

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh a výpočet výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu

Design and Calculation of the Heat Exchanger for the Car Air Conditioner

Student:

Tomáš Stolařík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Stolařík**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení

Téma: **Návrh a výpočet výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu**  
**Design and Calculation of the Heat Exchanger for the Car Air Conditioner**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Popište chladicí systémy používané v automobilu.
2. Popište měřicí kalorimetrickou trať.
3. Proveďte návrh a zjednodušený výpočet tepelného výměníku.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Blahož, V., Kadlec, Z. Základy sdílení tepla. 1.vyd. Ostrava: SPBI, 1996, 109 s. ISBN 80-902-0011-7.
- [2] Kadlec, Z. Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. 1.vyd. Ostrava : SPBI, Spektrum, 2009. 100 s. ISBN: 978-80-7385-061-6.
- [3] Dlouhý, T. Výpočty kotlů a spalinových výměníků. 2.vyd. Praha: ČVUT, 2002. 212 s. ISBN 80-01-02591-8.
- [4] Rédr, M., Příhoda, M. Základy tepelné techniky. 1.vyd. Praha: SNTL, 1991. 680 s. ISBN 80-03-00366-0.
- [5] Sazima, M., Kmoníček, V., Schneller, J. a kol. Teplo. Praha: SNTL, 1989. 588 s. ISBN 80-03-00043-2.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Ing. Kamil Kolarčík, CSc.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 15.05.2017

.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 15.05.2017

.....  


podpis

Jméno a příjmení autora práce: Tomáš Stolařík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Jaromíra Matuška 31/9, Ostrava 70030

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych velice poděkoval panu doc. Ing. Zdeňku Kadleci, Ph.D. za odborné rady a vedení při vypracování této bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval všem pracovníkům na kalorimetrické trati za jejich ochotu a rady.

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

STOLARŮK, T. *Návrh a výpočet výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2017, 52 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a výpočtem výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu. V teoretické části jsou popsány chladicí systémy s podrobným popisem klimatizace v osobním automobilu. Dále jsou v této části charakterizovány výměníky tepla a kalorimetrická trať. Praktickou část tvoří výpočet chladicího výkonu klimatizace, tepelného výkonu kondenzátoru klimatizace a teoretického tepelného výkonu kondenzátoru klimatizace pro danou rychlost automobilu. Pro kontrolu vypočtených výkonů je zde zjištěn potřebný chladicí výkon klimatizace. V závěru této práce jsou uvedeny parametry výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu.

*klíčová slova: klimatizace; chladicí systémy; kalorimetrická trať; výměník tepla; kondenzátor*

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

STOLARŮK, T. *Design and Calculation of the Heat Exchanger for the Car Air Conditioner: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2017, 52 p. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.

This bachelor thesis deals with the design and calculation of the heat exchanger for the car air conditioner. The theoretical part mentions the description of the cooling systems with a detailed explanation of air conditioning in a car. Further, this part deals with the characteristics of the heat exchangers and the calorimetric track. The practical part includes the calculation of the cooling output of the air conditioner, the heating output of the condenser of the air conditioner and the theoretical heat output of the condenser of the air conditioner for the given speed of the vehicle. The necessary cooling output of the air conditioner has been found out to check the calculated outputs. In the final part of the thesis, parameters of the heat exchanger for the car air conditioner have been stated.

*Keywords: air conditioning; cooling systems; calorimetric track; heat exchanger; condenser*

## OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>13</b>
<b>1. VYTÁPĚNÍ, VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE V AUTOMOBILU.....</b>	<b>14</b>
1.1 Vytápění .....	14
1.2 Větrání.....	15
1.3 Klimatizace .....	15
<b>2. KLIMATIZACE .....</b>	<b>16</b>
2.1 Historie automobilových klimatizačních systémů .....	16
2.2 Princip chlazení .....	17
2.2.1 Clausius-Rankinův oběh .....	18
2.2.2 Carnotův oběh.....	19
2.3 Chladiva .....	20
2.4 Druhy chladicích systémů dle expanzního zařízení .....	20
2.4.1 Chladicí systém s expanzní tryskou.....	20
2.4.2 Chladicí systém s expanzním ventilem.....	21
2.5 Druhy chladicích systémů dle ovládání palubové desky a intenzity chlazení .....	21
2.5.1 Manuální klimatizace.....	22
2.5.2 Poloautomatická klimatizace .....	22
2.5.3 Automatická klimatizace .....	22
<b>3. VÝMĚNÍKY .....</b>	<b>22</b>
3.1 Rozdělení výměníků.....	23
3.1.1 Rozdělení výměníků podle konstrukce .....	23
3.1.2 Rozdělení výměníků podle způsobu použití .....	25
3.1.3 Rozdělení výměníků podle smyslu a směru proudění teplotnosných médií .....	26
3.1.4 Rozdělení výměníků dle způsobu přenosu tepelné energie .....	27
3.1.5 Rozdělení výměníků podle skupenství teplotnosných médií.....	27
3.2 Automobilové výměníky tepla .....	27
3.2.1 Výparník klimatizace .....	28
3.2.2 Kondenzátor klimatizace .....	28
3.2.3 Chladič motoru .....	29
3.2.4 Mezichladič stlačeného vzduchu .....	29
3.3 Požadovaná kritéria na teplotnosná média a materiál tepelného výměníku.....	30
3.3.1 Kritéria na výměník .....	30

3.3.2	Kritéria na teplotní média .....	31
3.4	Zintenzivnění sdílení tepla ve výměníku tepla.....	31
3.4.1	Možnosti zintenzivnění .....	31
<b>4.</b>	<b>KALORIMETRICKÁ TRAŤ .....</b>	<b>32</b>
4.1	Předpoklad pro kvalitní měření .....	32
4.2	Konstrukce zařízení.....	33
4.2.1	Vzduchový okruh.....	33
4.2.2	Kapalinový okruh .....	34
4.3	Měření na kalorimetrické trati.....	35
<b>5.</b>	<b>NÁVRH A VÝPOČET VÝMĚNÍKU PRO KLIMATIZAČNÍ</b>	
	<b>JEDNOTKU OSOBNÍHO AUTOMOBILU .....</b>	<b>36</b>
5.1	Popis tepelného výměníku pro klimatizační jednotku .....	36
5.2	Výpočet chladicího výkonu klimatizace a tepelného výkonu kondenzátoru .....	37
5.3	Výpočet potřebného množství vzduchu k ochlazení kabiny.....	39
5.4	Výpočet tepelného výkonu kondenzátoru při dané rychlosti automobilu.....	40
5.4.1	Vypočtené hodnoty .....	44
5.5	Požadovaný chladicí výkon klimatizace .....	45
5.5.1	Výpočet celkově přivedeného tepla do kabiny automobilu.....	46
5.6	Parametry kondenzátoru klimatizace .....	47
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Seznam použitých symbolů

$a_o$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná práce oběhu
$c_{pvz}$	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vzduchu za stálého tlaku
$G$	$[W \cdot m^{-2}]$	intenzita slunečního záření
$h_{kond}$	$[m]$	výška kondenzátoru klimatizace
$h_{zv}$	$[m]$	výška zkušebního výměníku
$i$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie
$i_1$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie syté páry
$i_2$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie přehřáté páry
$i_{2,sk}$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie přehřáté páry skutečná
$i_3$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie syté kapaliny
$i_4$	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná entalpie mokré páry
$k$	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	součinitel prostupu tepla
$L_{kond}$	$[W \cdot K^{-1}]$	tepelná propustnost stěny kondenzátoru klimatizace
$L_{zv}$	$[W \cdot K^{-1}]$	tepelná propustnost stěny zkušebního výměníku
$l_{kond}$	$[m]$	šířka kondenzátoru klimatizace
$l_{zv}$	$[m]$	šířka zkušebního výměníku
$\dot{m}$	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok
$\dot{m}_{1/2}$	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok médií
$\dot{m}_{ch,k}$	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok chladiva v klimatizaci
$\dot{m}_{vz,výp}$	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok vzduchu ve výparníku klimatizace
$\dot{m}_{vz,zv}$	$[kg \cdot s^{-1}]$	hmotnostní průtok vzduchu ve zkušebním výměníku
$P_{kom,sk}$	$[W]$	skutečný příkon kompresoru
$p$	$[Pa]$	tlak
$p_b$	$[Pa]$	barometrický tlak
$p_n$	$[Pa]$	tlak v nízkotlaké části oběhu
$p_v$	$[Pa]$	tlak ve vysokotlaké části oběhu
$\Delta p_{vz}$	$[Pa]$	tlaková ztráta na straně vzduchu
$\Delta p_{ch}$	$[Pa]$	tlaková ztráta na straně chladiva
$Q_{ch}$	$[W]$	chladicí výkon klimatizace
$Q_{kom}$	$[W]$	výkon kompresoru

$\dot{Q}_c$	[W]	celkově přivedené teplo do kabiny automobilu
$\dot{Q}_{\text{kond}}$	[W]	tepelný výkon kondenzátoru klimatizace
$\dot{Q}_{\text{kond,sk}}$	[W]	skutečný tepelný výkon kondenzátoru klimatizace
$\dot{Q}_{\text{kond,t}}$	[W]	teoretický tepelný výkon kondenzátoru klimatizace
$\dot{Q}_{\text{zv}}$	[W]	tepelný výkon zkušebního výměníku
$\dot{Q}_{\text{z,m}}$	[W]	tepelný zisk od motoru
$\dot{Q}_{\text{z,os}}$	[W]	tepelný zisk jedné osoby sedící v klidu
$\dot{Q}_{\text{z,pas}}$	[W]	tepelný zisk od pasažérů v automobilu
$\dot{Q}_{\text{z,r}}$	[W]	tepelný zisk radiací
$q_a$	[J · kg <sup>-1</sup> ]	měrné teplo odvedené
$q_b$	[J · kg <sup>-1</sup> ]	měrné teplo přivedené
$r$	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	měrná plynová konstanta
$S_{\text{oz}}$	[m <sup>2</sup> ]	ozářená plocha kabiny automobilu
$S_{\text{st}}$	[m <sup>2</sup> ]	plocha stěny mezi kabinou a motorovou částí automobilu
$S_{\text{zv}}$	[m <sup>2</sup> ]	plocha zkušebního výměníku
$s$	[J · kg <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup> ]	měrná entropie
$T$	[K]	teplota
$T_{\text{vz1,zv}}$	[K]	vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku
$T_{\text{vz1,výp}}$	[K]	vstupní teplota vzduchu ve výparníku
$t$	[°C]	teplota
$t_{1/2}$	[°C]	počáteční teplota médií
$t_1'$	[°C]	vstupní teplota ohřívacího média
$t_1''$	[°C]	výstupní teplota ohřívacího média
$t_2'$	[°C]	vstupní teplota ohřívaného média
$t_2''$	[°C]	výstupní teplota ohřívaného média
$t_{\text{ch,kom}}$	[°C]	teplota chladiva v kompresoru
$t_{\text{ch,kom,sk}}$	[°C]	teplota chladiva v kompresoru skutečná
$t_{\text{ch,kond}}$	[°C]	teplota chladiva v kondenzátoru
$t_{\text{ch1,kond}}$	[°C]	vstupní teplota chladiva v kondenzátoru
$t_{\text{ch2,kond}}$	[°C]	výstupní teplota chladiva v kondenzátoru
$t_{\text{ch,výp}}$	[°C]	teplota chladiva ve výparníku
$t_{\text{ch1,zv}}$	[°C]	vstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku
$t_{\text{ch2,zv}}$	[°C]	výstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku

$t_{kab}$	[°C]	teplota v kabině automobilu
$t_{kond}$	[m]	tloušťka kondenzátoru klimatizace
$t_m$	[°C]	teplota v motorové části automobilu
$t_s$	[°C]	výstupní teplota směsi medií
$t_{vz1,kond}$	[°C]	vstupní teplota vzduchu v kondenzátoru
$t_{vz2,kond}$	[°C]	výstupní teplota vzduchu v kondenzátoru
$t_{vz1,výp}$	[°C]	vstupní teplota vzduchu ve výparníku klimatizace
$t_{vz2,výp}$	[°C]	výstupní teplota vzduchu ve výparníku klimatizace
$t_{vz1,zv}$	[°C]	vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku
$t_{vz2,zv}$	[°C]	výstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku
$\Delta t$	[°C]	teplotní rozdíl
$\Delta t'$	[°C]	teplotní rozdíl vstupních teplot
$\Delta t''$	[°C]	teplotní rozdíl výstupních teplot
$\Delta t_{stř}$	[°C]	střední logaritmický rozdíl teplot
$\dot{V}_{ch,zv}$	[l · min <sup>-1</sup> ]	objemový průtok chladiva ve zkušebním výměníku
$\dot{V}_{vz,k}$	[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]	objemový průtok vzduchu v klimatizaci
$\dot{V}_{vz,zv}$	[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]	objemový průtok vzduchu ve zkušebním výměníku
$v$	[m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup> ]	měrný objem
$w$	[m · s <sup>-1</sup> ]	rychlost auta
$\varepsilon_{ch}$	[-]	chladičí faktor
$\varepsilon_p$	[-]	emisivita plechu
$\varepsilon_t$	[-]	topný faktor
$\eta_{kom}$	[-]	kompresní účinnost

## Dolní indexy

b	barometrický
c	celkové
ch	chladio
k	klimatizace
kab	kabina
kom	kompresor
kond	kondenzátor
m	motor
n	nízkotlaká část oběhu

os	osoba
oz	ozářená
p	plech
pas	pasažéři
r	radiace
sk	skutečný
sm	směs
st	stěna
stř	střední hodnota
t	teoretický
v	vysokotlaká část oběhu
výp	výparník
vz	vzduch
z	zisk
zv	zkušební výměník

### **Seznam použitých zkratk**

A/C	klimatizace
GWP	potenciál globálního oteplování země vztažený k CO <sub>2</sub>
R1234yf	chladiivo tetrafluoropropen
R134a	chladiivo tetrafluoroethan

## ÚVOD

Při řízení automobilu se musí řidič řádně soustředit na svou jízdu. V období vysokých teplot nebo při vysoké vlhkosti vzduchu v kabině automobilu slouží k pomoci klimatizace. Toto zařízení slouží k ochlazování, výměně, popřípadě k vysušování vzduchu.

Klimatizace se skládá z několika komponentů. Jedním z těchto komponentů je kondenzátor, který je také nazýván chladičem klimatizace. Jedná se o tepelný výměník, vlivem kterého zkondenzuje chladivo z plynné fáze na fázi kapalnou, což je způsobeno sdílením tepla mezi chladivem uzavřeného oběhu a vzduchem z okolního prostředí. Uvolněné teplo z chladiva se předává do vzduchu, který proudí přes vlnovce kondenzátoru. Teplý vzduch je poté odveden ven do venkovního prostoru. Tento tepelný výměník je v této práci popsán, navržen a vypočítán.

Cílem této práce je navrhnout a vypočítat výměník pro klimatizační jednotku, jenž lze používat v osobním automobilu. Tento výměník musí umožnit požadovaný přenos tepelné energie z chladiva do vzduchu, což znamená, že se od tohoto výměníku tepla očekává požadovaný tepelný výkon pro ochlazení kabiny automobilu při daných tepelných ziscích. Zároveň je nutno dodat, že by měl být výměník tepla navržený tak, aby klimatizace neměla příliš velký vliv na spotřebu a výkon automobilu. Nezbytnou součástí návrhu a výpočtu výměníku tepla je taktéž zjistit při jaké rychlosti automobilu je zapotřebí zapnout přídatný ventilátor kondenzátoru.

Záměrem této práce je rovněž teoretická část, u níž je na samotném začátku vypracována stručná charakteristika vytápění, větrání a klimatizace v automobilu. Jelikož je tato práce zaměřena na výměník pro klimatizační jednotku, tak je v druhé části podrobněji rozepsán klimatizační systém automobilu včetně popisu chladicích systémů klimatizace. V další části jsou uvedeny výměníky tepla, jejichž obsah zahrnuje i popis automobilových chladičů. Součástí této práce je také charakteristika kalorimetrické trati, na kterou jsem měl možnost se jít podívat a zúčastnit se měření. Po měření na kalorimetrické trati jsem získal hodnoty potřebné pro výpočet teoretického tepelného výkonu pro danou rychlost automobilu.

# 1. VYTÁPĚNÍ, VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE V AUTOMOBILU

## 1.1 Vytápění

Vytápění se využívá za chladného počasí pro zajištění ideální teploty v kabině automobilu. Do motorových vozidel se instalují dva druhy topení, závislé a nezávislé. Topení závislé potřebuje pro vytápění auta běh motoru, jenž dodává nezbytnou tepelnou energii. Tento systém se využívá u vozidel s motory chlazenými kapalinou. Princip topení spočívá v tom, že po zapnutí vytápění dojde ve výměníku tepla k přenosu tepelné energie z chladicí kapaliny motoru do vzduchu. Toto způsobí požadované ohřátí vzduchu, který poté proudí zpět do kabiny automobilu a k ochlazení chladicí kapaliny, což pomáhá chladit motor. Výhodou závislého topení je nízká pořizovací cena. Nevýhodou tohoto způsobu topení je funkčnost pouze při běhu motoru.

Nezávislé topení ohřívá vzduch, eventuálně ohřívá motor vozidla, aniž by musel být motor v chodu. Energií nezávislého topení je palivo vozidla, což může být benzín nebo nafta. Princip topení tkví v zapálení paliva ve spalovací komoře. K tomu dojde tím, že se palivo přemístí do spalovací komory pomocí palivového čerpadla, kde se smísí se spalovacím vzduchem, který zde proudí přes ventilátor. Ve spalovací komoře se nachází žhavicí tyčinka, která zapálí směs vzduchu a paliva, přičemž jsou spaliny odvedeny ven přes výfukový systém. Dále je topení nezávislé rozděleno podle přenosu vzniklé tepelné energie na teplovodní a teplovzdušné.

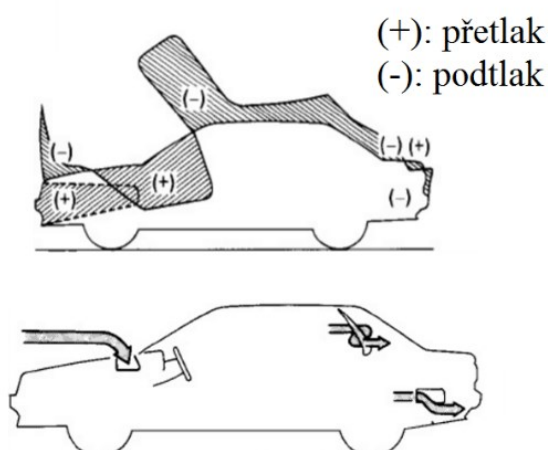
Teplovodní topení se používá především při vytápění osobních automobilů. Tento typ topení slouží nejen k ohřevu kabiny auta, ale také je zde možnost předehřevu motoru. Proces hoření spočívá ve smísení paliva se vzduchem a zapálení jej ve spalovací komoře. Tepelná energie, která vznikne po shoření paliva, ohřívá chladicí kapalinu proudící přes výměník. Kapalina poté proudí do okruhu pomocí vodní pumpy. Výhodami tohoto topení je tedy možnost předehřevu motoru, který má vliv na snížení spotřeby auta, snížení emisí a snížení opotřebení motoru. Mezi nevýhody teplovodního topení patří krátká doba provozu a v neposlední řadě i vyšší provozní náklady.

Teplovzdušné topení se používá nejčastěji u kamionů a dodávkových aut. Průběh hoření u teplovzdušného topení probíhá analogicky jako u topení teplovodního. Rozdíl je v tom, že výměník ohřívá vzduch nasávaný z kabiny vozu. Zatímco u topení teplovodního, výměník ohřívá chladicí kapalinu motoru. Mezi hlavní výhody patří rychlost vytopení kabiny a malá spotřeba. Mezi nevýhody patří nemožnost předehřívát motor, což znamená, že se dají vytápět pouze kabiny vozidel. [4], [16], [18]

## 1.2 Větrání

Primárním účelem větrání je vyměňování vzduchu a odstraňování prachu, nečistot a dalších škodlivých látek proudících do kabiny automobilu. Pro odstranění škodlivých látek využíváme filtrace vzduchu, které zamezují proniknutí do kabiny vozidla.

Čerstvý vzduch se dostává do kabiny automobilu přirozenou cestou nebo pomocí ventilátoru. Pokud tedy auto jede velice pomalu či stojí, tak se využívá nucený systém ventilace vzduchu pomocí elektrického ventilátoru namontovaného uvnitř automobilu. V případě, že auto jede větší rychlostí dopředu, tak vzniká přirozená konvekce. Na povrchu automobilu vzniká přetlak a podtlak, který je zapříčiněn vlivem aerodynamického tvaru auta. Na místech, kde je přetlak, bývají umístěny větrací otvory, které umožňují vstup vzduchu do auta. Přes tyto příváděcí průduchy se dostane vzduch do kabiny automobilu a poté odchází průduchovými otvory v místech podtlaku. [4], [19]



Obr. 1.1: oblast přetlaku a podtlaku na povrchu pohybujícího se automobilu [4]

## 1.3 Klimatizace

Mezi důležité faktory při řízení auta patří dobrá kvalita vzduchu v kabině automobilu a tepelné uspokojení člověka. Ovzduší v autě by nemělo obsahovat nechtěné látky, což může být například prach. Tepelné uspokojení by mělo dodat člověku pocit ideální teploty. Jeden ze způsobů, jak docílit těchto optimálních podmínek je užití vhodné klimatizace, která zvyšuje pohodlí v autě za téměř každého počasí. Když je teplota okolí vysoká, klimatizace slouží k chlazení. Při nízkých teplotách a za vlhkého počasí vysušuje vzduch a udržuje konstantně stabilní teplotu v autě. Klimatizace může být také vybavená klimatizační jednotkou s filtrací větracího vzduchu, jenž udržuje dobrou kvalitu vzduchu v kabině automobilu. [4], [5], [8]

## 2. KLIMATIZACE

### 2.1 Historie automobilových klimatizačních systémů

Nejstarší automobily byly specifické tím, že neměly zcela uzavřenou kabinu automobilu, což znamenalo, že v kabinách automobilů byla intenzivní změna teplot, která se měnila podle okolního prostředí. Kvůli tomuto důvodu se musel řidič a jeho spolucestující na jízdu v autě vhodně obléci. Poněvadž tyto automobily nebyly zcela vyhovující, tak se začaly vyrábět auta s uzavřenou kabinou. Poté se do kabin aut postupně instalovala zařízení pro topení, ventilaci a chlazení. Nejdříve se v automobilech začalo topit pomocí ohřívání vzduchu, které bylo vytvářeno použitím jednoduchých palivových hořáků. Posléze se vyráběla i zařízení pro ventilaci a chlazení.

První ventilace automobilu fungovala tak, že se otevíraly, eventuálně naklápěla okna. Taktéž zde byly otvory ve dveřích pro zlepšení cirkulace vzduchu. Proudění vzduchu bylo obtížné hlídat, poněvadž je vzduch závislý na rychlosti automobilu a zároveň se mohl dostat do vozidla znečištěný vzduch z výfukových plynů.

První chladicí systém byl připevněn k oknu auta. K chlazení docházelo nasátím vzduchu z okolí k vodou namočené drátěné mřížce. Teplý vzduch z okolí, který proudil skrz drátěnou mřížku, vodu vypařoval z důvodu absorbování tepla ze vzduchu. Poté se ochlazený vzduch dostal do kabiny automobilu. Voda byla držena v nádrži uvnitř jednotky, přičemž se muselo hlídat, aby byl vždy dostatek vody k chodu zařízení. Dále se muselo dávat pozor, aby byla vlhkost vzduchu nízká. V případě vysoké vlhkosti vzduchu se voda nemohla vypařit. Kdyby jednotka pracovala a voda se vypařila, tak by se dostala do kabiny automobilu chladná nasycená vodní pára, která by zvýšila hladinu vlhkosti. Tento chladicí systém byl tedy efektivní jen v zemích s velmi nízkou vlhkostí.

V roce 1939 Packard uvedl na trh první mechanický automobilový klimatizační systém. Problém byl ovšem v tom, že byl kompresor provozován nepřetržitě (neměl spojku), a tak se musel v období zimy vypnout odstraněním poháněcího řemene. Kvůli malému zájmu musel klimatizaci stáhnout z nabídky.

Další rozvoj klimatizace nastal v roce 1953, kdy bylo nainstalováno zařízení do automobilu Chrysler Imperial. Bylo to první sériově vyráběné vozidlo, které mělo klimatizaci.

V roce 1954 Nash-Kelvinator představil klimatizaci pro sériovou výrobu automobilů, která byla kompaktní a cenově dostupná s ovládacími prvky na palubní desce a elektronickou



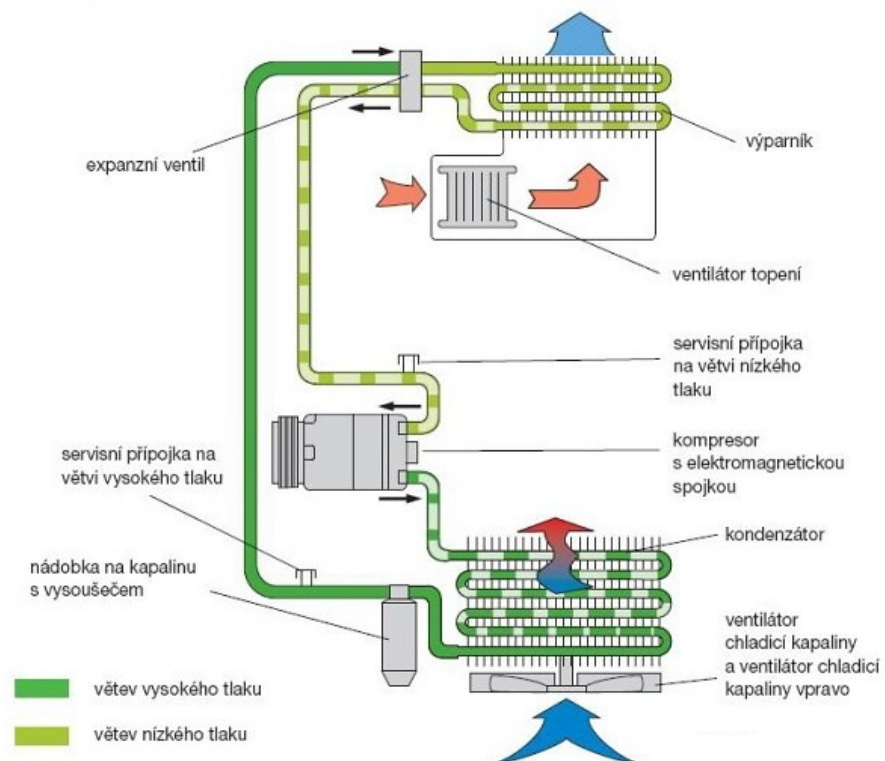
spojkou. Zároveň měla také integrovaný systém větrání, topení a chlazení. Poté se začala klimatizace v automobilovém průmyslu hodně rozvíjet.

Kolem roku 1960 bylo v Americe 20 % automobilů s klimatizací a přibližně o deset let později už mělo klimatizaci více než 50 % automobilů. [4]

## 2.2 Princip chlazení

Klimatizačního efektu je docíleno sdílením tepla z ochlazovaného vzduchu na chladicí médium, které má nižší teplotu. Toto médium cirkuluje uvnitř klimatizačního okruhu tvořeného kompresorem, kondenzátorem, expanzním ventilem nebo expanzní tryskou a výparníkem.

Chladivový oběh klimatizačního zařízení se dělí na dvě části, část s nízkým tlakem a část s tlakem vysokým. V části s vysokým tlakem, tedy v oblasti kompresoru a kondenzátoru se dostává tlak do rozmezí 15 - 20 barů. V nízkotlaké části ve výparníku, expanzním ventilu nebo expanzní trysce se tlak pohybuje v rozmezí 1 - 3 barů. [5], [17], [20]



Obr. 2.1: chladivový oběh [17]

## 2.2.1 Clausius-Rankinův oběh

Klimatizace funguje na bázi levotočivého Clausius-Rankinova oběhu, u kterého je zapotřebí dodávat práci kompresoru. Clausius-Rankinův oběh je ideální cyklus zanedbávající tepelné i hydraulické ztráty.

Sled termodynamických změn začíná při adiabatické kompresi v bodech 1 a 2, kde je chladivo ve stavu syté páry zhušťováno v kompresoru a přitom dojde k zmenšení objemu, zvýšení teploty a tlaku. Poté probíhá izobarická kondenzace v bodech 2 až 3, u které dochází k proudění chladiva ve stavu přehřáté páry do kondenzátoru, v kterém je chladivo za stálého tlaku schlazeno a zkapalněno, což je způsobeno odváděním měrného tepla z chladiva. Dále následuje izoentalpická expanze v bodech 3 a 4. V této termodynamické změně se kapalnému chladivu zvětšuje objem a snižuje tlak. Zásluhou expanzního ventilu nebo trysky tedy dochází k velkému tlakovému rozdílu a to způsobuje podchlazení chladiva. Následně dojde v bodech 4 a 1 k izotermicko-izobarickému vypařování chladiva. Chladivo zde má nízkou teplotu a nízký tlak. Na začátku termodynamické změny je chladivo ve stavu mokré páry. Vlivem odebírání měrného tepla ze vzduchu do chladiva dojde k vysušování. Chladivo je na výstupu z výparníku ve stavu syté páry. Proces se poté dále opakuje. [5], [10], [14]

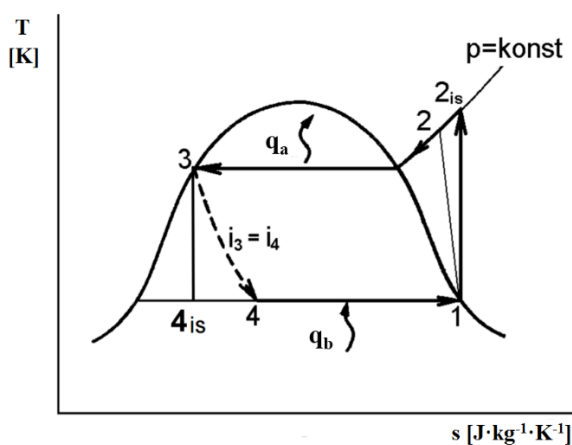
### T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu:

1-2 = adiabatická komprese

2-3 = izobarická kondenzace

3-4 = izoentalpická expanze

4-1 = izotermické a izobarické vypařování



Obr. 2.2: T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu [10]

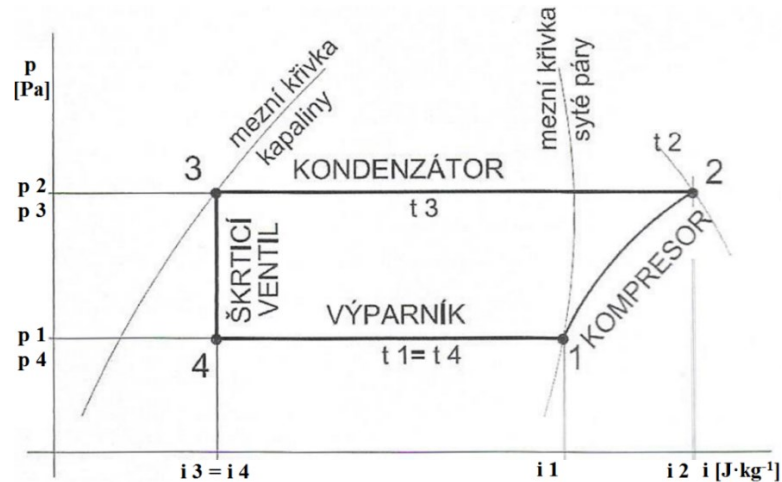
**p-i diagram Clausius-Rankinova oběhu:**

1-2 = adiabatická komprese

2-3 = izobarická kondenzace

3-4 = izoentalpická expanze

4-1 = izotermické a izobarické vypařování



Obr. 2.3: p-i diagram Clausius-Rankinova oběhu [5]

**2.2.2 Carnotův oběh**

Chladicí oběh klimatizace je zároveň obdobou obráceného Carnotova oběhu. Carnotův oběh je ideálním oběhem s největší termickou účinností. Rozdíl mezi přímým a obráceným Carnotovým oběhem, je skutečnost, že u přímého Carnotova oběhu přivádíme teplo a získáváme tak práci. Avšak u Carnotova oběhu obráceného, přeměňujeme práci na teplo. Obrácený Carnotův oběh se skládá ze dvou kompresních změn a to izotermy a adiabaty a dvou expanzních změn, což je rovněž izoterma a adiabata. [10]

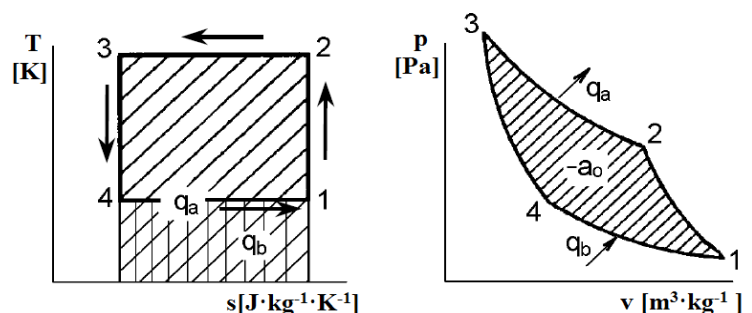
**Obrácený Carnotův oběh:**

1-2 adiabatická komprese

2-3 izotermická komprese

3-4 adiabatická expanze

4-1 izotermická expanze



Obr. 2.4: T-s a p-v diagram obráceného Carnotového oběhu [10]

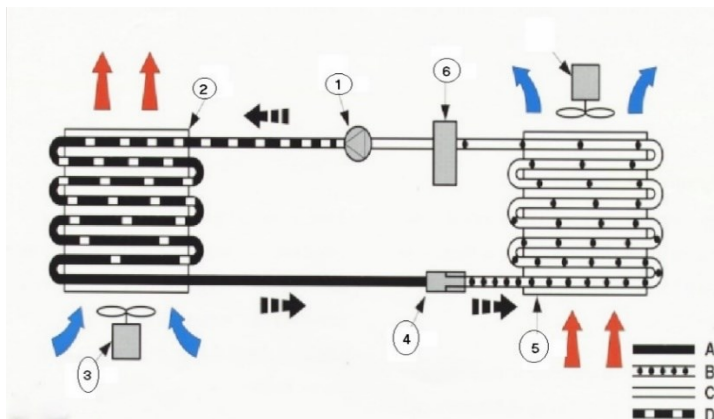
## 2.3 Chladiva

Chladivo je proudící médium uzavřeného chladivového okruhu, v němž dochází k vypařování a kondenzaci chladiva. Toto chladivo tedy pracuje jako dopravní médium pro odvádění tepla. Do klimatizačních systémů automobilů se od roku 1995 nejčastěji plní chladivo R134a. Chladivo R134a je chemické sloučení uhlíku, vodíku a fluoru. Při normálních atmosférických podmínkách je v plynné fázi a mění skupenství při teplotě menší než  $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Výhodou tohoto chladiva je poměrně nízká cena. Nevýhodou je značně vysoké GWP. Z tohoto důvodu se začalo používat i chladivo R1234yf, které jako jediné splňuje novou legislativu EU o používání ekologických látek s malým příspěvkem GWP. [5], [17]

## 2.4 Druhy chladicích systémů dle expanzního zařízení

Dle způsobu ovládání vypařování proudícího média expanzním zařízením se chladicí systémy rozdělují na chladicí systémy s expanzní tryskou a chladicí systémy s expanzním ventilem. [8]

### 2.4.1 Chladicí systém s expanzní tryskou



1. kompresor
2. kondenzátor
3. ventilátor kondenzátoru
4. expanzní tryska
5. výparník
6. akumulátor

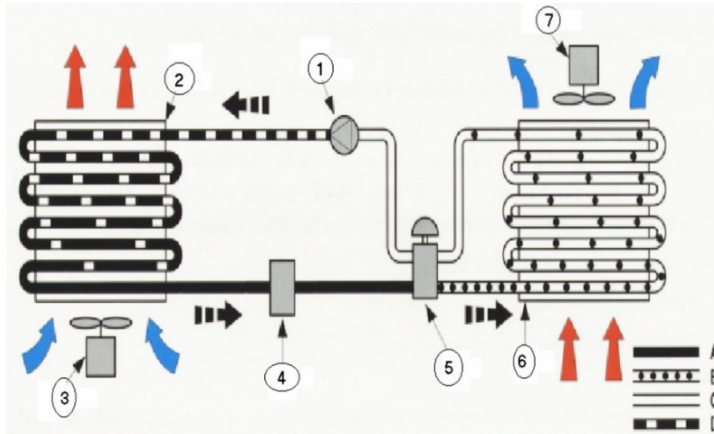
A - vysoký tlak chladiva ve fázi kapalné, B - nízký tlak chladiva ve fázi kapalné,  
C - nízký tlak chladiva ve fázi plynné, D - vysoký tlak chladiva ve fázi plynné

Obr. 2.5: chladicí oběh s expanzní tryskou [8]

U tohoto chladicího systému je plynné chladivo nasáváno a stlačováno kompresorem. Poté je nasáváno do kondenzátoru, kde je ochlazováno vzduchem proudícím přes vlnité trubky tepelného výměníku. Po zkapalnění proudí chladivo ve fázi kapalné přes expanzní trysku s konstantním průřezem. Expanzní tryska sníží tlak chladiva a v důsledku toho se začne

chladiivo vypařovat. Následně chladivo proudí do výparníku a poté do akumulátoru, který zabraňuje nasátí tekutého média do kompresoru. Dále se proces opět opakuje. [8]

## 2.4.2 Chladicí systém s expanzním ventilem



1. kompresor
2. kondenzátor
3. ventilátor kondenzátoru
4. dehydrátor
5. expanzní ventil
6. výparník
7. ventilátor výparníku

A - vysoký tlak chladiva ve fázi kapalné, B - nízký tlak chladiva ve fázi kapalné,  
C - nízký tlak chladiva ve fázi plynné, D - vysoký tlak chladiva ve fázi plynné

Obr. 2.6: chladicí oběh s expanzním ventilem [8]

Chladivo je zde taktéž stlačeno v kompresoru a zkondenzováno v kondenzátoru. Rozdíl nastává až v místě za kondenzátorem, kde proudí tekuté chladivo do dehydrátoru místo expanzní trysky. Dehydrátor odstraňuje nečistoty pomocí filtru a sušící vložka odstraňuje vlhkost z chladiva. Poté proudí tekuté chladivo do expanzního ventilu, v němž dojde k snížení teploty a tlaku. Pomocí expanzního ventilu se tekuté chladivo vstříkuje v ideálním množství do výparníku. Ideální množství je množství tekutého chladiva, jež je možné vypařit ve výparníku. Následně dojde ve výparníku k vypařování tekutého chladiva, které je opět ve fázi plynné nasáno do kompresoru. [8]

## 2.5 Druhy chladicích systémů dle ovládání palubové desky a intenzity chlazení

Chladicí systémy používané v kabinách automobilů se rozdělují na manuální klimatizace, poloautomatické klimatizace a automatické klimatizace.

Primární princip ochlazování vzduchu v kabinách automobilů je obdobný pro všechny druhy klimatizačních systémů. Vzduch proudící do kabiny auta může být buďto čerstvý z okolí, anebo může být ochlazován vzduch z kabiny automobilu. Rozdíl mezi jednotlivými klimatizačními systémy je popsán u jednotlivých druhů na další straně. [8]

### **2.5.1 Manuální klimatizace**

Manuální klimatizace je technicky jednoduchá, avšak je nejkomplicovanější na obsluhu. Dodává jedině studený vzduch. Mísení teplého vzduchu se studeným a regulace vzduchu je na posádce. Zároveň ručně ovládané klimatizace fungují pořád na plný výkon, který nelze snížit a ubírá tak velké množství výkonu motoru. Manuální klimatizace se zapíná a vypíná pomocí tlačítka A/C, jenž je umístěné na ovládacím panelu mechanicky ovládané klimatizace.

### **2.5.2 Poloautomatická klimatizace**

Poloautomatická klimatizace se liší od manuální klimatizace tím, že má na ovládacím panelu poloautomatické klimatizace numerický údaj teploty. Tato klimatizace udržuje zvolenou teplotu v kabině automobilu. Nastavuje se ručně pouze směr konvekce vzduchu a otáčky ventilátoru. Poloautomatické klimatizace jsou vyráběny nejméně.

### **2.5.3 Automatická klimatizace**

Automatická klimatizace zajišťuje samočinně výměnu vzduchu a zároveň udržuje zvolenou teplotu v kabině automobilu. Řídí se podle senzorů a čidel. Teplotní čidla jsou umístěná i ve vzduchových otvorech, ve kterých měří teplotu vzduchu, tak aby elektronika mohla koordinovat proudění vzduchu do kabiny automobilu. Automatické klimatizace mohou být také více zónové, které mají nebo mohou mít rozdílnou teplotu v různých částech kabiny automobilu. Kromě teplotních čidel ve vzduchových tunelech jsou ještě teplotní čidla na ovládacím panelu klimatizace, jež sledují teplotu vzduchu proudícího v kabině auta. Dále je u tohoto zařízení také snímač na palubové desce kontrolující intenzitu slunečních paprsků svítících do kabiny automobilu. Automatické klimatizace nefungují pořád na plný výkon, a tak neubírají takové množství výkonu motoru jako klimatizace manuální. [3]

## **3. VÝMĚNÍKY**

*„Výměníky jsou zařízení, která umožňují přenos tepla mezi dvěma tekutinami o nestejně teplotě.“ [9]*

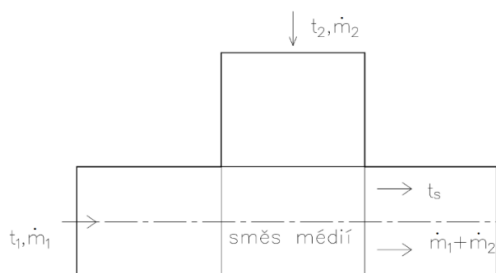
Výměníky nejčastěji využívají vodu, páru, vzduch, olej a spaliny jako teponosné médium pro přenos tepelné energie.

## 3.1 Rozdělení výměníků

### 3.1.1 Rozdělení výměníků podle konstrukce

#### a) Směšovací

Nejběžněji umožňují přenos tepla mezi vzduchem a kapalinou, na což se u těchto výměníků může využívat výparné teplo tekutiny. Teplonosné média se smísí a vytvářejí směs. Směšovací výměníky nemají teplosměnnou plochu na rozdíl od jiných konstrukčních druhů výměníků. Tyto výměníky se využívají například v teplárenství, kde se nejčastěji používají jako vstřík vody do páry nebo ohřev napájecí vody. [2]



$t_{1/2}$  = vstupní teplota médií [°C]

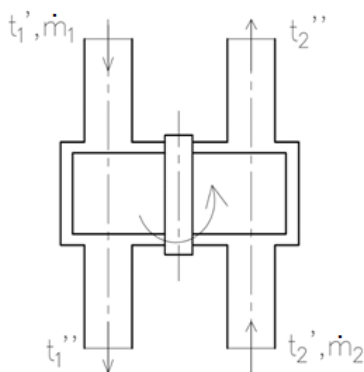
$\dot{m}_{1/2}$  = hmotnostní průtok médií [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$t_s$  = výstupní teplota směsi médií [°C]

Obr. 3.1: směšovací výměník [1]

#### b) Regenerační

Teplonosná média proměnlivě oplachují stěny výměníku. K přenosu tepla dochází pomocí pohyblivé, eventuálně nepohyblivé výplně. Tato výplň předává teplo ohřívacímu médiu. Výplň se nahřeje a poté se nashromážděné teplo předává ohřívanému médiu. Mezi nejrozšířenější regenerační výměníky patří ohřívák spalovacího vzduchu kotle nazývaný Ljungström. Teplonosnými médii tohoto výměníku jsou spaliny a vzduch. Ohřívák spalovacího vzduchu kotle se skládá z rotoru, jenž je zabudován do uzavřeného místa rozděleného a zároveň utěsněného sektorovými deskami na vzduchovou a spalinovou část.



$t_1'$  = vstupní teplota ohřívacího média [°C]

$t_1''$  = výstupní teplota ohřívacího média [°C]

$t_2'$  = vstupní teplota ohřívaného média [°C]

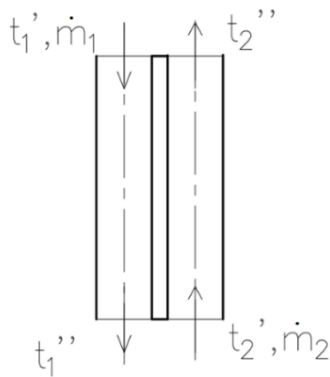
$t_2''$  = výstupní teplota ohřívaného média [°C]

$\dot{m}_{1/2}$  = hmotnostní průtok médií [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Obr. 3.2: regenerační výměník [1]

### c) Rekuperační

Média o nestejně teplotě jsou u tohoto výměníku oddělena nepropustnou stěnou, která brání vzájemnému kontaktu těchto teplotných médií. K předávání tepelné energie dochází prostupem tepla. Dle provedení plochy a tvaru výměníku jsou nejvíce používány výměníky deskové, trubkové a výměníky s žebrovanými povrchy. [2], [9]



$t_1'$  = vstupní teplota ohřivacího média [°C]

$t_1''$  = výstupní teplota ohřivacího média [°C]

$t_2'$  = vstupní teplota ohřivaného média [°C]

$t_2''$  = výstupní teplota ohřivaného média [°C]

$\dot{m}_{1/2}$  = hmotnostní průtok médií [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Obr. 3.3: rekuperační výměník [1]

#### **Rekuperační trubkové výměníky - plášťový trubkový výměník**

Jedná se o nejstarší typ rekuperačního výměníku. Je vytvořen z externího pláště s dvěma přivařenými trubkovnicemi, do kterých jsou zaválcovány přímé trubky.

Teplotné média pracují v plášťovém trubkovém výměníku následovně: jedno z teplotných médií proudí do výměníku přes vstupní okrajovou armaturu, dále proudí vnitřkem přímých trubek a okrajovým výstupním hrdlem odejde. Druhé teplotné médium proudí mezi trubkami, po dráze ohraničené přepážkami a poté vystoupí ven přírubou.

Tento typ výměníku má mezi trubkami obvykle segmentové, popřípadě koncentrické přepážky, jež pomáhají zpomalit pohyb vnější tekutiny. [2]

#### **Rekuperační trubkové výměníky - článkový trubkový výměník**

Je rozšířeným typem výměníku, který se taky nazývá výměník dvoutrubkový, eventuálně trubka v trubce.

Výhodou tohoto výměníku je poměrně jednoduchá výroba, uskutečnitelnost výměny zničené trubky a dobré předpoklady pro mechanické čištění. Nevýhodou je problém s teplotní dilatací trubek mezi pevnými trubkovnicemi. Kvůli tomu jsou u tohoto typu výměníku nižší tlaky a menší teplotní rozdíly.



### **Rekuperační trubkové výměníky - výměník se šroubovitě vinutými trubkami**

Je dalším často používaným typem rekuperačního výměníku. Trubka může být u výměníku řazena ve více řadách.

Výhodou výměníku se šroubovitě vinutými trubkami je snadná výroba a větší prostup tepla. Nevýhodou je, že se výměník skládá jen z jedné trubky, což znamená, že při zničení se musí celá trubka nahradit za novou. Další nevýhodou je poměrně malé využití prostoru ve výměníku.

### **Rekuperační trubkové výměníky - trubkový výměník se žebrovanými trubkami**

Výměník je opatřený žebrovanými trubkami, kvůli dosažení větší teplosměnné plochy. Žebrování může být na vnějším i na vnitřním povrchu. Dále mohou být žebra podélná, příčná, případně šroubovitě vinutá. Žebrování se využívá u výměníků, které mají nápadně rozdílný přestup tepla. Žebra se dávají na stranu s menším součinitelem přestupu tepla. Pokud by byl součinitel přestupu tepla zhruba stejný na obou stranách, tak by nemělo význam upravovat trubky. Smysl by to mělo jen v případě žebrování na obou stranách.

### **Rekuperační - deskové výměníky**

Teplosměnná plocha u deskového výměníku je tvořena ze štíhlých kovových desek, jež jsou pevně slisovány k sobě. Desky mají v průřezu vylisovány kanálky.

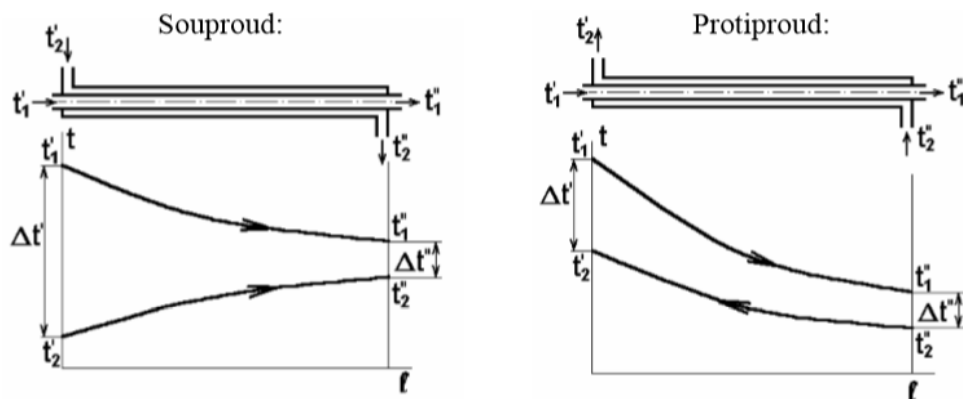
Teplonosné média pracují v deskových výměnících následovně: jedno z teplonosných médií proudí přes jedno seskupení těchto kanálků a druhé proudí jinými těsně přilehlými kanálky. Teplonosné média proudí v deskách čistě protiproudě, což je výhoda deskového výměníku. Nevýhodou je problém s netěsností při větších tlacích. [2]

## **3.1.2 Rozdělení výměníků podle způsobu použití**

- a) topná tělesa ústředního vytápění - topné těleso ohřívá vzduch okolí;
- b) kondenzátory - jedná se o kondenzát, u kterého dochází ke změně skupenství z fáze plynné na fázi kapalnou o nižší teplotě;
- c) chladiče - teplejší médium ochlazované, snižuje svou teplotu, ale nedochází zde k změně fáze;
- d) ohříváky - zvyšují teplotu ohřivaného média, u kterého nedochází ke změně fáze;
- e) přehříváky - jsou určeny k tomu, aby zvyšovaly teploty syté, eventuálně přehřáté páry;
- f) výparníky a odparky - chladnější médium ve fázi kapalně se přemění na plynnou látku.

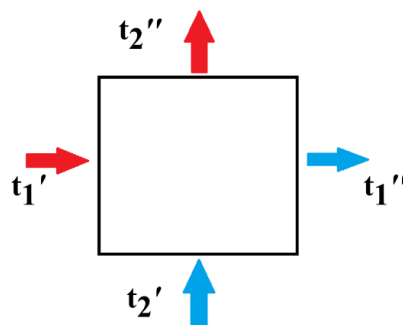
### 3.1.3 Rozdělení výměníků podle smyslu a směru proudění teplotních médií

- souproude - teplotní média mají rovnoběžné směry os proudů a mají stejný smysl;
- protiproude - u těchto výměníků jsou rovnoběžné směry os proudů a vektory rychlosti nemají stejný smysl;
- křížové - teplotní média o nestejných teplotách mají mimoběžné směry proudů a svírají vzájemně úhel  $90^\circ$  v kolmém průmětu;
- se šikmým vzájemným proudem - osy proudů teplotních médií svírají v kolmém průmětu vzájemně úhel menší, případně větší než  $90^\circ$ ;
- vícenásobně protiproude, souproude a křížové proudění;
- s kombinovaným prouděním.



$t_1'$  = vstupní teplota ohřívacího média [ $^\circ\text{C}$ ],  $t_1''$  = výstupní teplota ohřívacího média [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_2'$  = vstupní teplota ohřivaného média [ $^\circ\text{C}$ ],  $t_2''$  = výstupní teplota ohřivaného média [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $\Delta t'$  = teplotní rozdíl vstupních teplot [ $^\circ\text{C}$ ],  $\Delta t''$  = teplotní rozdíl výstupních teplot [ $^\circ\text{C}$ ]

Obr. 3.4: souproudeý a protiproudeý výměník [9]



$t_1'$  = vstupní teplota ohřívacího média [ $^\circ\text{C}$ ],  $t_1''$  = výstupní teplota ohřívacího média [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_2'$  = vstupní teplota ohřivaného média [ $^\circ\text{C}$ ],  $t_2''$  = výstupní teplota ohřivaného média [ $^\circ\text{C}$ ]

Obr. 3.5: křížový výměník [zdroj: viz autor BP]

### 3.1.4 Rozdělení výměníků dle způsobu přenosu tepelné energie

- konvekční - předání tepla závisí převážně na proudícím teplotnosném médiu a k přenosu tepelné energie dochází konvekcí;
- kombinované - k přenosu tepelné energie dochází prouděním a sáláním;
- sálavé - u radiačního způsobu přenosu tepla se přenáší teplo sáláním.

### 3.1.5 Rozdělení výměníků podle skupenství teplotnosných médií

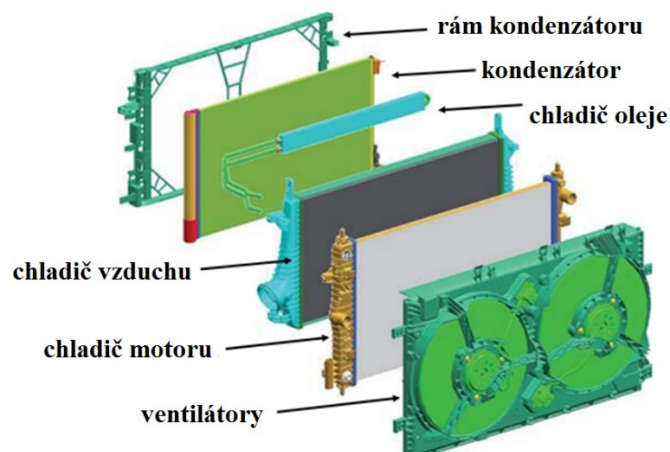
- bez změny stavu teplotnosných médií;
- se změnou stavu u jednoho teplotnosného média;
- se změnou stavu u všech teplotnosných médií. [2]

## 3.2 Automobilové výměníky tepla

Výměníky tepla se používají v automobilech jako:

- chladiče motoru;
- chladiče oleje (pro motor, manuální a automatickou převodovku a posilovač řízení);
- kondenzátory a výparníky pro klimatizační systémy;
- chladiče topení;
- chladiče výfukových plynů.

Kvůli nárokům na kompaktnost v kombinaci s nízkou hmotností jsou výměníky stále více vyráběny jako moduly. V dnešní době se do přední části vozidla umísťují až čtyři výměníky tepla, které výrazně snižují objem, hmotnost a náklady celkového chladicího systému. Nejčastěji jsou výměníky tepla dělány z hliníku. [7]



Obr. 3.6: umístění chladičů v automobilu [7]

### 3.2.1 Výparník klimatizace

Tento výměník tepla umístěný v palubní desce u topení slouží k vypařování chladiva, které předává teplo ochlazovanému vzduchu. Chladivo používané ve výparníku klimatizace může mít maximální tlak 6 barů a teploty kolem  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  až  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tlak může být ve výparníku větší jen v případě vypnuté klimatizace. Z tohoto důvodu musí mít výparník dostatečnou pevnost materiálu.

Vzduch, který je nasáván přes pylový filtr se prouděním přes výparník ochlazuje, vysušuje a čistí.

Výparník je vybavený přídatným ventilátorem, jehož cílem je tlačít vzduch přes vlnovce výparníku. Zde dojde k jeho ochlazení vlivem předávání tepelné energie z chladiva. Chladivo se tímto odpaří na přehřátou páru a ochlazený vzduch proudí zpět do kabiny automobilu. [5], [7], [8]



Obr. 3.7: výparník klimatizace pro chladivo R134a [7]

### 3.2.2 Kondenzátor klimatizace

Jedná se o tepelný výměník klimatizační jednotky, což je výměník chladivo - vzduch. Z hlediska způsobu použití je to kondenzát, který slouží ke kondenzaci plynného média na médium kapalné o nižší teplotě. Chladivo je médium, jež proudí uzavřeným oběhem klimatizačního systému a vzduch je médium, který se přivádí do výměníku z okolí. Při vstupu chladiva do výměníku tepla má chladivo vysoký tlak a vysokou teplotu. Tlak na konci výměníku zůstává stejný, ale teplota se zmenší, následkem přestupu tepelné energie z chladiva do vzduchu. Tento výměník tepla je podrobněji rozepsán v páté kapitole. [5], [7], [8]



Obr. 3.8: kondenzátor klimatizace pro chladivo R134a [zdroj: viz autor BP]

### 3.2.3 Chladič motoru

Tento chladič je potřebný pro chlazení kapalinových spalovacích motorů. V případě, že je automobil vybaven i automatickou převodovkou, tak chladí i převodovku. Účelem chladiče je předat tepelnou energii z chladicí kapaliny motoru do vzduchu proudícího přes chladič.

Hlavními částmi chladiče je horní a spodní komora, mezi které je umístěna chladicí vložka. Cílem této vložky je zlepšit přestup tepla mezi teplotními médii. Horní komora je vybavena vstupním hrdlem pro přívod chladicí kapaliny z motoru. U uzavřené přetlakové soustavy bývá horní komora spojena s vyrovnávací expanzní nádobkou. Dolní komora je opatřena výstupním hrdlem, vypouštěcím ventilem, případně zde může být i chladič oleje.

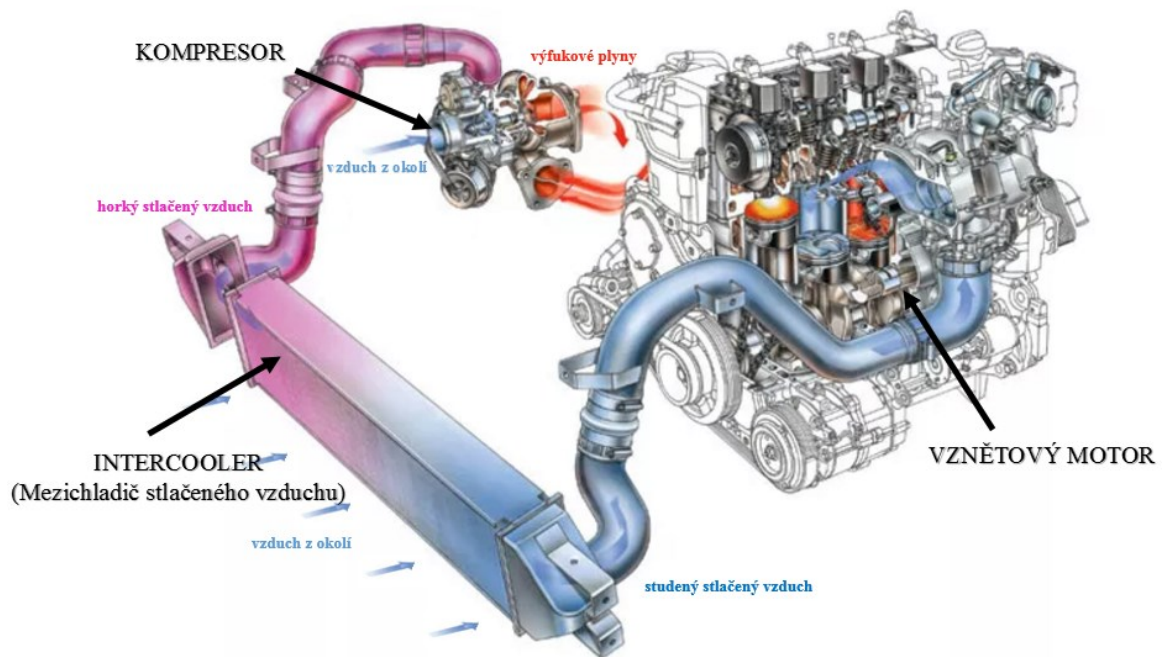
Ventilátor je zde používán k foukání vzduchu skrze výměník tepla, tak jako u jiných již zde popsaných automobilových chladičů. [6]

### 3.2.4 Mezichladič stlačeného vzduchu

Mezichladič stlačeného vzduchu ochlazuje stlačený vzduch vycházející z turbodmyčadla. Chladnější vzduch má větší obsah kyslíku, což příznivě ovlivňuje spalovací proces a tím pomáhá zvýšit výkon a účinnost motoru. Zároveň má tento chladič vliv na snížení spotřeby paliva a emisí. Chladič se umísťuje do přední části automobilu tak, aby měl co nejlepší přístup k proudícímu vzduchu z okolního prostředí. Podle chladicích médií rozlišujeme mezichladiče stlačeného motoru na chladiče vodou a vzduchem chlazené.

Vodou chlazené chladiče dosahují vyšších účinností. U sportovních vozidel mají vodou chlazené chladiče vlastní chladicí okruh. Zatímco u běžných automobilů se používá na chlazení chladicí kapalina motoru.

Vzduchem chlazené chladiče přenáší teplo ze stlačeného vzduchu do vzduchu proudícího skrze hliníkové lamely chladiče. [13]



Obr. 3.9: systém s mezichladičem stlačeného vzduchu [13]

### 3.3 Požadovaná kritéria na teplotnosná média a materiál tepelného výměníku.

Jeden z hlavních kritérií pro návrh výměníků je předání co nejvíce možného tepla za nízkou pořizovací cenu. Pokud chceme dosáhnout velkého přestupu tepla, tak bychom měli volit vhodné teplotnosné média, volit vhodný materiál pro konstrukci tepelného výměníku a dělat konstrukční úpravy.

#### 3.3.1 Kritéria na výměník

Výměník musí mít co nejmenší hmotnost, rozměry a cenu. Zároveň musí mít co nejmenší tlakové ztráty a co největší spolehlivost při provozu. Poněvadž jsou tyto požadavky antagonické, tak je konečný návrh vždy kompromisem mezi těmito požadavky. [2]

### 3.3.2 Kritéria na teplonosná média

Teplonosná látka by měla mít velkou měrnou tepelnou kapacitu, vysoký součinitel tepelné vodivosti a přestupu tepla, nízkou viskozitu, malou agresivitu mířící ke korozi mechanismu, dostačující výskyt v biosféře a poměrně nízkou cenu. Tyto požadavky splňuje nejlépe v běžných případech voda a vodní pára. Mezi největší nedostatky vody a vodní páry patří možnost koroze. U vody je ještě důležité udržovat dostatečný tlak, tak aby při určité teplotě nedošlo k bodu varu a nevznikala tak pára.

### 3.4 Zintenzivnění sdílení tepla ve výměníku tepla

Zintenzivnění sdílení tepla ve výměníku je v dnešní době velice žádané. Důležité ovšem je, aby byly při zintenzivnění dodržovány i ostatní požadavky jako je zachování spolehlivosti provozu, dostupnost materiálu na trhu, dostupnost výrobních zařízení, co nejnižší cena a jednoduchost konstrukce.

#### 3.4.1 Možnosti zintenzivnění

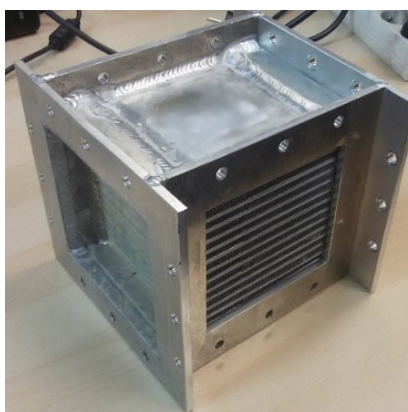
- a) Žebrovaním, kterým zvětšíme teplosměnný povrch.
- b) Zmenšením geometrických rozměrů teplosměnných prvků. Těmito geometrickými rozměry jsou myšleny průměry trubek, eventuálně šířka a výška kanálů. Tato možnost však má protikladné důsledky. Následkem zmenšení těchto rozměrů dochází k zvětšení součinitele prostupu tepla. Zároveň je při četnějším počtu trubek větší pořizovací cena.
- c) Zdokonalením utěsnění výměníku. Tkví převážně v zlikvidování mrtvých koutů, utěsnění tepelných výměníků a v ideálním provedení odvodu vzdušnosti.
- d) Zvýšením turbulence proudu. Toto se provádí v případě, kdy je velikost Reynoldsova čísla malá. Bývá to u výměníků, kde je pracovním médiem plyn. Zvýšení turbulence proudu se dělá použitím pulsátorů, mixerů či destruktorů laminární podvrstvy. [2]

## 4. KALORIMETRICKÁ TRAŤ

Kalorimetrická trať je testovací zařízení, které slouží k měření zkušebních výměníků vzduch - kapalina. Do kalorimetru se dává směs monoethylenglykolu a vody, která je v poměru 50/50 %. Druhým médiem na kalorimetrické trati je vzduch, který má normální složení.

Při měření se opakovaně provádí výměna tepelné energie mezi teplotonosnými médii, přičemž se zjišťují potřebné veličiny. U chladičů a dalších výměníků používaných v automobilovém průmyslu se zde měří tepelná efektivita vlnovcových elementů. Tyto vlnovce zkušebních výměníků slouží k přenosu tepla z kapaliny do vzduchu, stejně jako je to u komerčních výměníků. Rozdíl mezi komerčním produktem a zkušebním výměníkem je v tom, že zkušební výměník postrádá umělohmotné komory s úchytkami a jeho cílem je pouze změřit účinnost vlnovce.

Na kalorimetrické trati se mohou měřit různé velikosti zkušebních výměníků, avšak nejčastěji se měří zkušební výměníky s rozměry 100 x 100 mm. Největší rozměry zkušebních vzorků pro upevnění a měření na kalorimetrické trati jsou 150 x 150 mm.



Obr. 4.1: zkušební vzorek s rozměry 100 x 100 mm [zdroj: viz autor BP]

### 4.1 Předpoklad pro kvalitní měření

Důležitým předpokladem pro hodnotné měření účinnosti je rovnoměrné rychlostní pole už při vstupujícím proudění chladicího vzduchu do vložky. Pokud by se tedy napříč tokem měnila osová složka rychlosti nanejvýš o 5 % střední hodnoty rychlosti a příčná složka by nepřesáhla 10 % složky rychlosti, tak by bylo tomuto požadavku vyhověno. [12]



## 4.2 Konstrukce zařízení

Kvůli přesnosti měření se toto zařízení navrhuje s možností záměny strany chlazené za chladící a opačně. Kalorimetrická trať má vzduchový a kapalinový okruh, který slouží k předávání tepelné energie mezi teplonosnými médii. Zároveň má také pomocné zařízení, což je okruh chlazení s venkovním výměníkem a úsek pro montáž zkušební vzorku s měřicí maticí teplot a homogenizačními prostředky.

Snímače jsou navrženy pro různé potencionální testovací situace. Vstupující veličiny jsou zde říditelné nezávislé a jejich hodnota musí mít vyhovující rezervu výkonů ohřívacích a chladících, kvůli tepelným ziskům. Kalorimetrická trať může upravovat teploty pomocí výrobku chladu s akumulací nádrží, který má regulační chladivový cyklus. [12]

### 4.2.1 Vzduchový okruh

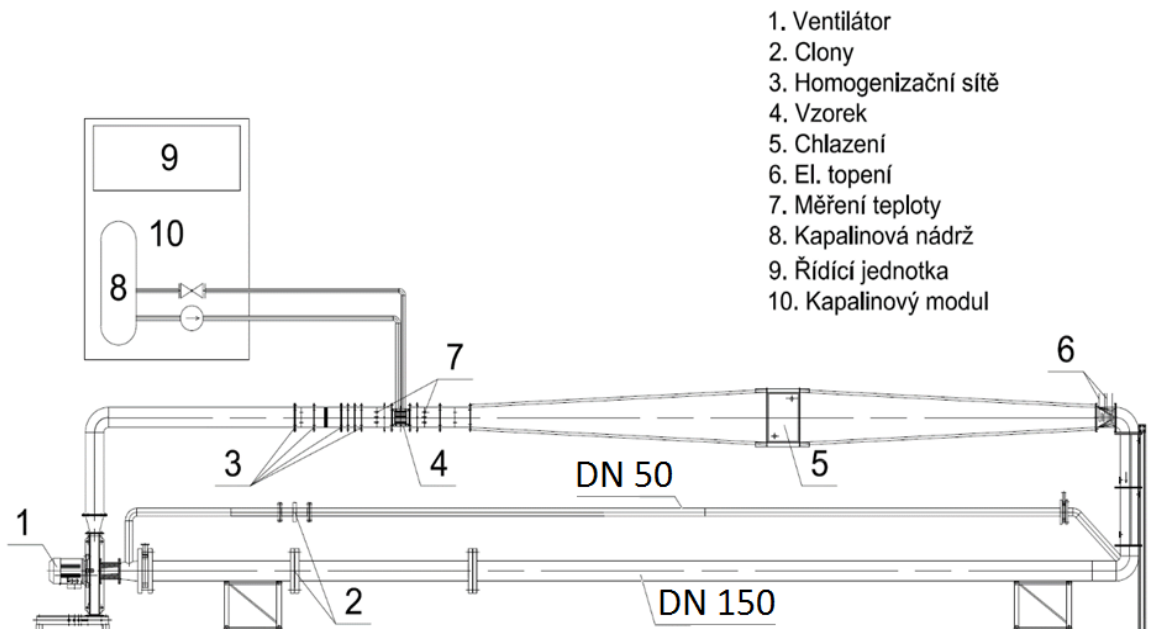
Vzduchový okruh se skládá z radiálního ventilátoru, který je řízený frekvenčním měničem v určitém rozsahu průtoku. Dále se vzduchový okruh skládá z elektrického ohřevu, vnitřního chladiče a měřícího úseku.



Obr. 4.2: radiální ventilátor [zdroj: viz autor BP]

Kvůli strohým nárokům na exaktnost měření vzorkových výměníků je vzduchový okruh počítán jako okruh uzavřený. Konstrukce proudovou je tvořena kruhovým a hranatým nerezovým potrubím s vnější izolační látkou odolnou do 120 °C. Tato izolační látka izoluje potrubí, ventilátory a chladič, aby nedocházelo k velkým tepelným ztrátám.

Proudovod je tvořen z dvou tratí DN150 a DN50. Trať DN150 má rozsah průtoku vzduchu kolem 80 - 960 kg·h<sup>-1</sup>. Pro nižší rozsah průtoku 25 - 80 kg·h<sup>-1</sup> se využívá trať DN50 s centrickou clonou, jenž je umístěna nad tratí DN150. [12]

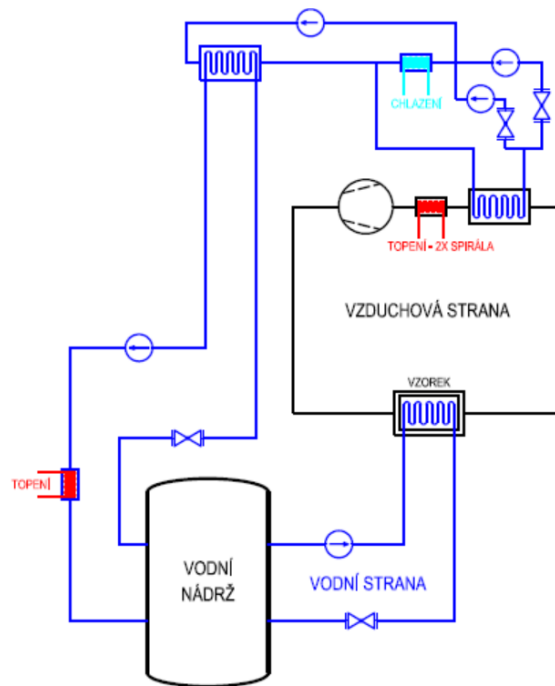


Obr. 4.3: schéma kalorimetrické trati s podrobnějším popisem vzduchového okruhu [11]

#### 4.2.2 Kapalinový okruh

Kapalinový okruh se skládá z čerpadla poháněného frekvenčním měničem, elektrického topidla s regulací, výměníku, pomocného okruhu s čerpadlem na měniči a dvojitou nádrží s tlakovou regulací vzduchu.

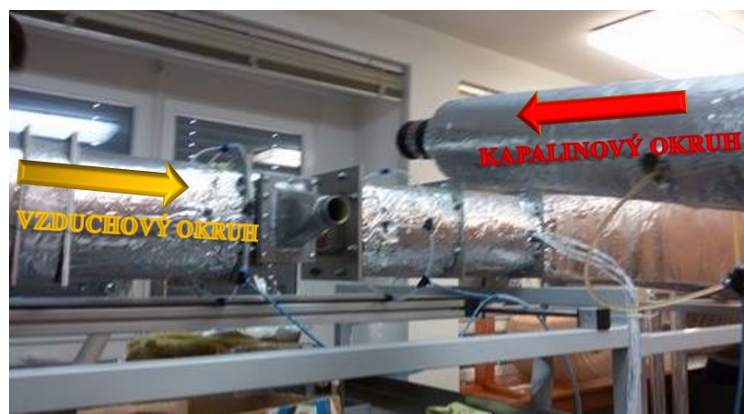
Do kapalinového okruhu se nejdříve používalo jako médium voda, která sloužila k testovacímu měření zkušebních výměníků bez vlnovcového elementu. Při tomto měření byly stanoveny teplotní limity a maximální průtoky. Poté se již začalo měřit se zkušebními výměníky obsahujícími vlnovcové elementy. Od té doby se do kapalinového okruhu používá směs monoethylglykolu a vody v poměru 50/50 %. [12]



Obr. 4.4: schéma kalorimetrické trati s podrobnějším popisem kapalinového okruhu [11]

### 4.3 Měření na kalorimetrické trati

Před měřením se musí testovací výměník nejprve upevnit na kalorimetrickou trať. Poté, co je testovací výměník uchycen, tak je zapotřebí ho zaizolovat, aby nedocházelo k velké ztrátě tepelné energie do okolí. Tato část trvá zhruba 1 hodinu. Ve chvíli, kdy je testovací výměník upevněný a zaizolovaný, tak je možné zadat vstupní hodnoty do počítače na kalorimetrické trati. Mezi zadávané vstupní hodnoty patří průtok, teplota a tlak kapaliny, dále teplota a průtok vzduchu. Následně je možné kalorimetrickou trať spustit. Po spuštění kalorimetrické trati se opakovaně měří přenos tepelné energie mezi teplonosnými médii, přičemž se zjišťují výsledné veličiny. U výměníků tepla používaných v automobilovém průmyslu se měří tepelná účinnost vlnovcových elementů.



Obr. 4.4: upevňování testovacího výměníku na kalorimetrickou trať [zdroj: viz autor BP]

## 5. NÁVRH A VÝPOČET VÝMĚNÍKU PRO KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKU OSOBNÍHO AUTOMOBILU

### 5.1 Popis tepelného výměníku pro klimatizační jednotku

Tepelný výměník pro klimatizační jednotku je kondenzátorem klimatizace, u kterého dochází ke kondenzaci chladiva z plynné fáze na fázi kapalnou. Nejčastěji se v klimatizačních systémech využívá chladivo R134a. Druhým médiem tohoto výměníku je vzduch, jenž se přivádí do kondenzátoru z okolí. Chladivo vstupující do výměníku tepla má vysoký tlak 15 - 20 bar a teplotu 74 °C. Tlak na konci výměníku zůstává stejný, avšak teplota klesá vlivem sdílení tepla mezi chladivem a vzduchem okolí. Teplota kapalného chladiva na výstupu z kondenzátoru má 59 °C.

Pozice výměníku tepla je v přední části auta a kvůli menším rozměrům je výměník tepla instalován ještě před chladičem motoru.



Obr. 5.1: pozice kondenzátoru [4]

Dle konstrukce se jedná o rekuperační výměník, což znamená, že má nepropustnou stěnu zabraňující styku teplotnosných medií. K přenosu tepelného energie zde dochází prostupem tepla. Podle smyslu a směru proudění teplotnosných médií se jedná o křížový výměník, u kterého mají teplotnosné média o nestejně teplotě nerovnoměrné směry proudů a svírají spolu úhel 90° v svislém průmětu. [9]

Ventilátory jsou používány u výměníku kvůli rychlejšímu odvodu tepla z chladiva. Umísťují se blízko výměníku a jejich počet, uspořádání a pohon závisí na příslušném modelu výměníku. Ventilátory mohou být poháněny elektrickým motorem nebo klínovým řemenem. U

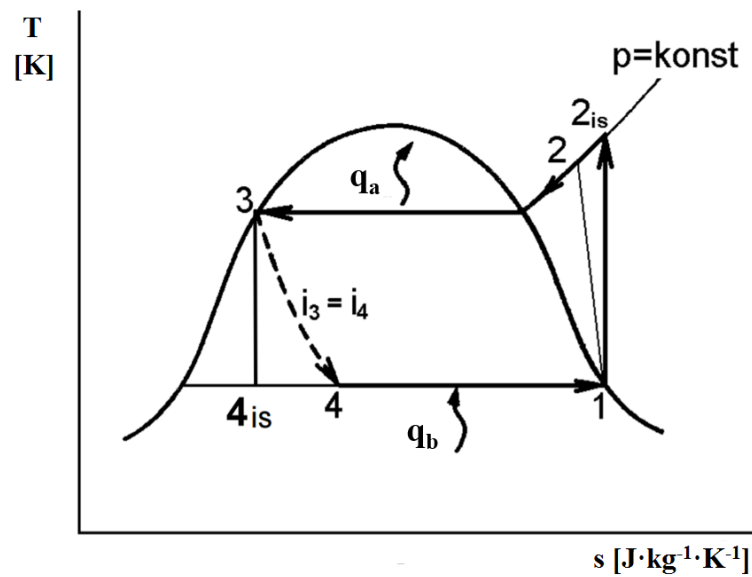
všech modelů jsou ventilátory řízeny vysokotlakým vypínačem, který se nachází v chladicím okruhu. Dále jsou řízeny snímačem snímajícím teplotu chladiče v oběhu chlazení motoru.

Po zapnutí klimatizačního zařízení se musí výměník neprodleně zchladit, aby se zabránilo závadě chladivového oběhu. [5], [8]

## 5.2 Výpočet chladicího výkonu klimatizace a tepelného výkonu kondenzátoru

Chladicí cyklus			
Chladivo R134a			
měrná práce oběhu	$a_o$	29,140	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
chladicí faktor	$\varepsilon_{ch}$	4,044	[-]
topný faktor	$\varepsilon_t$	5,044	[-]
chladicí Carnotův faktor	$\varepsilon_{ch,Carn}$	5,630	[-]
kompresní účinnost	$\eta_{kom}$	0,700	[-]
skutečný příkon kompresoru	$P_{kom,sk}$	1,413	[kW]
výkon kompresoru	$Q_{kom}$	0,989	[kW]
měrná entalpie syté páry	$i_1$	255,600	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
měrná entalpie přehřáté páry	$i_2$	284,700	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
měrná entalpie přehřáté páry skutečná	$i_{2,sk}$	297,200	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
měrná entalpie syté kapaliny	$i_3$	137,700	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
měrná entalpie mokré páry	$i_4$	137,700	[kJ · kg <sup>-1</sup> ]
hmotnostní průtok chladiva v klimatizaci	$\dot{m}_{ch,k}$	0,034	[kg · s <sup>-1</sup> ]
tlak ve vysokotlaké části oběhu	$p_v$	1643,000	[kPa]
tlak v nízkotlaké části oběhu	$p_n$	401,200	[kPa]
teplota chladiva v kompresoru	$t_{ch,kom}$	63,950	[°C]
teplota chladiva v kompresoru skutečná	$t_{ch,kom,sk}$	74,020	[°C]
teplota chladiva v kondenzátoru	$t_{ch,kond}$	59	[°C]
teplota chladiva ve výparníku	$t_{ch,vyp}$	9	[°C]

Tabulka 5.1: chladicí cyklus [zdroj: viz doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.]

**T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu**

Obr. 5.2: T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu [10]

**Výpočet tepelného výkonu kondenzátoru klimatizace**

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = (i_2 - i_3) \cdot \dot{m}_{\text{ch,k}} \text{ [kW]} \quad (1)$$

Kde  $i_2$  = měrná entalpie přehřáté páry [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$i_3$  = měrná entalpie syté kapaliny [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$\dot{m}_{\text{ch,k}}$  = hmotnostní průtok chladiva v klimatizaci [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$\dot{Q}_{\text{kond}} = (284,7 - 137,7) \cdot 0,034 = 4,998 \text{ [kW]}$$

**Výpočet skutečného tepelného výkonu kondenzátoru klimatizace**

$$\dot{Q}_{\text{kond,sk}} = (i_{2,\text{sk}} - i_3) \cdot \dot{m}_{\text{ch,k}} \text{ [kW]} \quad (2)$$

Kde  $i_{2,\text{sk}}$  = měrná entalpie přehřáté páry skutečná [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$i_3$  = měrná entalpie syté kapaliny [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$\dot{m}_{\text{ch,k}}$  = hmotnostní průtok chladiva v klimatizaci [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$\dot{Q}_{\text{kond,sk}} = (297,2 - 137,7) \cdot 0,034 = 5,423 \text{ [kW]}$$

**Výpočet chladicího výkonu klimatizace**

$$Q_{ch} = (i_1 - i_4) \cdot \dot{m}_{ch,k} \text{ [kW]} \quad (3)$$

Kde  $i_1$  = měrná entalpie syté páry [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$i_4$  = měrná entalpie mokré páry [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$\dot{m}_{ch,k}$  = hmotnostní průtok chladiva v klimatizaci [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$$Q_{ch} = (255,6 - 137,7) \cdot 0,034 = 4,009 \text{ [kW]}$$

**5.3 Výpočet potřebného množství vzduchu k ochlazení kabiny****Výpočet hmotnostního průtoku vzduchu ve výparníku**

$$Q_{ch} = \dot{m}_{vz,výp} \cdot c_{pvz} \cdot \Delta t \text{ [kW]} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{vz,výp} = \frac{Q_{ch}}{c_{pvz} \cdot (t_{vz1,výp} - t_{vz2,výp})} \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

Kde  $Q_{ch}$  = chladicí výkon [kW]

$c_{pvz}$  = měrná tepelná kapacita vzduchu za stálého tlaku [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_{vz1,výp}$  = vstupní teplota vzduchu ve výparníku klimatizace [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{vz2,výp}$  = výstupní teplota vzduchu ve výparníku klimatizace [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta t$  = teplotní rozdíl [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$\dot{m}_{vz,výp} = \frac{4,009}{1,005 \cdot (30 - 15)} = 0,265 \text{ [kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

**Výpočet objemového průtoku vzduchu ve výparníku**

$$\dot{V}_{vz,výp} = \frac{\dot{m}_{vz,výp} \cdot r \cdot T_{vz1,výp}}{p_b} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5)$$

Kde  $\dot{m}_{vz,výp}$  = hmotnostní průtok vzduchu ve výparníku klimatizace [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$T_{vz1,výp}$  = vstupní teplota vzduchu ve výparníku [K]

$r$  = měrná plynová konstanta [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$p_b$  = barometrický tlak [Pa]

$$\dot{V}_{vz,výp} = \frac{0,265 \cdot 287 \cdot 293,15}{100\,000} = 0,223 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] = 223 \text{ [l} \cdot \text{s}^{-1}]$$

## 5.4 Výpočet tepelného výkonu kondenzátoru při dané rychlosti automobilu

Legenda	
$\dot{m}_{vz,zv}$	hmotnostní průtok vzduchu ve zkušebním výměníku
$\dot{V}_{ch,zv}$	objemový průtok chladiva ve zkušebním výměníku
$t_{vz1,zv}$	vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku
$t_{ch1,zv}$	vstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku
$t_{vz2,zv}$	výstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku
$t_{ch2,zv}$	výstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku
$\Delta p_{vz}$	tlaková ztráta na straně vzduchu
$\Delta p_{ch}$	tlaková ztráta na straně chladiva

Výstupní hodnoty získané po měření								
$\dot{m}_{vz,zv}$	$\dot{m}_{vz,zv}$	$\dot{V}_{ch,zv}$	$t_{vz1,zv}$	$t_{vz2,zv}$	$t_{ch1,zv}$	$t_{ch2,zv}$	$\Delta p_{vz}$	$\Delta p_{ch}$
<b>malá trať</b>								
[kg · h <sup>-1</sup> ]	[kg · s <sup>-1</sup> ]	[l · min <sup>-1</sup> ]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[Pa]	[bar]
50,005	0,014	50,002	59,994	29,917	29,992	30,113	71,613	0,101
70,000	0,020	49,999	60,030	30,584	29,967	30,145	111,594	0,102
<b>velká trať</b>								
90,000	0,025	49,999	80,002	31,651	29,996	30,347	116,611	0,102
110,000	0,031	49,999	79,965	32,164	29,966	30,389	154,541	0,099
140,002	0,039	49,999	89,996	33,541	29,99	30,638	227,415	0,099
189,997	0,053	50,000	99,974	36,057	29,993	30,974	381,146	0,099
239,999	0,067	49,998	100,023	37,666	29,990	31,198	536,470	0,095
289,996	0,081	49,999	100,009	39,441	30,002	31,424	725,790	0,094
389,998	0,108	50,003	99,958	42,640	29,997	31,807	1159,750	0,093
489,998	0,136	49,998	100,001	45,572	30,004	32,195	1685,020	0,092
590,002	0,164	49,997	100,000	48,128	29,979	32,438	2282,520	0,092
669,487	0,186	49,999	99,995	50,008	29,935	32,625	2822,500	0,092

Tabulka 5.2: výstupní hodnoty získané po měření na kalorimetrické trati  
[zdroj: viz doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.]



Zde uvedené výpočty jsou vypočteny pro nejmenší průtok na velké trati. Hodnoty pro zbylé průtoky jsou uvedeny v tabulce 5.3: Vypočtené hodnoty

### **Výpočet tepelného výkonu zkušebního výměníku**

$$d\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_{p1} \cdot \Delta t_1 = |\dot{m}_2 \cdot c_{p2} \cdot \Delta t_2| \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{zv} = \dot{m}_{vz,zv} \cdot c_{pvz} \cdot (t_{vz1,zv} - t_{vz2,zv}) \text{ [kW]} \quad (6)$$

Kde  $\dot{m}_{vz,zv}$  = hmotnostní průtok vzduchu ve zkušebním výměníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$t_{vz1,zv}$  = vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{vz2,zv}$  = výstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta t$  = teplotní rozdíl [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$c_{pvz}$  = měrná tepelná kapacita vzduchu za stálého tlaku [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$$\dot{Q}_{zv} = 0,025 \cdot 1,005 \cdot (80,002 - 31,651) = 1,215 \text{ [kW]}$$

### **Výpočet objemového průtoku vzduchu zkušebního výměníku**

$$p \cdot \dot{V} = \dot{m} \cdot r \cdot T \quad (7)$$

$$\dot{V}_{vz,zv} = \frac{\dot{m}_{vz,zv} \cdot r \cdot T_{vz1,zv}}{p_b} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (7)$$

Kde  $\dot{m}_{vz,zv}$  = hmotnostní průtok vzduchu ve zkušebním výměníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$T_{vz1,zv}$  = vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku [K]

$r$  = měrná plynová konstanta [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$p_b$  = barometrický tlak [Pa]

$$\dot{V}_{vz,zv} = \frac{0,025 \cdot 287 \cdot 353,152}{100\,000} = 0,025 \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

### **Výpočet plochy zkušebního výměníku**

$$S_{zv} = l_{zv} \cdot h_{zv} \text{ [m}^2\text{]} \quad (8)$$

Kde  $l_{zv}$  = šířka zkušebního výměníku [mm]

$h_{zv}$  = výška zkušebního výměníku [mm]

$$S_{zv} = 100 \cdot 100 = 10\,000 \text{ [mm}^2\text{]} = 1 \text{ [dm}^2\text{]} = 0,01 \text{ [m}^2\text{]}$$

**Výpočet rychlosti auta**

$$\dot{V}_{vz,zv} = w \cdot S_{zv} \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (9)$$

$$w = \frac{\dot{V}_{vz,zv}}{S_{zv}} \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (9)$$

Kde  $\dot{V}_{vz,zv}$  = objemový průtok vzduchu ve zkušebním výměníku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $S_{zv}$  = plocha zkušebního výměníku [ $\text{m}^2$ ]

$$w = \frac{0,025}{0,01} = 2,534 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} = 9,122 \text{ [km} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$$

**Výpočet středního logaritmického rozdílu teplot**

$$\Delta t_{stř} = \frac{(t_{vz1,zv} - t_{ch2,zv}) - (t_{vz2,zv} - t_{ch1,zv})}{\ln \left( \frac{t_{vz1,zv} - t_{ch2,zv}}{t_{vz2,zv} - t_{ch1,zv}} \right)} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (10)$$

Kde  $t_{vz1,zv}$  = vstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_{vz2,zv}$  = výstupní teplota vzduchu ve zkušebním výměníku [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_{ch1,zv}$  = vstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_{ch2,zv}$  = výstupní teplota chladiva ve zkušebním výměníku [ $^\circ\text{C}$ ]

$$\Delta t_{stř} = \frac{(80,002 - 30,347) - (31,651 - 29,996)}{\ln \left( \frac{80,002 - 30,347}{31,651 - 29,996} \right)} = 14,11 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

**Výpočet tepelné propustnosti stěny zkušebního výměníku**

$$L_{zv} = \frac{\dot{Q}_{zv}}{\Delta t_{stř}} \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad (11)$$

Kde  $\dot{Q}_{zv}$  = tepelný výkon zkušebního výměníku [W]  
 $\Delta t_{stř}$  = střední logaritmický rozdíl teplot [ $^\circ\text{C}$ ]

$$L_{zv} = \frac{1216}{14,11} = 86,18 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}\text{]}$$

**Výpočet tepelné propustnosti stěny kondenzátoru klimatizace**

$$L_{\text{kond}} = L_{\text{zv}} \cdot 2 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (12)$$

Poměr plochy zkušebního výměníku a kondenzátoru klimatizace je 1:2

Kde  $L_{\text{zv}}$  = tepelná propustnost stěny zkušebního výměníku [W · K<sup>-1</sup>]

$$L_{\text{kond}} = 86,18 \cdot 2 = 172,34 \text{ [W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

**Výpočet teoretického tepelného výkonu kondenzátoru klimatizace**

$$\dot{Q}_{\text{kond,t}} = \dot{Q}_{\text{zv}} \cdot 2 \text{ [kW]} \quad (13)$$

Poměr plochy zkušebního výměníku a kondenzátoru klimatizace je 1:2

Kde  $\dot{Q}_{\text{zv}}$  = tepelný výkon zkušebního výměníku [kW]

$$\dot{Q}_{\text{kond,t}} = 1,216 \cdot 2 = 2,432 \text{ [kW]}$$

### 5.4.1 Vypočtené hodnoty

Legenda	
$\dot{Q}_{zv}$	tepelný výkon zkušebního výměníku
$\dot{V}_{vz,zv}$	objemový průtok vzduchu ve zkušebním výměníku
w	rychlost auta
$\Delta t_{stř}$	střední logaritmický rozdíl teplot
$L_{zv}$	tepelná propustnost stěny zkušebního výměníku
$L_{kond}$	tepelná propustnost stěny kondenzátoru klimatizace
$\dot{Q}_{kond,t}$	teoretický tepelný výkon kondenzátoru klimatizace

Vypočtené hodnoty						
$\dot{Q}_{zv}$	$\dot{V}_{vz,zv}$	w	$\Delta t_{stř}$	$L_{zv}$	$L_{kond}$	$\dot{Q}_{kond,t}$
<b>malá trať</b>						
[kW]	[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ]	[km · h <sup>-1</sup> ]	[°C]	[W · K <sup>-1</sup> ]	[W · K <sup>-1</sup> ]	[kW]
0,424	0,013	4,781	0	0	0	0,847
0,592	0,019	6,694	7,540	78,550	157,090	1,185
<b>velká trať</b>						
1,216	0,025	9,122	14,110	86,170	172,340	2,432
1,491	0,031	11,148	15,200	98,040	196,080	2,981
2,215	0,040	14,592	19,820	111,780	223,560	4,430
3,408	0,057	20,346	25,880	131,680	263,350	6,816
4,203	0,071	25,704	27,880	150,760	301,530	8,406
4,935	0,086	31,058	29,820	165,490	330,980	9,871
6,227	0,116	41,762	32,950	189,000	378,000	12,455
7,447	0,146	52,476	35,500	209,760	419,520	14,894
8,558	0,176	63,186	37,590	227,650	455,300	17,120
9,353	0,199	71,697	39,060	239,450	478,900	18,700

Tabulka 5.3: vypočtené hodnoty

Z tabulky vypočtených hodnot na předešlé straně lze vidět, že při rychlosti automobilu pod  $20 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  má kondenzátor nedostatečný tepelný výkon (méně než  $5,4 \text{ kW}$ ) pro ochlazení kabiny automobilu. V těchto případech je zapotřebí využít přídavného ventilátoru. V případě vyšší rychlosti automobilu není zapotřebí využívat přídavného ventilátoru, jelikož má kondenzátor klimatizace dostatečně velký tepelný výkon pro běh klimatizace.

## 5.5 Požadovaný chladicí výkon klimatizace

Požadovaný chladicí výkon klimatizace musí být větší než je celkově přivedené teplo do kabiny automobilu (18).

### Výpočet intenzity slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu automobilu

$$G_d = G \cdot \sin(60^\circ) \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (14)$$

Kde  $G$  = intenzita slunečního záření v létě (kolmo ke směru slunečního záření) [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$$G_d = 1200 \cdot \sin(60^\circ) = 1039,231 \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

### Výpočet tepelného zisku radiací

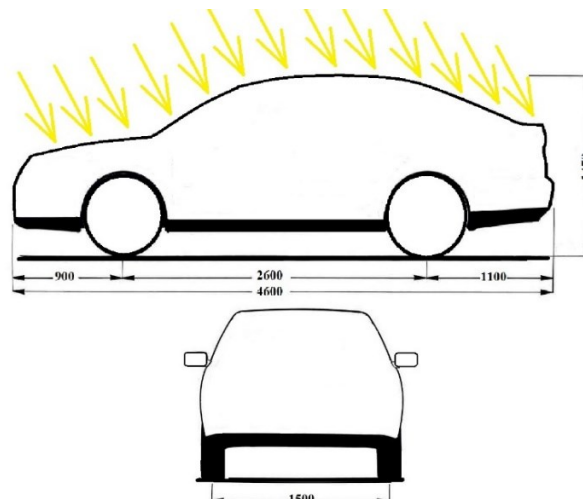
$$\dot{Q}_{z,r} = S_{oz} \cdot G_d \cdot \varepsilon_p \text{ [kW]} \quad (15)$$

Kde  $G_d$  = intenzita slunečního záření dopadajícího na vodorovnou plochu [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

$\varepsilon_p$  = emisivita plechu [-]

$S_{oz}$  = ozářená plocha kabiny automobilu [ $\text{m}^2$ ]

$$\dot{Q}_{z,r} = 3,9 \cdot 1039,231 \cdot 0,8 = 3243 \text{ [W]} = 3,243 \text{ [kW]}$$



Obr. 5.3: ozářená plocha auta [zdroj: viz autor BP]

**Výpočet tepelného zisku od pasažérů v automobilu**

$$\dot{Q}_{z,pas} = 5 \cdot \dot{Q}_{os} \text{ [kW]} \quad (16)$$

počet osob = 5 [-]

Kde  $\dot{Q}_{os}$  = tepelný zisk jedné osoby sedící v klidu = 80 [W]

$$\dot{Q}_{z,pas} = 5 \cdot 80 = 400 \text{ [W]} = 0,4 \text{ [kW]}$$

**Výpočet tepelného zisku od motoru**

$$\dot{Q}_{z,m} = k \cdot S_{st} \cdot (t_m - t_{kab}) \text{ [kW]} \quad (17)$$

Kde  $S_{st}$  = plocha stěny mezi kabinou a motorovou částí automobilu [m<sup>2</sup>]

$t_m$  = teplota v motorové části automobilu [°C]

$t_{kab}$  = teplota v kabině automobilu [°C]

$k$  = součinitel prostupu tepla [W · m<sup>-2</sup> · K<sup>-1</sup>]

$$\dot{Q}_{z,m} = 6 \cdot 0,75 \cdot (50 - 30) = 90 \text{ [W]} = 0,09 \text{ [kW]}$$

**5.5.1 Výpočet celkově přivedeného tepla do kabiny automobilu**

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_{z,r} + \dot{Q}_{z,pas} + \dot{Q}_{z,m} \text{ [kW]} \quad (18)$$

Kde  $\dot{Q}_{z,r}$  = tepelný zisk radiací [kW]

$\dot{Q}_{z,pas}$  = tepelný zisk od pasažérů v automobilu [kW]

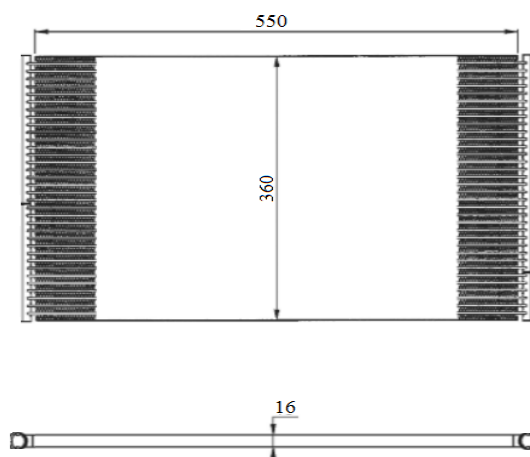
$\dot{Q}_{z,m}$  = tepelný zisk od motoru [kW]

$$\dot{Q}_c = 3,243 + 0,4 + 0,09 = 3,733 \text{ [kW]}$$

Po výpočtu celkově přivedeného tepla do kabiny automobilu bylo zjištěno, že vypočtený chladičový výkon klimatizace 4 kW je dostatečný pro ochlazení kabiny vozidla. Pro tento chladičový výkon klimatizace byl zároveň vypočten tepelný výkon kondenzátoru klimatizace, což znamená, že tepelný výkon kondenzátoru klimatizace je rovněž dostačující. S tímto kondenzátorem klimatizace o tepelném výkonu 5,4 kW tedy dojde k ochlazení kabiny automobilu při daných tepelných ziscích, přičemž není kondenzátor značně předimenzován.

## 5.6 Parametry kondenzátoru klimatizace

Rozměry kondenzátoru klimatizace byly zvoleny na základě požadovaného přenosu tepelné energie z chladiva do vzduchu, tak aby nedocházelo při funkci klimatizace k příliš velké spotřebě paliva automobilu. Zároveň je také požadavkem, aby měl kondenzátor vhodné parametry pro umístění do přední části automobilu.



Obr. 5.4: stanové rozměry kondenzátoru klimatizace [15]

Parametry kondenzátoru klimatizace		
šířka kondenzátoru klimatizace	$l_{\text{kond}}$	550 [mm]
výška kondenzátoru klimatizace	$h_{\text{kond}}$	360 [mm]
tloušťka kondenzátoru klimatizace	$t_{\text{kond}}$	16 [mm]
vstupní teplota chladiva v kondenzátoru	$t_{\text{ch1,kond}}$	74 [°C]
výstupní teplota chladiva v kondenzátoru	$t_{\text{ch2,kond}}$	59 [°C]
vstupní teplota vzduchu v kondenzátoru	$t_{\text{vz1,kond}}$	30 [°C]
výstupní teplota vzduchu v kondenzátoru	$t_{\text{vz2,kond}}$	46 [°C]
skutečný tepelný výkon kondenzátoru klimatizace	$\dot{Q}_{\text{kond,sk}}$	5,423 [kW]
pro chladivo R134a		

Tabulka 5.4: parametry kondenzátoru klimatizace

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a vypočítat výměník pro klimatizační jednotku, jenž lze používat v osobním automobilu. Zároveň je nutno dodat, že by měl být výměník tepla navržený tak, aby umožnil dostatečně velký přenos tepelné energie z chladiva do vzduchu a pomohl tak ochladit kabinu automobilu při daných tepelných ziscích. Dále bylo zapotřebí, aby klimatizace neměla příliš velký vliv na spotřebu a výkon automobilu. Součástí této práce bylo také zjistit při jaké rychlosti automobilu je zapotřebí využívat přídatného ventilátoru kondenzátoru klimatizace.

Teoretickou část bakalářské práce tvoří stručná charakteristika topení, větrání a klimatizace v osobním automobilu, přičemž je zde podrobněji rozepsán chladicí systém klimatizace včetně popisu jednotlivých druhů chladicích systémů. Dále jsou zde popsány výměníky tepla a kalorimetrická trať, na kterou jsem měl možnost se jít podívat a zúčastnit se měření zkušebního vzorku. Naměřené hodnoty jsem poté využil pro zjištění teoretického tepelného výkonu kondenzátoru při dané rychlosti automobilu.

Praktickou část tvoří stručný popis, návrh a výpočet výměníku pro klimatizační jednotku osobního automobilu. Na začátku praktické části byl vypočten chladicí výkon klimatizace a tepelný výkon kondenzátoru klimatizace. Tyto výkony bylo zapotřebí zkontrolovat, aby se stanovilo, zda jsou dostačující pro ochlazení kabiny vozidla. Ještě před zjištěním požadovaného chladicího výkonu klimatizace se provedl výpočet potřebného množství vzduchu pro ochlazení kabiny automobilu při chladicím výkonu klimatizace 4 kW. Dále byl vypočten teoretický tepelný výkon kondenzátoru klimatizace pro danou rychlost automobilu, jenž byl vypočten pomocí hodnot získaných při měření na kalorimetrické trati. Po výpočtu teoretického tepelného výkonu pro danou rychlost automobilu bylo zjištěno, že je zapotřebí využívat přídatného ventilátoru při jízdě pomalejší než  $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Přídatný ventilátor u tohoto výměníku se tedy bude využívat převážně ve chvílích, kdy automobil jede velice pomalu, eventuálně stojí na místě. Poté se již začal ověřovat chladicí výkon klimatizace a tepelný výkon kondenzátoru pomocí daných tepelných zisků stacionárního stavu. Po vypočtení a sečtení tepelných zisků se určilo, že výpočet chladicího výkonu klimatizace a zároveň tepelného výkonu kondenzátoru je dostačující. Dojde tedy u kondenzátoru klimatizace s tepelným výkonem 5,4 kW k požadovanému přenosu tepelné energie z chladiva do vzduchu, pomocí čehož klimatizace dokáže ochladit kabinu automobilu. Zároveň je tento tepelný výměník vypočten tak, že nemá klimatizace značně velký vliv na spotřebu a výkon automobilu.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **ADAMOVSKEÝ, D.** *Výměňiky tepla* [online] 2011-2017. [ cit. 20. 12. 2016].  
Dostupné z www: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yatm/prednasky/125yatm-06.pdf>
- [2] **BALÁŠ, M.** *Kotle a výměňiky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [3] **ČERNÝ, P.** *Klimatizace, druhy a obsluha* [online] 2010-2017. [ cit. 27. 12. 2016]. Dostupné z www: <https://www.cerni.net/~petr/wp/auta-navigace/klimatizace-druhy-a-obsluha/>
- [4] **DALY, S.** *Automotive air-conditioning and climate control systems*. 1st ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2006. ISBN: 978-0-7506-6955-9.
- [5] **DRKAL, F.; LAIN, M.; ZMRHAL, V.** *Klimatizace*. Praha: České vysoké učení technické, 2015. ISBN: 978-80-01-05652-3.
- [6] **GSCHEIDLE, R.** *Příručka pro automechanika. 3. přeprac. vyd. /*. Přeložil Iva MICHŇOVÁ, přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles cz., 2007. ISBN 978-80-86706-17-7.
- [7] *Heat exchangers* [online] 2011-2017. [ cit. 10. 4. 2017]. Dostupné z www: <http://european-aluminium.eu/media/1583/aam-applications-power-train-7-heat-exchangers.pdf>
- [8] *Jak funguje klimatizační systém auta* [online] 2008-2017. [ cit. 15. 10. 2016]. Dostupné z www: <http://mtw.fordclubs.org/article.php?article=153&rubrik=1>
- [9] **KADLEC, Z.** *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava: SPBI, Spektrum, 2009, s. 72. ISBN 978-80-7385-061-6.
- [10] **KADLEC, Z.** *Termomechanika: návody do cvičení*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-912-3.
- [11] **KADLEC, Z.; Kolařík, O.** *Výzkum mezichladičů pro automobilový průmysl na kalorimetrické trati VŠB*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, technická zpráva, 2015.

- [12] **Kolářik, O.** *Měření tepelné účinnosti vlnovců kalorimetrem*. Ostrava, technická zpráva, 2013.
- [13] **Marsteler, J.** *BOOTS, BLOWOUTS, AND BOOST TUBES: HOW TO BUILD A RELIABLE CAC PIPING SYSTEM* [online] 2014-2017. [ cit. 14. 4. 2017]. Dostupné z www: <https://engineering.mishimoto.com/2014/11/boots-blowouts-and-boost-tubes-how-to-build-a-reliable-cac-piping-system/>
- [14] **NOŽIČKA, J.** *Základy termomechaniky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02409-1.
- [15] *NRF – Air conditioning catalog 2015 - 2016* [online] 2015-2017. [ cit. 20. 3. 2017]. Dostupné z www: [https://drive.google.com/file/d/0B9ZE4\\_orb--5bTIIY2VYSFRRd1U/view](https://drive.google.com/file/d/0B9ZE4_orb--5bTIIY2VYSFRRd1U/view)
- [16] **RICHTÁŘ, M.; KŘIVDA, V.; OLIVKOVÁ, I.** *Konstrukční řešení silničních vozidel v MHD* [online] 2006-2017. [ cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z www: <http://kds.vsb.cz/mhd/konstrukce-topeni.htm>
- [17] **Sajdl, J.** *Klimatizace A/C (AC AirCondition)* [online] 2010-2017. [ cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z www: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/klimatizace-ac-ac-aircondition/>
- [18] **ŠIKL, P.** *Nezávislé topení v autě v zimě potěší* [online] 2008-2017. [ cit. 10. 10. 2016]. Dostupné z www: <http://www.tipcars.com/magazin-nezavisle-topeni-v-aute-v-zime-potesi-3756.html>
- [19] **ŠTĚTINA, J.; JAROŠ M.; RAMÍR, P.; PAVELEK, M.; JEDELESKY, J.; MICHALICA, K.** *Měření účinnosti větrání* [online] 2003-2017. [ cit. 12. 10. 2016]. Dostupné z www: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/vozidla/Ka05-03.htm>
- [20] *What is climate control?* [online] 2013-2017. [ cit. 15. 10. 2016]. Dostupné z www: <http://www.hanonsystems.com/en/technology/whatisclimate>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1: oblast přetlaku a podtlaku na povrchu pohybujícího se automobilu .....	15.
Obr. 2.1: chladivový oběh.....	17.
Obr. 2.2: T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu .....	18.
Obr. 2.3: p-i diagram Clausius-Rankinova oběhu .....	19.
Obr. 2.4: T-s a p-v diagram obráceného Carnotového oběhu.....	19.
Obr. 2.5: chladicí oběh s expanzní tryskou.....	20.
Obr. 2.6: chladicí oběh s expanzním ventilem.....	21.
Obr. 3.1: směšovací výměník .....	23.
Obr. 3.2: regenerační výměník .....	23.
Obr. 3.3: rekuperační výměník .....	24.
Obr. 3.4: souprůdný a protiprůdný výměník.....	26.
Obr. 3.5: křížový výměník.....	26.
Obr. 3.6: umístění chladičů v automobilu.....	27.
Obr. 3.7: výparník klimatizace pro chladivo R134a.....	28.
Obr. 3.8: kondenzátor klimatizace pro chladivo R134a .....	29.
Obr. 3.9: systém s mezichladičem stlačeného vzduchu.....	30.
Obr. 4.1: zkušební výměník s rozměry 100 x 100 mm.....	32.
Obr. 4.2: radiální ventilátor.....	33.
Obr. 4.3: schéma kalorimetrické trati s podrobnějším popisem vzduchového okruhu..	34.
Obr. 4.4: schéma kalorimetrické trati s podrobnějším popisem kapalinového okruhu .	35.
Obr. 4.5: upevňování testovacího výměníku na kalorimetrickou trať .....	35.
Obr. 5.1: pozice kondenzátoru.....	36.
Obr. 5.2: T-s diagram Clausius-Rankinova oběhu .....	38.
Obr. 5.3: ozářená plocha auta .....	45.
Obr. 5.4: stanovené rozměry kondenzátoru klimatizace.....	47.

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 5.1: chladicí cyklus .....	37.
Tabulka 5.2: výstupní hodnoty získané při měření na kalorimetrické trati .....	40.
Tabulka 5.3: vypočtené hodnoty .....	44.
Tabulka 5.4: parametry kondenzátoru klimatizace .....	47.