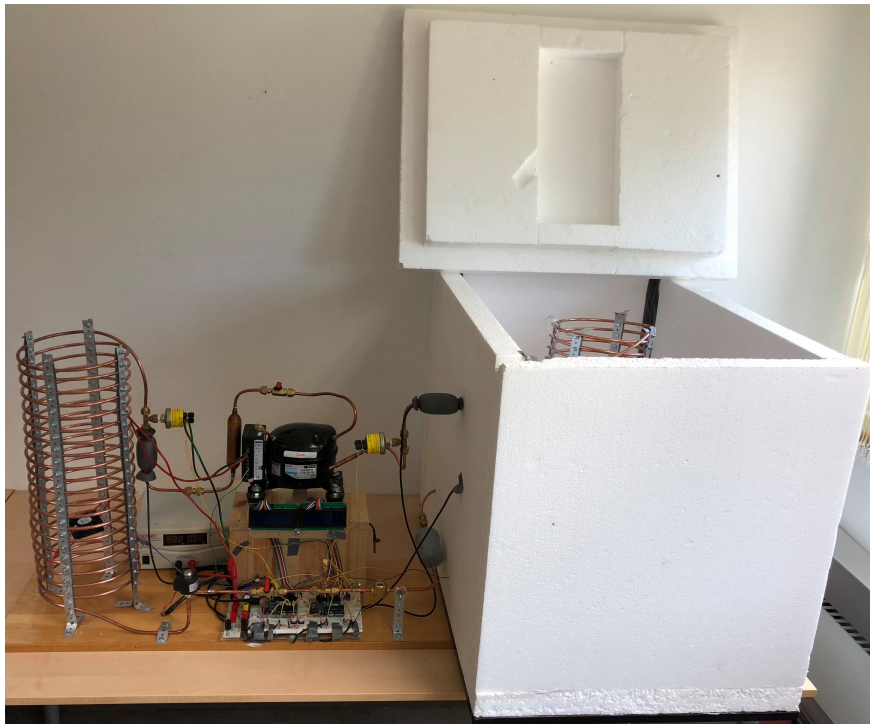




CHALMERS



Värmepump för Elbil

Heat Pump for Electric Cars

Examensarbete inom Elektroteknik

Carl Larsson
Marcus Vikén

Förord

Detta examensarbete ingår som ett avslutande moment på elektroingenjörsprogrammet 180 hp på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 hp och är utfört på Broccoli Engineering AB.

Vi vill framförallt tacka VD:n på Broccoli Engineering Björn Bergholm för den tid och energi han har lagt för att hjälpa oss under projektets gång.

Vi vill tacka kylteknikern från Midroc Electro, Mathias Rasmusson som har hjälp till med värdefulla tips under projektets gång och även med påfyllnad av köldmedium i systemet.

Vi vill även tacka vår handledare och examinator på Chalmers Bertil Thomas och hjälpsamma medarbetare på Broccoli för tips och idéer.

Marcus Vikén och Carl Larsson, Göteborg, Maj 2018

Sammanfattning

I dagens förbränningsmotorer tas den överblivna spillvärmen från motorn tillvara på och används för att värma upp kupén under kalla dagar. I och med att verkningsgraden är mycket högre i en elbil och mindre spillvärme allstras är denna värme ej tillräcklig för att värma upp kupén i en elbil en kall vinterdag. Därför används i de allra flesta fall resistiv värme direkt från batteriet vilket förkortar fordonets räckvidd markant. Med en värmepump installerad skulle mycket energi kunna sparas och med rätt utnyttjande av den spillvärme som finns att tillgå skulle värmepumpen kunna konstrueras mycket effektiv.

Eftersom elbilar har blivit väldigt aktuella och många biltillverkare har börjat lägga stora resurser inom området är en lösning på ett effektivt klimatsystem ytterst relevant. Därmed ansågs att en konstruktion av en värmepump från grunden skulle ge värdefulla kunskaper inom området. Möjligen kan dessa kunskaper bidra med idéer i ett eventuellt framtida projekt inom området på uppdrag av någon biltillverkare.

I denna rapport beskrivs konstruktionen av ett värmepumpssystem från grundmodell till färdig prototyp. Till en början var det tänkt att ett system som både kunde värma och kyla en kupé skulle konstrueras. På grund av tidsbrist gjordes avgränsningen att systemet endast skulle kunna värma en kupé. Systemet designades för att arbeta under de utomhustemperaturer som råder för Göteborg under vintermånaderna november-februari.

Resultet blev en väl fungerande värmepump med en verkningsgrad på cirka 200 %. På panelen väljes en önskad bilkupétemperatur och värmepumpen klarar att leverera önskad temperatur med en precision på 2-3 °C.

Rapporten ger en god överblick över värmepumpens principer, ingående komponenter och vilka beräkningar som behövs vid konstruktion.

Detta examensarbete har utförts på uppdrag av ingenjörskonsultbolaget Broccoli Engineering AB under våren 2018.

Abstract

In todays petrol driven cars, the waste heat from the engine is used to directly heat the cabin on cold days. Due to that the efficiency of electric cars is much higher than for petrol driven cars, the waste heat that is produced is not enough to heat the cabin on cold days. That is why, in most cases, resistive heating is used to heat the cabin. This method is energy consuming and reduces the range of the car significantly. With a heat pump installed, a considerable amount of energy could be saved and with the right usage of the waste heat that is produced, the heat pump could be designed to be efficient.

Since recently the demand for electric cars has increased rapidly and the majority of the large car companies are trying to meet this demand. Due to this fact, a solution with an effective climate system for electric cars is very relevant. Because of this, a construction of a heat pump from scratch would give valuable knowledge within the field. This knowledge could potentially contribute with ideas in a future project on behalf of a car company.

In this report, the construction of a heat pump is described from a basic model to a finished prototype. In the beginning of the project, a heat pump that could both heat and cool a cabin was planned to be constructed. Due to time constraints, the delimitation was made that the heat pump should only be able to heat the cabin of the car. The system was designed to handle outdoor temperatures of which prevails in Gothenburg during the winter months november-february.

The result of the construction was a well functioning heat pump with an efficiency of 200 %. On the panel of the heat pump, a desired car cabin temperature can be entered. The heat pump is able to deliver the desired temperature with a precision of 2-3 °C.

This report gives a good overview of the basic principles of a heat pump, the required components and which calculations that is needed.

This project has been performed at the engineering consultancy company Broccoli Engineering AB during spring 2018.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Precisering av Frågeställning	2
2	Teori	3
2.1	Teknisk Bakgrund	3
2.2	Värmepumpssystemets Grundprinciper	3
2.2.1	Kompressor	5
2.2.2	Köldmedium	6
2.2.3	Värmeväxlare	7
2.2.4	Expansionsventil	8
2.2.5	Övriga Komponenter	9
2.2.5.1	Torkfilter	9
2.2.5.2	Synglas med Fuktindikator	9
2.2.5.3	Akkumulator	10
2.3	Styrning	10
2.3.1	Arduino	10
2.3.2	Temperaturgivare	10
2.3.3	Tryckgivare	11
2.4	Val av Komponenter	11
2.4.1	Termodynamisk Flödesanläggning	11
2.4.2	Styrsystem	11
3	Metod	13
3.1	Kravspecifikation	13
4	Konstruktion	15
4.1	Termodynamisk Flödesanläggning	15
4.1.1	Rördragning	17
4.1.2	Dimensionering av Kondensor och Förångare	17
4.1.2.1	Kondensor	19
4.1.2.2	Förångare	20
4.1.2.3	Slutmontering av Värmeväxlare	20
4.2	Styrsystem	21

4.2.1	Givare	21
4.2.2	Expansionsventil	24
4.2.3	Kompressor	26
4.2.4	Fläktar	27
4.2.5	Regulatorn	27
5	Resultat	29
5.1	Verkningsgrad	30
6	Diskussion	33
6.1	Svar på Frågeställningar	33
6.1.1	Hur kompakt kan värmepumpen byggas?	33
6.1.2	Vilket köldmedium bör användas?	33
6.1.3	Vilken matningsspänning är mest lämplig?	34
6.1.4	Hur energieffektiv kan värmepumpen bli?	34
6.2	Vidareutveckling	34
6.3	Miljömässigt Perspektiv	35
	Referenser	37
A	Programkod	

1

Inledning

Många av bolagen inom fordonsindustrin lägger idag allt mer resurser på utvecklingen av eldrivna fordon. Ett av de problem som uppstått i de nordiska länderna är uppvärmningen av kupén under vinterhalvåret. Detta på grund av att en elbil inte producerar lika mycket spillvärme som en bensinbil gör [1]. I de allra flesta fall har problemet lösts genom att värma kupén med resistiv värme direkt från batteriet vilket leder till att fordonets räckvidd markant minskas [2]. I detta projekt kommer ett värmepumpssystem att konstrueras med syftet att kunna integreras i en elbil för att på så vis kunna spara energi i batteriet.

1.1 Bakgrund

Detta examensarbete har utförts på konsultbolaget Broccoli Engineering AB. Anledningen till att Broccoli ville ha detta projekt utfört var att ämnet för tillfället är väldigt aktuellt. Tanken med detta projektet var att öka Broccolis kunskaper inom området för att på så vis bli mer attraktiva på marknaden.

1.2 Syfte

Syftet med projektet var att undersöka en möjlig lösning för att göra eldrivna bilar ännu mer energieffektiva. För att få en förståelse för hur ett värmepumpssystem fungerar och hur det enklast implementeras i en elbil konstruerades en prototyp. Detta medförde förståelse för värmepumpssystemets grundprinciper och vilka faktorer som krävs för att detta skall fungera så effektivt som möjligt. Målet var att värmepumpssystemet både skulle klara av att kyla och att värma kupén i en bil. Systemet var tänkt att styras av en mikrokontroller som arbetar med diverse givare för uppmätning av tryck och temperaturer.

1.3 Avgränsningar

Tanken med projektet var inte att undersöka nya sätt att konstruera värmepumpssystem på utan snarare att applicera den befintliga teknik som idag används inom ett nytt område. I rapporten kommer inte värmepumpssystemets teknik att redovisas i detalj utan mer på ett översiktligt plan för att få förståelse för dess grundprinciper.

Då värmepumpen var tänkt att placeras i en personbil anpassades systemets storlek efter detta. Hänsyn togs även till vilka matningsspänningar som finns att tillgå i en elbil när val av komponenter gjordes.

På grund av projektets tidsbegränsning hanns det inte med att få systemet att både kunna kyla och värma kupén utan istället lades fokus på att endast kunna leverera värme. Beslutet togs att värmepumpen främst skulle designas för att klara av att arbeta i de temperaturförhållanden som råder i Göteborg under vintermånaderna november-februari.

1.4 Precisering av Frågeställning

För att uppnå detta behövde följande frågor besvaras:

- Hur ser funktionsprincipen ut för en värmepump?
- Hur kompakt kan värmepumpen byggas?
- Vilket köldmedium bör användas?
- Vilken matningsspänning är mest lämplig?
- Hur energieffektiv kan värmepumpen bli?

2

Teori

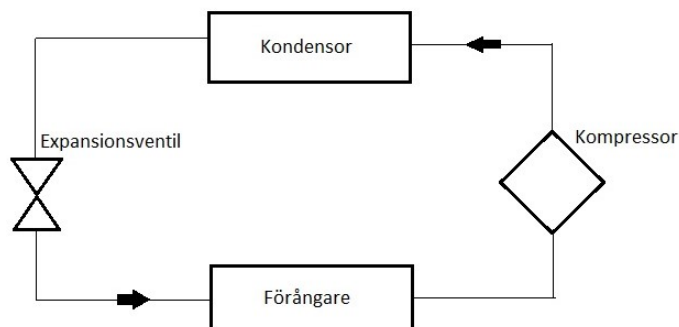
För att kunna konstruera ett effektivt värmepumpssystem krävs grundläggande kunskaper inom termodynamik. För att klargöra vissa delar av rapporten kommer detta avsnitt ge en övergripande förståelse för värmepumpens termodynamiska principer och vad som styr systemets effektivitet. Avsnittet kommer även att behandla vissa tekniker för hur ett värmepumpssystem kan styras med hjälp av en mikrokontroller.

2.1 Teknisk Bakgrund

Värmepumpen är en smart teknologi som utnyttjar termodynamikens grundprinciper för att effektivt transportera energi i form av värme från en plats till en annan. Värmen kan hämtas från bland annat uteluft, vatten och mark [3]. Vid en applikation i en elbil kommer främst uteluft vara värmepumpens energikälla, men även den spillvärme som alstras i motor och batteri.

2.2 Värmepumpssystemets Grundprinciper

I ett värmepumpssystem är grundprincipen att ett köldmedium skall transportera värme från en punkt till en annan. Denna princip kallas inom termodynamiken för ångkompressionscykeln och involverar de fyra grundkomponenterna kompressor, expansionsventil, kondensor och förångare. Ett förenklat värmepumpssystem och en beskrivning av åt vilket håll köldmediet flödar kan ses i figur 2.1.

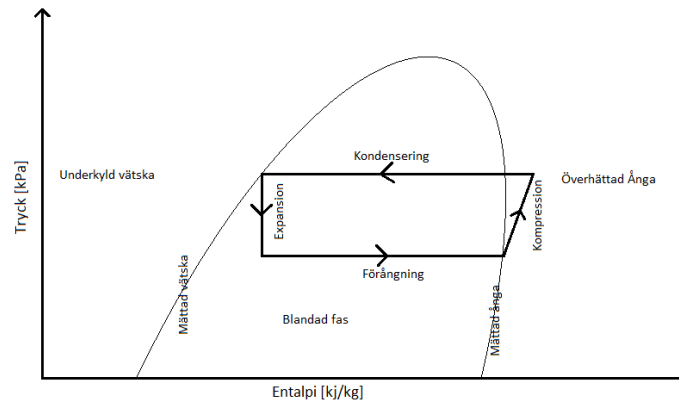


Figur 2.1: Blockschema över ett förenklat värmepumpssystem.

Tekniken för ett värmepumpssystem bygger på den allmänna gaslagen, formeln för denna kan ses i ekvation 2.1 nedan:

$$PV = nRT \quad (2.1)$$

I ekvationen står (P) för mediets tryck, (V) för mediets volym, (R) är allmänna gaskonstanten, (n) är substansmängden i mol och (T) är mediets absoluta temperatur [4]. I ett slutet system så som i exempelvis figur 2.1 kan mediets substansmängd antas vara konstant. Genom att då kunna styra trycket på mediet kan mediets förångnings-temperatur kontrolleras. Detta är avgörande för design av ett värmepumpssystem. I figur 2.2 nedan kan ångkompressionscykeln för ett värmepumpssystem i ett P-h-diagram ses på ett mer överskådligt vis.



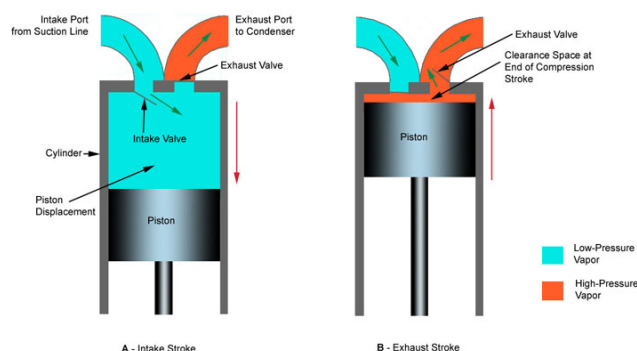
Figur 2.2: Ångkompressionscykeln för ett värmepumpssystem.

Från figur 2.2 kan ses att ånga i mättad fas kommer in i kompressorn från förångaren. I kompressorn tillförs energi så att trycket på ångan kan ökas. I och med det ökade trycket kommer även ångans temperatur att öka. Temperaturen på ångan i systemet bör nu vara på en nivå som är en bra bit över temperaturen på det medie som omsluter kondensorn. I kondensorn kyls sedan ångan av mot det omkringliggande mediet vilket får köldmediet att övergå till vätskefas. I ett idealt system bör köldmediet ej ändra temperatur i kondensorn, utan värmeenergin som lämnar köldmediet skall endast avges i syftet att få ångan att övergå till vätska [4]. Dock designas de flesta värmepumpssystem för att erhålla en viss grad av överhettning på köldmediet. Detta för att försäkra sig om att ingen vätska kommer in i kompressorn. Överhettning definieras som skillnaden mellan den uppmätta temperaturen för ett köldmedium och kokpunkten för köldmediet vid det aktuella trycket.

Köldmediet, som nu är i mättad vätskefas, flödar sedan in i expansionsventilen. Genom att begränsa flödet kan expansionsventilen upprätthålla en tryckskillnad mellan kondensorsidan och förångarsidan. När köldmediet passerar genom expansionsventilen sänks således trycket, vilket även gör att köldmediets temperatur sänks, enligt ekvation 2.1. Köldmediets temperatur bör nu vara en bra bit under temperaturen på det medie som omger förångaren. När köldmediet nu flödar genom förångaren skall värme tas upp från omgivningen vilket får köldmediet att koka. Även här bör köldmediets temperatur ej ändras, utan värmeenergin som tillförs köldmediet skall endast tillföras i syfte att få köldmediet att förånga. Efter förångaren bör köldmediet återigen övergått till ånga i mättad fas. Cykeln upprepas sedan [5].

2.2.1 Kompressor

Kompressorn utgör hjärtat i värmepumpssystemet och det är den som driver processen och ser till att köldmediet hela tiden cirkulerar i systemet. Det finns olika typer av kompressorer, vars största skillnad ligger i vilken teknik som används för att skapa tryck. En historiskt vanlig typ är den så kallad kolvkompressorn vars funktionsprincip kan ses i figur 2.3 [5].



Figur 2.3: Funktionsprincipen för en kolvkompressor [6].

Gas med lågt tryck sugas in i kompressorn från förångarsidan när kolven rör sig nedåt vilket kan ses i del A i figur 2.3. När kolven sedan rör sig uppåt komprimeras gasen och pressas sedan ut till kondensorsidan, vilket kan ses i del B i figur 2.3.

I detta projekt kommer en kolvkompressor med namn BD50F från Nidec att användas. Den har en matningsspänning på 12/24 V DC och styrs med en kontrollenhet med namn 101N0212 från Danfoss. Kompressorns hastighet kan varieras från 2000 till 3500 rpm och styrs genom att koppla en variabel resistans mellan två anslutningspinnar på kontrollenheten. En bild på kompressorn med kontrollenhet kan ses i figur 2.4 nedan.



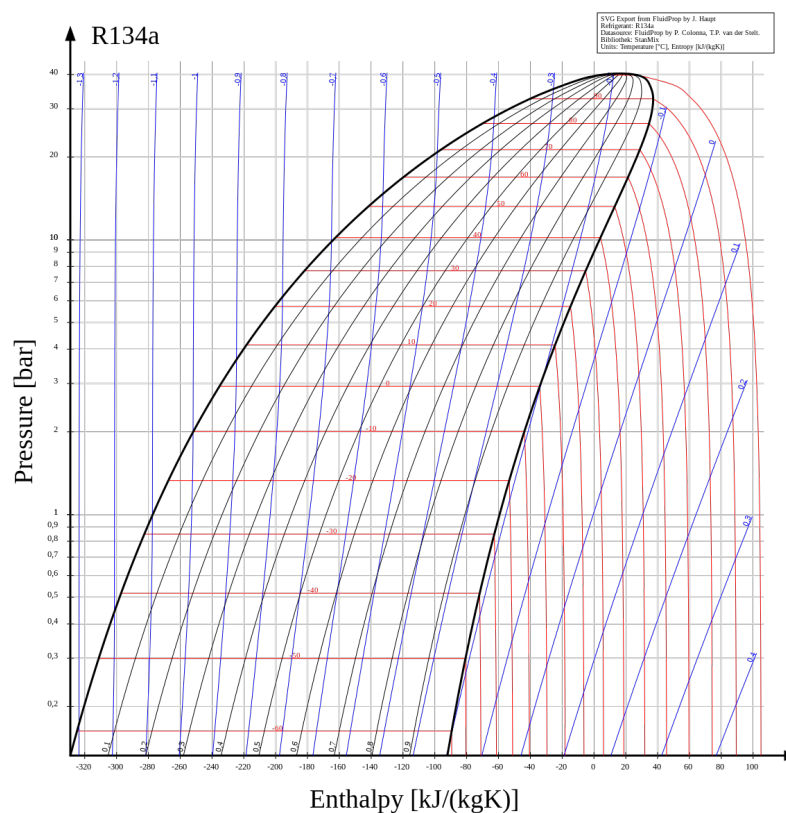
Figur 2.4: Kompressorn BD50F med kontrollenheten 101N0212.

2.2.2 Köldmedium

En av de viktigaste grundkomponenterna i ett värmepumpssystem är det medie som transporterar värme från en plats till en annan. Detta medie fungerar som energibärare och kallas i ett värmepumpssystem för köldmedium. Det finns flertalet olika köldmedier som kan användas i värmepumpssystem. Vilket som används beror främst på vilken applikation systemet har och vilka temperaturer systemet arbetar inom. Några viktiga faktorer som påverkar val av köldmedium listas nedan[3].

- Köldmediet skall inte kunna övergå i fast form på grund av rådande temperatur.
 - Till exempel kan vatten inte användas om systemet skall arbeta i temperaturer under 0°C .
- Köldmediet får under inga omständigheter sönderdelas under rådande tryck och temperatur.
- Köldmediet får under inga omständigheter korrodera eller sönderdela materialet i värmepumpssystemet.
- Köldmediets miljöpåverkan och brand- och explosionsrisk.
 - Vid applikation i en bil är detta en viktig aspekt vid eventuella olyckor.

För att ta reda på i vilken fas ett medie befinner sig i vid ett visst tryck och vid en viss temperatur kan man använda sig av ett Log Ph diagram. I figur 2.5 kan ett Log Ph diagram ses för köldmediet r134a.



Figur 2.5: Log Pressure Enthalpy diagram som visar temperatur, tryck och faser för köldmediet r134a.

Från figuren kan utläsas att köldmediet befinner sig i vätskefas till vänster om den heldragna svart kurvan, i blandfas innanför kurvan och i gasfas till höger om kurvan.

2.2.3 Värmeväxlare

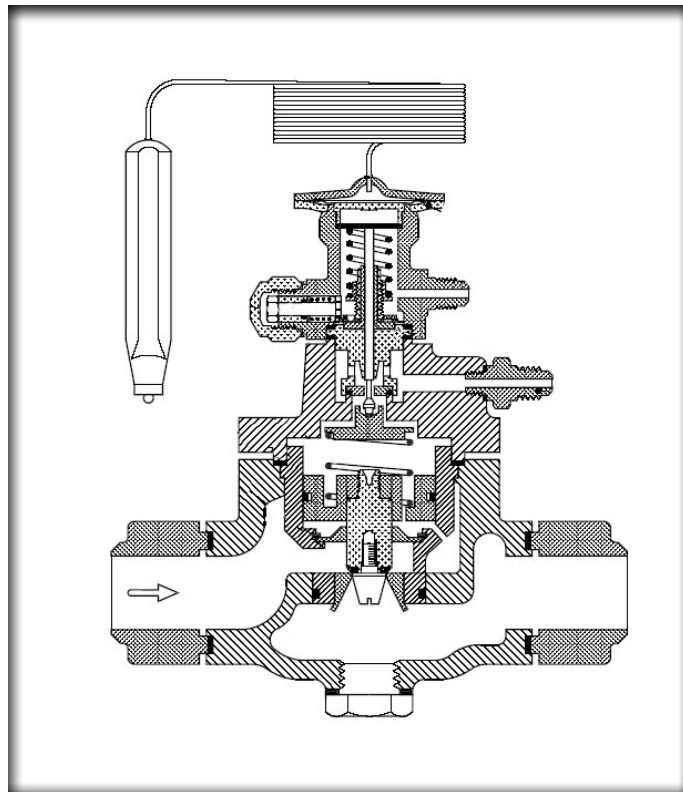
Värmeväxlaren är en komponent som används för att transportera energi i form av värme från ett medie till ett annat. De vanligaste medierna att använda är luft och vatten, men det finns även applikationer där speciellt framtagna fluider används [5]. I en klassisk värmepump sker det värmeväxling under två tillfällen i ångkompressionscykeln. Den ena värmeväxlingen sker i kondensorn där det upphettade köldmediet avger värme mot det omkringliggande mediet. Den andra värmeväxlingen sker i förångaren där värme tillförs köldmediet. Värmeväxlarna är speciellt konstruerade för att köldmediet i systemet skall ha så stor kontaktyta som möjligt med det omkringliggande mediet. För att effektivisera värmeväxlingen vid växling mot luft används ofta fläktar som blåser på värmeväxlarna för att skapa cirkulation som bidrar till ett större värmeutbyte [5]. Vid växling mot vatten eller någon annan fluid i en tank används ofta en cirkulationspump eller en omrörare för att öka värmeutbytet. I figur 2.6 nedan kan en typisk värmeväxlare för ett A/C-system i en bil ses.



Figur 2.6: *Typisk värmeväxlare för ett A/C system i en bil.*

2.2.4 Expansionsventil

Det finns flera olika typer av expansionsventiler. En äldre modell som används i enkla kyl- och värmesystem är kapillärröret vilket är ett långt rör med väldigt liten diameter som vätskan långsamt pressas igenom. En annan modell är den termostatiske expansionsventilen vilken består av en nålventil och en återkopplad slinga i form av en temperaturgivare och ett kapillärrör [5]. Denna slinga är inte ihopkopplad med systemets huvudslinga utan fylls upp separat med ett köldmedium. En termostatisk expansionsventil i genomskärning kan ses i figur 2.7 nedan.



Figur 2.7: En termostatisk expansionsventil i genomskärning [7].

Temperaturgivaren läggs mot röret efter förångaren. Om temperaturen på köldmediet efter förångaren i systemet ökar kommer denna värme att överföras till temperaturgivaren. Detta leder till att mediet som är inneslutet i kapillärröret och temperaturgivaren expanderar vilket resulterar i att nålventilen i den termostatiske expansionsventilen trycks ned. Flödet genom expansionsventilen ökar då. På samma sätt minskas flödet om temperaturen på köldmediet efter förångaren i systemet minskar[5].

En tredje variant av expansionsventil är den elektriska expansionsventilen. Denna ventil styrs med en tryckgivare och en temperaturgivare vanligtvis placerade efter förångaren. Genom att jämföra den uppmätta temperaturen med förångningstemperaturen vid det uppmätta trycket kan graden av överhettning på köldmediet beräknas. Med hjälp av denna information kan då expansionsventilen regleras att släppa igenom rätt mängd köldmedium.

Fördelen med att använda en elektriskt styrd expansionsventil framför en termostatisk expansionsventil är att reglerprocessen blir mycket snabbare och mer exakt. Med ett snabbare system krävs inte heller samma grad av överhettning vilket gör systemet mer effektivt. I detta projekt användes en elektrisk expansionsventil med namnet ETS6-10 från Danfoss. En bild på denna ventil kan ses i figur 2.8 nedan.



Figur 2.8: Den elektriska expansionsventilen ETS6-10 från Danfoss.

Denna ventils position styrs genom att skicka en sekvens av ett visst bit-mönster på fyra av ventils 5 anslutningssladdar. Detta får då den inbyggda stegmotorn att antingen öppna eller stänga ventilen. Den femte sladden kopplas till jord.

2.2.5 Övriga Komponenter

I ett värmepumpssystem finns ett antal komponenter som inte är lika viktiga för systemets funktion som tidigare nämnda komponenter, men som används för att förlänga livslängden på systemet och även bidra med en extra säkerhetsaspekt. Dessa komponenter kommer kort beskrivas nedan.

2.2.5.1 Torkfilter

En av de vanligaste orsakerna till driftstörningar i ett värmepumpssystem är fukt som tagit sig in i systemet. Fukt som befinner sig i systemet kan bilda vätskeslag i kompressorn vilket kan leda till kompressorhaveri och även frysa till is vilket kan orsaka blockage i expansionsventilen. För att eliminera eventuell fukt som kan ha tagit sig in i systemet används ett så kallat torkfilter. Torkfiltret är en behållare som innehåller ett ämne som drar åt sig fukt [5]. Torkfiltret placeras ofta direkt efter kondensorn i och med att köldmediet då befinner sig i vätskefas.

2.2.5.2 Synglas med Fuktindikator

För att lätt kunna kontrollera köldmedieflödet i systemet monteras ett synglas in direkt efter torkfiltret. I synglasen kan köldmediet ses passera. Om systemet innehåller

tillräckligt med köldmedium jämfört med kyl/värme-effekten kommer vätskan som passerar vara fri från gasbubblor. Synglaset är även utrustat med en fuktindikator. Med hjälp av en färgskala på synglaset kan då avläsas om mediet innehåller fukt[5].

2.2.5.3 Ackumulator

En ackumulatortank kan placeras precis innan kompressorn på lågtryckssidan. Detta för att förhindra att vätska kommer in i kompressorn[5].

2.3 Styrning

I äldre kyl- och värmepumpssystem regleras oftast processen med mekaniska givare och regulatorer. På senare tid har det däremot blivit allt mer vanligt med elektroniska givare och regulatorer. Detta har gjort processen lite mer komplex att reglera men till förmån för ett mycket mer energieffektivt system [5].

För att reglera processen krävs bara två givare, en temperaturgivare som mäter upp temperaturen på köldmediet precis efter förångaren och en tryckgivare som mäter upp trycket på förångarsidan. Denna tryckgivare placeras även den oftast direkt efter förångaren. Kokpunkten för köldmediet vid det uppmätta trycket kan då beräknas. Genom att subtrahera temperaturen vid kokpunkten med den uppmätta temperaturen för köldmediet kan graden av överhättning bestämmas. Utifrån denna information kan sedan en styrsignal skickas till expansionsventilen.

Ur säkerhetssynpunkt kan det även vara nödvändigt att ha en tryckgivare på kondensorsidan för att kontrollera att det inte blir allt för höga tryck i systemet. Oftast sitter även säkerhetsventiler placerade i systemet vilka löser ut om trycket blir för högt. Det kan även vara nödvändigt att ha en temperaturgivare i utrymmet som antingen ska kylas eller värmas för att veta när rätt temperatur har uppnåtts.

2.3.1 Arduino

I detta projekt användes en Arduino UNO som regulator för systemet. Denna tog in information ifrån de olika givarna för att sedan skicka ut styrsignaler till systemets reglerbara komponenter.

Arduino UNO:n är en hårdvaruplattform med öppen källkod och med ett C++ liknande programmeringsspråk. Den är baserad på mikrocontrollern ATmega328 från Atmel vilken har en 8-bitars CPU och 32 kB flash minne [8]. Arduino UNO plattformen har 14 st digitala I/O pinnar, 6 st analoga inputpinnar och en klockfrekvens på 16 MHz [9]. Programvaran till Arduino UNO kortet utvecklas i utvecklingsmiljön Arduino IDE.

2.3.2 Temperaturgivare

För att mäta temperatur användes temperaturgivaren DS18B20 från Luxorparts. Denna kunde mäta upp en temperatur mellan -127 - +128 °C. Det uppmätta värdet omvandlades sedan till ett 16 bitars digitalt ord som sedan skickades seriellt till en pinne på Arduinokortet.

2.3.3 Tryckgivare

För att mäta upp trycket i systemet användes en oljetrycksgivare med namn 660219 som egentligen används för att mäta upp oljetrycket i en bil. Tryckgivaren klarade av att mäta tryck från 0 - 10 bar vilket kunde mätas upp som en resistansförändring från 3 - 160 Ω .

2.4 Val av Komponenter

Nedan följer två sammanfattande punktlistor av de komponenter som användes i projektet. Den första innehåller de komponenter som användes för att konstruera den termodynamiska delen av systemet, nedan kallat termodynamisk flödesanläggning. Den andra innehåller de komponenter som användes för att konstruera styrsystemet till anläggningen.

2.4.1 Termodynamisk Flödesanläggning

- Kompressor BD50F med kontrollenhet 101N0212
- Elektrisk expansionsventil ETS6
- Torkfilter
- Synglas
- Kulventiler
- T-kopplingar,
- Flareanslutningar
- Kopparrör 30 m, 1/4 tum
- Köldmedium r134a

Dessutom tillkom följande verktyg vid ihopmontering av de olika komponenterna.

- Gasolbrännare
- Lödfett
- Löttenn

2.4.2 Styrsystem

- Arduino UNO kort, x2
- Tryckgivare, x2
- Temperaturgivare, x4
- DC fläkt 12 V, x2
- Kopplingsplatta
- LCD display, x2
- Transistor BC547B, x3
- Tryckknapp, x2
- Resistanser i olika värden
- Kopplingskablar

3

Metod

När beslutet tagits att en värmepump skulle konstrueras var det första steget att bestämma vilka specifikationer som skulle gälla för systemet. Tillsammans med handledaren på företaget fördes diskussioner och det lades upp en enklare plan för hur systemet skulle kunna se ut och vad för olika komponenter systemet skulle bestå av. Innan projektet drog igång skapades det en planeringsrapport för hur arbetsgången i projektet skulle se ut och ett preliminärt slutdatum sattes.

Vid projektets start gjordes litteraturstudier inom termodynamik och värmepumpens grundläggande principer. Det gav en tillräcklig baskunskap och förståelse för vad som krävs för att konstruera ett värmepumpssystem. Litteraturstudierna övergick sedan i att ta reda på exakt vilka komponenter som behövdes i systemet och vart de skulle placeras. Det var även nödvändigt att bestämma vilken dimension som skulle gälla för rör och komponenter i systemet. Sedan uppsöktes återförsäljare som sålde rätt komponenter i rätt dimensioner och beställningar gjordes.

När alla komponenter hade anlant monterades systemet ihop och systemet trycktestades sedan med tryckluft. När konstruktionen av själva värmepumpen var klar konstruerades styrsystemet till värmepumpen. Vid påfyllnad av köldmediet r134a anlätades en kyltekniker som utförde arbetet.

3.1 Kravspecifikation

De krav som fanns på värmepumpssystemet var främst att det skulle vara designat för att kunna implementeras i en elbil. Nedan listas några av de kravspecifikationer som fanns.

- Systemet skall vara litet och kompakt.
- Drivas av spänningsmatning som finns att tillgå i en elbil.
- Designas för att klara av att värma en bilkupé under vintermånaderna november-februari.

4

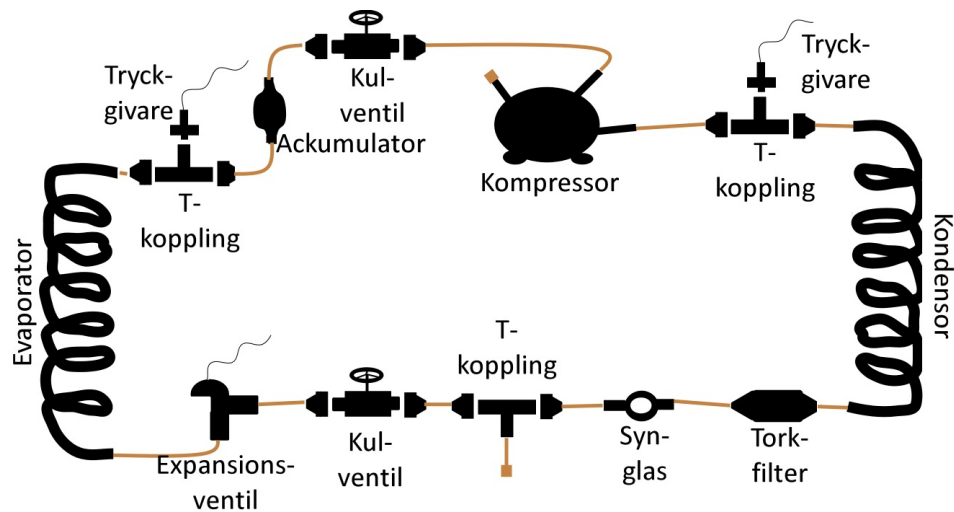
Konstruktion

Vid konstruktionen av värmepumpen delades arbetet in i två större delar. Först konstruerades själva värmepumpen där de termodynamiska processerna sker och därefter konstruerades och applicerades styrsystemet. Följande kapitel kommer beskriva arbetsgången i konstruktionen från start till slut och vilka beslut som tagits och varför.

4.1 Termodynamisk Flödesanläggning

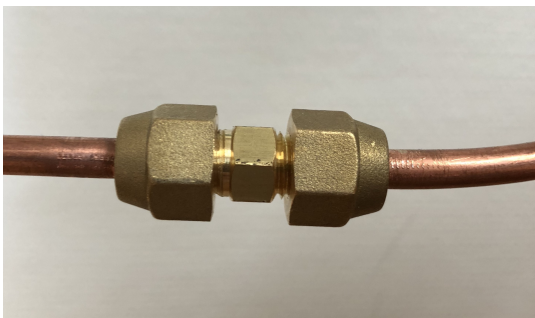
Det första steget i konstruktionen av värmepumpen var att skissa upp ett schema över hur systemet skulle se ut och vilka komponenter som skulle ingå. Den första skissen som gjordes var ett reversibelt värmepumpssystem som både skulle kunna värma och kyla kupén i en bil. När planen för systemet lades upp och ett urval av komponenter började göras insågs ganska snart att ett reversibelt värmepumpssystem ej skulle hinna konstrueras under den aktuella tidsramen för projektet. Ett reversibelt värmepumpssystem skulle även innebära dyrare komponenter som ej var ekonomiskt försvarbart i budgeten för detta projekt. På dessa grunder togs beslutet att ett värmepumpssystem som endast skulle kunna värma kupén skulle konstrueras.

Första togs beslutet om vilken kompressor som skulle användas i systemet. För att göra det enkelt valdes därefter rördimension utefter vilken dimension som gällde för kompressorns anslutningar. Därav valdes rördimensionen till 1/4 tum för hela systemet. Därefter skapades en ny skiss för ett värmepumpssystem som endast skulle värma kupén. Skissen kan ses i figur 4.1. Med hjälp av skissen och med vetskapen om vilken dimension som nu skulle gälla för systemet gjordes ett nytt urval av komponenter. Det beslutades att alla komponenter skulle beställas färdiga förutom kondensorn och förångaren vilka skulle byggas för hand med hjälp av kopparrör och spikband. Alla komponenter som beställdes var av dimensionen 1/4 tum förutom ackumulatortanken som endast hittades i dimensionen 3/8 tum. Detta löstes genom övergångar med skarvkopplingar ned till 1/4 tum.



Figur 4.1: Skiss över prototyp för värmepumpssystem.

För ihopmontering av systemet användes flare-kopplingar och lödanslutningar vilket är standard i system med höga tryck och fluider [5]. I figur 4.2 och 4.3 kan exempel ses på dessa kopplingar. Vid lödning användes en gasolbrännare, lödtenn och lödfett. Vid flare-anslutningarna krävdes ett koningsverktyg för att kona kopparrörets ändar.



Figur 4.2: Flarekoppling.



Figur 4.3: Lödskarv från 3/8 tum till 1/4 tum.

Eftersom värmepumpen var tänkt att värma en bilkupé skapades en frigolitlåda för att simulera denna applikation. I frigolitlådan placerades kondensorn och temperaturgivare som registrerade den aktuella temperaturen. Bilder på denna frigolitlåda kan ses i figurerna 4.4 och 4.5.



Figur 4.4: Frigolitlåda för simulerad bilkupé.



Figur 4.5: Frigolitlåda för simulerad bilkupé.

4.1.1 Rördragning

Ett av de viktigare momenten i monteringen av ett värmepumpssystem är rördragningen mellan förångare, kondensor, expansionsventil och kompressor. För att inte köldmedium skall riskera att ansamlas i förångaren under tiden som systemet är avstängt för att sedan orsaka vätskeslag i kompressorn när systemet återigen startas måste ett stigarrör installeras som befinner sig på en nivå ovanför kompressorn [5]. Detta förhindrar då att köldmedium flödar in i kompressorn. En kulventilen monterades även efter stigarröret som en extra säkerhetsåtgärd vilken kunde stängas för hand när systemet var avstängt.

4.1.2 Dimensionering av Kondensor och Förångare

I ett värmepumpssystem är det viktigt att värmeväxlarna är rätt dimensionerade för att systemet skall fungera som det är tänkt. Kondensorn måste kunna avge lika mycket effekt som den effekt som tillförs systemet via förångaren och kompressorn. Om exempelvis förångaren skulle vara fel dimensionerad och uppta för lite effekt skulle det kunna leda till att köldmediet inte hinner övergå till ånga innan den når kompressorn och på så sätt förstöra kompressorn. Grundekvationen för dimensionering av värmeväxlare kan ses i ekvation 4.1. Ekvationerna för de beräkningar som sker i följande kapitel har hämtats från boken "Bygg din egen värmepump" [10].

$$\Phi = A * U * \Delta T \quad (4.1)$$

Φ = värmeeffekt/värmefflöde [W]

A = förångaryta [m²]

U = värmegenomgångskoefficient [W/(m²*K)]

ΔT = temperaturskillnad [°K]

(A) representerar mantelarean för den yta på värmeväxlaren som har kontakt med det omgivande mediet. U-värdet kallas värmegenomgångstal och beskriver hur väl ett material transporterar värme. (ΔT) är ett mått på medeltemperaturdifferensen mellan förångningstemperatur och temperaturen på de medie runt värmeväxlaren. Vid beräkningarna är det oftast svårt att välja ett tillräckligt bra U-värde då det i verkligheten är många faktorer som spelar in på denna koefficient. Några av de faktorer som spelar in är hur värmeöverföringen ser ut mellan värmeväxlarens yta och det medie som omger den, värmebelastningen på ytan, vilket köldmedium som brukas och förhållandet mellan värmeväxlarens invändiga och utvändiga ytor. I fallet för denna värmepump valdes U-värdet till 17, detta baserades på en tabell som beskriver värmegenomgångstal för olika material vid användning av olika medier och aggregationstillstånd [11]. Talet baseras på att köldmediet i värmeväxlarna är i gasform, materialet är koppar och det omkringliggande mediet är luft.

Det första steget vid dimensioneringen av värmeväxlarna var att bestämma kondenseringstemperatur och förångningstemperatur för systemet. När man väljer förångningstemperatur brukar man utgå från att den skall vara cirka 10°C kallare än det omgivande mediet och kondenseringstemperaturen skall vara 10°C varmare än det omgivande mediet. Det omgivande mediet i fallet för denna värmepump är uteluft med medeltemperaturen för Göteborg under de 4 vintermånaderna november-februari. Enligt statistik för medeltemperaturen i Göteborg är den kallaste uppmätta medeltemperaturen för dessa månader -1.2 °C och den varmaste 11.4°C [12]. Vid val av kondenseringstemperatur togs det också till hänsyn att en önskad kupétemperatur i bilen under en vinterdag är cirka 21-22 °C. Med detta i beräkningarna står det även i databladet för kompressorn BD50F att den arbetar som bäst när tryckdifferensen mellan förångar- och kondensorsidan inte överstiger 5 bar. Med dessa kriterier användes en tabell över kokpunkten för köldmediet r134a vid olika tryck där kondensering- och förångningstemperatur valdes inom ett intervall av 5 bar, tabellen kan ses i tabell 4.1 [13].

Tabell 4.1: *Tabell över temperatur och kokpunkt för r134a.*

Tryck(kPa)	Kokpunkt(°C)
200	-10.1
220	-7.6
240	-5.4
260	-3.2
300	0.7
340	4.2
400	8.9
500	15.7
600	21.6
700	26.7

Förångningstemperatur t_1 valdes till -10.1 °C med ett tryck på 2 bar på lågtrycksidan, detta innebär att denna kokpunkt är cirka 10 grader lägre än den kallaste

medeltemperaturen. Kondenseringstemperatur **t2** valdes till 26.7 °C med ett tryck på 7 bar på högtrycksidan, detta innebär att kondenseringstemperaturen är 15.3°C varmare än den varmaste medeltempen under samma årstid och cirka 5°C varmare än önskad bil-kupétemperatur.

När förångnings- och kondenseringstemperaturer är bestämda kan en värmefaktor för systemet bestämmas som beskriver förhållandet mellan avgiven och tillförd effekt. Värmefaktorn bestäms med hjälp av ekvation 4.2 och beräknades fram till ca 8.166. Verkningsgraden för kompressorn är cirka 40 % så därför multipliceras värmefaktorn med 0.4 och blir då 3.266.

$$\text{Värmefaktor} = \frac{\text{Avgiven effekt}}{\text{Tillförd effekt}} = \frac{P_a}{P_k} = \frac{t_1 + 273}{t_1 - t_2} \quad (4.2)$$

För ett värmepumpssystem gäller följande:

P_a = Värmeeffekt som avges i kondensorn

P_u = Värmeeffekt som tas upp i förångaren

P_k = Effekt som tillförs kompressorn

Den tillförda effekten till kompressorn beräknades genom att mäta upp hur mycket ström kompressorn drar vid drift. Strömmen mättes upp till 5.6 A under drift vid 12 V spänning, den beräknade tillförda effekten blev således 67.2 W. Med hjälp av den beräknade värmefaktorn och den tillförda effekten kunde värmeeffekten som avges i kondensorn beräknas till 220 W. När kondensorns avgivna effekt var känd beräknades förångarens upptagna effekt med ekvation 4.3 till 159 W.

$$P_a = 0.9 * P_k + P_u \quad (4.3)$$

När effekterna för värmepumpens förångare och kondensor var framräknade går det att utefter dessa använda ekvation 4.1 för att beräkna den totala mantelarea på ytan på värmeväxlarna som behövs för att leverera önskad effekt. Nedan följer beräkningarna för värmeväxlarna under varsin rubrik.

4.1.2.1 Kondensor

Det första som beräknades var medeltemperaturdifferensen (ΔT) för köldmediet och det omgivande mediet runt kondensorn. Den beräknades fram med hjälp av ekvation 4.4.

$$\Delta T = \frac{V_{in} - V_{ut}}{\ln \frac{V_{in}}{V_{ut}}} \quad (4.4)$$

V_{in} och V_{ut} i ekvation 4.4 beräknas på följande sätt.

$$V_{in} = t_2 - (-1.2^\circ\text{C}) = 27.9^\circ\text{C}$$

$$V_{ut} = t_2 - (-11.4^\circ\text{C}) = 15.31^\circ\text{C}$$

Med hjälp av ekvation 4.4 beräknades (ΔT) fram till 20.97°C. Sedan kunde mantelarean för kondensorn beräknas till 0.6156 m² med ekvation 4.1. Beslutet togs att flänsar skulle fästas på kondensorn för att kunna minska mängden kopparrör som behövdes men ändå behålla samma mantelyta. Flänsarna byggdes med spikband som hade dimensionerna 60x2 cm styck. 8 stycken flänsar användes så den totala mantelytan för flänsarna blev 0.192 m². Den totala mantelyta som kopparrören skulle stå för blev nu 0.4263 m². Med hjälp av ekvation 4.5 som beskriver mantelarean för en cylinder kunde längden på rören beräknas till cirka 21 m. Med hjälp av en fläkt som blåser på kondensorn skapas det cirkulation i det omkringliggande mediet vilket bidrog till ett ökat värmeutbyte. Då en fläkt installerades togs beslutet att längden på kopparrören nu kunde kortas ned och den slutliga längden blev 13 m.

$$\text{Mantelarea} = 2 * \pi * r * h \quad (4.5)$$

4.1.2.2 Förångare

Samma arbetsgång som vid dimensioneringen av kondensorn används till förångaren. Det första som beräknades var medeltemperaturdifferensen (ΔT). Den beräknades fram med hjälp av ekvation 4.4.

V_{in} och V_{ut} i ekvation 4.4 beräknas på följande sätt.

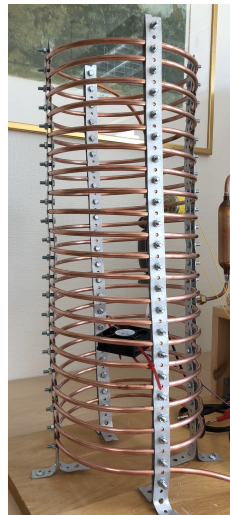
$$V_{in} = -11.4^{\circ}\text{C} - (-t1) = 21.5^{\circ}\text{C}$$

$$V_{ut} = -1.2^{\circ}\text{C} - (-t1) = 8.9^{\circ}\text{C}$$

ΔT beräknades fram till 14.2856°C. Mantelarean för förångaren beräknades till 0.6505 m² med ekvation 4.1. Samma antal flänsar som för kondensorn monterades även fast på förångaren. Så den totala mantelytan som kopparrören skulle stå för blev 0.4585 m². Den totala längden kopparrör som behövdes beräknades sedan fram till cirka 23 m rör. Men en fläkt installerad som blåser på förångaren och ökar värmeeffekten beslutades här att även förångaren skulle byggas av cirka 13 m rör.

4.1.2.3 Slutmontering av Värmeväxlare

När längden på kopparrören för tillverkning av förångaren och kondensorn var beräknad så tillverkades värmeväxlarna genom att forma kopparrören runt en cylinder. Flänsarna skapades med hjälp av spikband som monterades fast med hjälp av skruvar och muttrar. I figur 4.6 kan resultatet ses.



Figur 4.6: Färdigtillverkad värmeväxlare.

4.2 Styrssystem

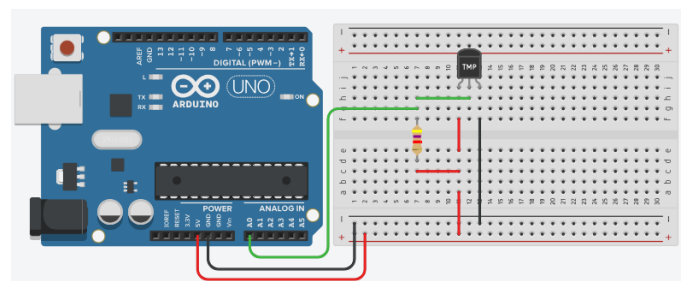
Nedan listas de krav som styrsystemet för värmepumpen skulle uppfylla.

- Driva kompressorn
- Reglera expansionsventilen
- Upprätthålla rätt grad av överhettning
- Skriva ut mätvärden på displayerna

I systemet användes två stycken mikrokontrollers. Det kommer i huvudsak vara den ena av dem som används för att styra systemet. Den andra kommer användas för att kunna visa olika systemvärden som kan vara av intresse för användaren. För att kunna uppfylla dessa krav krävdes först att mikrokontrollerna fick tillgång till mätvärden från de olika givarna.

4.2.1 Givare

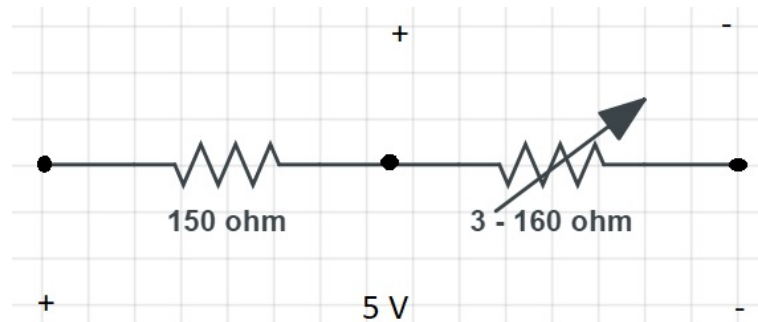
Inkopplingen av en temperaturgivare kan ses i figur 4.7 nedan.



Figur 4.7: Inkoppling av temperatursensor med pinne A0 som digital insignal.

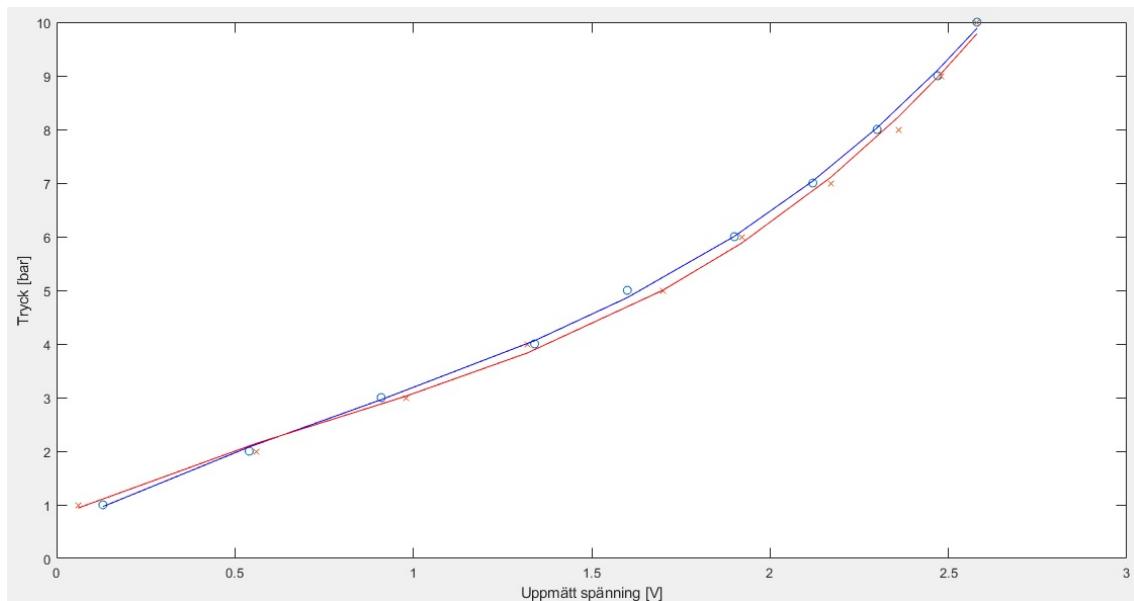
I systemet användes totalt fyra stycken temperaturgivare men inkopplingarna såg identiska ut bortsett från att insignalen tas in på olika pinnar på mikrokontrollern. Värdet på resistansen i kopplingen var $4,7\text{ k}\Omega$.

För att mäta trycket i systemet användes, som tidigare nämnts, oljetrycksgivare vars resistans ökade med ökat tryck. En begränsning med Arduino UNO:n är att den inte kan utföra resistansmätningar, men genom att koppla givaren i serie med en resistans med ett känt värde kunde istället spänningsförändringar över givaren detekteras. Kopplingen kan ses i figur 4.8 nedan.



Figur 4.8: *Spänningsdelning över tryckgivare med variabel resistans.*

Genom att mäta upp spänningen över tryckgivaren för olika tryck kunde följande graf plottas i MatLab.



Figur 4.9: *Uppmätt spänning vid olika tryck.*

I figur 4.9 kan ringarna och kryssen utläsas som mätvärdena för de två tryckgivarna. Det kan även ses att de två olika givarna visar hyfsat lika spänningsvärden vid samma tryck. Därefter har en kurvanpassning gjorts till dessa mätvärden. Programkoden för att generera grafen ovan kan ses i figur 4.10 nedan.

```

trycksensor_matdata.m  X +
1 -   clc
2 -   clearvars
3
4 -   grad = 3; %Välj vilket gradtal på polynomet som önskas
5
6 -   X1 = [0.13 0.54 0.91 1.34 1.6 1.9 2.12 2.3 2.47 2.58];
7 -   Y1 = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
8
9 -   X2 = [0.06 0.56 0.98 1.32 1.7 1.92 2.17 2.36 2.48 2.58];
10 -  Y2 = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
11
12 -  plot(X1, Y2, 'o')
13 -  hold on
14 -  plot(X2, Y2, 'x')
15
16 -  p1 = polyfit(X1,Y1,grad);
17 -  pp1 = polyval(p1,X1);
18 -  plot(X1,pp1,'b')
19
20 -  p2 = polyfit(X2,Y2,grad);
21 -  pp2 = polyval(p2,X2);
22 -  plot(X2,pp2,'r')

```

Figur 4.10: Programkod för kurvanpassning till mätvärdena för de två tryckgivarna.

Programkoden använder sig av funktionen `polyfit` för att göra kurvanpassningen till mätvärdena. I koden ovan har en kurvanpassning av tredje ordningen gjorts vilket gör att kurvan anpassats någorlunda bra till mätpunkterna samt att ekvationen inte blev allt för komplex. Ekvationen kan ses i ekvation 4.6

$$P(U) = c_1 U^3 + c_2 U^2 + c_3 U + c_4 \quad (4.6)$$

Koefficienterna $c_1 - c_4$ kan utläsas i vektorerna `p1` och `p2` för de olika tryckgivarna. I programkoden för det färdiga styrsystemet användes koefficienterna i `p2` för båda tryckgivarna. Dessa kan ses nedan.

- $c_1 = 0.5531$
- $c_2 = -1.2268$
- $c_3 = 2.9798$
- $c_4 = 0.7653$

Funktionen för att bestämma trycket i systemet togs fram i utvecklingsmiljön Arduino IDE. Koden för denna funktion kan ses i figur 4.11.

```

float pressure_calc(float voltage) {
    float pressure = pow(voltage,3)*0.55431 - pow(voltage,2)*1.2268 + voltage*2.9798 + 0.7653;
    return pressure;
}

```

Figur 4.11: Programkod för bestämma tryck utifrån uppmätt spänning.

I figur 4.11 kan ses att funktionen vill ha ett inargument i form av den uppmätta spänningen. Funktionen returnerar sedan vilket tryck denna spänning motsvarar.

4.2.2 Expansionsventil

Stegmotorn för att öppna respektive stänga expansionsventilen styrs genom att skicka ett visst bitmönster på dess 4 ingångspinnar. Från följande figur kan utläsas vilket bitmönster som skulle skickas för att expansionsventilen skulle öppnas respektive stängas.

↓ OPENING ↓	Coil I		Coil II		Common	↑ CLOSING ↑
	Orange	Yellow	Red	Black	Gray	
	on	off	off	off	0	
	on	off	on	off	0	
	off	off	on	off	0	
	off	on	on	off	0	
	off	on	off	off	0	
	off	on	off	on	0	
	on	off	off	on	0	

Figur 4.12: Bitmönster för att öppna respektive stänga expansionsventilen.

Genom att skicka bitmönstret 60 gånger gick expansionsventilen från helt öppen till helt stängd, och tvärtom. Pinnarna kopplades direkt till 4 utportar på Arduinokortet. Två stycken funktioner skapades i Arduino IDE, en för att öppna expansionsventilen ett steg och en för att stänga expansionsventilen ett steg. Funktionerna kan ses figur 4.13 och 4.14 nedan.

```
void openvalve() {
  PORTB = 0b11000001;
  delay(5);
  PORTB = 0b11010001;
  delay(5);
  PORTB = 0b11010000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11011000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11001000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11101000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11100000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11100001;
  delay(5);
}
```

Figur 4.13: Funktion för att öppna expansionsventilen ett steg.

```
void closevalve() {
  PORTB = 0b11100001;
  delay(5);
  PORTB = 0b11100000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11101000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11001000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11011000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11010000;
  delay(5);
  PORTB = 0b11010001;
  delay(5);
  PORTB = 0b11000001;
  delay(5);
}
```

Figur 4.14: Funktion för att stänga expansionsventilen ett steg.

De digitala I/O-portarna som användes på Arduinokortet för styrning av expansionsventilen var D8, D11, D12 och D13. Dessa nåddes lättast genom att skriva till PORTB registret. Funktionerna hade inga inargument och returnerade heller ingen data.

Genom att placera en tryckgivare samt en temperaturgivare efter förångaren kunde expansionsventilen styras. Det uppmätta trycket skickades in i en funktion för att bestämma vid vilken temperatur som mediet för tillfället övergick från flytande till gasform. Denna funktion togs fram på liknande sätt som funktionen för att omvandla spänning till tryck. Först matades värden för kokpunkt vid respektive tryck in i Mat-Lab. Dessa värden hämtades från en tabell för köldmediet r134a. Genom att sedan kurvanpassa med polyfit kunde en funktion genereras. Funktionen implementerades sedan på liknande vis i Arduino IDE som tidigare, med skillnaden att koefficienterna nu hade andra värden. Funktionen kan ses i figur 4.15.

```
float boilingpoint_calc(float pressure) {
    float boilingpoint = (-pow(pressure,4)*0.0251 + pow(pressure,3)*0.7599 - pow(pressure,2)*8.1030 + pressure*40.5400 - 63.2226);
    return boilingpoint;
}
```

Figure 4.15: Programkod för att bestämma kokpunkt vid ett visst tryck.

I figur 4.15 kan ses att funktionen vill ha ett tryck som inargument och returnerar sedan kokpunkten vid detta tryck. Genom att sedan subtrahera kokpunkten från den av temperaturgivaren uppmätta temperaturen kunde graden av överhettning beräknas. Ur säkerhetssynpunkt bedömdes sedan att en överhettning på minst 6°C var nödvändigt för att skydda kompressorn mot vätskeslag. För att inte göra systemet alldeles för ineffektivt sattes även ett tak att överhettningen inte fick överstiga 10°C. Ifall överhettningen sjönk under 6°C började expansionsventilen att stänga, vilket då minskade mängden köldmedium i förångaren. Detta medförde då en ökning av överhettningen. På liknande vis åstadkoms en minskning av överhettningen då denna översteg 10°C, men med den skillnaden att expansionsventilen då öppnades istället. Detta åstadkoms genom några på varandra följande if-satser i programkoden för styrsystemet. I if-satsernas argument kontrolleras även att expansionsventilen inte redan är helt öppen eller helt stängd innan if-satsen exekveras. Det har även lagts till en räknarvariabel för att fördröja förloppet ett tag då det finns en viss fördröjning i värmeutbytet mellan köldmedium och koppar och sedan från koppar till temperaturgivare. Programkoden för styrningen av expansionsventilen kan ses i figur 4.16 nedan.

```

if ((actual_temp <= desired_temp + 2) && (fluctuation_of_temp == 1)) {
    digitalWrite(compressor_pin, HIGH);

    if (compressor_on_off == 1) {
        exp_valve_position = valve_start_position(valve_initiator_variable);
        compressor_on_off = 0;
    }

    if ((superheat < 6) && (exp_valve_position > 1) && (delay_counter == 2)) {
        closevalve();
        exp_valve_position = exp_valve_position - 1;
        delay_counter = 0;
    }

    else if ((superheat > 10) && (exp_valve_position < 60) && (delay_counter == 2)) {
        openvalve();
        exp_valve_position = exp_valve_position + 1;
        delay_counter = 0;
    }

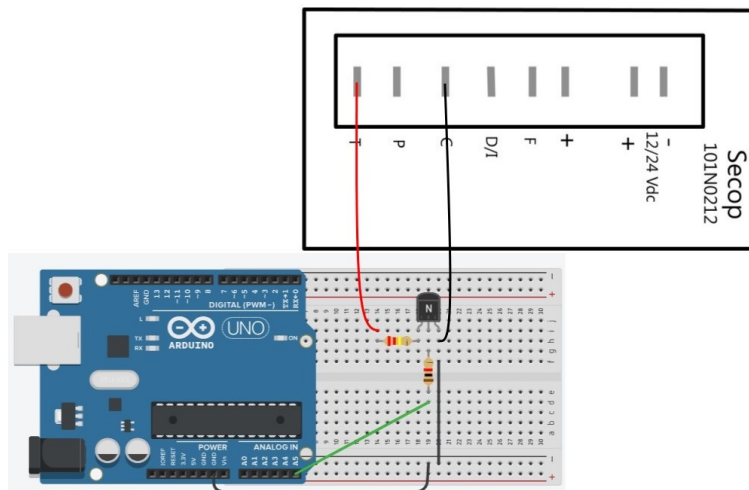
    else if (delay_counter < 2){
        delay_counter = delay_counter + 1;
    }
}

```

Figur 4.16: Programkod för att styra när expansionsventilen skall öppna respektive stänga.

4.2.3 Kompressor

Kompressorn som valdes för systemet var som tidigare nämnts i teoriavsnittet kapabel att köra på olika hastigheter. I projektet användes dock bara en hastighet på kompressorn. Kopplingen för att styra kompressorn kan ses i figur 4.17.



Figur 4.17: Koppling för att styra kompressorn.

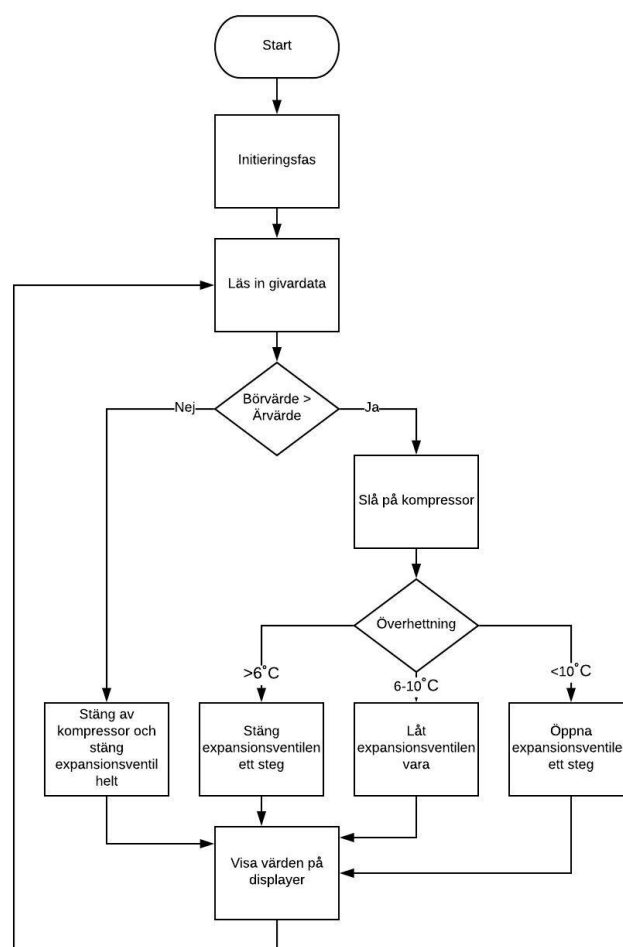
12 V DC kopplades till matningsanslutningen på kompressorns kontrollenhet. Genom att sedan koppla en resistans mellan C och T anslutningen i figur 4.17 kunde kompressorn köras. NPN-transistorn användes som en switch för att kunna bryta kretsen. På så vis kunde kompressorn sättas på och stängas av med hjälp av en styrsignal till transistorns bas-ben.

4.2.4 Fläktar

Två stycken 12 V DC fläktar användes i systemet för att öka kyl- respektive värmeeffekten på förgångar- respektive kondensorsidan. Fläktarna kopplades på samma sätt som kompressorn gjordes. Genom att använda PWM-portar på Arduinokortet kunde fläktarnas hastigheter styras. I systemet användes dock bara fläktarnas maxhastighet då värmeväxlarna krävde detta för att uppnå ett tillräckligt värmeutbyte.

4.2.5 Regulatorn

När alla givarvärden och styrsignaler in och ut från Arduinokortet var bestämda kunde den slutliga utformningen av regulatorn designas. Följande flödesschema utformades för att på ett överskådligt vis få en bild av hur regulatorn skulle designas.



Figur 4.18: Flödesschema för regulatorn.

När systemet startas görs först en initiering av reglerprogrammet. Variabler deklarerar, varje I/O-port på Arduinokortet sätts i antingen skriv- eller läsläge, seriel överföring från temperaturgivarerna konfigureras och expansionsventilen sätts i en känd position. Därefter kommer programmet in i en evighetsloop. Här läses först alla givarvärden in och sparas i olika variabler. Ett önskat börvärde för temperaturen i kupén ställs in av användaren med hjälp av två tryckknappar. Detta värde jämförs

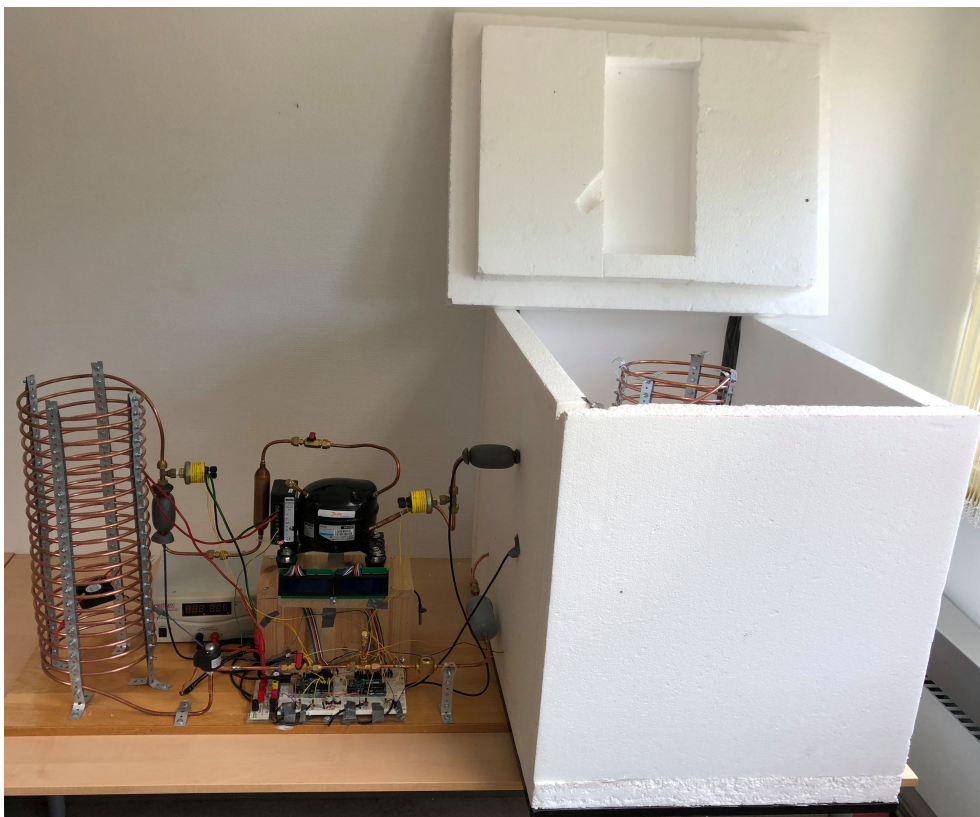
sedan med det aktuella ärvärdet för temperaturen i kupén. Beroende på om det aktuella värdet är större eller mindre än det önskade värdet kommer kompressorn att stängas av eller sättas på. I händelse av att ärvärdet är större än börvärdet kommer kompressorn stängas av och expansionsventilen stängas helt. Detta på grund av att tryckskillnaden mellan högtrycks- och lågtryckssidan vill bibehållas. Ifall istället ärvärdet är mindre än börvärdet kommer kompressorn att sättas på. Positionen för expansionsventilen sätts sedan utifrån vilken grad av överhettningen som för tillfället erhålls efter förångaren. Slutligen visades all givardata samt expansionsventilens position på två displayer innan loopen började om.

För att inte kompressorn skulle slå på och stänga av allt för ofta sattes även en funktion in att kupén värmdes upp till två grader över det inställda börvärdet. Därefter var även det aktuella värdet i kupén tvunget att sjunka ned till två grader under det inställda börvärdet innan kompressorn sattes på igen. Programkoden för denna funktion samt programkoden för hela systemet kan ses i appendix A.

5

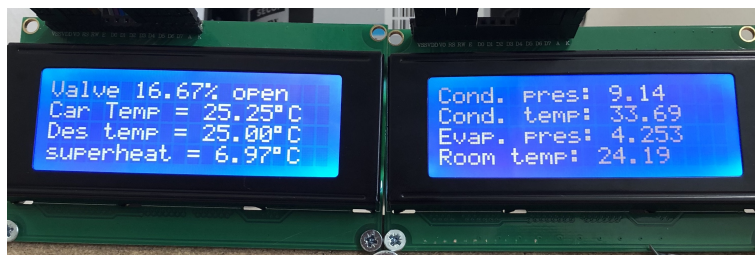
Resultat

Det färdiga systemet kan se i figur 5.1 nedan.



Figur 5.1: *Det färdiga värmepumpssystemet.*

Resultatet blev en värmepump med en verkningsgrad på cirka 200%. På värmepumpens panel kan man ställa in en önskad temperatur och den klarar av att leverera denna temperatur med en precision på 2-3 °C. Värmepumpen är även utrustad med två LCD displayer som visar bland annat temperatur i kupén, tryck på hög och lågtrycksida, utomhustemperatur och expansionsventilens position. Displayerna kan ses i figur 5.2. Värmepumpen arbetade inte under riktigt samma tryck och kokpunkter som systemet var designat att arbeta under. Vid drift var trycket på lågtrycksidan cirka 3 bar och 12 bar på högtrycksidan. Detta motsvarar en kokpunkt på cirka 0.7 °C och en kondenseringstemperatur på cirka 40 °C.



Figur 5.2: *Displayer på värmepumpens panel.*

5.1 Verkningsgrad

Beräkningen av verkningsgraden för värmepumpen utfördes genom att beräkna ett medelvärde på den effekt som värmepumpen förbrukar när den konstant värmer bilkupén 5°C över utomhustemperaturen. Detta utfördes genom att göra en mätserie över hur lång tid som kompressorn var på respektive av under en viss tidsperiod. Anledningen till detta var att när kompressorn var igång och drog effekt för att värma upp kondensorn och sedan stängdes av kommer den varma kondensorn fortfarande att avge värmeeffekt till det omgivande mediet även fast ingen effekt tillförs till systemet. I styrsystemet startas kompressorn när temperaturen i kupén var 0.5°C kallare än den önskade temperaturen och den stängdes sedan av när temperaturen i kupén var 0.5°C varmare än den önskade temperaturen.

Tidtagningen startades när kompressorn drog igång, sedan antecknades hur lång tid kompressorn var på innan temperaturen i bilkupén nådde det önskade värdet. Det antecknades även hur lång tid kompressorn var avstängd innan temperaturen hade sjunkit till 0.5°C kallare än den önskade temperaturen igen. Tidtagningen skedde under 2 cykler. Tidtagningen kan ses i tabell 5.1 nedan. Den totala effekt som kompressorn förbrukade under en cykel beräknades genom att multiplicera den energi kompressorn förbrukade per sekund med antalet sekunder den var på. När kompressorn arbetar drar den 5.4 A med en matningsspänning på 12 V, vilket innebär att den förbrukar cirka 64.8 W. Om kompressorn arbetar i 84 sekunder innebär det att den förbrukar cirka 5443 J. När man delar denna förbrukade energi med totala antalet sekunder under en cykel får man reda på ungefär hur mycket energi som kompressorn förbrukar per sekund under drift. Enligt beräkning förbrukar kompressorn cirka 6 W.

Tabell 5.1: *Tabell över tidtagning av uppvärmningscykel*

Tid kompressor på	Tid kompressor av	Total tid	Förbrukad energi
1 min 24 s	13 min 41 s	15 min 5 s	5443 J
1 min 23 s	14 min 12 s	15 min 35 s	5378 J

För att beräkna den effekt som behövs för att värma upp ett visst utrymme ett visst antal grader över utomhustemperaturen användes en kalkylator vilken beräknar effektbehovet för ett visst utrymme [14]. Denna kalkylator utgår från 3 kriterier vid beräkning av den förbrukade effekten.

1. Rummets totala volym.
2. Rummets isolering.
3. Hur många grader över utomhustemperaturen rummet skall värmas till.

I testet för denna värmepump räknades det ut vilken effekt som krävdes för att värma upp frigolitlådan med en volym på 0.21 m^3 till $5 \text{ }^\circ\text{C}$ över rumstemperaturen i testlokalen. Isoleringen i frigolitlådan ansågs god. Beräkningen visade att det behövdes en effekt på cirka 12 W för att värma upp lådan till denna temperatur.

När den effekt som värmepumpen arbetar med kändes till och vilken effekt som behövdes för att värma upp lådan kändes till kunde en verkningsgrad beräknas med ekvation 5.1.

$$\eta = \frac{\text{Levererad effekt}}{\text{Förbrukad effekt}} = \frac{12}{6} = 200\% \quad (5.1)$$

6

Diskussion

Som avslutande del på denna rapport kommer resultat av projektet att utvärderas. De uppsatta frågeställningarna som inte redan besvarats kommer att besvaras och därefter kommer idéer på förbättringar att diskuteras.

6.1 Svar på Frågeställningar

Följande underrubriker kommer besvara de frågeställningar som sattes upp vid projektets start.

6.1.1 Hur kompakt kan värmepumpen byggas?

Det som avgör hur kompakt ett värmepumpssystem kan byggas beror till stor del på vilka kyl- respektive värmeeffekter man vill att systemet skall kunna leverera. De komponenter som tar mest plats i systemet är förångaren och kondensorn. Om man vill att dessa komponenter skall kunna ta upp respektive avge mer effekt behöver man antingen öka arean på dessa alternativt använda starkare fläktar. Hur kompakt ett värmepumpssystem kan byggas beror även på vilket köldmedium som används. Vissa köldmedier kräver att de befinner sig i väldigt höga tryck för att kunna användas. Värmepumpssystem som arbetar under höga tryck kräver större och kraftfullare komponenter för att kunna klara av de höga trycken. Om man även vill att systemet skall klara av att arbeta under extrema temperaturer är detta också något som behövs tas med i beräkningarna vid designen.

Det är svårt att säga exakt hur kompakt ett värmepumpssystem kan byggas då det till stor del beror på vilka temperaturförhållanden systemet är designat för att klara av. Det går att bygga väldigt kompakta värmepumpar, men risken finns att värmepumpens effektivitet minskar ju mer kompakt värmepumpen blir. Värmeväxlarna har dock inget specifikt sätt de måste konstrueras på för att fungera effektivt utan de kan konstrueras för att passa det specifika utrymmet i exempelvis en bil. I en verklig situation där en värmepump skall konstrueras till en specifik bilmodell vet man med sig storleken på utrymmet och kan då lättare välja komponenter och storlek på systemet utefter detta.

6.1.2 Vilket köldmedium bör användas?

För applikation i en bil borde det övervägas att byta köldmedium från r134a. En anledning till detta är att r134a innehåller en hög nivå av växthusekvivalenter. Det pågår idag forskning kring att använda koldioxid som köldmedium vilket skulle vara mycket mer fördelaktigt ur miljöperspektivet. Ett annat alternativ skulle kunna vara köldmediet r1234yf som också är betydligt mer miljövänligt och som har egenskaper

som liknar r134a.

En annan faktor som spelar roll vid val av köldmedium är hur effektivt systemet blir vid olika temperaturer. Exempelvis kommer samma värmepump att sitta i bilen oavsett om den ska köras i väldigt varma klimat eller väldigt kalla klimat. Temperaturen kan således variera i extrema fall från -40°C till 50°C . Detta ställer väldigt höga krav på systemet som helhet men speciellt på vilket köldmedium som används.

Vid konstruktionen av denna prototyp har det dock varit fördelaktigt att använda r134a som köldmedium då det funnits en längre tid. Detta gjorde informationssökning enklare, samt att det fanns ett större urval av kompatibla komponenter. Med koldioxid som köldmedium hade det dock varit mer riskfritt att göra experiment då detta inte hade påverkat miljön på samma sätt som r134a hade gjort om det råkat vara läckage i systemet.

6.1.3 Vilken matningsspänning är mest lämplig?

I dagens elbilar finns det flera olika nivåer av matningsspänning att tillgå, från 12 V DC till 400 V trefas. Genom att använda 12 V DC vid konstruktionen av denna prototyp har det lättare gått att testa systemet. I ett system som skall implementeras i elbil kan en mer kraftfull kompressor komma att behövas, vilket i så fall kan leda till att en högre matningsspänning behöver användas. Många av de säkerhetsventiler som idag används i kyl- och värmepumpssystem styrs av spolar som på- och avmagnetiseras, vilket i så fall kräver en växelspanning. Dessa ventiler skulle dock egentligen lika gärna kunna styras med DC-matade stegmotorer. Detta skulle göra systemen mer energieffektiva och kompakta. Spänningsmatningen till systemet är alltså inte ett speciellt stort problem då de flesta spänningsnivåer finns att tillgå i dagens elbilar.

6.1.4 Hur energieffektiv kan värmepumpen bli?

Det som avgör hur energieffektiv en värmepump kan bli beror även här på vad för temperaturer som värmepumpen tillmestadels kommer att arbeta under. Till exempel är en värmepump mer energieffektiv om den arbetar under gynnsamma förhållanden. En värmepump som arbetar under extrema vintertemperaturer kommer behöva arbeta hårdare och förbruka mer effekt än en värmepump som endast behöver värma en bilkupé några få grader utöver utomhustemperaturen.

Det är också avgörande hur väl dimensionerat systemet är och hur noggranna givare som används. Om givarna är noggranna och överensstämmer bra med verkligheten bidrar det till att styrsystemet blir mer effektivt och gör bättre bedömningar i reglerprocessen. Slutsatsen är att ju bättre systemet dimensioneras, desto mer effektivt kommer systemet att bli.

6.2 Vidareutveckling

Det system som designades blev effektivt då verkningsgraden översteg 100 %. Dock finns det förbättringspotential som skulle kunna öka systemets förmåga och drift-

säkerhet. En faktor som påverkade systemet negativt var att tryckgivarna inte gav data som helt överensstämde med verkligheten. De kunde inte heller visa tryck högre än 10 bar. Tryckgivare som ger tillförlitlig mätdata hade kunnat göra systemet mer effektivt och även bidra till en ökad driftssäkerhet. Att inte veta exakt hur högt trycket blev på högtrycksidan under drift var en säkerhetsrisk för systemet. I vårt fall fick vi hjälp av en kyltekniker som hade en manometer att mäta upp trycket med på högtrycksidan. Vi kan också rekommendera att satsa på att installera starkare fläktar i systemet. Under drift av systemet användes en extern fläkt för att öka värmeväxlingen på förångaren för att överhettningen skulle kunna hållas på en bra nivå.

En vidareutveckling av systemet skulle vara att installera en 4-vägsventil i systemet som hade gjort det möjligt att både kunna kyla och värma en bilkupé. Det kan också vara intressant att ta reda på exakt hur mycket utrymme för en värmepump som finns i en bil och designa pumpen efter detta. Något som vi har kollat lite på under projektet är också hur man skulle kunna utnyttja den spillvärme som alstras från motor och batteri i en elbil. Vi har tagit reda på att det idag finns slingor runt batteriet som är till för kylning, den värme som tillförs denna slinga skulle kanske kunna användas för att generera värme till värmepumpens förångare.

6.3 Miljömässigt Perspektiv

Värmepumpen i sig kom till i syfte att göra nedkylnings- och uppvärmningsprocesser av utrymmen mer energieffektiva. Det har dock varit en krokig väg med köldmedier innehållandes exempelvis freoner. De köldmedier som idag mestadels används innehåller en stor mängd växthusekvivalenter vilket bidrar till en ökad växthuseffekt i de fall de släpps ut i atmosfären. Det pågår däremot mycket forskning inom området och förhoppningsvis kan köldmedier med mycket låga växthusekvivalenter komma att ta över marknaden inom en snar framtid. Exempelvis används redan r1234yf i vissa bilmodeller. Detta ämne har en växthusekvivalent på endast 4, till skillnad från r134a som har cirka 1300 växthusekvivalenter.

Transportsektorn bidrar idag till en stor del av den globala uppvärmningen. Med en effektivt designad värmepump i en elbil kan räckvidden markant förlängas. Med fortsatt utveckling av elfordon kan förhoppningsvis dessa komma att användas mer och mer inom transportsektorn, vilket i längden skulle leda till en minskad global uppvärmning.

Referenser

- [1] L. Feng and P. Hrnjak, "Modeling of a Reversible Air Conditioning-Heat Pump System for Electric Vehicles," *SAE International Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems*, vol. 9, no. 1, pp. 2016–01–0261, 2016. [Online]. Available: <http://papers.sae.org/2016-01-0261/>
- [2] Thomas E. Moore; Green Car Reports, "Electric-Car Battery Energy: Why Waste It On Cabin Heating? (Video)," 2016. [Online]. Available: https://www.greencarreports.com/news/1102028{__}electric-car-battery-energy-why-waste-it-on-cabin-heating-video
- [3] L.-O. Glas, *Värmepumpboken*. Ingenjörsförlaget, 1978. [Online]. Available: <http://chans.lib.chalmers.se/record=b1060213>
- [4] Y. A. M. A. B. Cengel, *Thermodynamcis, An Engineering Approach*, 6th ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2007.
- [5] R. Nydal, *Praktisk Kylteknik*, 2nd ed., A. Hjorth, Ed. Halmstad: Printografen, 2016.
- [6] Berg Chilling Systems, "Refrigeration Principles and how a Refrigeration System Works | Berg Chilling Systems," 2017. [Online]. Available: <https://berg-group.com/engineered-solutions/the-science-behind-refrigeration/>
- [7] Wikipedia, "File:Thermostatic Expansion Valve PHT.jpg - Wikimedia Commons." [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermostatic{__}Expansion{__}Valve{__}PHT.jpg{#}filelinks
- [8] —, "ATmega328," 2018. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328>
- [9] —, "Arduino UNO," 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino{__}Uno
- [10] J. Henriksson and H. Nilsson, *Bygg din egen värmepump*, 1st ed. Ljungby: Ljungby Grafiska AB, 1983.
- [11] E. Toolbox, "Overall Heat Transfer Coefficients for Fluids - Heat Exchanger Surface Combinations." [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficients-d_284.html
- [12] A. Merkel, "Klimat Göteborg: Temperatur, Klimat graf, Klimat bord." [Online]. Available: <https://sv.climate-data.org/location/197/>
- [13] P. Evans, "Thermodynamic properties of refrigerant R-134a - The Engineering Mindset." [Online]. Available: <http://theengineeringmindset.com/thermodynamic-properties-refrigerant-r-134a/>
- [14] M. Tech, "BTU Calculator." [Online]. Available: <http://www.calculator.net/btu-calculator.html?roomwidth=0.5{&}roomwidthunit=meters{&}roomlength=0.6{&}roomlengthunit=meters{&}ceilingheight=>

0.7{\&}ceilingheightunit=meters{\&}insulation=good{\&}temperature=
5{\&}temperatureunit=c{\&}calctype=heat{\&}x=84{\&}y=23

A

Programkod

```
// Heat pump program
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>

#define actual_temp_pin      14 //Pin A0 as digital pin
#define evaporator_temp_pin  15 //Pin A1 as digital pin
#define evaporator_pressure_pin 2 //Pin A2 as analog pin
#define increase_desired_temp_pin 17 //Pin A3 as digital pin
#define decrease_desired_temp_pin 18 //Pin A4 as digital pin
#define compressor_pin       19 //Pin A5 as digital pin
#define PWM_fan_evaporator   9
#define PWM_fan_condensor    10

double evaporator_temp      = 0;
double actual_temp          = 0;
float evaporator_voltage    = 0;
float evaporator_pressure   = 0;
float boiling_temp          = 0;
float desired_temp          = 25;
float superheat              = 0;
int button_state_increase   = 0;
int button_state_decrease   = 0;
int exp_valve_position       = 0;
int fluctuation_of_temp     = 1;
int valve_initiator_variable = 10; //Opens exp. valve 16%
int compressor_on_off       = 1;
int delay_counter           = 2;
float display_position       = 0;
int starting_state_variable = 1;

LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2);

OneWire oneWire_evaporator_temp(evaporator_temp_pin);
OneWire oneWire_actual_temp(actual_temp_pin);

DallasTemperature dallas_evaporator_temp(&oneWire_evaporator_temp);
DallasTemperature dallas_actual_temp(&oneWire_actual_temp);

void setup() {
  lcd.begin(20,4);
  Serial.begin(9600);
  dallas_evaporator_temp.begin();
  dallas_actual_temp.begin();
  lcd.print("Loading heat pump...");
  DDRB = 0b11111111;
  pinMode(compressor_pin, OUTPUT);
  pinMode(actual_temp_pin, INPUT);
  pinMode(evaporator_temp_pin, INPUT);
  pinMode(increase_desired_temp_pin, INPUT);
  pinMode(decrease_desired_temp_pin, INPUT);
}

void loop() {

  analogWrite(PWM_fan_evaporator, 255);
  analogWrite(PWM_fan_condensor, 255);

  if(starting_state_variable == 1){
    exp_valve_position = close_valve_completely(60);
    lcd.clear();
    starting_state_variable = 0;
  }

  dallas_evaporator_temp.requestTemperatures();
  dallas_actual_temp.requestTemperatures();

  evaporator_temp = dallas_evaporator_temp.getTempCByIndex(0);
  actual_temp      = dallas_actual_temp.getTempCByIndex(0);

  evaporator_voltage = analogRead(evaporator_pressure_pin)*0.004882813;
  evaporator_pressure = pressure_calc(evaporator_voltage);
  boiling_temp        = boilingpoint_calc(evaporator_pressure);
```

A. Programkod

```
button_state_increase = digitalRead(increase_desired_temp_pin);
button_state_decrease = digitalRead(decrease_desired_temp_pin);

    if ((button_state_increase == HIGH) && (desired_temp < 40)) {
        desired_temp = desired_temp + 0.5;
    }

    else if ((button_state_decrease == HIGH) && (desired_temp > 20)) {
        desired_temp = desired_temp - 0.5;
    }

superheat = evaporator_temp - boiling_temp;

if ((actual_temp <= desired_temp + 2) && (fluctuation_of_temp == 1)) {
    digitalWrite(compressor_pin, HIGH);

    if (compressor_on_off == 1) {
        exp_valve_position = valve_start_position(valve_initiator_variable);
        compressor_on_off = 0;
    }

    if ((superheat < 6) && (exp_valve_position > 1) && (delay_counter == 2)) {
        closevalve();
        exp_valve_position = exp_valve_position - 1;
        delay_counter = 0;
    }

    else if ((superheat > 10) && (exp_valve_position < 60) && (delay_counter == 2)) {
        openvalve();
        exp_valve_position = exp_valve_position + 1;
        delay_counter = 0;
    }

    else if (delay_counter < 2){
        delay_counter = delay_counter + 1;
    }
}

else {
    digitalWrite(compressor_pin, LOW);
    fluctuation_of_temp = 0;

    if (exp_valve_position > 0) {
        exp_valve_position = close_valve_completely(exp_valve_position);
    }

    if (actual_temp <= desired_temp - 2) {
        fluctuation_of_temp = 1;
        compressor_on_off = 1;
    }
}

display_position = exp_valve_position;
display_position = (display_position/60)*100;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print(" Valve ");
    lcd.print(display_position);
    lcd.print("% open");
    delay(10);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Car Temp = ");
    lcd.print(actual_temp);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    delay(10);
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("Des temp = ");
    lcd.print(desired_temp);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    delay(10);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("superheat = ");
    lcd.print(superheat);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    delay(10);
}

void openvalve() {
    PORTB = 0b11000001;
    delay(5);
    PORTB = 0b11010001;
    delay(5);
    PORTB = 0b11010000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11011000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11001000;
    delay(5);
    PORTB = 0b1101000;
    delay(5);
    PORTB = 0b1100000;
    delay(5);
}
```

```
    PORTB = 0b11100001;
    delay(5);
}

void closevalve() {
    PORTB = 0b11100001;
    delay(5);
    PORTB = 0b11100000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11101000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11001000;
    delay(5);
    PORTB = 0b1011000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11010000;
    delay(5);
    PORTB = 0b11010001;
    delay(5);
    PORTB = 0b11000001;
    delay(5);
}

float pressure_calc(float voltage) {
    float pressure = pow(voltage,3)*0.5531-pow(voltage,2)*1.2268+voltage*2.9798+0.7653;
    return pressure;
}

float boilingpoint_calc(float pressure) {
    float boilingpoint = (-pow(pressure,4)*0.0251+pow(pressure,3)
        *0.7599-pow(pressure,2)*8.1030+pressure*40.5400-63.2226);
    return boilingpoint;
}

int close_valve_completely(int valve_position) {
    int count = valve_position + 5;

    while(count != 0){
        closevalve();
        count = count - 1;
    }
    return count;
}
```