# Automobilová klimatizační jednotka

Marek Lehocký

Vedoucí práce: Ing. Jan Fiala

***Abstrakt***

Práce se zabývá popisem konstrukce a sestavení testovacího a demonstračního zařízení pro automobilové klimatizace a řešením ovládacího programu pro toto zařízení. Obsahuje zároveň data z měření.

***Klíčová slova***

*KLIMATIZACE, AUTOMOBILOVÁ KLIMATIZECE, CHLAZENÍ*

## 1. Úvod

Cílem této práce bylo na základě dohody Odboru mechaniky tekutin a termodynamiky s firmou SHOWA Aluminium Czech s. r. o. sestavit funkční model automobilového klimatizačního okruhu. Ten měl být použitelný pro měření vlastností oběhu a rovněž jako laboratorní práce pro studenty Fakulty strojní. Původní koncepci zařízení navrhl Ing. Jan Fiala, mým úkolem bylo ji rozpracovat a ve spolupráci s Ing. Fialou realizovat.

Funkční součásti oběhu, tedy kompresor, kondenzátor, výparník a expanzní ventil jsou díly z automobilu VW Golf. Tyto komponenty klimatizačního okruhu byly poskytnuty z firmy SHOWA. Základním problémem tedy bylo vhodným způsobem je umístit, propojit okruh hadicemi. Dále bylo nutné navrhnout řídící program, který musí obstarávat řízení jednotlivých komponentů a sběr dat z měřících prvků. Jako optimální se jevilo řízení pomocí PC. K tomu jsem zvolil prostředí LabView a do programu jsem zakomponoval prvky řízení jednotlivých částí okruhu, tedy řízení motorů a zdvihu kompresoru, spolu s odečty hodnot z měřících přístrojů. V této práci nastíním princip funkce klimatizačního okruhu a měřících zařízení. Dále popisuji technickou realizaci zařízení a nakonec i ovládací program. Celé zařízení se skládá ze čtyř částí, stojanu s ventilátorem a kondenzátorem, stojanu s motorem pro pohon kompresoru a kompresorem a kabiny, která slouží jako ochlazovaný prostor, tedy model prostředí kabiny automobilu. V kabině je umístěn ventilační modul HVAC s výparníkem pro rozvod studeného vzduch v automobilu. Dále je v kabině ještě sedačka. Rámy byly stavěny z hliníkových profilů Alutec.

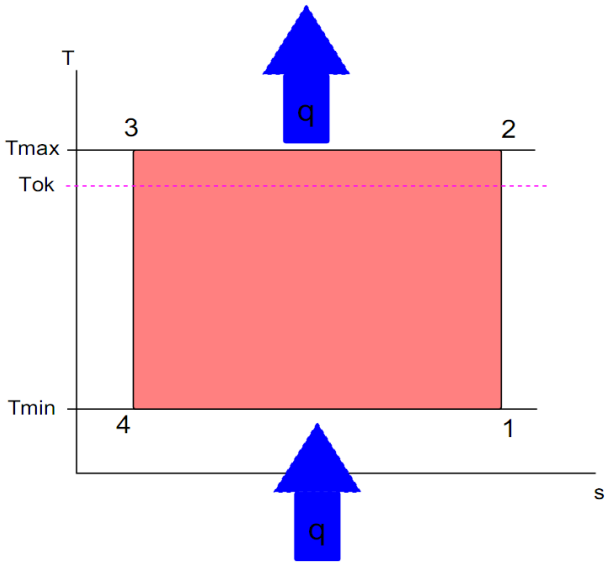
## 2. Chladící oběh

Chladící stroje se v poslední době v různých podobách staly nedílnou součástí našich životů a to nejen v podobě klasické ledničky. Téměř všechny moderní budovy jsou dnes vybaveny klimatizačními jednotkami a klimatizace stále častěji proniká i do běžných domácností. V našem případě se tedy budeme podrobněji zabývat klimatizačním zařízením v automobilu. Chladící oběh teoreticky dostaneme, pokud obrátíme směr oběhu tepelného motoru. V diagramech zobrazujeme oběh tepelného motoru jako pravoběžný, chladící stroj tedy bude levoběžný. Jedním z hlavních rozdílů je, že do oběhu musíme přivádět práci, aby bylo možné čerpat chladivo na vyšší tlakovou hladinu. Vlastní chlazení chlazeného média, v našem případě vzduchu, probíhá v části zvané výparník. Tam dochází k varu chladiva, přičemž se z okolí odebírá velké množství energie, odpovídající jeho výparnému skupenskému teplu. Teplota varu chladiva odpovídá tlaku ve výparníku. Chladící okruh se rozděluje na nízkotlakou a vysokotlakou větev, kdy v nízkotlaké je tlak 1 – 3 bary a ve vysokotlaké 15 – 20 barů podle použitého chladiva. Nižší, než atmosferický tlak (1 bar) není vhodný zejména z důvodu možného průniku vzduchu do okruhu, pokud se vyskytnou

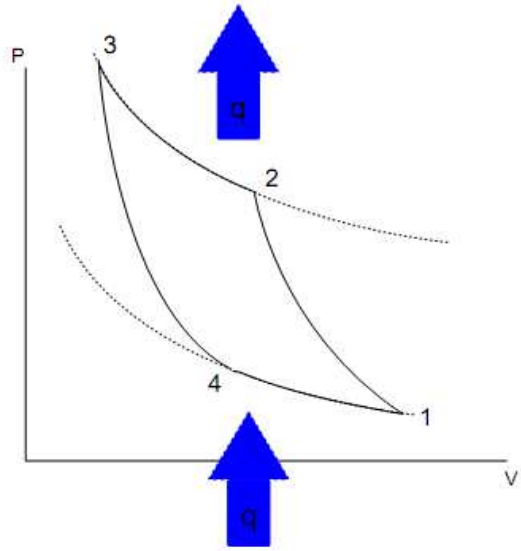
netěsnosti. Tekuté chladivo proudí z nádoby s vyšším tlakem (kondenzátor) do výparníku s tlakem nízkým. Regulaci průtoku, aby do kompresoru vstupovalo chladivo vždy v plynné fázi, zajišťuje expanzní ventil, kde je chladivu škrcením odebírána tlaková energie. Základní funkci vysvětlíme na příkladu Carnotova cyklu.

### 2.1 Obrácený Carnotův oběh.

Carnotův oběh má pro dané okrajové teploty $T_{max}$ a $T_{min}$ maximální možnou účinnost. Tvoří ho dvě isoentropy (1 – 2) a (3 – 4) spolu se dvěma isotermami. (obr. 1 a 2). Při isotermické kompresi (4 – 1) vstupuje do soustavy teplo z okolí. Toto teplo nám v podstatě určuje výsledný chladící výkon zařízení. Následuje adiabatická komprese (1 – 2) při které roste tlak a teplota média, tedy přečerpává se na vyšší tlakovou hladinu a dosáhne maximální teploty $T_{max}$. Při isotermické kompresi (2 – 3) odevzdává soustava teplo do okolí. Celý oběh je pak uzavřen adiabatickou expanzí (3 – 4), ve které se vrátí na původní teplotní hladinu $T_{min}$.




*Obr 1: Obrácený Carnotův cyklus*




*Obr 2: Obrácený Carnotův cyklus (p/V)*

### 2.2 Chladící oběh s parním médiem

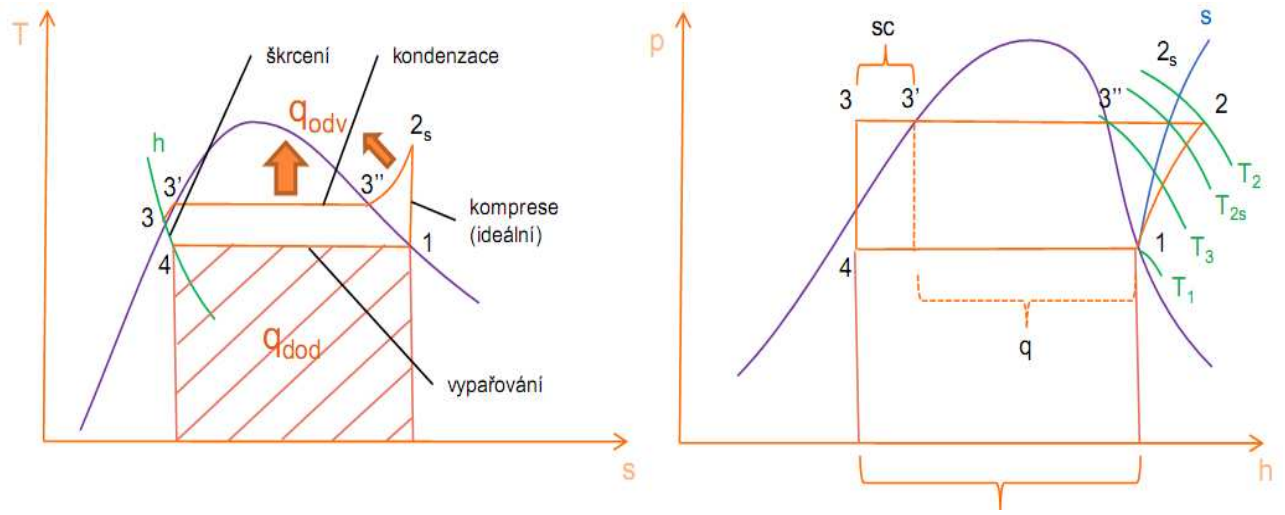
V našem případě je pro automobilovou klimatizaci použit oběh s parním mediem a to konkrétně Clausius – Rankinův oběh. Pro větší názornost je oběh zobrazen v T – s diagramu (obr. 3)

Teplo se odebírá okolí ve výparníku, kam vstupuje medium ve stavu mokré páry a kde při úplném odpaření přijme velké množství tepla z chlazeného prostoru (děj 4 – 1) . Mírně přehřáté páry pak vstupují do kompresoru, kde se v ideálním případě adiabaticky stlačí na tlak $p_2$ (1 – 2). Pára o vysokém tlaku dále prochází kondenzátorem, ve kterém se veškerá přemění na kapalinu a při tom odevzdává teplo přijaté z chlazeného prostoru do okolí (2 – 3). Pro zvýšení chladícího výkonu se používá takzvaného podchlazení tekutiny vystupující z kondenzátoru (3´ - 3) To nám v p – h diagramu posune bod, ze kterého škrtíme více doleva, čímž se zvýší rozdíl entalpií $h_1 – h_4$. Mírně podchlazená kapalina pak při průchodu expanzním ztratí svou tlakovou energii, částečně zkapalní a ochlazená vstupuje zpět do výparníku (3 – 4), aby se cyklus opakoval. Teplota ve výparníku musí být co nejnižší, ale zároveň nesmí namrzat, tedy přibližně 0°C. Chladící výkon je dán rozdílem entalpií

$$P_{ch} = (h_1 - h_3) \cdot \dot{m} \quad . \qquad 4.2$$

Chladící faktor pak vztahem:

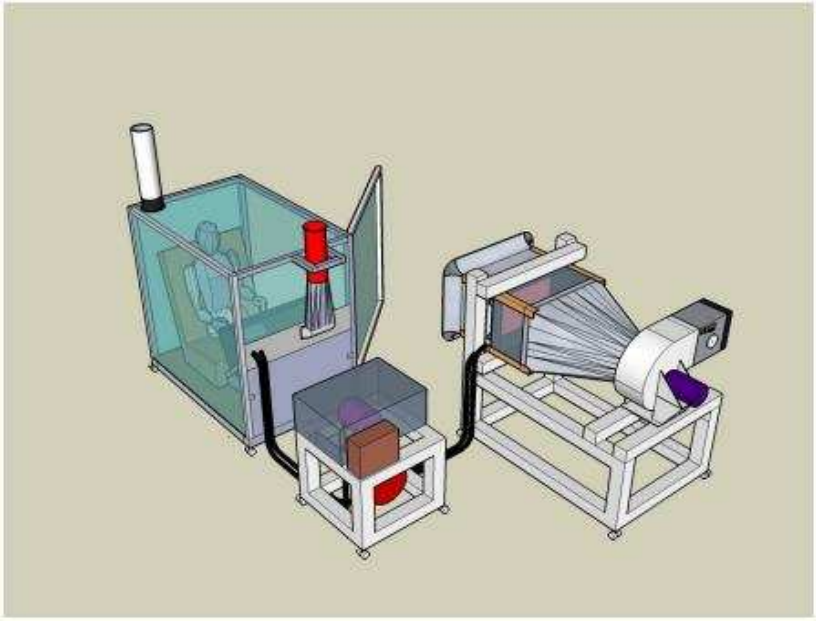
$$\eta_{ch} = \frac{q_{ch}}{|W_o|} = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \quad . \qquad 4.1$$




*Obr 3: Clausius - Rankinův cyklus s dvojfázovým mediem*

### 3. Konstrukce zařízení

V běžném automobilu je klimatizační okruh uložen v přední části, hlavně tedy v prostoru motoru . V kabině je pak ventilační jednotka HVAC s výparníkem. Jednotlivé komponenty jsme dostali zvlášť, proto bylo nutné navrhnout systém stojanů k uchycení a propojení všech částí. Další důležitou součástí byl pohon kompresoru, který v automobilu obstarává samotný motor přes spojku a klínový řemen. Podle předběžného návrhu ing. Fialy (obr 4) jsem následně vypracoval podrobnější modely jednotlivých součástí, včetně jejich konečných rozměrů. Pro potřeby výuky a demonstrace funkce klimatizace jsme dále potřebovali klimatizovaný prostor, který by nahradil kabinu automobilu. Ten je realizován jako prosklená skříň, představující jednoduchý model kabiny. Zařízení se tedy skládá ze stojanu pro kompresor a jeho pohon (motor), stojanu pro kondenzátor a ventilátor, kabiny s jednotkou HVAC a ovládacího počítače. Jednotlivé části jsou postaveny z hliníkových profilů Alutec.



*Obr 4: Původní návrh*

Stojan kompresoru

Tato součást musela být dimenzována především vzhledem k velikosti použitého motoru. Kompresor samotný zabírá poměrně málo prostoru. Dále je zde umístěna rozvodná skříň s bezpečnostním vypínačem a frekvenční měnič k ovládání motoru.

Stojan pro kondenzátor a ventilátor

Radiální ventilátor s výtlakem nahoru je připojen plechovým přechodem k držáku kondenzátoru. Zde je možné kondenzátor případně vyměnit za jiný typ.

Kabina

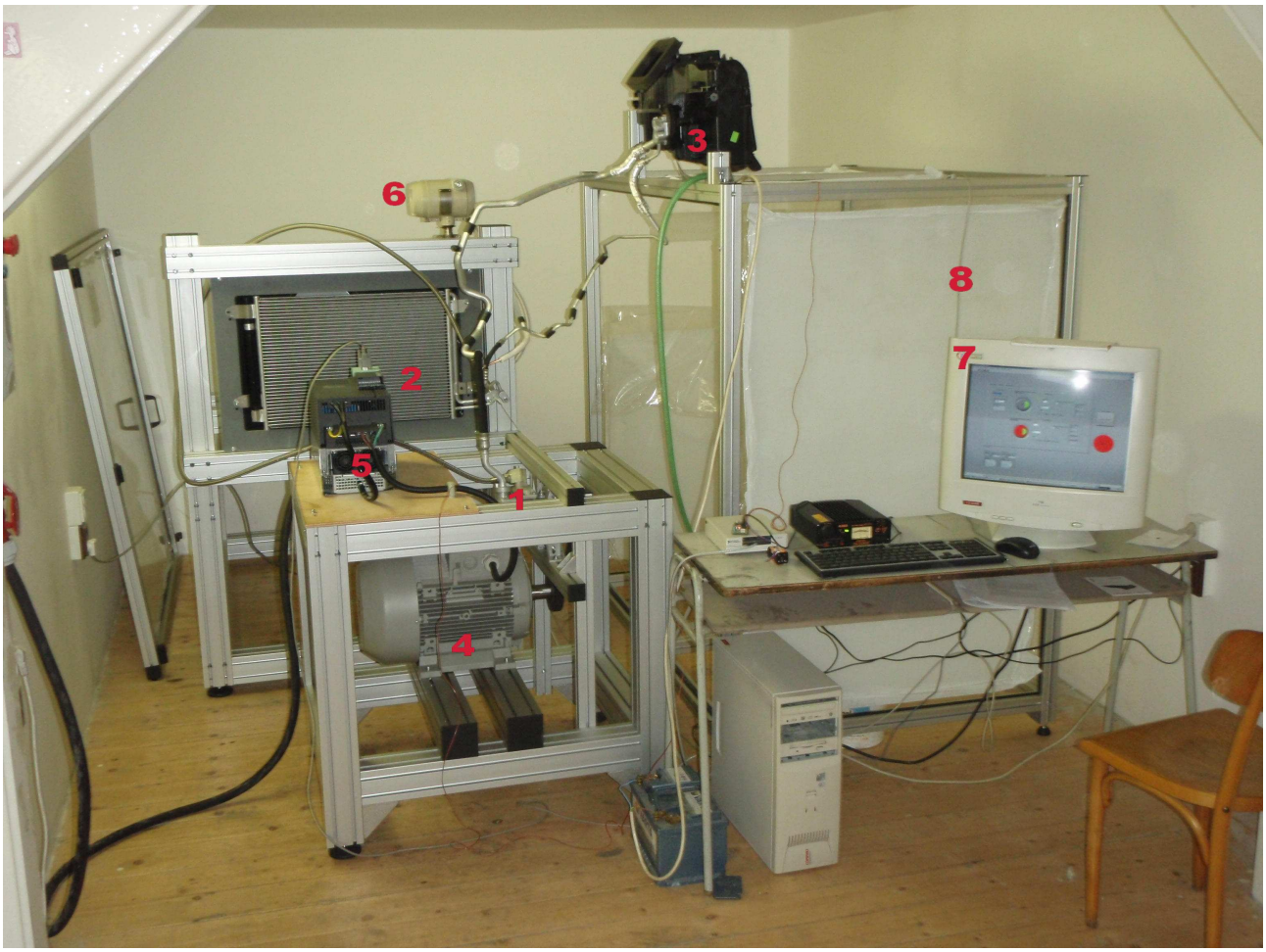
Kabina je tvořena skříní s plexisklovými výplněmi. Je v ní umístěna sedačka a část přístrojové desky s výparníkem a expanzním ventilem.

Motor pro pohon kompresoru

Kompresor má maximální výkon 5 kW. Použit je asynchronní třífázový dvoupólový motor Siemens typu 1LA7163 o výkonu 11kW. K řízení otáček dodává výrobce frekvenční měnič, zde Sinamics G120, který rovněž umožňuje propojení s počítačem.

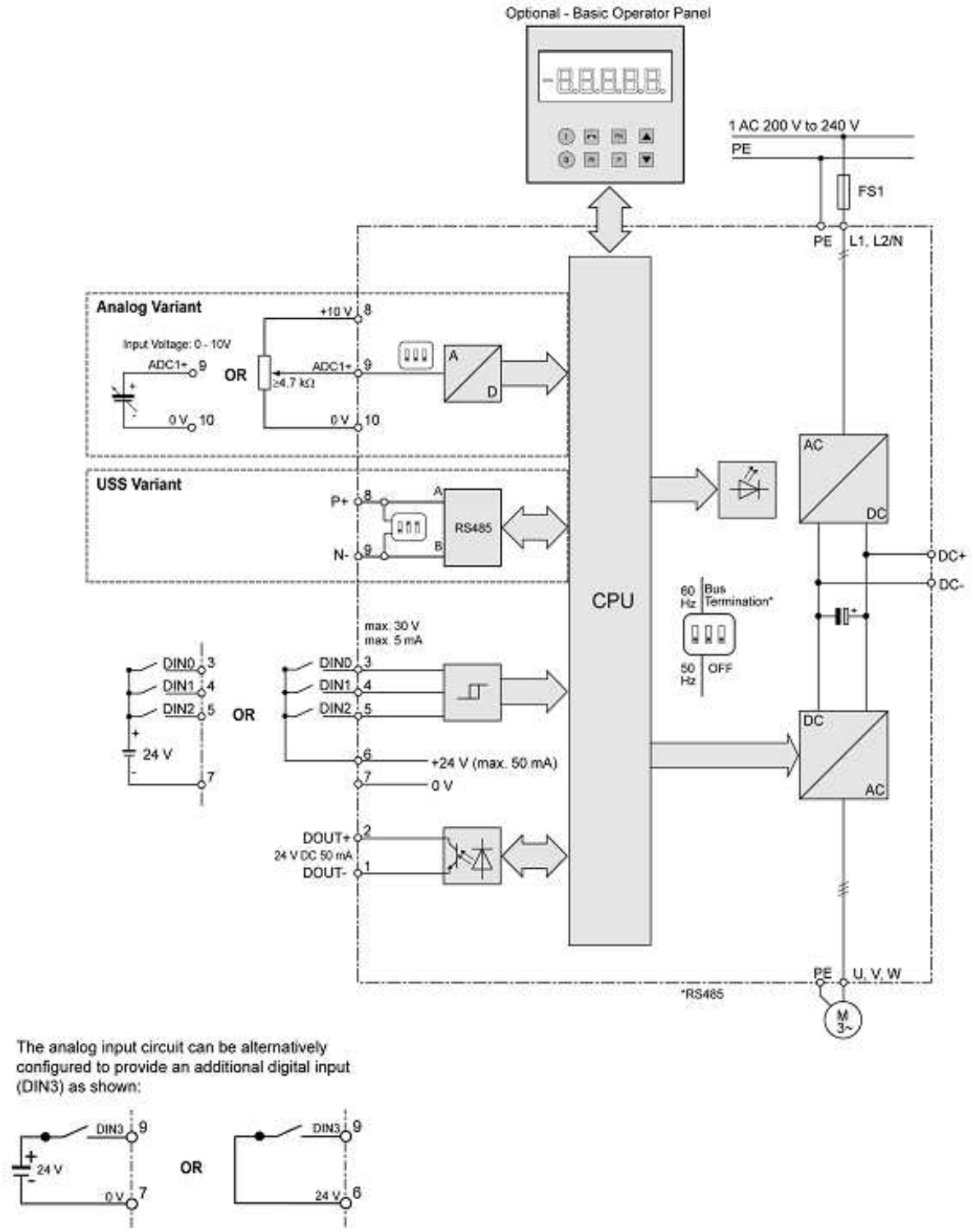
Ventilátor

Ventilátor zde nahrazuje přirozené proudění vzduchu kolem kondenzátoru při jízdě automobilu, případně i funkci přídavného ventilátoru, který je potřeba, pokud automobil stojí. Pro maximální průtok $1m^3/s$ má kondenzátor tlakovou ztrátu přibližně 100 Pa. S těmito požadavky jsem zvolil radiální nízkotlaký ventilátor s přímým pohonem s výtlakem nahoru, abychom mohli ohřátý vzduch odvádět z místnosti. Výkon motoru ventilátoru je 1,5kW. Otáčky ventilátoru a tím i průtok vzduchu přes kondenzátor je možné rovněž řídit frekvenčním měničem přes počítač.




*Obr 5: Zkušební sestavení*

Obr. 5 je fotografie zařízení pro zkušební uvedení do provozu. 1 kompresor, 2 kondenzátor, 3 HVAC, 4 motor, 5 frekvenční měnič, 6 tlakový převodník, 7 ovládací počítač, 8 kabina.




*Obr 6: Schema ovládání*

## 4. Ovládací program

Celé zařízení obsahuje množství součástí, které je možné řídit a tím ve výsledku regulovat teplotu vzduchu v kabině. Jedná se hlavně o regulaci průtoku chladiva v oběhu a dále regulaci množství vzduchu, který proudí přes kondenzátor a výparník. Regulaci průtoku chladiva zajišťuje kompresor a to změnou otáček a změnou zdvihového objemu. Vzduch proudící přes kondenzátor nám zajišťuje odvod tepla z oběhu. V běžném automobilu se to při jízdě děje přirozeně vzduchem

proudícím kolem, v laboratorních podmínkách proud vzduchu obstarává ventilátor. Vzduch v kabině je přes výparník hnán rovněž radiálním ventilátorem v jednotce HVAC.
Z hlediska sestavení programu se ovládání rozdělilo na dva samostatné problémy. Prvním bylo řízení motorů ventilátoru a kompresoru, druhým řízení zdvihu kompresoru a otáček ventilátoru v jednotce HVAC. Jako prostředí pro sestavování ovládacího programu jsme zvolil software NI LabView.

Řízení motorů

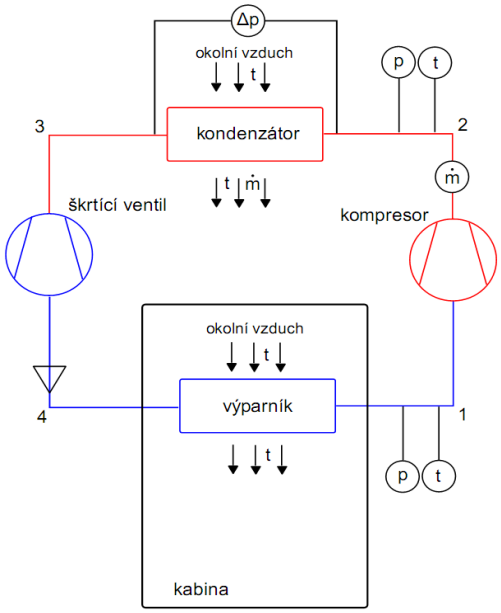
Vlastní řízení otáček motorů obstarávají frekvenční měniče, dodané s motory. Jak ukazuje schema na Obr 6, je možné použít řízení analogové, pomocí digitálního logického signálu, nebo přes sériovou linku. LabView obsahuje knihovny pro ovládání sériového portu, který byl také běžnou součástí počítačů, proto jsem zvolil tuto variantu. Řízení funguje tak, že počítač vyšle příkaz s přesnou strukturou do měniče, který změnou frekvence upraví otáčky motoru. Měnič otáčky rovněž snímá a spolu s dalšími veličinami, jako například výkon motoru je může odesílat zpět do PC. Programování přesné struktury příkazů je poměrně složité a náročné na odladění, proto jsem se rozhodl použít již existující knihovny od Ing. Petra Hoška z TU Liberec. Ty se po určitých úpravách ukázaly jako vhodné a spolehlivě fungující.

Řízení ventilátoru a zdvihu kompresoru

Pro řízení otáček ventilátoru jendotky HVAC a zdvihu kompresoru jsme po vyzkoušení různých variant zvolili standardní modelářské regulátory. Znovu ovšem bylo nutné zajistit jejich ovládání přes PC. Jako vhodné se jevilo použití modulu SOS-AT používaného k ovládání modelářských serv. Tento modul je k PC připojen přes sériový port a převádí hexadecimální příkazy z počítače do modulovaného signálu (používá se pulzně šířková modulace, PWM). Program k ovládání jsem vytvářel sám.

Měřící program

Pro sledování procesů probíhajících v chladícím oběhu bylo nutné nainstalovat rovněž některá měřící zařízení. Konkrétně to jsou dva tlakové převodníky na snímání tlaku na vstupu do kondenzátoru a výstupu z výparníku, dále Coriollisův průtokoměr a termočlánky na snímání teploty chladiva před a za kondenzátorem, za výparníkem a teploty vzduchu proudícího výparníkem. Elektrické výstupy z přístrojů jsou přivedeny přes měřící kartu do počítače a následně zpracovány a zobrazeny v ovládacím programu.




*Obr 7: Umístění měřících zařízení*

**5. Ověřovací měření**

Po konečném uvedení do provozu muselo být zařízení vyzkoušeno, aby bylo možné ho použít pro měření laboratorních úloh. Úlohu navrhl Ing. Fiala a skládá se z odečtení dat z programu a následně vypočítání některých vlastností oběhu. Hodnoty se pak dají vynést do p-h diagramu, kde se zobrazí chladící cyklus (Obr. 8). Z p-h diagramu můžeme odečíst hodnoty entalpií potřebné pro další výpočty

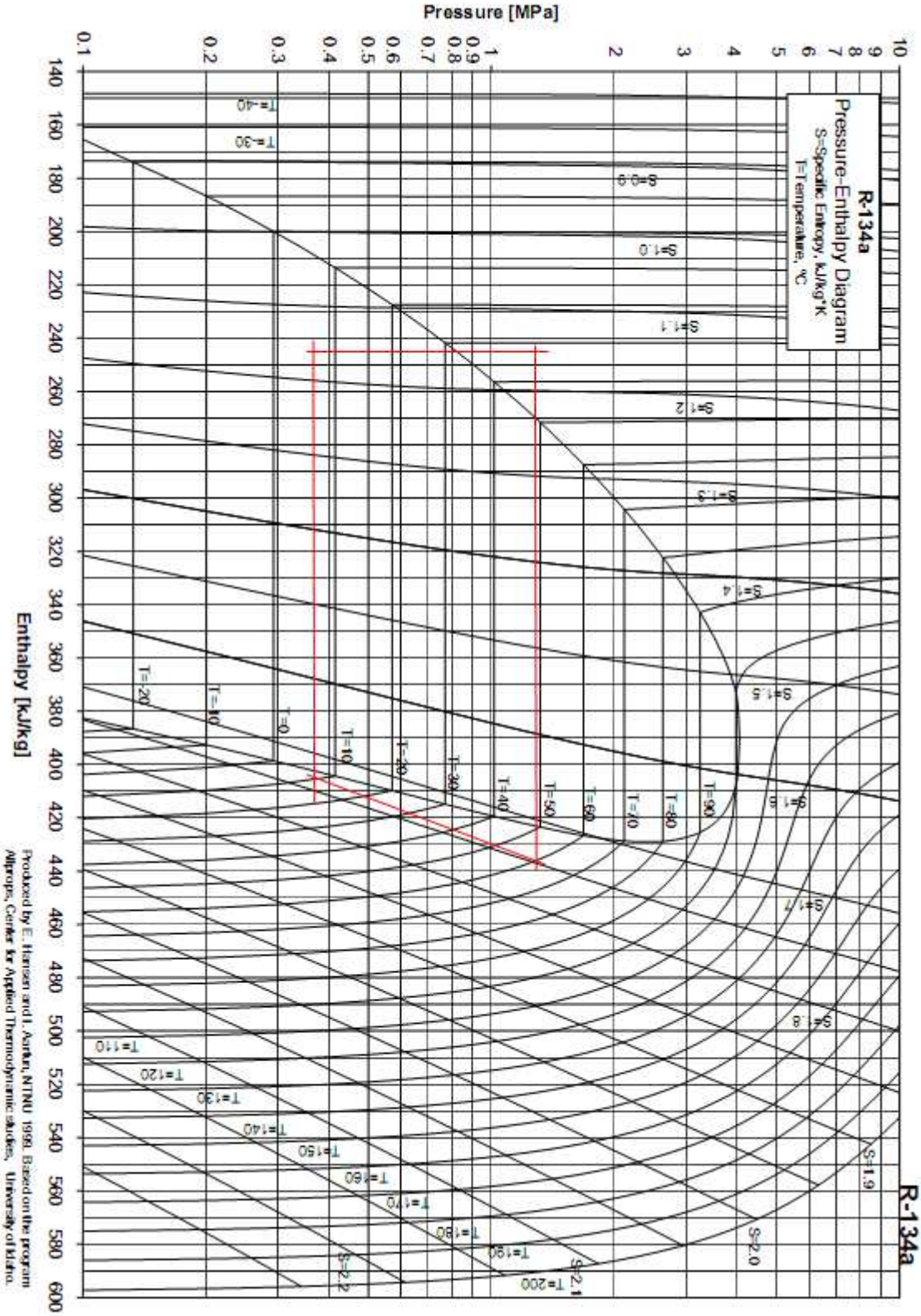
Naměřené hodnoty:

| p_cond | p_eva | m_flow | t_amb | t_cond_in | t_cond_out |
|---|---|---|---|---|---|
| 10,91 | 3,47 | 101,65 | 18,59 | 49,87 | 32,53 |

| t_eva_out | t_air_eva_o | otacky_kompr | vykon | moment | otacky_vent |
|---|---|---|---|---|---|
| 5,64 | 6,16 | 1504,84 | 3,88 | 2,34 | 528,88 |

Chladící výkon zde získáme z tepelného výkonu přenášeného výparníkem a výkonu kompresoru:

$$\eta_{ch} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{P_{comp}} = \frac{h_{evai} - h_{evao}}{P \cdot 0{,}95} = \frac{(408-245)}{3{,}9} \cdot 0{,}95 = 1{,}25$$




*Obr. 8: p-h diagram oběhu*

*Obr 10: Měřené hodnoty*




*Obr 9: Ovládací program*

## 6. Závěr

Postupně se podařilo z jednotlivých komponentů postavit klimatizační zařízení a uvést ho nejprve do testovacího a následně i plného provozu. Tento proces zahrnoval montáž jednotlivých komponentů na připravené stojany, přípravu elektrického zapojení, propojení komponentů hadicemi, montáž měřících přístrojů a jejich zapojení a přípravu ovládacích a registračních programů. V současné době jsou instalovány dva tlakové převodníky, 4 termočlánky a Coriollisův průtokoměr. Po porovnání naměřených dat s běžnými hodnotami z klimatizace v automobilu jsme došli k závěru, že zařízení je plně funkční a v současné době připravené pro měření laboratorních prací. Předpokládám, že bude dále docházet k postupnému vylepšování jak programové části, tak samotného zařízení.

***Seznam symbolů***

| | | |
|---|---|---|
| $P$ | výkon | [W] |
| $\eta$ | chladící faktor | [1] |
| $h$ | entalpie | [kJ/kg] |
| $\dot{Q}_{eva}$ | tepelný výkon výparníku | [kW] |
| *p_cond* | tlak na vstupu kondenzátoru | [bar] |
| *p_eva* | tlak na výstupu výparníku | [bar] |
| *m_flow* | hmotnostní tok | [kg/h] |
| *t_amb* | teplota okolí | [ºC] |
| *t_cond_in* | teplota, vstup kondenzátoru | [ºC] |
| *t_cond_out* | teplota, výstup kondenzátoru | [ºC] |
| *t_eva_out* | teplota, výstup výparníku | [ºC] |
| *t_air_eva_o* | teplota vzduchu za výparnkem | [ºC] |

***Použitá literatura***


[1]NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky.* 1. vyd. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2004. 187 s.
[2]KOHOUT, Zdeněk, et al. *Laboratorní cvičení z fyziky.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 207 s.
[3]JENČÍK, Josef, VOLF, Jaromír. *Technická měření*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2000. 212 s.
[4]CHYSKÝ, Jaroslav. *Klimatizace*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1987. 232 s.
[5]ŠOCH, Petr, VRÁTNÝ, Jiří. *Experimentální metody v mechanice tekutin I*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1987. 136 s.
[6]JIRKŮ, Slavomír, KLEPŠ, Zdeněk, NOŽIČKA, Jiří. *Tabulky pro mechaniku a strojnictví*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993. 297 s.
[7]FIALA, Jan. ŠKOLENÍ NA ČVUT 06-07 2008. 2008 [cit. 2009-06-28], interní dokument SHOWA Aluminium Czech.
[8]Siemens AG, CU240S Operating Instructions, 11/2008
[9]Siemens AG, SINAMICS G120, Control Units CU240S, Parameter manual, Edition 05/2007
[10]Siemens AG, Specification, USS protocol, E20125-D0001-S302-A1-7600
[11]Siemens AG, SINAMICS G110 Operating Instructions, User Documentation, 04/2003
[12]TOWNLEY, David. Automotive Air Conditioning Training Manual, interní dokument SHOWA Aluminium Czech.