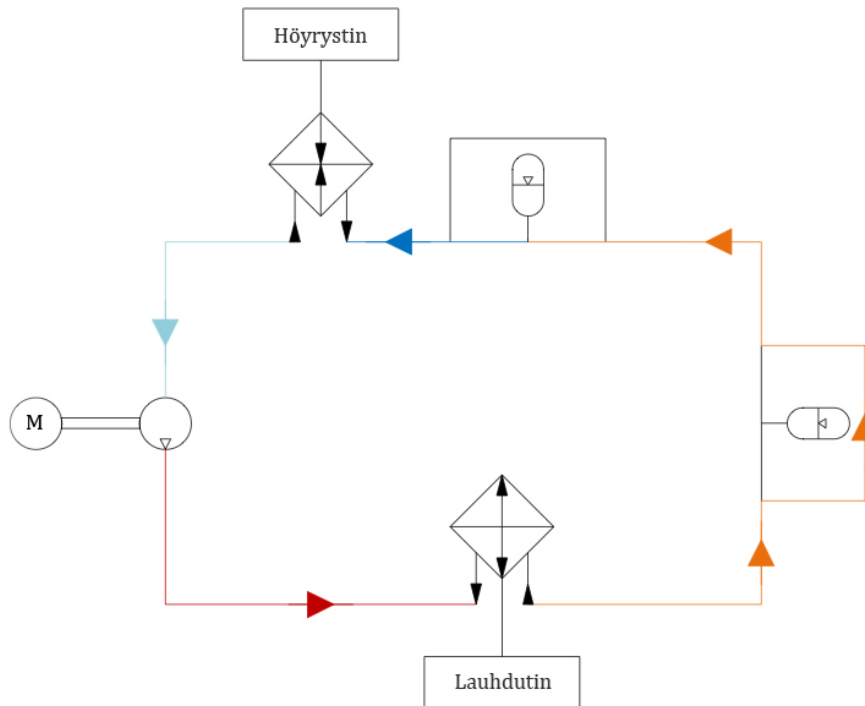
6.2.1 Miten ongelma voitaisiin sivuuttaa

Eräs tapa ratkaista ongelma on asentaa järjestelmään kaksi paisuntaventtiiliä. Toinen paisuntaventtiili toimisi järjestelmän käydessä ilmastointina ja toinen järjestelmän käydessä ilmalämpöpumpuna (kuvat 11 ja 12).



Kuva 11. Paisuntaventtiilikaavio ilmastointikäytössä

Ilmastointikäytössä kylmäaine kulkee ensimmäisen paisuntaventtiin ohi ohi-
tuslinjaa pitkin ja toisen paisuntaventtiin läpi. Näin ollen kylmäaine höyrystyy
ennen höyrystintä ja kompressorille tuleva kylmäaine on kaasumuodossa.



Kuva 12. Paisuntaventtiilikaavio ilmalämpöpumpukäytössä

Ilmalämpöpumpukäytössä kylmäaine kulkee ensimmäisen paisuntaventtiin ohi ohituslinjaa pitkin ja toisen paisuntaventtiin läpi. Näin ollen kylmäaine höyrystyy ennen lauhdutinta ja kompressorille tuleva kylmäaine on kaasumuodossa.

6.2.2 Mahdolliset ongelmat järjestelmässä

Koska paisuntaventtiilien ohituslinjana toimisi ohitusventtiilit, on näiden ohjaus saatava toimimaan erittäin nopeasti, jotta kylmäainekiertoa käännettäessä ei syntyisi ongelmia. Nämä venttiilit olisi myös ohjelmoitava toimimaan samalla ohjausyksikössä nelitieventtiilin kanssa.

Ongelmaksi saattaa muodostua myös järjestelmässä vallitsevat paine-erot. Jos kierto käännetään järjestelmän ollessa käynnissä, syntyy tilanne jossa järjes-

telmä muodostaa korkeapainepuolen kummallekin puolelle kompressoria. Näin ollen myös paine olisi saatava tasattua järjestelmässä ennen kylmäainekierron kääntämistä.

Koska tämän järjestelmän toteuttaminen on niin monimutkainen, jää sen toteuttaminen tämän insinööriyön ulkopuolelle. Edellä esitetyt kaaviokuvat toimivat vain eräänlaisena esimerkkinä, miten järjestelmä voisi olla mahdollista toteuttaa.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön päätarkoitus oli muuttaa Metropolia Ammattikorkeakoulun energiatekniikan laboratorion ilmastointisimulaattori toimimaan tarvittaessa myös ilmalämpöpumpuna. Teoriaosassa käsiteltiin kylmätekniikan perusteita, auton ilmastointilaitteen komponentteja sekä verrattiin erilaisten lämmityslaitteiden vaihtoehtojen toimintaperiaatteita sekä hyötyjä ja haittoja.

Ilmastointisimulaattorin hyötysuhteen sekä kylmä- ja lämpökertoimien määrittäminen oli erittäin opettavaista, sillä näitä tehdessä sai soveltaa käytännössä energiatekniikan opintojaksolla opittuja asioita. Mittaukset jouduttiin suorittamaan yhteensä kolmeen otteeseen laitteistossa ilmenneiden ongelmien sekä mittausvirheiden takia. Kaiken kaikkiaan ilmastointisimulaattorin mittaus oli erittäin opettavainen ja mielenkiintoinen kokemus.

Johtuen osaksi komponenttivalintojen vaikeudesta sekä luvattua pidemmistä toimitusajoista, venyi muutostyön tekeminen viimeiselle kuukaudelle. Nelitientieventtiin modifiointi sekä uuden putkiston valmistaminen sujui kuitenkin erittäin hyvällä tahdilla ja muutostyön mekaaninen osa oli valmis testattavaksi

erittäin nopealla aikataululla. Työn loppusuoralla huomattiin kuitenkin työn onnistumisen kannalta erittäin kriittinen ongelma. Järjestelmä vaatisi paljon suuremman muutostyön kuin alun perin oli suunniteltu.

Ongelmista huolimatta laitteisto toimii yhä ilmastointijärjestelmänä ja sitä voi käyttää hyväksi niin opetuksessa kuin mahdollisissa tulevisissa opinnäytetöissä. Järjestelmään asennettua nelitieventtiiliä voidaan käyttää hyväksi jatkokehityksessä asentamalla järjestelmään työssä kuvatut paisuntaventtiilit ja niiden ohjaus.

Lähteet

1. Perttula, Jarmo. 2000. Energiatekniikka. Helsinki: WSOY.
2. Nelitieventtiilin toiminta. Verkkodokumentti. Ecorenovator.
<<http://ecorenovator.org/forum/attachments/geothermal/2000d1325806142-homemade-heat-pump-manifesto-reversing-valve-diagram.jpg>>. Luettu 3.5.2012.
3. Isentrooppinen hyötysuhde. Verkkodokumentti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <http://www.kurssit.lut.fi/040301000/main/5_4_5.html>. Luettu 13.5.2012.
4. Hosoz, M. & Direk, M. 2002. Performance evaluation of an integrated automotive air conditioning and heat pump system. Energy Conversion and Management, 47/2006.

Ilmastointisimulaattori Igp, h -kuvaaja 50Hz

