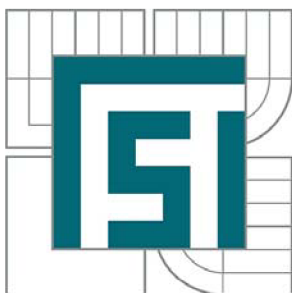


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ZMAPOVÁNÍ DISTRIBUCE VZDUCHU KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKY V KABINĚ OSOBNÍHO VOZU

DETERMINATION OF HVAC AIR DISTRIBUTION WITHIN A PASSENGER VEHICLE CABIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MICHAL PLANKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOŠ FOJTLÍN

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Planka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zmapování distribuce vzduchu klimatizační jednotky v kabině osobního vozu

v anglickém jazyce:

Determination of HVAC air distribution within a passenger vehicle cabin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Množství a způsob dodávky vzduchu do kabiny automobilu má podstatný vliv na distribuci tepla a tepelný komfort v kabině vozidla. Pro dosažení komfortního stavu je nutné tyto parametry nastavovat individuálně na základě daných potřeb. Zmapování distribuce vzduchu klimatizační jednotky v kabině osobního vozu poslouží jako reálný podklad pro nastavení okrajových podmínek pro počítačové modelování tepelné zátěže a tepelného komfortu v kabině vozidla.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je stanovení poměrových koeficientů distribuce vzduchu jednotlivými výstky HVAC systému osobního automobilu. Bude použito automatické nastavení klimatizačního systému, změřeny budou tři případy okolních podmínek zodpovídající průměrným letním, přechodným (jaro/podzim) a zimním podmínkám ve Střední Evropě.

Seznam odborné literatury:

- [1] PAVELEK M., ŠTĚTINA J. Experimentální metody v technice prostředí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007. ISBN 978-214-3426-4.
- [2] CHYSKÝ, Jaroslav; HEMZAL, Karel, a kol. Větrání a klimatizace : Technický průvodce. 3. přeprac. vyd. Praha: Bolit - B press Brno, 1993. 560 s. ISBN 80-901574-0-8.
- [3] DALY, Steven. Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems. [s.l.]: Butterworth-Heinemann, 2006. 432 s. ISBN 0-7506-6955-1.
- [4] CALETKA, P. Hodnocení funkčnosti větrací vyústky pro kabinu osobního vozu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 66 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miloš Fojtlín

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 28.11.2014

L.S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cieľom tejto bakalárskej práce je určenie pomerných koeficientov distribúcie vzduchu jednotlivými výstkami systému vetrania, kúrenia a klimatizácie (HVAC) osobného automobilu. Pomyselným ťažiskom práce je stanovenie objemových prietokov vzduchu z výustiek pri nastavení letných, zimných a prechodných okolitých klimatických podmienok (tepelná a solárna záťaž). Simulácia nami zvolených podmienok bola realizovaná umiestnením automobilu do klimatickej komory. Na určenie objemového prietoku výstkami bola zvolená metóda určenia objemového prietoku meraním rýchlosti, konkrétne z určenia strednej rýchlosti prúdu vzduchu a známej veľkosti prierezu výstky. Stredná rýchlosť prúdu vzduchu bola stanovená z nameraných hodnôt lokálnych rýchlostí prúdu vzduchu. Meranie bolo realizované metódou žiarovej anemometrie. Výstupom tejto práce sú vypracované a zhodnotené grafy pomerných percentuálnych koeficientov distribúcie vzduchu. Výsledky tejto experimentálnej práce poslúžia ako podklad pre nastavenie okrajových podmienok pre počítačové modelovanie tepelnej záťaže a tepelného komfortu v kabíne osobného automobilu.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Distribúcia vzduchu v kabíne automobilu, meranie prietoku vzduchu, žiarová anemometria, tepelný komfort, HVAC systém

ABSTRACT

The aim of this bachelor's thesis is to determine proportional coefficients of air distribution provided by heating, ventilating, and air conditioning system (HVAC) within a passenger vehicle cabin. The focus of this paper is to determine air flow rates from the outlets at predefined outside climatic conditions (ambient temperature and solar load). The simulation of outside climatic conditions was executed by placing the car into a climatic chamber. The air flow rates from outlets were determined by measuring air flow velocity method, specifically by determining mean value of air flow velocity profile and area of outlet cross-section. Hot-wire anemometry was used for air flow velocity measurement. The results of this experimental work are presented in a diagrammatic form and will serve as a groundwork for boundary condition setting for computer modeling of thermal load and thermal comfort within a vehicular cabin.

KEYWORDS

Air distribution within a car cabin, air flow rate measurement, hot-wire anemometry, thermal comfort, HVAC system

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

PLANKA, M. Zmapování distribuce vzduchu klimatizační jednotky v kabině osobního vozu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Miloš Fojtlín

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému „*Zmapování distribuce vzduchu klimatizační jednotky v kabině osobního vozu*“ vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

V Brne, dňa 28. mája 2015

.....

Michal Planka

POĎAKOVANIE

Moje poďakovanie patrí vedúcemu bakalárskej práce Ing. Milošovi Fojtlínovi za pomoc a cenné rady pri vypracovávaní bakalárskej práce i riešení experimentálnej časti práce. Zároveň patrí vďaka i mojej rodine za podporu počas štúdia.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	CIELE A LIMITY PRÁCE	12
3	TEORETICKÝ ROZBOR PRÚDENIA VZDUCHU.....	13
	3.1 Definičia objemového a hmotnostného prietoku	13
	3.1.1 <i>Stavová rovnica ideálneho plynu a určenie hustoty vzduchu</i>	13
	3.2 Prúdenie vzduchu v potrubí.....	14
	3.3 Prúdenie vzduchu z výustky	15
	3.4 Tlakové straty	16
4	METÓDY STANOVENIA PRIETOKU VZDUCHU	17
	4.1 Objemové meradlá	17
	4.1.1 <i>Objemové meradlá pre jednorazové meranie</i>	17
	4.1.2 <i>Objemové meradlá pre priebežné meranie</i>	17
	4.2 Meradlá so škrtiacimi prvkami.....	18
	4.3 Plavákový prietokomer	18
	4.4 Rýchlostné prietokomery	19
	4.5 Stanovenie prietoku vzduchu meraním rýchlostí	19
	4.5.1 <i>Meranie rýchlosti prúdenia</i>	20
	4.5.2 <i>Mechanické anemometre</i>	20
	4.5.3 <i>Dynamické rýchlostné sondy</i>	21
	4.5.4 <i>Žeraviace anemometre</i>	22
5	POPIS MERANÉHO OBJEKTU A PODMIENKY EXPERIMENTU	24
	5.1 Systém klimatizácie, kúrenia a vetrania osobného automobilu	24
	5.2 Umiestnenie výustiek	26
	5.3 Definovanie klimatických podmienok pre meranie	28
6	METODIKA EXPERIMENTÁLNEJ PRÁCE.....	29
	6.1 Určenie hmotnostného prietoku vzduchu – nasávanie.....	29
	6.1.1 <i>Voľba experimentálnej metódy - nasávanie</i>	29
	6.1.2 <i>Prvý návrh meracej trate</i>	29
	6.1.3 <i>Upravená, výsledná meracia trať</i>	30
	6.2 Určenie hmotnostného prietoku vzduchu – výustky	33
	6.3 Experimentálne vybavenie	34
	6.3.1 <i>Klimatická komora</i>	34

	6.3.2 Použité anemometre	35
	6.3.3 Ostatné použité vybavenie	36
7	VÝSLEDKY MERANÍ.....	37
	7.1 Určenie neistôt merania	37
	7.2 Klimatické podmienky - leto	39
	7.3 Klimatické podmienky - jar/jeseň.....	40
	7.4 Klimatické podmienky – zima.....	42
8	DISKUSIA	43
9	ZÁVER.....	46
10	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	47
11	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMOBOLOV	48
12	ZOZNAM PRÍLOH	50
13	PRÍLOHY	51

1 ÚVOD

So súčasným prudkým zvyšovaním úrovne technologickej zdatnosti spoločnosti sa na prostredie v kabíne osobných automobilov kladie čoraz väčší dôraz. Tepelný komfort je jeden z najdôležitejších faktorov, ovplyvňujúcich toto prostredie. Je to stav mysle, ktorý vyjadruje spokojnosť s okolitým, v našom prípade tepelným prostredím. Tento subjektívny faktor vplýva na somatickú i psychickú stránku posádky, ovplyvňuje aktívnu bezpečnosť pri vedení osobného automobilu. Poprední výrobcovia osobných automobilov vynakladajú na zvyšovanie tepelnej pohody nemalé úsilie, a to najmä kvôli zvýšeniu bezpečnosti a pohodlia cestujúcich i zvýšeniu konkurencieschopnosti [1].

Parametre prúdenia vzduchu z výustiek, ako napríklad rýchlosť prúdenia, teplota a vlhkosť vzduchu vystupujúceho z výustiek, výrazne ovplyvňujú tepelný komfort v kabíne automobilu. S rýchlosťou prúdenia úzko súvisí objemový prietok jednotlivými výustkami. Je dôležité, aby bol vzduch na vylepšenie tepelnej situácie vo vozidle správne rozdeľovaný a distribuovaný s dôrazom na vplyv na posádku. Hlavnou úlohou distribúcie vzduchu je zaistiť požadovaný stav vzduchu v cielej oblasti, teda stav zabezpečujúci tepelnú pohodu pasažierov aj ich aktívnu bezpečnosť (napr. odhmlievanie čelného skla) [2].

V tejto práci sa budeme zameriavať na určenie pomerných koeficientov prietoku vzduchu jednotlivými HVAC (heating, ventilating and air conditioning) výustkami osobného automobilu ŠKODA Octavia, pričom bude nastavený automatický režim klimatizačného systému Climatronic. Zároveň bude pozornosť venovaná aj určeniu hmotnostného prietoku nasávaním, ktorý sa porovná s celkovým hmotnostným prietokom výustkami v kabíne automobilu.

Riadiaca jednotka systému Climatronic porovnáva nastavený údaj o požadovanej teplote v kabíne s údajmi z viacerých čidiel umiestnených na karosérii, na vstupe do klimatizačného systému, v kabíne atď. Podľa týchto informácií následne reguluje kúrenie alebo chladenie, odmrazovanie alebo odhmlenie okien, intenzitu prúdenia vzduchu či vnútornú cirkuláciu [3]. Preto boli na meranie vybrané tri typy okolitých podmienok, teda teplôt a intenzity slnečného žiarenia zodpovedajúcich letným, zimným a prechodným podmienkam na území Strednej Európy.

2 CIELE A LIMITY PRÁCE

Ciele práce

Stanovenie pomerných koeficientov distribúcie vzduchu výustkami HVAC systému v kabíne osobného automobilu pre zimné, letné a jarné/jesenné okolité klimatické podmienky

Limity práce

- Meranie nie je realizované počas jazdy automobilu
- Lamely na smerovanie prúdu vzduchu z výustiek, pri použití dostupných metód, značne vplývajú na presnosť merania (lokálny nárast rýchlosti vzduchu, ktorý obteká lamely)
- Zložitý tvar potrubia a prechodu do výustiek, pri použití dostupných metód, značne vplývajú na presnosť merania (nerovnomerné rýchlostné pole)

3 TEORETICKÝ ROZBOR PRÚDENIA VZDUCHU

Cieľom tejto práce je určenie pomerných koeficientov objemového prietoku jednotlivými výustkami v osobnom automobile, preto sa v nasledujúcej kapitole obmedzíme na definovanie základných pojmov a teoretický rozbor parametrov plynov prúdiacich potrubím a z výustky.

3.1 Definícia objemového a hmotnostného prietoku

Pojem prietok vyjadruje množstvo tekutiny, teda množstvo kvapalín, plynov alebo pár, ktoré pretečie cez potrubie za určitý časový interval. Prietok môže byť vyjadrovaný v objemových alebo hmotnostných jednotkách, jedná sa teda o objemový alebo hmotnostný prietok [4].

Objemový prietok q_v je definovaný ako podiel objemu tekutiny, ktorá prechádza daným prierezom a času podľa vzťahu [4]

$$q_v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{dV}{dt} \quad (3.1)$$

Kde:

q_v	je objemový prietok prúdiaceho vzduchu	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
ΔV	je elementárny objem prúdiaceho vzduchu	$[\text{m}^3]$
Δt	je časový interval	$[\text{s}]$

Okrem objemového prietoku sa často vyjadruje aj hmotnostný prietok, ktorý sa definuje ako podiel hmotnosti látky, ktorá prechádza daným prierezom a času [5]

$$q_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho \frac{dV}{dt} \quad (3.2)$$

Kde:

q_m	je hmotnostný prietok prúdiaceho vzduchu	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$
Δm	je elementárna hmotnosť prúdiaceho vzduchu	$[\text{kg}]$
Δt	je časový interval	$[\text{s}]$
ρ	je hustota pretekajúceho vzduchu	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

Keďže hustota vzduchu je stavová veličina, ktorá závisí od ďalších stavových veličín, je potrebné pri meraní objemového prietoku zaznamenávať aj teplotu a tlak prúdiaceho vzduchu, chemické zloženie i vlhkosť [4] [6].

3.1.1 Stavová rovnica ideálneho plynu a určenie hustoty vzduchu

Stavová rovnica ideálneho plynu navzájom viaže základné stavové veličiny, a to teplotou, tlak objem, hmotnosť a pod. Vzťah (3.3) je vyjadrením stavovej rovnice pre jeden kilogram ideálneho plynu

$$p \cdot v = \frac{p}{\rho} = r \cdot T \quad (3.3)$$

Kde:

p	je tlak ideálneho plynu	$[\text{Pa}]$
v	je merný objem ideálneho plynu	$[\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
ρ	je hustota ideálneho plynu	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
r	je merná plynová konštanta ideálneho plynu	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
T	je termodynamická teplota ideálneho plynu	$[\text{K}]$

Pre výpočet hustoty plynu potrebnej na určenie hmotnostného prietoku podľa vzťahu (3.3) je možné použiť upravenú stavovú rovnicu v tvare [7]

$$\rho = \frac{p}{r \cdot T} \quad (3.4)$$

3.2 Prúdenie vzduchu v potrubí

Tekutina môže prúdiť v podstate v troch režimoch, a to laminárne, turbulentne alebo prechodne (obrázok 3.1). Laminárne prúdenie sa vyznačuje tým, že sa častice vzduchu pohybujú po rovnobežných dráhach, na rozdiel od prúdenia turbulentného, pri ktorom sa jednotlivé dráhy častíc križujú. Vzduch môže prúdiť aj v prechodnom režime, ide o stav medzi laminárnym a turbulentným prúdením. Režim prúdenia sa dá posúdiť podľa hodnoty Reynoldsovho čísla. Toto číslo vyjadruje pomer medzi zotrvačnými a trecími silami vo vnútri tekutiny podľa vzťahu [5]

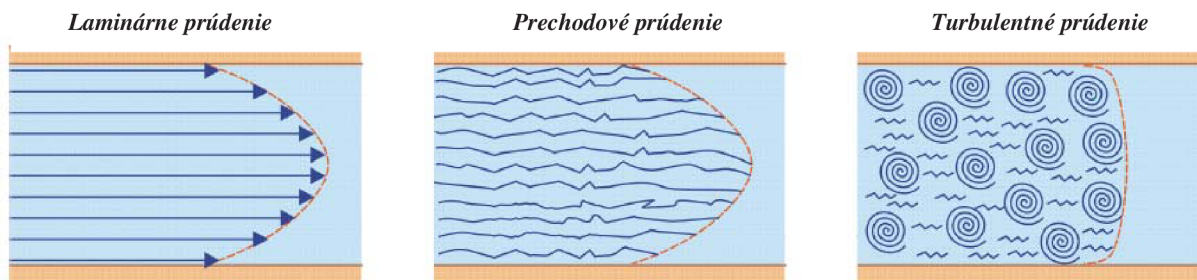
$$Re = \frac{w \cdot d}{\vartheta} \quad (3.5)$$

Kde:

w	je stredná rýchlosť prúdu tekutiny	[m.s ⁻¹]
d	je charakteristický rozmer potrubia	[m]
ϑ	je kinematická viskozita	[m ² .s ⁻¹]

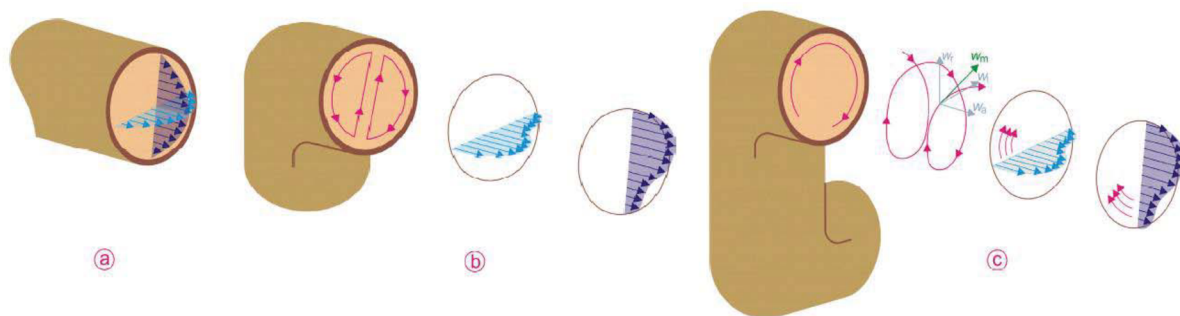
V prípade prietoku kruhovým potrubím je kritická hodnota Reynoldsovho čísla $Re=2320$. Pre kruhové potrubie sa dá režim prúdenia tekutiny v závislosti na hodnote Re rozdeliť do troch skupín [4]:

- laminárne prúdenie - $Re < 2320$
- prechodové prúdenie - $2320 < Re < 10^4$
- turbulentné prúdenie - $Re > 10^4$



obrázok 3.1 Prúdenie tekutiny v uzavretom potrubí [4]

Rýchlostný profil pri reálnom prúdení tekutiny býva často asymetrický, prípadne sa v prúde tekutiny nachádzajú víry. Poruchy rýchlostných profilov často vytvára prítomnosť spojovacích kusov potrubí, redukcií či rozšírení, ohnutie potrubia a pod. Pre ustálenie rýchlostného profilu je potrebná určitá dĺžka priameho potrubia (8 až 10 priemerov potrubia), prípadne použitie tzv. usmerňovača prúdu (obrázok 3.2) [4].



obrázok 3.2 Poruchy symetricity rýchlostného profilu prúdiacej tekutiny [4]

a) symetrický rýchlostný profil v priamom potrubí, b) jednoduchý ohyb, c) dvojitý ohyb

3.3 Prúdenie vzduchu z výustky

V predchádzajúcej časti bolo popísané prúdenie vzduchu v uzavretom potrubí. Teraz sa zameriame na popis prúdu vzduchu, ktorý vystupuje z výustky do priestoru.

Prúdiaci vzduch z výustky je možné rozdeliť podľa jeho vlastností na:

Voľný prúd je prúd vzduchu privádzaný do relatívne veľkého priestoru, ktorý nie je obmedzený stenami alebo predmetmi v tomto priestore.

Obmedzený prúd je prúd, ktorého šírenie je ovplyvňované stenami alebo predmetmi v priestore.

Zatopený prúd je prúd, ktorý má rovnaké fyzikálne vlastnosti ako prostredie, do ktorého vstupuje, pričom prostredie je kľudné.

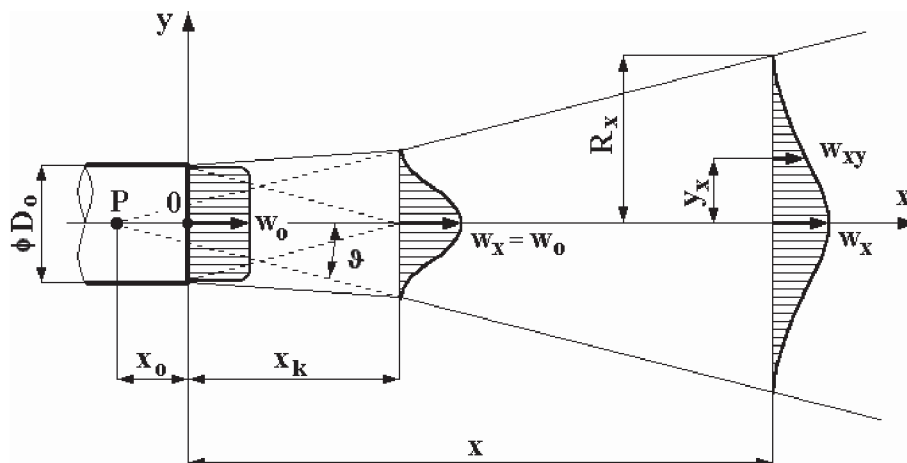
Izotermický prúd má teplotu zhodnú s teplotou priestoru, do ktorého je privádzaný.

Neizotermický prúd je privádzaný do priestoru s rozdielnou teplotou ako samotný prúd.

Prívod vzduchu sa ďalej delí na prívod **osamotenými výustkami**, ktorých rozmery sú malé vzhľadom na rozmery miestnosti a prívod **veľkoplošnými výustkami**.

Schéma voľného izotermického prúdu na obrázku (3.3) popisuje prúd vzduchu vystupujúci z kruhovej výustky, keď teplota vzduchu je zhodná s teplotou v miestnosti. Turbulentný prúd vzduchu vystupujúci z výustky sa postupne kužeľovito rozširuje. Častice okolitého vzduchu sú strhávané do prúdu časticami prúdu. Množstvo prúdiaceho vzduchu a prierez prúdu sa zväčšuje s rastúcou vzdialenosťou od otvoru, rýchlosť prúdenia vzduchu sa naopak znižuje. Po celej dĺžke prúdu zostáva statický tlak prakticky konštantný a zároveň rovnaký ako tlak okolitého kľudného prostredia.

Prúd sa v priestore šíri priamočiario za predpokladu že je teplota privádzaného vzduchu zhodná s teplotou okolitého vzduchu – izotermický prúd. V prúde rozlišujeme dve oblasti, a to krajnú oblasť s dĺžkou x_k a tzv. hlavnú oblasť. Pre uhol rozšírenia z výustky s voľným prierezom v hlavnej oblasti platí, že $2\theta \approx 25^\circ$. Obrysové priamky prúdu v hlavnej oblasti sa pretínajú na ose prúdu v póle P. V hlavnej oblasti je voľný prúd z výustky (kruhovej alebo obdĺžnikovej) podobný prúdeniu z bodového zdroja tekutiny v póle P [2].



obrázok 3.3 Schéma voľného izotermického prúdu z kruhovej výustky [2]

V mnohých automobiloch sú však výustky zväčša štvorhranné, no prúd v určitej vzdialenosti od ústia prejde na prúd kruhový. Prívod vzduchu jednotlivými výustkami je predpokladaný ako prívod osamotenými výustkami, keďže ich rozmery sú v porovnaní s kabinou automobilu malé. Prúd je síce v určitej vzdialenosti od výustky obmedzovaný stenami či inými časťami kabíny automobilu, no v blízkosti ústia je možné prúd považovať za voľný a jeho rýchlosť je možné považovať za zhodnú s rýchlosťou v potrubí. Keďže vzduch prúdiaci z výustky slúži na úpravu klimatických podmienok v kabíne, má rozdielnu teplotu ako prostredie do ktorého vstupuje. Za predpokladu relatívne malého rozdielu teplôt hovoríme o mierne neizotermickom prúde, kde je možné uvažovať, podobne ako pri izotermickom prúde, priamočiare šírenie prúdu [2].

3.4 Tlakové straty

Pri prúdení skutočných tekutín vznikajú následkom viskozity hydraulické odpory, teda sily, ktoré brzdia pohyb častíc tekutiny. Mechanizmus týchto odporov je zložitý, nepodarilo sa ho exaktne vyriešiť, preto sa uplatňujú poloempirické metódy. Práce trecích síl spôsobujú pri prúdení skutočných tekutín disipáciu energie, čo zníži mechanickú energiu tekutiny.

Hydraulické odpory je možné rozdeliť na trecie a miestne. Trecie odpory vznikajú kvôli drsnosti potrubia, miestne odpory vznikajú v miestach, kde sa mení rýchlosť alebo smer rýchlosti prúdiacej tekutiny. Tlaková strata p_{tr} je definovaná ako rozdiel tlakov na dĺžke potrubia pri trecom odpore a tlaková strata p_m ako rozdiel tlakov pred miestnym odporom a za ním.

Celková tlaková strata p_s v potrubí je daná súčtom tlakových strát trecích odporov p_{tr} a strát miestnych odporov p_m , pričom stratový súčiniteľ trecích odporov je priamo úmerný dĺžke potrubia a stratový súčiniteľ miestneho odporu závisí na geometrii uvažovaného miesta a na type prúdenia [7].

$$p_s = p_{tr} + p_m \quad (3.6)$$

4 METÓDY STANOVENIA PRIETOKU VZDUCHU

Princípy merania prietoku sa rozdeľujú na priame a nepriame metódy. Priame meranie aktuálneho prietoku sa realizuje pomocou prietokomerov, k nepriamemu meraniu sa využívajú meradlá pretečeného množstva, ktoré sú doplnené o časomerné zariadenie. Zo zistenej hodnoty priemerného toku za jednotku času sa určí prietok. Medzi najpoužívanejšie metódy merania prietoku patria najmä objemové meranie, meranie tlakových strát na škrtiacich prvkoch, meranie prietoku s pohyblivými odporovými telieskami a meranie strednej rýchlosti prúdu rýchlostnými prietokomermi či pomocou meraní lokálnych rýchlostí. Taktiež je možné sa stretnúť s teplotnými prietokomermi, s elektroindukčnými prietokomermi či ultrazvukovými prietokomermi, ktoré sa však vo všeobecnosti využívajú na špeciálne aplikácie [4] [6].

4.1 Objemové meradlá

Objemové meradlá na meranie objemových tokov plynov rozdeľujeme na jednorazové a meradlá pre priebežné merania. Objemová metóda patrí k absolútnym meracím metódam [6].

4.1.1 Objemové meradlá pre jednorazové meranie

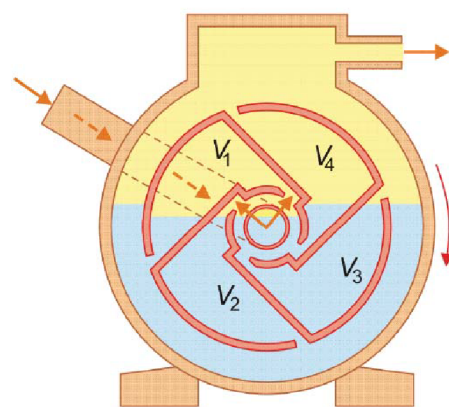
Existuje viacero metód na meranie objemových či hmotnostných prietokov plynov. Používajú sa napr. nádoby s konštantným objemom, u ktorých sa určí hmotnosť plynu v nádobe pred naplnením a po naplnení. Medzi ďalšie možnosti patrí použitie vaku so známym objemom a indikáciou tlaku, ktorý sa počas merania naplní tak dlho, pokiaľ nedôjde k vzrastu tlaku vo vaku na dostatočnú hodnotu [6].

4.1.2 Objemové meradlá pre priebežné meranie

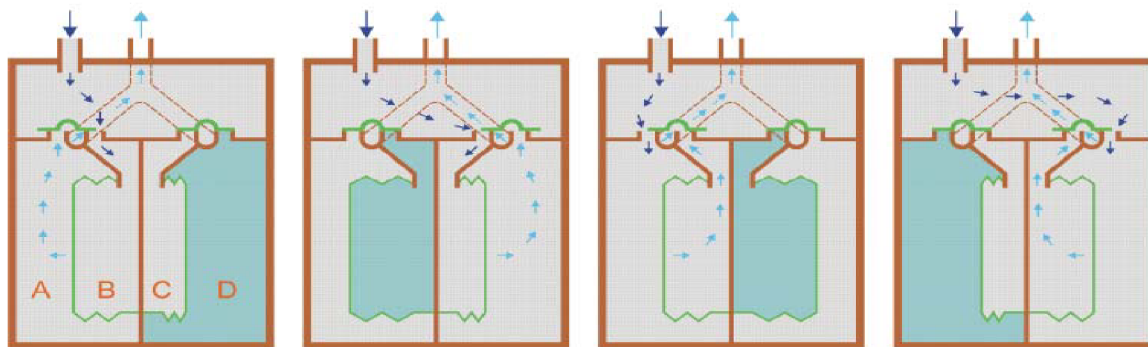
Princípom je cyklické plnenie a vyprázdňovanie odmernej komory prúdiacim plynom. Zaznamenáva sa počet meracích cyklov - naplnení a vyprázdnení všetkých komôr. Na určenie objemového prietoku stačí počet pracovných cyklov za časovú jednotku a známy objem jednotlivých komôr. Patrí sem napr. mokrý alebo suchý plynomer.

Mokrý plynomer (bubnové meradlo so štyrmi komorami) (obrázok 4.1) je určený pre meranie objemového prietoku plynov. Meradlo je naplnené tesniacou kvapalinou, ktorá zabraňuje úniku plynu. Plyn priteká do plynomeru stredom bubna, postupne zaplňuje odmernú komoru, pričom tlak plynu spôsobí otáčanie bubna. Po prepojení štrbiny naplňovanej komory s vonkajším priestorom je plyn vytlačovaný do výtokového otvoru bubna. Objemový prietok je daný počtom otáčok meradla.

Suchý plynomer (obrázok 4.2) sa skladá z meracej komory predelenej hermetickou prepažkou na dve časti. V každej z polovic komory je dosková membrána, ktorá taktiež hermeticky predeluje polovicu komory. Suchý plynomer je teda rozdelený na štyri priestory A, B, C a D. Prívod a odvod plynu je ovládaný dvoma posuvnými ventilmi, poháňanými mechanickým zariadením, ktoré je zároveň napojené na počítadlo cyklov [4] [6].



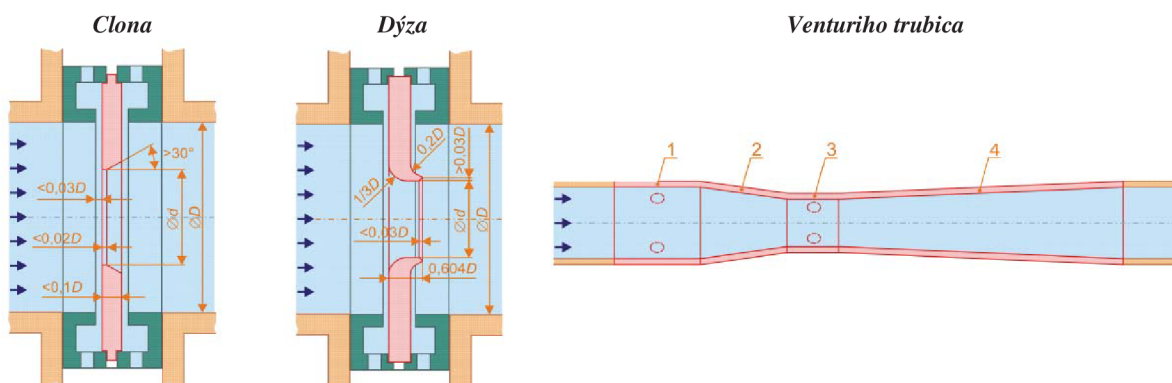
obrázok 4.1 Mokrý plynomer [4]



obrázok 4.2 Suchý plynomer [4]

4.2 Meradlá so škrtiacimi prvkami

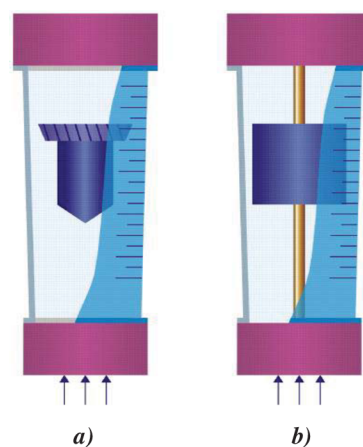
Meradlá, ktoré využívajú tlakovú stratu tekutiny, patria medzi najpoužívanejšie prietokomery. Sú založené na princípe merania poklesu tlaku, ktorý vznikne pri prietoku tekutiny rôznymi škrtiacimi prvkami (obrázok 4.3). Meria sa rýchlosť prúdiacej tekutiny w a zo známej geometrie potrubia sa stanovuje objemový resp. hmotnostný prietok. Rýchlosť prúdiacej tekutiny sa stanovuje podľa zmeny tlakovej energie tekutiny na kinetickú, pričom k zmene dochádza na škrtiacom prvku [4] [6].



obrázok 4.3 Škrtiace prvky [4]

4.3 Plavákový prietokomer

Plavákový prietokomer (obrázok 4.4) je meradlo na meranie objemového prietoku kvapalín a plynov. Základným prvkom býva kužeľovito sa rozširujúca trubica zo skla alebo kovu, v ktorej sa pri prietoku kvapaliny vznáša plavák. Vertikálna a centrálna poloha plaváku je zaistená vedením alebo zárezmi po jeho obvode, čo spôsobuje rotáciu plaváku. Pri nulovom prietoku meradlom je plavák v najnižšej polohe. Ak prietokomrom prúdi tekutina, nadnáša plavák, pričom sa vytvorí štrbina medzi plavákom a trubicou prietokomera, cez ktorú môže tekutina pretekať, a tým klesá tlakový spád na plaváku. Objemový prietok je kvadratickou funkciou polohy plaváka. Táto poloha je zobrazená na stupnici, z ktorej sa dá výsledný prietok priamo určiť [5] [6].



obrázok 4.4 Plavákový prietokomer [4]
 a) so stabilným plavákom
 b) s nestabilným plavákom

4.4 Rýchlostné prietokomery

Princíp rýchlostných prietokomerov je založený na roztáčaní obežného kola tlakom meranej tekutiny. Počet otáčok obežného kola n je úmerný meranému objemovému prietoku, pričom platí

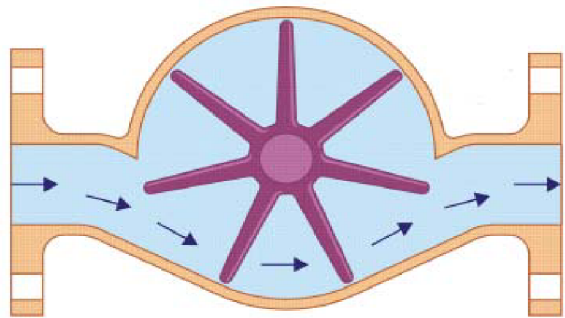
$$q_v = k_0 + k_1 \cdot n \quad (4.1)$$

Kde:

q_v	je objemový prietok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
k_0, k_1	sú konštanty	$[-]$
n	počet otáčok obežného kola	$[\text{s}^{-1}]$

konštanty k_0, k_1 je možné získať ciachovaním.

Rýchlostné prietokomery sa delia podľa smeru toku tekutiny a tvaru obežného kola na meradlá s axiálnym a tangenciálnym tokom (obrázok 4.5). Inštalácia je možná len do priamej časti potrubia (6 až 8 priemerov potrubia pred prietokomerom a 4 až 6 priemerov potrubia za prietokomerom). Meradlo sa pred vniknutím nečistôt chráni sitom [6].



obrázok 4.5 Rýchlostný prietokomer s tangenciálnym tokom [4]

4.5 Stanovenie prietoku vzduchu meraním rýchlostí

Stanovenie prietoku vzduchu meraním rýchlostí sa realizuje pomocou meradiel určených k meraniu lokálnych rýchlostí prúdu. Z týchto rýchlostí sa následne vhodne zvolenou metódou určí stredná rýchlosť prúdu, z ktorej sa stanoví objemový prietok.

Ak poznáme veľkosť plochy prierezu potrubia a veľkosť strednej rýchlosti prúdu vzduchu, objemový prietok q_v sa získa zo vzťahu [6]

$$q_v = \frac{dV}{dt} = S \frac{ds}{dt} = S \cdot \bar{w} \quad (4.2)$$

Kde:

q_v	je objemový prietok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
S	je plošný obsah prierezu potrubia	$[\text{m}^2]$
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu v danom priereze.	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

Keďže sa pri reálnych podmienkach nedá uvažovať konštantná rýchlosť prúdenia vzduchu v celom priereze, musíme určiť strednú rýchlosť prúdu vzduchu, ktorá však závisí na viacerých faktoroch a parametroch prúdenia tekutiny [4].

Na určenie strednej hodnoty rýchlosti prúdu vzduchu sa používa viacero metód ako napríklad:

Metóda premerania a preloženia rýchlostného poľa či profilu v meranom reze je na jednu stranu pracná, no na druhú stranu veľmi presná, dá sa ňou získať ucelený obraz o rýchlostnom poli. Z nameraných hodnôt sa následne určí stredná rýchlosť ako stredná integrálna hodnota.

Metóda meraní lokálnych hodnôt rýchlostí v overenom alebo vytypovanom mieste, kde sa lokálna nameraná hodnota zhoduje so strednou hodnotou, je síce menej pracná, no aj menej presná. V prípade merania v potrubí s kruhovým prierezom s úplne vyvinutým turbulentným prúdením sa lokálna hodnota rýchlosti zhoduje so strednou hodnotou na polomere $r=0,76R$.

Metóda merania rýchlosti v ose potrubia je taktiež menej pracná. Stredná rýchlosť sa vypočítava zo vzťahu $\bar{w} = k \cdot w_0$, kde w_0 je rýchlosť v ose a k je súčiniteľ rýchlostného poľa, ktorý sa určuje teoreticky alebo experimentálne.

Metóda merania s viacotvorovými rýchlostnými sondami je veľmi presná, no na meranie sú potrebné špeciálne a často iba jednoúčelové sondy.

Metóda merania s pohybujúcim sa anemometrom je menej presná metóda, ktorá je však v technike prostredia veľmi využívanou metódou. Pre použitie je nevyhnutná zručnosť a skúsenosť pracovníkov, ktorí vykonávajú meranie. Merací prístroj musí zároveň umožňovať meranie časovo strednej hodnoty rýchlosti. Princíp je založený na rovnomernom alebo prerušovanom pohybe anemometrom v sledovanom priereze tak, aby sa čidlo vyskytovalo s rovnakou pravdepodobnosťou vo všetkých dopredu vytypovaných oblastiach meraného prierezu. Metóda je často využívaná na meranie prietokov výustkami [6].

4.5.1 Meranie rýchlosti prúdenia

Značné množstvo metód na určenie prietoku tekutín je založené na princípe merania rýchlosti prúdenia. Rýchlosť prúdenia je možné merať rôznymi metódami. Prietok sme následne schopní určiť z nameranej rýchlosti prúdenia tekutiny. Na meranie strednej alebo okamžitej rýchlosti prúdu sa využíva viacero spôsobov. Rýchlosť prúdenia tekutín je možné určiť buď priamo meraním dráhy a času (pri vizualizácii prúdenia zavádzaním čiastočiek do tekutiny), často podľa silového pôsobenia prúdiacej tekutiny na lopatky a misky anemometrov alebo zo silového pôsobenia tekutiny na tlakové odbery s vhodným umiestnením. Ďalším veľmi častým spôsobom na meranie rýchlosti prúdenia je meranie stanovením intenzity ochladzovania rôznych obtekaných teliesok [4] [6].

4.5.2 Mechanické anemometre

Mechanické anemometre sú určené na meranie rýchlosti vzduchu. Sú založené na princípe silového pôsobenia prúdiacej tekutiny na obežné kolo anemometra. Rozdeľujú sa na lopatkové a miskové [6].

Lopatkové anemometre (obrázok 4.6) slúžia na meranie rýchlosti vzduchu najmä vo vzduchotechnických a klimatizačných zariadeniach, v okolí výustiek, v tepelných výmenníkoch aj vo vetraných miestnostiach. Veľkosť obežného kola býva v rozsahu od 80 do 200 mm a je tvorené zo šikmo usporiadaných rovinných doštičiek alebo lopatiek. Merací rozsah je približne od $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Malé rýchlosti je lepšie merať anemometrami s väčším priemerom obežného kola. Tento typ anemometra má však malú smerovú citlivosť, preto sa do prúdu vkladá tak, aby vzduch prechádzal v smere šípky, naznačenom na anemometri. Ak je anemometer umiestnený do nerovnomerného rýchlostného poľa, je vždy hodnota rýchlosti väčšia



obrázok 4.6 Lopatkový anemometer [4]

ako skutočná priemerná rýchlosť v danom priereze. Výsledná rýchlosť sa určí zo vzťahu

$$w = a + b \cdot n \quad (4.3)$$

Kde:

a, b	konštanty	[-]
n	počet otáčok obežného kola	[s ⁻¹]

pričom konštanty a, b je možné získať ciachovaním. Konštanty platia vždy len pre jednu hodnotu hustoty vzduchu, pri zmene hustoty je treba výslednú rýchlosť korigovať [4] [6].

Vrtulkové anemometre sa líšia od lopatkových hlavne menším priemerom obežného kola, približne 10 až 20 mm. Preto sú vhodnejšie na meranie, kde toľko neovplyvňujú prúdenie v meranom prostredí. Použitie je obdobné ako pri lopatkových anemometroch, no s meracím rozsahom od 0,4 m.s⁻¹ do 40 m.s⁻¹ [4] [6].

Miskové anemometre sú určené na meranie rýchlosti prúdenia s rozsahom od 1 m.s⁻¹ až do 50 m.s⁻¹. Často sa využíva na orientačné meranie rýchlosti vetra v meteorologických staniaciach, no aj na meranie rýchlosti prúdenia v ústí potrubí. K obežnému kolu sú pripevnené duté pologule. Sú smerovo necitlivé v rovine otáčania obežného kola [4] [6].

4.5.3 Dynamické rýchlostné sondy

Rýchlostné sondy sa využívajú na meranie rýchlostí prúdiaceho vzduchu vo vetracích a klimatizačných zariadeniach, no aj pre meranie väčších rýchlostí vo voľných prúdoch. Využívajú princíp zmeny kinetickej energie na tlakovú. Používa sa najmä Pitotova trubica, Prandtlova trubica, ale aj valcové i guľové sondy a iné. Ich presnosť je ovplyvnená hlavne polohou ich smerovania. Odbery, ktorými sú sondy vybavené, snímajú celkový tlak p_c a statický tlak p_s . Následne sa vyhodnocuje dynamický tlak $p_d = p_c - p_s$. Rýchlosť prúdenia sa vypočíta zo vzťahu

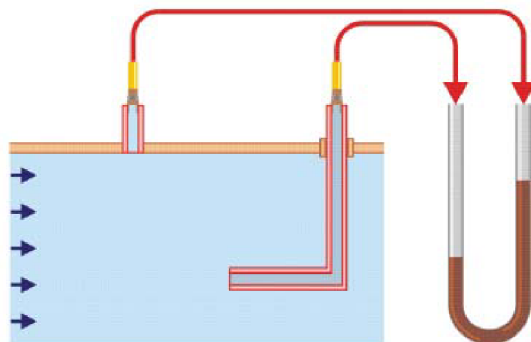
$$w = k \sqrt{\frac{2 \cdot p_d}{\rho}} \quad (4.4)$$

Kde:

k	je konštanta	[-]
p_d	je dynamický tlak	[Pa]
ρ	je hustota tekutiny	[kg.m ⁻³]

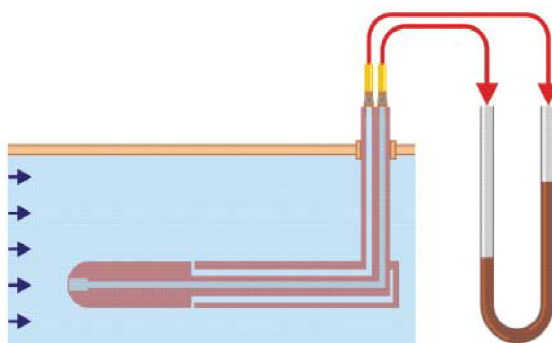
pričom konštanta k je pre kvalitné sondy rovná jednej a pri menej kvalitných sondách sa získa ciachovaním. Pri meraní rýchlosti plynov je hustota prúdiaceho plynu a zabrzdeneho plynu rôzna, preto sa používa stredná hodnota hustoty plynu [6].

Pitotova trubica (obrázok 4.7) je známa už od 18. storočia. Ide o najstaršiu a najjednoduchšiu dynamickú rýchlostnú sondu. Je to v podstate zahnutá trubička, ktorá je umiestnená proti smeru prúdu a tým sníma celkový tlak. Odoberanie statického tlaku prebieha tlakovým odberom v stene potrubia alebo pomocou trubičky v prúde tekutiny, pričom jej os je kolmá k ose prúdu. Sonda sa dá využiť aj pre stanovenie smeru rýchlosti, vďaka smerovej závislosti sondy, a to natáčaním zahnutej trubičky v prúde, pre získanie maximálneho celkového tlaku [4] [6].



obrázok 4.7 Pitotova trubica [4]

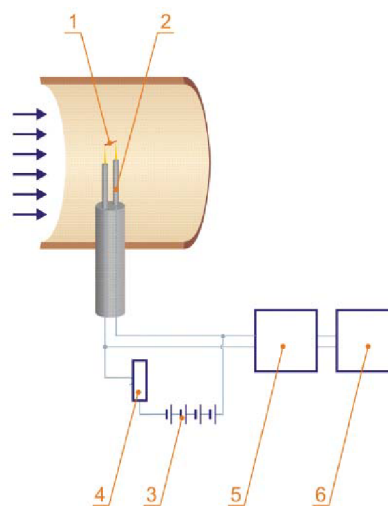
Prandtlova trubica (obrázok 4.8) je určená hlavne na meranie vyšších rýchlostí. Ide o výrobne zložitejšiu ale presnejšiu rýchlostnú sondu ako Pitotova trubica. Snímanie celkového tlaku je realizované pomocou otvoru v čele sondy, ktorý je nastavený proti smeru prúdenia, snímanie statického tlaku prebieha cez štrbiny alebo otvory v plášti sondy s vymedzenou vzdialenosťou od čela sondy. Merateľnosť tlakovej diferencie medzi celkovým tlakom a statickým tlakom udáva prah citlivosti sondy. Trubica je smerovo závislá. Túto závislosť je možné využiť obdobne ako pri Pitotovej trubici, na stanovenie smeru rýchlosti [4] [6].



obrázok 4.8 Prandtlova trubica [4]

4.5.4 Žeraviace anemometre

Žeraviace anemometre, teda termoanemometre, majú v technike prostredia pomerne rozsiahle uplatnenie. Využívajú sa na meranie rýchlostí vzduchu v miestnostiach, vo vetracích a klimatizačných zariadeniach a pod. Sú založené na pomerne jednoduchom systéme konvekčívneho prenosu tepla z obtekaného telieska, ako napríklad žhavený drôtik, dva rôznobežné drôtičky, teliesko z termistoru, žhavená fólia alebo žhavená guľôčka. Na meranie sa využívajú dva princípy. Metóda CCA (Constant Current Anemometry) je založená na žhavení telieska konštantným prúdom, kde je vplyvom prúdenia tekutiny okolo žhaveného telieska vyvolaná zmena jeho teploty, a tým pádom aj zmena elektrického odporu. Od zmeny odporu, závisí zmena napätia, ktorá sa zaznamenáva a následne sa z nej vyhodnocuje hodnota rýchlosti (obrázok 4.9). Druhou metódou je metóda CTA (Con-



obrázok 4.9 Žeraviaci anemometer s kovovým vláknom, metóda CCA [4]

1 - vlákno, 2 - držiak, 3 - zdroj, 4 - odpor, 5 - zosilňovač, 6 - vyhodnocovacia jednotka

stant Temperature Anemometry), ktorej princíp je založený na žhavení telieska na teplotu s konštantou hodnotou, a teda aj konštantným odporom. Konštantý odpor je udržiavaný zmenou elektrického prúdu, pričom meraná rýchlosť sa vyhodnotí zo zmeny tohto elektrického prúdu [6] [8].

V praxi sa využívajú tieto základné typy termoanemometrických sond:

- **Žhavený drôtik** býva vyrobený z platiny, niklu, wolfrámu, rozsah priemerov je od 0,01 do 0,1 mm, v extrémnych prípadoch od 2,5 do 15 μm . Rozsah dĺžok je 1 až 10 mm. Na rozlíšenie smeru prúdenia sa využívajú dva rôznobežné drôtičky.
- **Teliesko z termistoru.**
- **Žhavená guľôčka** s priemerom od 2 do 6 m sa využíva na potlačenie vplyvu fluktuácie prúdenia a je v podstate smerovo nezávislá.
- **Žhavená fólia** sa využíva pri meraní vyšších rýchlostí prúdenia [6].

Teoretický princíp práce termoelektrických anemometrov

Pre popísanie princípu termoanemometrov je potrebné vyjadriť tepelný tok predávaný konvenciou z obtekaného telieska do okolitého prostredia, ktorý by mal korešpondovať s príkonom potrebným na ohrev telieska [6].

Tepelný tok konvektívneho prenosu tepla [W] sa vyjadrí nasledovným vzťahom [6]

$$\dot{Q} = \alpha \cdot S \cdot (t_w - t_\infty) \quad (4.5)$$

Kde:

S	je plocha povrchu obtekaného telieska	[m ²]
α	je súčiniteľ prestupu tepla konvenciou	[W.m ⁻² .K ⁻¹]
t_w	je teplota žhaveného telieska	[K]
t_∞	je teplota okolitého prostredia	[K]

Príkon potrebný na ohrev telieska [W] vyjadruje nasledovný vzťah [6]

$$P = R \cdot I^2 \quad (4.6)$$

Kde:

R	je elektrický odpor telieska	[Ω]
I	je prúd prechádzajúci žhaveným telieskom	[A]

5 POPIS MERANÉHO OBJEKTU A PODMIENKY EXPERIMENTU

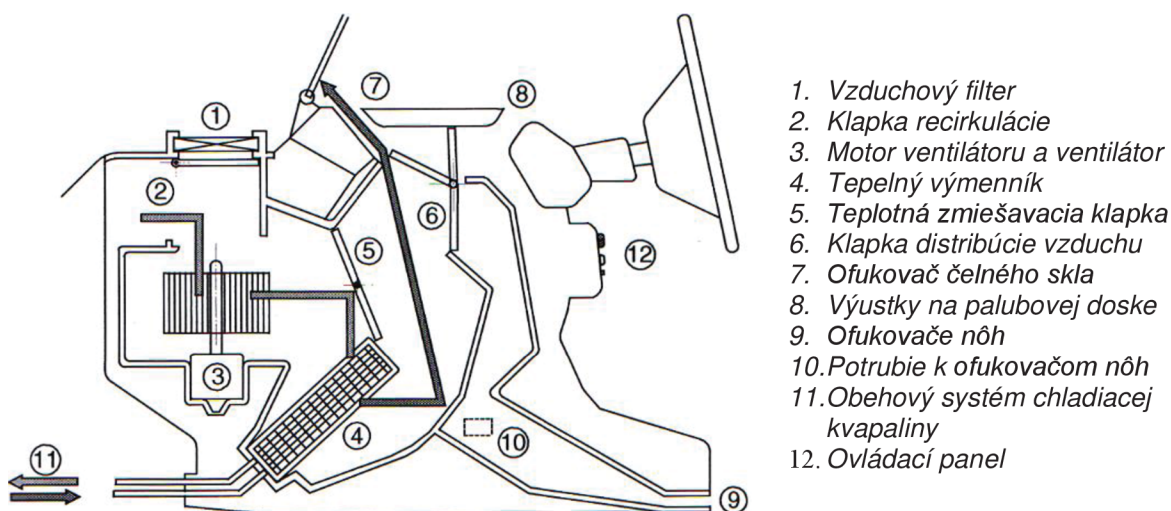
Mapovanie distribúcie vzduchu má byť realizované pre osobný automobil Škoda Octavia 3. generácie, konkrétne má byť skúmaný systém Climatronic. Je to sériovo inštalovaný plne automatický klimatizačný systém [3].

5.1 Systém klimatizácie, kúrenia a vetrania osobného automobilu

Na úpravu tepelného komfortu v interiéri osobného automobilu slúži systém HVAC, teda systém vetrania, kúrenia a chladenia vzduchu.

Vetranie v kabíne osobného automobilu sa realizuje núteným vetraním, a to pomocou ventilátoru, keďže k náporovému prúdeniu vzduchu do interiéru dochádza až od rýchlosti asi 50 km/h. Nasávanie čerstvého vzduchu býva situované na takom mieste vozidla, kde je minimalizovaný výskyt výfukových plynov a nečistôt. Medzi základné funkcie vetracej sústavy patrí dodávka čerstvého alebo ohriateho vzduchu do kabíny, odvádzanie vydýchaného vzduchu z kabíny, odhmlievanie okien, pričom by malo byť prúdenie vzduchu v interiéri automobilu čo najrovnomernejšie a nespôsobovať prievan [9].

Princíp **vykurovania** spočíva v distribúcii ohriateho vzduchu do kabíny automobilu. Ohrev nasávaného vzduchu je realizovaný pomocou tepelného výmenníku, ktorým prúdi chladiaca kvapalina motora (obrázok 5.1). V súčasnosti je najrozšírenejším spôsobom regulácie teploty ohrievaného vzduchu elektronické riadenie vykurovania. Požadovaná teplota v interiéri je nastavovaná pomocou otočného ovládača, prípadne tlačidla. Riadiaca jednotka spracuje informáciu z čidiel o aktuálnej teplote vo vnútornom priestore, ktoré porovná s požadovanou nastavenou hodnotou teploty. V prípade, že sa tieto hodnoty nezhodujú, riadiaca jednotka vydá príkaz na reguláciu teploty vzduchu na úpravu tepelnej situácie v kabíne. Regulácia je realizovaná pomocou elektromagnetického ventilu, ktorý reguluje množstvo chladiacej kvapaliny prúdiacej tepelným výmenníkom alebo sa teplota upravuje pomocou elektromechanickej ovládacej klapky na miešanie čerstvého a zohrievaného vzduchu [9].

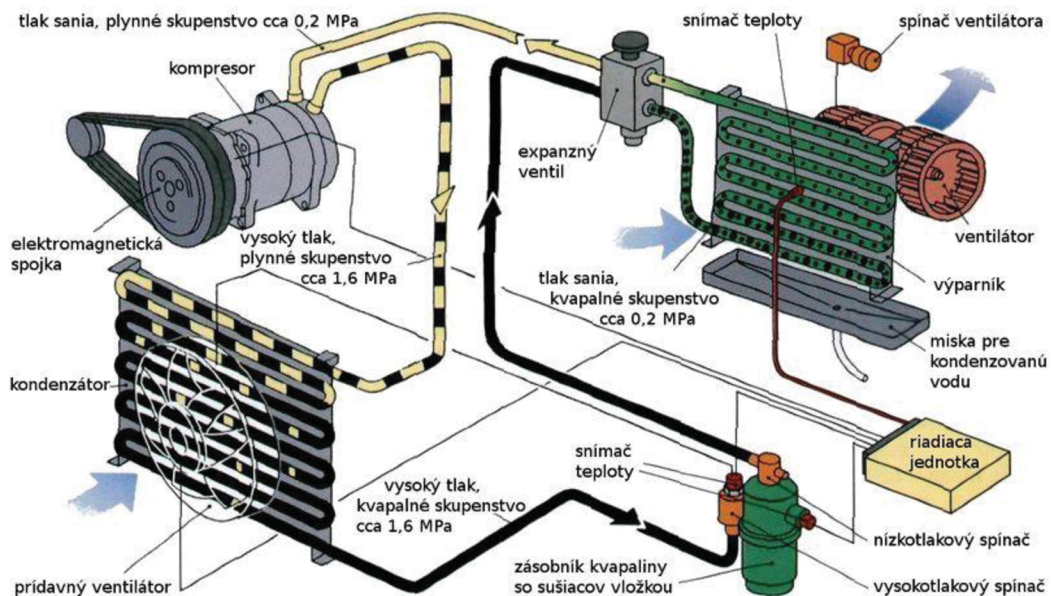


obrázok 5.1 Schéma distribučného systému vzduchu [10]

Klimatizácia je v dnešnej dobe súčasťou bežnej výbavy automobilu. Jej úlohou je rýchlo ochladiť vzduch v kabíne vozidla na požadovanú teplotu, udržiavať ju nezávisle na počasí a režime jazdy, čistiť a zlepšovať kvalitu vzduchu v kabíne. Preto musí klimatizačný systém privádzaný vzduch čistiť, ochladzovať a znížiť, prípadne zvýšiť jeho vlhkosť. Po aktivácii automatického režimu klimatizácie a nastavení požadovanej teploty v kabíne automobilu na ovládacom paneli klimatizačného systému sa aktivuje elektronika, ktorá porovná údaje z čidiel o aktuálnej teplote v interiéri s požadovanou teplotou. Riadiaca jednotka následne tieto údaje vyhodnotí a posúdi nutnosť úpravy parametrov vzduchu distribuovaného do kabíny [9].

Princíp chladenia vzduchu v klimatizačnom systéme automobilu

Klimatizačný systém pracuje na princípe obráteného Carnotovho cyklu, v ktorom dochádza k premene práce na teplo. Mechanická práca teda musí byť dodávaná pohonom kompresoru. Obrázok (5.2) schematicky znázorňuje okruh chladenia klimatizačného systému. Ak je potrebné vzduch schladiť, zapne sa pohon kompresoru. Kompresor je poháňaný motorom automobilu, a to pomocou remeňa s elektromagnetickou spojkou. Preto musí byť na fungovanie klimatizácie motor naštartovaný (to neplatí v prípade nezávislých klimatizačných systémov, ktoré však nie sú veľmi rozšírené). Cyklus začína vstupom chladiva v plynnom skupenstve do kompresoru. Nastáva kompresia chladiva v kompresore, čím sa jeho teplota zvýši na cca 60 - 90 °C. Chladivo sa s takouto teplotou následne vháňa pod tlakom asi 1,6 MPa do kondenzátora, kde sa ochladzuje a následne skvapalňuje. Ochladzovanie chladiva je zabezpečené nútenou konvenciou buď ventilátorom alebo náporovým prúdením za jazdy automobilu. Teplo je odovzdávané do okolia. Z kondenzátora postupuje chladivo do zásobníka chladiva so sušiacou vložkou, kde je chladivo zbavované vlhkosti. Následne prechádza expanzným ventilom, za ktorým dochádza k jeho expanzii a prechod do výparníku. Tam sa chladivo odparuje pri teplote asi -20 °C. Tým sa končí perióda jedného cyklu a plynné chladivo opäť pokračuje do kompresoru. Prúdením vzduchu cez výparník nastáva požadované ochladenie vzduchu, ktorý je následne využívaný na úpravu klimatických podmienok v kabíne [9].



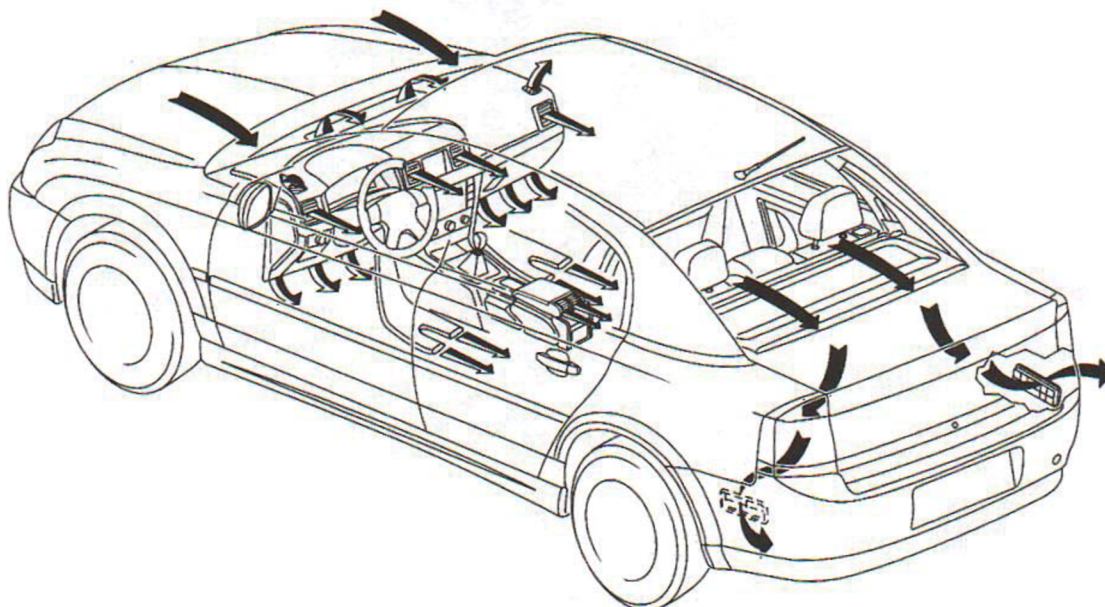
obrázok 5.2 Schéma okruhu chladenia [9]

Systém Climatronic

Climatronic je plne automatický systém kúrenia, chladenia a vetrania v kabíne osobných automobilov, zabezpečujúci optimálny komfort cestujúcich. Súčasťou je plne automatická dvojzónová klimatizácia, ktorá sa vyznačuje tým, že je možné nastaviť individuálne teploty pre priestor vodiča a pre priestor spolujazdca. Systém klimatizácie pracuje po nastavení požadovanej teploty samostatne. Podľa zvolenej teploty riadiaca jednotka nastaví potrebnú polohu zmiešavacej klapky pomocou servomotoru. Riadiaca jednotka je integrovaná do ovládania kúrenia a klimatizácie, spracováva informácie z čidiel umiestnených vo vozidle ako sú napríklad vonkajšia teplota, zvolená a aktuálna teplota, teplota výparníku, tlak v obehú chladiaceho prostriedku, zaťaženie motoru, obsah škodlivín v nasávanom vzduchu a pod. Následne predá signál regulačnému ventilu. Automatická klimatizácia Climatronic má obmedzovaciu klapku na čerstvý vzduch a samostatnú klapku na recirkuláciu [3].

5.2 Umiestnenie výustiek

Výustky klimatizačného, kúriaceho a vetracieho systému slúžia na distribúciu vzduchu do kabíny automobilu a na nastavenie množstva a smeru vzduchu vystupujúceho z výustky, teda aj na jeho prerozdelenie. Obrázok 5.3 schematicky zobrazuje vzduch vstupujúci do automobilu, prúdenie vzduchu v kabíne automobilu a odvod vzduchu z kabíny kvôli zabráneniu vzniku pretlaku v interiéri automobilu. V našom skúmanom automobile je celkovo 25 výustiek s rôznou geometriou, pričom 18 z nich je párových a 7 samostatných. Ku každému páru resp. samostatnej výustke je potrebné pristupovať individuálne z dôvodu odlišností v geometrii a celkovom technickom prevedení. Rozmiestnenie jednotlivých výustiek je zobrazené na obrázku (5.4) pre prednú časť interiéru, obrázok (5.5) zobrazuje situáciu v zadnej časti automobilu. Popis a označenie výustky je obsiahnuté v tabuľkách (5.1 a 5.2), pre prednú respektíve zadnú časť automobilu.



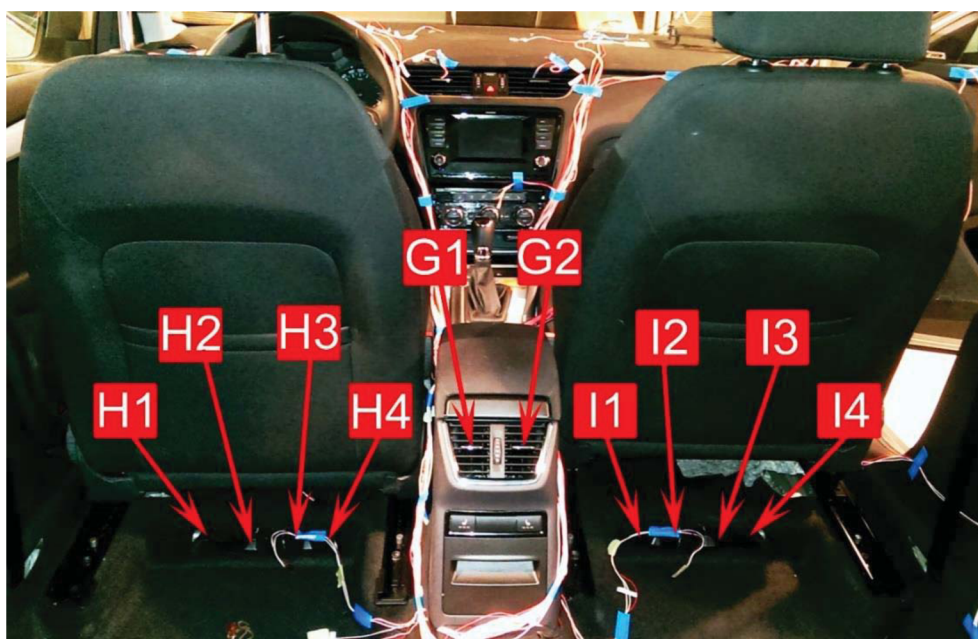
obrázok 5.3 Schéma prúdenia vzduchu v osobnom automobile [10]



obrázok 5.4 Rozmiestnenie výustiek v prednej časti kabíny automobilu

tabuľka 5.1 Popis a označenie výustiek v prednej časti kabíny automobilu

Popis výustky	Označenie	Popis výustky	Označenie
Ľavá vodič	A1	Nohy vodič 1	E1
Pravá spolujazdec	A2	Nohy vodič 2	E2
Ľavá stred	B1	Nohy vodič 3	E3
Pravá stred	B2	Nohy vodič 4	E4
Ľavá čelné sklo	C1	Nohy spolujazdec 1	F1
Pravá čelné sklo	C2	Nohy spolujazdec 2	F2
Ľavá okno dvere	D1	Nohy spolujazdec 3	F3
Pravá okno dvere	D2		



obrázok 5.5 Rozmiestnenie výustiek v zadnej časti kabíny automobilu

tabuľka 5.2 Popis a označenie výustiek v zadnej časti kabíny automobilu

Popis výustky	Označenie	Popis výustky	Označenie
Ľavá stred vzadu	G1	Nohy vzadu vľavo 4	H4
Pravá stred vzadu	G2	Nohy vzadu vpravo 1	I1
Nohy vzadu vľavo 1	H1	Nohy vzadu vľavo 2	I2
Nohy vzadu vľavo 2	H2	Nohy vzadu vľavo 3	I3
Nohy vzadu vľavo 3	H3	Nohy vzadu vľavo 4	I4

5.3 Definovanie klimatických podmienok pre meranie

Cieľom experimentu je stanovenie pomerných koeficientov distribúcie vzduchu pre tri typy okolitého klimatického prostredia. Konkrétne pre tri rôzne teploty vzduchu a intenzity slnečného žiarenia, zimné, letné a jarné/jesenné. Pre meranie boli zvolené podmienky popísané v tabuľke (5.3), a to tak, aby mohli poslúžiť pri riešení ďalších projektov a výskumných prác na VUT v Brne. Vytipované teploty a hodnoty solárnej záťaže boli zvolené s dôrazom na to, aby reprezentovali typické klimatické podmienky počas dňa pre dané ročné obdobie [11].

Hodnota letnej vnútornej požadovanej teploty bola zvolená podľa všeobecne využívaných konvencie, že požadovaná vnútorná teplota by nemala prevyšovať vonkajšiu teplotu o viac ako $8\text{ }^{\circ}\text{C}$. V prípade zimných podmienok bola volená teplota nižšia, pričom sa prihliadalo na fakt, že v zime nosia pasažieri automobilu odev s vyšším tepelným odporom než v lete. Pri prechodných podmienkach zvolená teplota reprezentuje obvykle dobre akceptovateľnú teplotu v kabíne automobilu (obrázok 5.6).

tabuľka 5.3 Klimatické podmienky použité pri realizácii experimentu

Obdobie	Vnútorná nastavená požadovaná teplota	Vonkajšia teplota vzduchu	Intenzita slnečného žiarenia
Leto	$23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$30\text{ }^{\circ}\text{C}$	$800\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Jar/Jeseň	$22\text{ }^{\circ}\text{C}$	$16\text{ }^{\circ}\text{C}$	$400\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Zima	$18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$



obrázok 5.6 Panel s nastavenými parametrami pre prechodné podmienky

6 METODIKA EXPERIMENTÁLNEJ PRÁCE

Táto kapitola sa zameriava na popisanie experimentálnej práce, teda voľbu experimentálnej metódy, popis postupu práce, postup výpočtu i použité vybavenie. Okrem určovania prietokov jednotlivými výustkami je pozornosť venovaná aj meraniu hmotnostného prietoku nasávaním. Práca bude totiž obsahovať aj porovnanie celkového hmotnostného prietoku vzduchu, ktorý do systému vstupuje zvonka, s celkovým súčtovým hmotnostným prietokom všetkými výustkami v kabíne automobilu.

6.1 Určenie hmotnostného prietoku vzduchu – nasávanie

Po vykonaní pilotného merania hmotnostného prietoku nasávaním bola vykonaná zmena meracej trate. Popísaný je prvý návrh meracej trate, na ktorej prebiehalo pilotné meranie. Pozornosť je však venovaná najmä popisu výsledného riešenia merania. Dôvody pre zmenu meracej trate sú uvedené v podkapitole 6.1.2.

6.1.1 Voľba experimentálnej metódy - nasávanie

Pre meranie hmotnostného prietoku vzduchu nasávaním bola zvolená metóda merania lokálnych rýchlostí prúdu vzduchu a následné určenie strednej rýchlosti prúdu. Na meranie lokálnych rýchlostí prúdu vzduchu bola vybraná metóda žiarovej anemometrie.

Dôvody zvolenia metódy:

- dostupnosť meracích prístrojov,
- vhodnosť pre danú rýchlosť a parametre prúdenia,
- relatívne dobrá presnosť a reprodukovateľnosť merania,
- jednoduchosť merania,
- praktická skúsenosť pracovníkov OTTP s daným vybavením.

6.1.2 Prvý návrh meracej trate

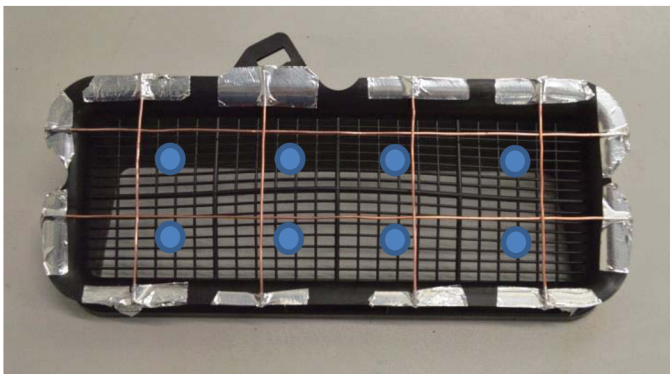
Pre meranie prietoku vzduchu nasávaním bola zvolená metóda stanovenia prietoku meraním rýchlosti. Mriežka nasávania (obrázok 6.2) bola rozdelená na 8 obdĺžnikov so zhodnými plochami. V stredoch týchto obdĺžnikov boli zmerané jednotlivé lokálne rýchlosti (obrázok 6.1) a meranie bolo zopakované 5-krát. Pre zachovanie umiestnenia polohy meracej sondy pri opakovanom meraní bol na mriežku nasávania pripevnený drôt na ustavenie sondy a vymedzenie miesta merania. Následne sa aritmetickým priemerom daných rýchlostí určila stredná rýchlosť prúdu. Vynásobením strednej rýchlosti obsahom plochy mriežky nasávania bol stanovený objemový prietok nasávaním. Po vyhodnotení tohto merania bola skonštatovaná nevhodnosť navrhutej meracej trate.



obrázok 6.1 Meranie prietoku nasávania - 1. metóda

Důvody nevhodnosti meracej trate:

- ovplyvnenie rýchlostného poľa nasávania okolitým priestorom a dispozíciou kapotáže,
- tepelné ovplyvnenie nasávaného vzduchu teplom z motora,
- ovplyvnenie rýchlostného poľa ventilátorom motoru a prúdením vzduchu v okolí nasávania,
- nestabilitou okolitých podmienok ovplyvnená opakovateľnosť merania a z toho vyplývajúci veľký rozptyl nameraných hodnôt,
- veľký rozdiel medzi hodnotou hmotnostného prúdenia nasávaním a hmotnostného prúdenia výustkami.



obrázok 6.2 Mriežka nasávania s ustavovacím drôtom s vyznačenými bodmi pre meranie lokálnych rýchlostí

Z týchto dôvodov bola upravená meracia trať.

6.1.3 Upravená, výsledná meracia trať

Pre získanie relevantnejších výsledkov bola upravená meracia trať s dôrazom na odstránenie nežiadúcich javov, limitácií a pre zabezpečenie opakovateľnosti merania. Pôvodná mriežka nasávania bola nahradená zhotoveným prípravkom so zhodným prierezom (obrázok 6.4), na ktorý bola nainštalovaná prechodová redukcia z obdĺžnikového na kruhový prierez. Na redukciu sa pripevnilo ustáľovacie potrubie prúdenia s kruhovým prierezom (obrázok 6.3). Predpokladá sa, že rozdiel tlakovej straty pôvodnej a výslednej meracej trate nie je príliš významný, výsledná trať pritom odstraňuje nedostatky pôvodnej trate. Zároveň bola nastavená poloha klapky recirkulácie tak, aby bol celý objem vzduchu dodávaný do systému z exteriéru, teda aby bolo možné porovnať celkový prútok vzduchu nasávaním a výustkami.



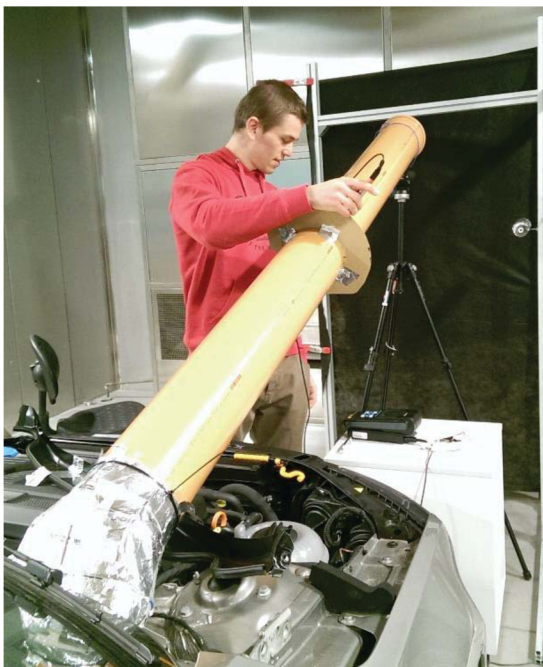
obrázok 6.3 Prechodová redukcia s ustáľovacím potrubím



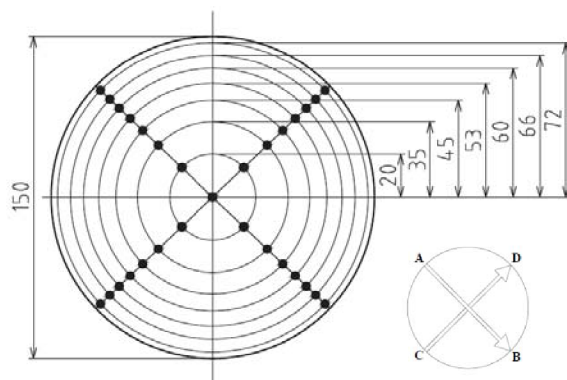
obrázok 6.4 a) Pôvodná mriežka nasávania
b) Náhrada mriežky nasávania

Na meranie rýchlostného poľa prúdu vzduchu v ustáľovacom potrubí (dĺžka 2 metre) (obrázok 6.5) bolo zvolené miesto v strede potrubia, pre ustálenie prúdu vzduchu pri prechode z obdĺžnikového na kruhový prierez i z dôvodu, aby prechod z voľného priestoru do potrubia príliš neovplyvňoval rýchlostné pole v potrubí. Odporúčaná vzdialenosť pre meranie rýchlost-

ného profilu v ustáľovacom potrubí (8 až 10 priemerov) nebola dodržaná z dôvodu nedostačujúceho priestoru v klimatickej komore. Aj napriek použitiu ustáľovacieho potrubia je predpoklad, že profil nebude úplne symetrický, vplyvom tvarových častí potrubia a prechodu z obdĺžnikového na kruhový prierez. Z tohto dôvodu sa lokálne rýchlosti merali na dvoch kolmých priemeroch (obrázok 6.6).



obrázok 6.5 Meranie lokálnych rýchlostí v priereze potrubia



obrázok 6.6 Schéma bodov pre meranie lokálnych rýchlostí v potrubí

Pre určenie strednej rýchlosti prúdu vzduchu v potrubí bola použitá metóda priemerovania. Priemerovaním sa určí stredná hodnota veličiny, v tomto prípade rýchlosti, priamo zo súboru nameraných hodnôt, pričom ich nie je potrebné prekladať funkciou. Keďže jednotlivé rýchlosti zastupujú rovnako veľké oblasti a pokrývajú celú vyšetrovanú oblasť, stredná hodnota rýchlosti sa určí ako aritmetický priemer nameraných hodnôt z nasledovného vzťahu [6]

$$\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n} \quad (6.1)$$

Kde:

\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu	[m.s ⁻¹]
w_i	je i -ta lokálna rýchlosť	[m.s ⁻¹]
n	je celkový počet hodnôt jednotlivých rýchlostí	[-]

Pre jednorozmernú závislosť musia byť hodnoty w_i určované v rovnomernej, teda ekvidistantnej sieti. Pre rotačne symetrické závislosti, teda rýchlosti v kruhovom priereze, musia byť hodnoty w_i určované na predom vypočítaných polomeroch r_i [m]. Polohy r_i (i značí poradie polomeru) pre celý kruhový prierez s polomerom R [m] je možné určiť podľa ekvidistantného delenia transformovanej súradnice $(r/R)^2$ pre interval 0 až 1 podľa nasledujúceho vzťahu [6]

$$r_i = R \sqrt{\frac{2i-1}{2n}} \quad (6.2)$$

Kde:

n	je požadovaný počet polôh r_i	[-]
-----	---------------------------------	-----

Výpočet hmotnostného prietoku nasávaním q_m [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$]:

$$q_m = S \cdot \bar{w} \cdot \rho \quad (6.3)$$

Kde:

S	je obsah plochy prierezu potrubia	[m^2]
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
ρ	je hustota vzduchu	[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Hustota vzduchu sa určí pre idealizovaný vzduch podľa vzťahu (3.4) z kapitoly 3.1.1, teda ako pre ideálny plyn. Z dôvodu nízkej relatívnej vlhkosti vzduchu v klimatickej komore počas experimentu (cca 20 %), bol zhodnotený vplyv vlhkosti vzduchu na výsledky meraní ako zanedbateľný.

Počas merania bolo zaznamenávané aj napätie na ventilátore HVAC systému, ktoré je úmerné otáčkam ventilátora, teda aj prietoku vzduchu ventilátorom (nameraný údaj má však iba informatívny charakter). Pri zimných a prechodných podmienkach bolo na ventilátore zaznamenané rovnaké napätie. Pre urýchlenie merania sa pre zimné podmienky využila metóda merania rýchlosti v ose potrubia.

Celkový objemový prietok nasávaním sa v prípade zimných podmienok určil podľa vzťahu

$$q_m = S \cdot w_0 \cdot k_P \cdot \rho \quad (6.4)$$

pričom w_0 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] je rýchlosť v ose potrubia a k [-] je súčiniteľ rýchlostného profilu ktorý sa stanovil experimentálne z nameraných hodnôt pre prechodné podmienky podľa nasledovného vzťahu [12]

$$k = \frac{\bar{w}}{w_0} \quad (6.5)$$

Postup merania:

- 1) Umiestnenie automobilu do klimatickej komory.
- 2) Nainštalovanie meracej trate nasávania:
 - a) Umiestnenie prechodového prípravku na nasávanie
 - b) Umiestnenie ustáľovacieho potrubia prúdenia
 - c) Zabezpečenie tesnosti systému meracej trate
 - d) Homogenizácia prostredia pred ustáľovacím potrubím, umiestnenie rámu s plachtou pred meraciu trať
- 3) Umiestnenie voltmetra pre meranie napätia na ventilátore meraného HVAC systému.
- 4) Vytvorenie požadovaných parametrov prostredia v klimatickej komore:
 - a) nastavenie požadovanej teploty
 - b) nastavenie požadovanej intenzity slnečného žiarenia
- 5) Naštartovanie automobilu a zahriatie motora na prevádzkovú teplotu.
- 6) Nastavenie jednotlivých výustiek:
 - a) Maximálne otvorenie výustiek
 - b) Nastavenie smerovacích lamiel výustiek zhodne s ich vertikálnou a horizontálnou osou
- 7) Nastavenie systému Climatronic:
 - a) Nastavenie systému na režim Automatic
 - b) Nastavenie požadovanej teploty
- 8) Zabezpečenie proti vzniku pretlaku v kabíne automobilu – pootvorenie piatych dverí (pretlak v interiéri automobilu spôsobil kolísanie prietoku).
- 9) Ustálenie podmienok v klimatickej komore a v kabíne automobilu.

- 10) Umiestnenie anemometrickej sondy do vytipovaného miesta prierezu ustáľovacieho potrubia, zaznamenávanie 10 hodnôt lokálnej rýchlosti v danom bode v časových intervaloch 2 sekundy. Výsledná lokálna rýchlosť sa získa z aritmetického priemeru 10 hodnôt.
- 11) Opakovanie merania podľa bodu 10) pre každý vytipovaný bod prierezu, zvolených bolo 7 bodov v 4 kvadrantoch (pri meraní v každom z kvadrantov sa merala aj rýchlosť v ose potrubia), celkovo bolo premeraných 32 bodov prierezu na dvoch kolmých priemeroch.

6.2 Určenie hmotnostného prietoku vzduchu – výustky

Voľba experimentálneho stanovenia prietoku vzduchu výustkami

Voľbe experimentálnej metódy pre meranie objemových prietokov výustkami predchádzalo zváženie viacerých skutočností:

- rôzne tvary a rozmery meraných výustiek
- obtiažny prístup k niektorým výustkám (napr. E1 - E4, F1 - F3)
- nedostatok miesta v okolí výustiek
- v určitých prípadoch relatívne malé prietoky

Po zvážení týchto skutočností bola zvolená metóda stanovenia prietoku meraním lokálnych rýchlostí. Konkrétne určenie objemového prietoku vzduchu zo strednej rýchlosti prúdu a známej plochy prierezu výustky. Na meranie lokálnych rýchlostí prúdu bola opäť zvolená metóda žiarovej anemometrie. Podobnosť metodiky s úlohou merania prietoku nasávaním zároveň celkovo zjednodušuje riešenie práce.

Určenie objemového prietoku jednotlivými výustkami predchádza určenie strednej rýchlosti prúdu vzduchu vystupujúceho z výustky. Stredná rýchlosť bola opäť určená metódou priemerovania. Pre splnenie podmienky, aby jednotlivé priemerované rýchlosti zastupovali rovnako veľkú oblasť a pokrývali celú vyšetrovanú oblasť, boli na výustkách individuálne zvolené body na meranie lokálnych rýchlostí (schémy meraných bodov sú obsiahnuté v prílohe). Výustka bola rozdelená na plochy so zhodným obsahom, pričom v geometrických stredoch týchto plôch boli zaznamenávané lokálne rýchlosti (obrázok 6.7), z ktorých sa následne určila stredná rýchlosť prúdu vzduchu podľa vzťahu (6.1). Pri určovaní obsahov funkčných prierezov výustiek boli pomocou posuvného meradla zmerané ich charakteristické rozmery. V prípade zložitejších tvarov výustiek bol prierez rozdelený na geometricky jednoduchšie plochy a výsledný obsah určený ako súčet obsahov jednotlivých čiastkových plôch.

Výpočet objemového prietoku výustkou $q_v [m^3 \cdot s^{-1}]$:

$$q_v = S \cdot k_m \cdot \bar{w} \quad (6.6)$$

Kde:

S	je obsah plochy prierezu výustky	$[m^2]$
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu	$[m \cdot s^{-1}]$
k_m	je koeficient mriežky	$[-]$

Koeficient mriežky k_m vyjadruje pomernú časť prierezu výustky, ktorá je voľne priechodná pre vzduch. Je určený z rozmerov smerovacích lamiel na výustke a z obsahu plochy výustky.

Výpočet hmotnostného prietoku výustkou $q_m [kg \cdot s^{-1}]$:

$$q_m = q_v \cdot \rho \quad (6.7)$$

Kde:

ρ	je hustota vzduchu prúdiaceho z výustky	$[kg \cdot m^{-3}]$
--------	---	---------------------

Hustota použitá vo vzťahu (6.6) sa určuje analogicky ako vo vzťahu (6.3).



obrázok 6.7 Meranie lokálnej rýchlosti vo vytipovanom mieste

Postup merania prietoku výustkami:

Meranie prietoku na vstupe do HVAC systému a výustkami prebiehalo súčasne, preto je postup merania v bodoch 1 až 9 zhodný s postupom z kapitoly 6.1.3

- 1) až 9) vid' kapitola 6.1.3
- 10) Umiestnenie anemometrickej sondy do vytipovaného miesta prierezu výustky vo výške 1 cm nad rovinou výustky, zaznamenávanie 10 hodnôt lokálnej rýchlosti v danom bode v časových intervaloch 1 sekunda. Výsledná lokálna rýchlosť je meracím prístrojom vyhodnotená ako aritmetický priemer jednotlivých hodnôt. Opakovanie merania pre každý vytipovaný bod prierezu výustky trikrát. Zároveň sa zaznamenáva aj aktuálna hodnota napätia na ventilátore a teplota vzduchu vystupujúcej z výustky.
- 11) Opakovanie merania pre každú výustku.

6.3 Experimentálne vybavenie

6.3.1 Klimatická komora

Na simulovanie klimatických podmienok pre experimentálne účely sa využíva klimatická komora. Je to zariadenie alebo miestnosť, v ktorej je možné nastaviť parametre ako teplota vzduchu, relatívna vlhkosť či simulovať solárne žiarenie. V nami využívanej klimatickej komore na pracovisku OTTP je možné nastaviť:

- teplotu vzduchu s rozsahom od -40 do 85 °C,
- relatívnu vlhkosť vzduchu približne od 10 do 80%,
- solárne žiarenie s výkonom do 10 kW.

Jednotlivé parametre sa nastavujú pomocou počítačového softvéru dodávaného od výrobcu klimatickej komory. Vďaka jej rozmerom $8 \times 5 \times 3,8$ m (d × v × š) je do komory možné umiestniť aj relatívne veľké objekty. Integrovaný systém odvodu spalín umožňuje aj umiestnenie motorových vozidiel. Chladenie vzduchu v komore prebieha pomocou výparníka s priamym vstrekom chladiva. Ohrievanie vzduchu sa realizuje pomocou priameho elektrického ohrevu. V komore je možné nastaviť teplotu vzduchu s presnosťou ± 1 °C vďaka nútenej cirkulácii vzduchu s rýchlosťou prúdenia približne 3 až 4 m.s⁻¹, pričom polohu výustiek, z ktorých prúdiaci vzduch vystupuje je možné manuálne nastaviť [13].

6.3.2 Použité anemometre

Pre obe časti úlohy merania lokálnych rýchlostí prúdu vzduchu bola zvolená metóda žiarovej anemometrie, no pre meranie nasávania a výustiek boli použité odlišné meracie prístroje a sondy.

Na meranie prúdenia vzduchu vstupujúceho do HVAC systému bol použitý digitálny multifunkčný merací prístroj „testo 350 M/XL, testo 454“ v kombinácii s guľôčkovou termickou sondou prúdenia vzduchu (obrázok 6.8).

tabuľka 6.1 Rozsah a presnosť meraných veličín - testo 350 M/XL

Meraná veličina	Rozsah	Presnosť
Teplota	-20 až 100 °C	± 0.4 °C
Rýchlosť prúdenia	0 až +20 m.s ⁻¹	± 0.02 m.s ⁻¹



obrázok 6.8 testo 350 M/XL, testo 454

Na meranie prúdenia vzduchu z výustiek bol použitý digitálny multifunkčný merací prístroj „testo-435“ (obrázok 6.9) v kombinácii s termickou sondou prúdenia s integrovaným meraním teploty a vlhkosti vzduchu (obrázok 6.10).



obrázok 6.9 testo-435



obrázok 6.10 Termická sonda prúdenia s integrovaným meraním teploty a vlhkosti vzduchu

tabuľka 6.2 Rozsah a presnosť meraných veličín - testo 350 M/XL

Meraná veličina	Rozsah	Presnosť
Teplota	-20 až 70 °C	±0.3 °C
Rýchlosť prúdenia	0 až +20 m.s ⁻¹	±0.02 m.s ⁻¹ +4% z nam.hodn.

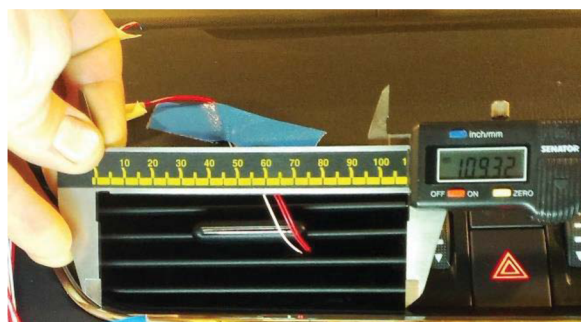
6.3.3 Ostatné použité vybavenie

Na meranie aktuálneho napätia na ventilátore bol použitý univerzálny multimeter *DT830D RANGE* (obrázok 6.11).

Charakteristické rozmery výustiek boli merané digitálnym posuvným meradlom (obrázok 6.12). Na miestach, kde bolo z dôvodu nedostatku priestoru alebo malého rozsahu posuvného meradla znemožnené použitie tohto meradla, bol použitý výsuvný rolovací meter.



obrázok 6.11 Multimeter
DT830D RANGE



obrázok 6.12 Posuvné meradlo

7 VÝSLEDKY MERANÍ

Táto kapitola obsahuje vyhodnotenú a spracovanú dáta z meraní. V príslušných podkapitolách sú zhrnuté výsledky pre jednotlivé klimatické podmienky, grafy zobrazujúce pomerné objemové prietoky jednotlivými výustkami a chybové úsečky rozšírenej neistoty (95 %) merania. Neistota merania bola vyhodnotená iba z nameraných rýchlostí. Vplyv chýb pri meraní obsahov prierezov výustiek a teploty vzduchu nie je do celkovej neistoty merania zahrnutý. Pozornosť je venovaná aj porovnaniu hmotnostného prietoku vstupujúceho do HVAC systému so súčtom prietokov jednotlivými výustkami. Preto kapitola obsahuje i grafy rýchlostných profilov v potrubí nasávania s informáciou o napätí na ventilátore systému. V prípade zimných podmienok nebol rýchlostný profil nasávaním HVAC systému meraný, stredná rýchlosť profilu bola určená metódou merania rýchlosti v ose potrubia. V jednotlivých podkapitolách sú zobrazené aj tabuľky obsahujúce stredné rýchlosti prúdu vzduchu vystupujúceho z výstiek, obsahy funkčných prierezov výustiek s koeficientom mriežky i teplotu prúdu vzduchu.

7.1 Určenie neistôt merania

Pri meraní vždy existuje pochybnosť, či nameraná hodnota odpovedá skutočnej hodnote. V metodike merania, v technickej úrovni meradiel, v znalostiach personálu i v možnostiach spracovania dát je stále možné iba odhadnúť interval, v ktorom s určitou pravdepodobnosťou leží skutočná hodnota meraného znaku. Jedna z najdôležitejších veličín popisujúcich variabilitu je neistota merania v systéme merania.

Neistoty je možné vyhodnocovať dvoma základnými metódami, potom ide o :

- štandardnú neistotu typu A - u_A - získanú štatistickými metódami z nameraných údajov
- neistotu typu B - u_B - získanú iným spôsobom, pričom ide hlavne o chybu nepresnosti meracieho prístroja [14]

Štandardná neistota typu A

Neistota určená metódou typu A je zložkou neistoty merania, ktorú je možné použiť iba v prípade opakovaného merania. Ide teda o chyby vzniknuté kolísaním nameraných hodnôt. Táto neistota je daná vzťahom :

$$u_A = k_{UA} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (7.1)$$

Kde:

u_A	je štandardná neistota typu A
k_{UA}	je bezpečnostný faktor
n	je počet opakovaní merania
y_i	je i-tá nameraná hodnota
\bar{y}	je aritmetický priemer z i nameraných hodnôt

Pri realizácii menej než 10 meraní, je potrebné aplikovať bezpečnostný faktor. Jeho veľkosť k_{UA} je určitá „poistka“ pri nedostatku dôkazov, že málopočetné výbery z nameraných hodnôt rešpektujú Normálne rozdelenie. Hodnota k_{UA} sa určí podľa tabuľky (7.1). Vzťah pre štandardnú neistotu typu A je teda súčin bezpečnostného faktoru a výberovej smerodatnej odchýlky strednej hodnoty [14].

tabuľka 7.1 Bezpečnostný faktor k_{UA} pre určenie u_A [14]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	>10
k_{UA}	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Neistota typu B

Zdroje neistôt typu B je možné poznať čo do konkrétnej príčiny, veľkosti variability a štatistického chovania bez toho, aby bolo vykonané opakované meranie. Neurčujú sa štatistickými metódami a ich vplyv nie je možné znížiť opakovaným meraním. Dôsledné určenie tejto neistoty je pomerne problematické. V tejto práci sú do neistoty typu B zahrnuté iba chyby nepresnosti požitých anemometrov [14].

Kombinovaná neistota

Kombinovaná neistota vytvára interval, v ktorom sa s určitou pravdepodobnosťou daná veličina nachádza, čo je v prípade normálneho rozdelenia okolo 68%. Stanoví sa po odhade štandardných neistôt typu A a B podľa vzťahu : [14]

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7.2)$$

Rozšírená neistota

Rozšírená neistota sa používa z dôvodu, že v prípade kombinovanej neistoty leží pravá hodnota v intervale $\pm u$ s pravdepodobnosťou 68%, čo je z hľadiska ďalšieho použitia a stanovenia rizík nezhody nevýhodné. Všeobecne akceptovaná a doporučená požiadavka je, že sa presná hodnota nachádza v danom intervale s pravdepodobnosťou 95%, čo je možné zabezpečiť rozšírením kombinovanej neistoty u koeficientom rozšírenia k . Rozšírená neistota U sa potom určí podľa vzťahu:

$$U = k \cdot u \quad (7.3)$$

Pre rozšírenie pravdepodobnosti na 95% sa používa koeficient rozšírenia $k=2$. Pre získanie 99,7% pravdepodobnosti je možné kombinovanú neistotu rozšíriť koeficientom rozšírenia $k=3$ [14].

Neistoty pri nepriamom meraní

Neistoty nepriamych meraní nezávislých veličín sú funkciou neistôt jednotlivých veličín, z ktorých sa určuje výsledná veličina. Za predpokladu, že výsledná veličina y je funkciou veličín a, b, c, \dots

$$y = f(a, b, c \dots) \quad (7.4)$$

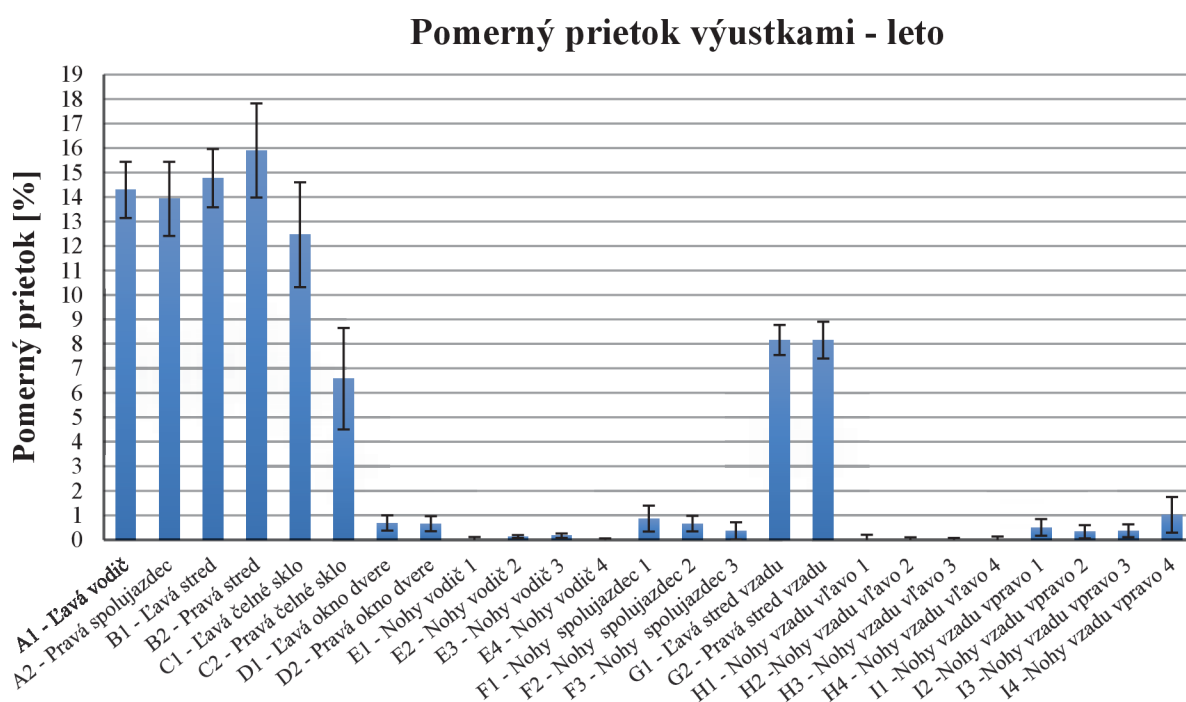
je možné určiť neistotu nepriameho merania podľa nasledujúceho vzťahu : [6]

$$u = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} u_a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} u_b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} u_c\right)^2 + \dots} \quad (7.5)$$

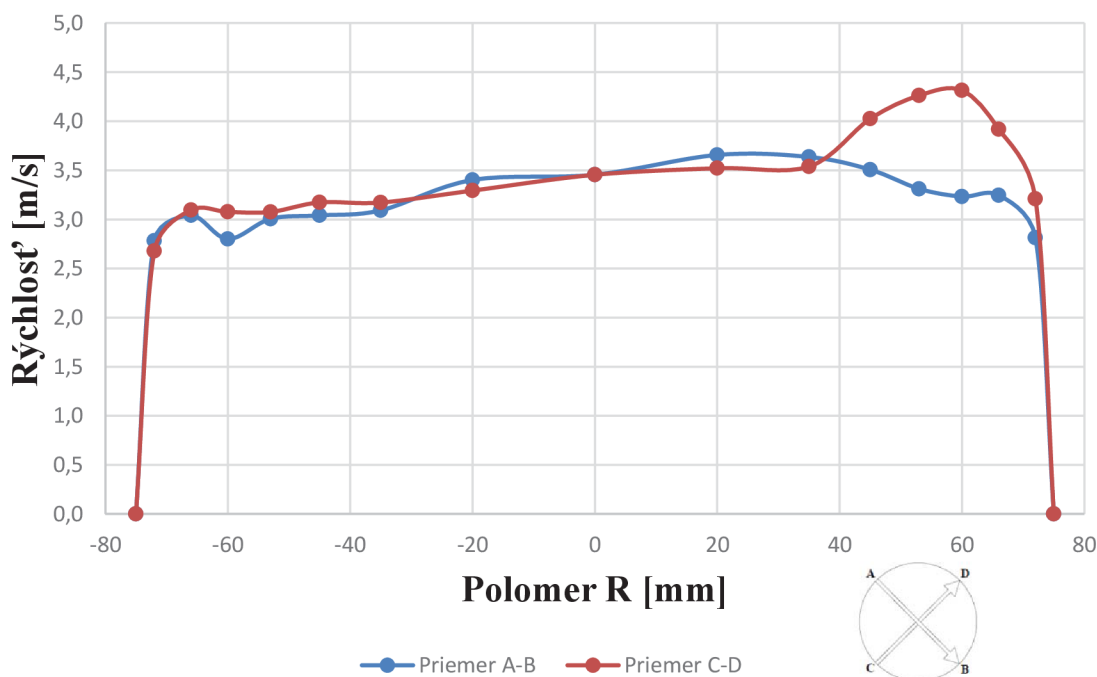
7.2 Klimatické podmienky - leto

Graf (7.1) zobrazuje vyhodnotenú percentuálne prerozdelenie objemového prietoku jednotlivými výstmkami v kabíne automobilu so zobrazením chybových úsečiek rozšírenej neistoty s 95% pokrytím pravdepodobnosti. Rýchlostný profil v potrubí nasávania je zobrazený v grafe (7.2). Popis grafu obsahuje informáciu o napätí na ventilátore meraného HVAC systému,.

graf 7.1 Pomerný objemový prietok jednotlivými výstmkami so zobrazením chybových úsečiek rozšírenej neistoty - leto



graf 7.2 Rýchlostný profil v potrubí nasávania (4,55 V) - leto



Tabuľka (7.2) obsahuje hodnoty celkového hmotnostného prietoku, ktorý do HVAC systému vstupuje nasávaním s celkovým hmotnostným prietokom vystupujúcim z výustiek vo vnútri automobilu. Hodnoty v tejto tabuľke slúžia na vyhodnotenie správnosti merania.

tabuľka 7.2 Porovnanie hmotnostného a objemového prietoku inlet/outlet pre klimatické podmienky leto

Prietok	Inlet	Outlet	Rozdiel	
			Abs.	Rel. [%]
Hmotnostný [g.s ⁻¹]	68,63 ±0,3	70,19 ±3,1	1,56	2,28
Objemový [l.s ⁻¹]	58,95 ±0,2	57,35 ±2,6	1,60	2,78

Z údajov v tabuľke (7.3) bol vyhodnotený graf pomerných koeficientov i celkový hmotnostný prietok výustkami v kabíne automobilu. Hodnoty teplôt slúžia na určenie hustoty vzduchu prúdiaceho z výustiek.

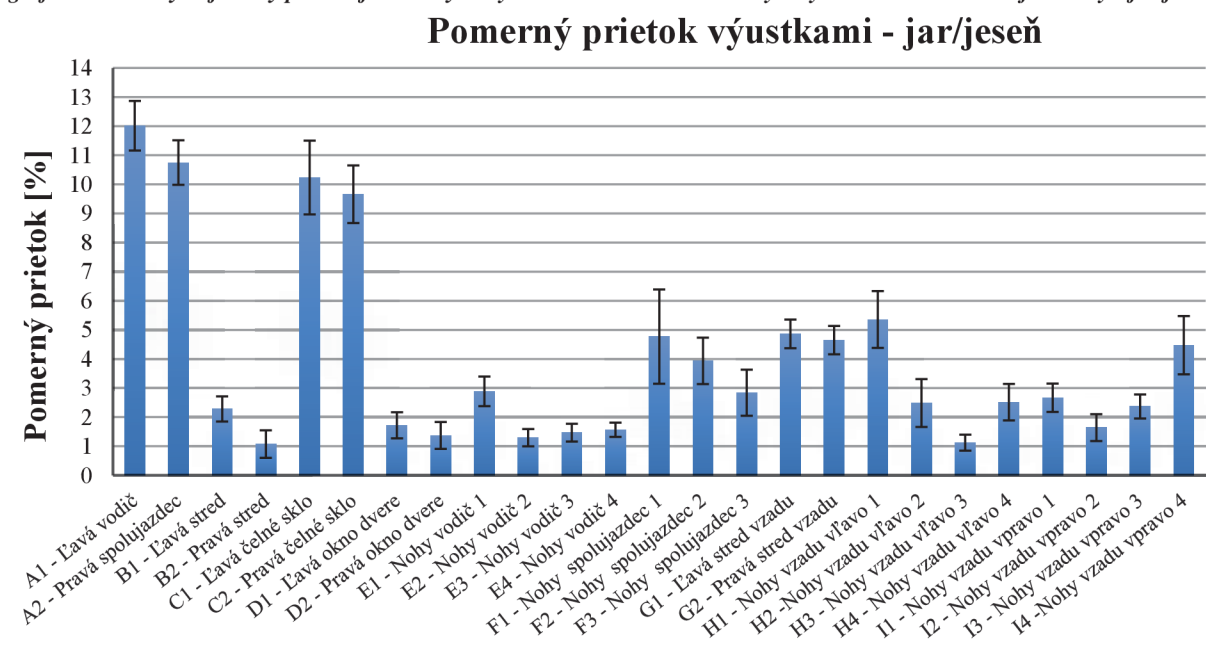
tabuľka 7.3 Stredné rýchlosti vzduchu vystupujúceho z výustiek, teploty vzduchu, obsahy funkčných prierezov výustiek a koeficienty mriežky k_m - leto

Označenie výustky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]	Označenie výustky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]
A1	2,79	50,38	12,0	0,58	F2	0,21	17,75	16,2	1,00
A2	2,72	50,38	12,4	0,58	F3	0,16	12,90	16,2	1,00
B1	2,22	66,78	12,2	0,57	G1	2,67	26,88	10,4	0,65
B2	2,39	66,78	10,0	0,57	G2	2,67	26,88	10,0	0,65
C1	1,88	42,00	28,0	0,91	H1	0,00	19,97	-	1,00
C2	0,99	42,00	33,0	0,91	H2	0,00	9,80	-	1,00
D1	0,25	18,57	30,0	0,85	H3	0,00	7,00	-	1,00
D2	0,24	18,57	30,0	0,85	H4	0,00	12,60	-	1,00
E1	0,00	11,25	-	1,00	I1	0,23	12,60	22,0	1,00
E2	0,20	3,79	14,0	1,00	I2	0,27	7,00	22,0	1,00
E3	0,23	4,25	14,0	1,00	I3	0,22	9,80	22,0	1,00
E4	0,00	5,09	-	1,00	I4	0,29	19,97	22,0	1,00
F1	0,27	18,14	16,2	1,00					

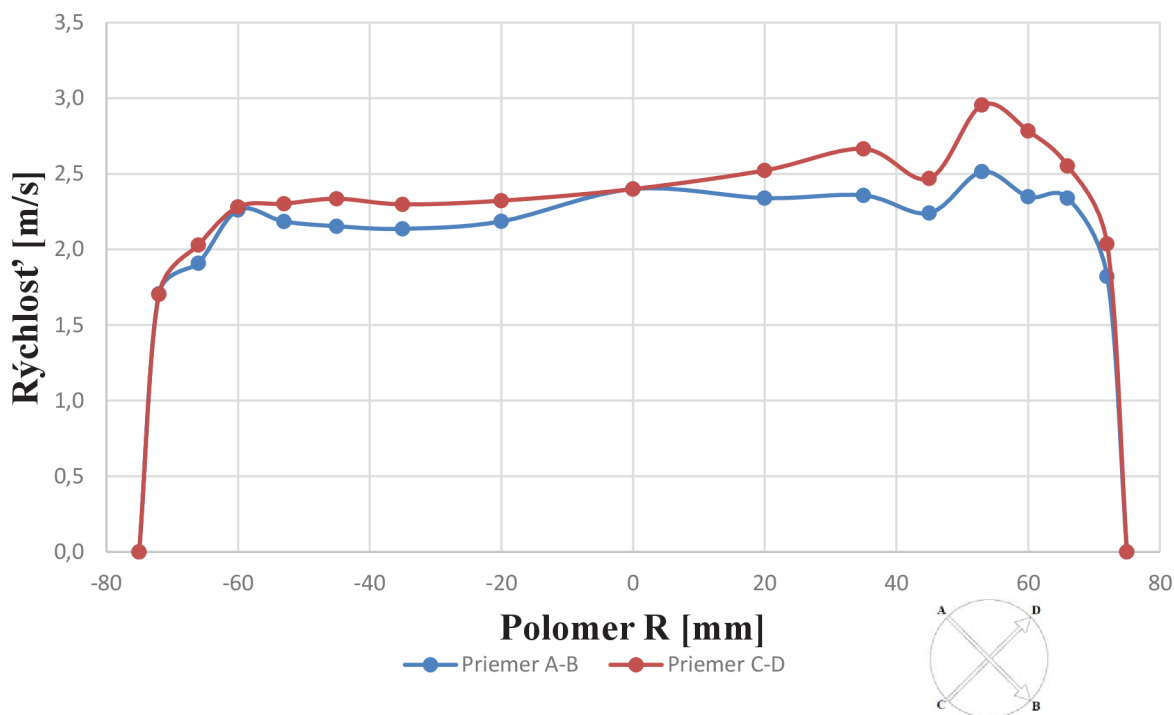
7.3 Klimatické podmienky - jar/jeseň

Obsah kapitoly 7.3 je analogický s obsahom kapitoly 7.2, pričom sú vyhodnotené výsledky merania pri nastavení prechodných klimatických podmienok.

graf 7.3 Pomerný objemový prietok jednotlivými výustkami so zobrazením chybových úsečiek rozšírenej neistoty - jar/jeseň



graf 7.4 Rýchlostný profil v potrubí nasávania (3,8 V) jar/jeseň



tabuľka 7.4 Porovnanie hmotnostného a objemového prietoku inlet/outlet pre klimatické podmienky jar/jeseň

Prietok	Inlet	Outlet	Rozdiel	
			Abs.	Rel. [%]
Hmotnostný [g.s ⁻¹]	49,60 ±0,3	49,23 ±1,81	0,30	0,76
Objemový [l.s ⁻¹]	40,50 ±0,2	42,10 ±1,55	1,60	4,76

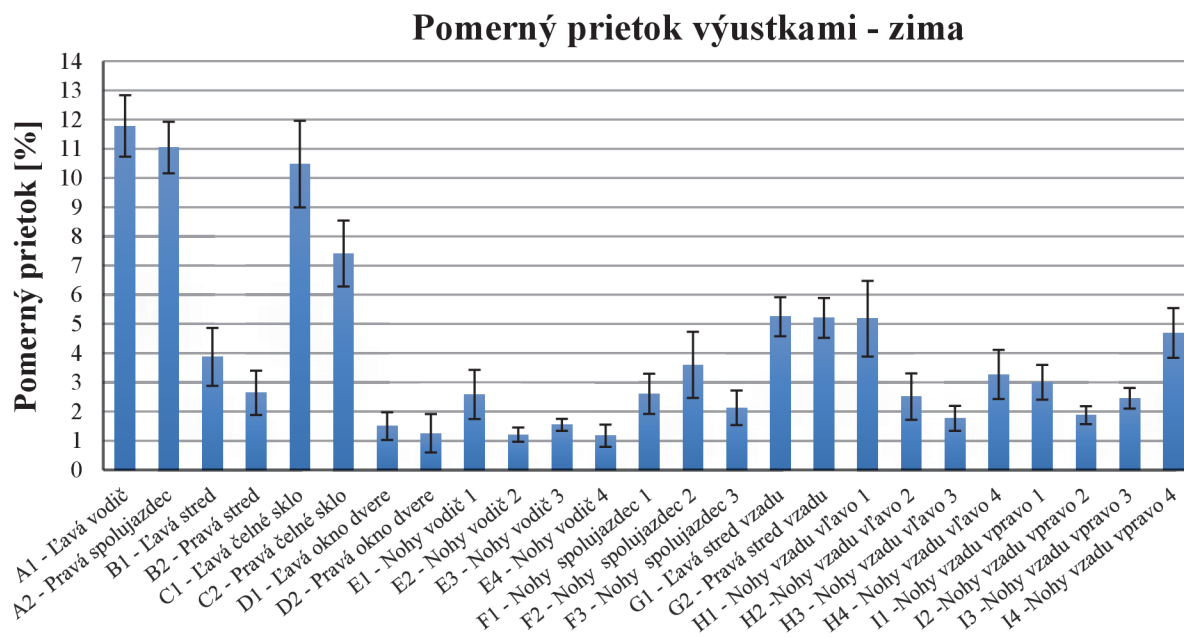
tabuľka 7.5 Stredné rýchlosti vzduchu vystupujúceho z výustiek, teploty vzduchu, obsahy funkčných prierezoov výustiek a koeficienty mriežky k_m - jar/jeseň

Označenie výustky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]	Označenie výustky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]
A1	1,72	50,38	28,7	0,58	F2	0,93	17,75	29,2	1,00
A2	1,54	50,38	30,0	0,58	F3	0,93	12,90	29,2	1,00
B1	0,25	66,78	30,0	0,57	G1	1,17	26,88	27,0	0,65
B2	0,12	66,78	27,0	0,57	G2	1,12	26,88	27,0	0,65
C1	1,13	42,00	30,3	0,91	H1	1,13	19,97	26,9	1,00
C2	1,07	42,00	30,3	0,91	H2	1,07	9,80	26,9	1,00
D1	0,46	18,57	29,2	0,85	H3	0,68	7,00	26,9	1,00
D2	0,37	18,57	29,2	0,85	H4	0,84	12,60	26,9	1,00
E1	1,08	11,25	29,2	1,00	I1	0,89	12,60	26,9	1,00
E2	1,44	3,79	29,2	1,00	I2	0,99	7,00	26,9	1,00
E3	1,45	4,25	29,2	1,00	I3	1,02	9,80	26,9	1,00
E4	1,29	5,09	29,2	1,00	I4	0,94	19,97	26,9	1,00
F1	1,11	18,14	29,2	1,00					

7.4 Klimatické podmienky – zima

Táto kapitola, zobrazujúca výsledky pri zimných podmienkach, neobsahuje na rozdiel od kapitol 7.2 a 7.3 graf rýchlostného profilu v potrubí nasávania. Rýchlostný profil totiž nebol premeriavaný z dôvodu zvolenia metódy merania rýchlosti prúdenia v ose potrubia. Zároveň nebola vyhodnocovaná ani neistota merania hmotnostného prietoku nasávaním, predpokladá sa podobný výsledok ako v prípade prechodných podmienok.

graf 7.5 Pomerný objemový prietok jednotlivými výstmkami so zobrazením chybových úsečiek rozšírenej neistoty - zima



tabuľka 7.6 Porovnanie hmotnostného a objemového prietoku inlet/outlet pre klimatické podmienky zima

Prietok	Inlet	Outlet	Rozdiel	
			Abs.	Rel. [%]
Hmotnostný [g.s⁻¹]	45,21	48,30 ±1,9	3,09	6,83
Objemový [l.s⁻¹]	34,73	40,61 ±1,7	5,88	16,93

tabuľka 7.7 Stredné rýchlosti vzduchu vystupujúceho z výstiek, teploty vzduchu, obsahy funkčných prierezov výstiek a koeficienty mriežky k_m - zima

Označenie výstky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]	Označenie výstky	Rýchlosť [m.s ⁻¹]	Obsah [cm ²]	Teplota [°C]	k_m [-]
A1	1,63	50,38	22,0	0,58	F2	0,82	17,75	28,8	1,00
A2	1,53	50,38	21,8	0,58	F3	0,67	12,90	28,8	1,00
B1	0,41	66,78	21,8	0,57	G1	1,22	26,88	18,0	0,65
B2	0,28	66,78	23,3	0,57	G2	1,21	26,88	19,0	0,65
C1	1,12	42,00	24,4	0,91	H1	1,05	19,97	24,0	1,00
C2	0,79	42,00	27,0	0,91	H2	1,04	9,80	24,0	1,00
D1	0,39	18,57	28,8	0,85	H3	1,02	7,00	24,0	1,00
D2	0,32	18,57	28,8	0,85	H4	1,05	12,60	24,0	1,00
E1	0,93	11,25	28,8	1,00	I1	0,97	12,60	21,0	1,00
E2	1,30	3,79	28,8	1,00	I2	1,09	7,00	21,0	1,00
E3	1,47	4,25	28,8	1,00	I3	1,02	9,80	21,0	1,00
E4	0,93	5,09	28,8	1,00	I4	0,95	19,97	21,0	1,00
F1	0,58	18,14	28,8	1,00					

8 DISKUSIA

Diskusia obsahuje zhodnotenie výsledkov merania pomerných koeficientov distribúcie vzduchu, a to pre letné, prechodné a zimné okolité klimatické podmienky.

Po umiestnení automobilu do klimateckej komory, nastavení požadovaných klimateckých podmienok a nastavení automatického režimu klimateckácie s požadovanou hodnotou vnútornej teploty, bola sledovaná distribúcia vzduchu v kabíne automobilu. Distribúcia a teplota vzduchu vystupujúceho z výustiek je nastavovaná riadiacou jednotkou systému Climatronic. Podrobnejší popis činnosti tohto systému obsahuje kapitola 5. Táto práca má za úlohu zmapovať túto distribúciu. Výsledky merania pre jednotlivé klimatické podmienky sú zhodnotené samostatne.

Klimatecké podmienky - leto

V prípade letných podmienok bol automobil umiestnený v prostredí s vysokým tepelným a solárnym zaťažením, preto bol zaznamenaný vyšší prietok vzduchu HVAC systémom ako v prípade zimných a prechodných podmienok, čo indikovalo aj vyššie napätie na ventilátore systému. Z výsledkov mapovania distribúcie vzduchu pre tieto okolité klimatické podmienky vyplýva, že vzduch z výustiek na hlavnom paneli (A1, A2, B1, B2) je do priestoru vodiča a spolujazdca dodávaný relatívne symetricky a rovnomerne, pričom týmito výustkami prúdi do kabíny okolo 60 % z celkového objemu vzduchu. Z umiestnenia výustiek je zrejmé, že majú za úlohu upravovať tepelný komfort v oblasti hrudníka, ramien a hlavy posádky prednej časti automobilu. Práve táto oblasť tela posádky je v prípade letných podmienok najvýraznejšie zaťažovaná spomínaným solárnym žiarením (v našom prípade $800 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), čo môže viesť ku zníženiu tepelnej pohody posádky až k prehrievaniu organizmu a z toho vyplývajúceho zvýšeného pocitu únavy. Preto musí byť solárna a tepelná záťaž najmä na tieto časti tela kompenzovaná chladnejším prúdiacim vzduchom zo spomínaných výustiek. Medzi prietokom ľavou a pravou výustkou na ofukovanie čelného skla (C1 a C2) je výraznejší rozdiel, pričom výustkou na strane vodiča prúdi približne dvojnásobok vzduchu. Zlepšenie tepelného komfortu a odhmlievanie čelného skla na strane vodiča je totiž podstatnejšie, než na strane spolujazdca. Výustami určenými na ofukovanie nôh vpredu aj vzadu bol zaznamenaný len slabý prietok, preto sa môžu výustky považovať za vypnuté. Prúdenie chladného vzduchu do oblasti nôh je totiž nežiaduce z dôvodu zvýšenej citlivosti dolných končatín na chladné prostredie. Zaznamenaný slabý prietok prúdil výustkami z dôvodu neúplného dovretia klapiek určených na rozdeľovanie vzduchu. Prietok výustkami na zadnom stredovom paneli (G1, G2) bol opäť symetrický.

Pri pohľade na chybové úsečky rozšírenej neistoty je zrejmé, že najväčšej chyby merania bolo dopustené na výustkách na ofukovanie čelného skla. Chyba bola spôsobená najmä problematickým aretovaním anemometrickej sondy na rovnaké miesto pri opakovanom meraní z dôvodu obmedzeného manipulačného priestoru v okolí výustky. Presnosť merania ovplyvňovali aj rôzne uhly natočenia lamiel na smerovanie prúdu vzduchu z výustky. Nezanedbateľné neistoty merania sú však pozorovateľné aj pri výustkách na palubnej doske i na zadnom stredovom paneli. Tieto chyby sú ovplyvňované najmä nedostatočne presným polohovaním sondy na rovnaké miesto pri opakovanom meraní.

Zmenu meracej trate pri meraní hmotnostného prietoku nasávaním je možné považovať vzhľadom na výsledky meraní za pozitívnu. Z grafu (7.2) je zrejmý lokálny nárast rýchlosti v priereze potrubia nasávaním pri bode D, čo spôsobuje výbežok na kapotáži, ktorý zasahuje do prechodovej redukcie. Rýchlostný profil teda stále nebol úplne symetrický. Práve preto bol bod D umiestnený tak, aby zachytával maximum tohto nárastu rýchlosti v profile. Tým bol vplyv nesymetricity rýchlostného profilu na výsledky meraní redukovaný.

Relatívny rozdiel medzi hmotnostným prietokom vzduchu, ktorý do HVAC systému vstupuje nasávaním a prietokom vzduchu, ktorý vystupuje do kabíny automobilu cez výustky je približne 2,3 %, pričom absolútny rozdiel hmotnostných prietokov spadá do intervalu neistoty merania a je akceptovateľný vzhľadom k použitej meracej metóde. Zároveň je možné konštatovať platnosť výsledkov meraní. Rozdiel prietokov bol vyhodnocovaný z ich stredných hodnôt. Vyhodnocovanie rozdielu z krajných hodnôt intervalu rozšírenej neistoty by tento rozdiel zvýšilo.

Klimatické podmienky – zima

V prípade zimných podmienok bolo rozdelenie vzduchu v kabíne odlišné od letných podmienok, zároveň celkový hmotnostný prietok systémom klesol, čo indikovalo aj nižšie napätie na ventilátore. Trend si zachovali iba krajné výustky na hlavnom paneli (A1, A2), ktoré opäť slúžia na úpravu tepelnej situácie v oblasti hrudníku, ramien a hlavy. Stredové výustky vpredu (B1, B2) majú výrazne menší vplyv na prietoku vzduchu, na úkor výustiek na ofukovanie čelného skla, ktorými prúdi nezanedbateľne vyššie množstvo vzduchu. Funkciou týchto ofukovačov v zimnom období je odhmlievanie a rozmrazovanie čelného skla, teda zabezpečovanie jeho dostatočnej priehľadnosti, čo významnou mierou vplýva na aktívnu bezpečnosť posádky. Zároveň je prúdom teplého vzduchu ohrievané čelné sklo, čím je znížené sálanie chladu od čelného skla. Výrazný rozdiel je možné pozorovať v prípade výustiek na ofukovanie nôh. Tými v prípade zimných podmienok v súčte preteká nezanedbateľné množstvo, a to približne 40 %. V tomto prípade je ich hlavnou funkciou zohrievanie priestoru nôh, keďže v tomto priestore v zimnom období dochádza ku kumulácii chladného vzduchu a k ochladzovaniu dolných končatín posádky vychladenými časťami automobilu, čo môže spôsobiť pocit diskomfortu. Najväčšia neistota merania bola opäť v súlade s predpokladom na výustkách C1 a C2, no relatívne neistoty boli výrazne pozorovateľné aj na výustkách na ofukovanie nôh. Presnosť merania bola ovplyvnená horším prístupom k výustkám pri umiestňovaní anemometrickej sondy.

Napätie na ventilátore systému bolo zhodné ako pri prechodných podmienkach, zároveň celkový hmotnostný prietok vzduchu výustkami je možné považovať za veľmi podobný. Relatívny rozdiel hmotnostného prietoku medzi vstupom a výstupom v prípade zimných podmienok bol 6,8 %. Tento rozdiel bol spôsobený inou použitou metódou merania objemového prietoku na vstupe, a to metódou stanovenia prietoku meraním rýchlosti v ose potrubia. Preto je možné konštatovať menšiu presnosť tejto metódy v porovnaní s metódou premeriavania celého rýchlostného poľa. Výsledky meraní je stále možné považovať za platné.

Klimatické podmienky – jar/jeseň

V prípade prechodných podmienok bolo rozdelenie vzduchu v kabíne v podstate zhodné s rozdelením distribúcie pri zimných podmienkach. Hmotnostný prietok výustkami v kabíne automobilu sa líšil od zimných podmienok len minimálne, čo potvrdzuje aj zhodné napätie na ventilátore HVAC systému. Najvýraznejšie prietoky vzduchu boli opäť výustkami A1, A2 a C1, C2, z rovnakých dôvodov ako v prípade zimných podmienok, teda výustky A1, A2 upravujú tepelnú pohodu v oblasti hrudníka, ramien a hlavy posádky a výustky C1, C2 zabezpečujú odhmlievanie, teda dostatočnú priehľadnosť čelného skla. Trend si v porovnaní so zimnými podmienkami zachovávajú aj výustky smerujúce do priestoru nôh vpredu aj vzadu i výustky na zadnom stredovom paneli.

Lokálne zvýšenie rýchlosti v rýchlostnom profile v potrubí nasávania je opäť pozorovateľný aj v grafe (7.4). Relatívny rozdiel hmotnostného prietoku vzduchu na vstupe a výstupe je pri prechodných podmienkach v porovnaní s letnými a zimnými nižší, a to približne jedno percento, opäť však ide o porovnanie stredných hodnôt prietokov.

Návrh na zvýšenie presnosti súčasnej metódy:

- a. Meranie rýchlosti vo viacerých bodoch prierezu výustky, väčší počet opakovaní merania v jednotlivých bodoch.
- b. Zhotovenie prípravku, ktorý umožní presné umiestnenie anemometrickej sondy pri opakovanom meraní lokálnych rýchlostí prúdu vzduchu.

Návrh novej metódy:

- a. Zostrojenie jednoúčelového zariadenia na meranie lokálnych rýchlostí s viacerými sondami, ktoré naraz meria všetky rýchlosti potrebné na určenie prietoku vzduchu výustkou. Táto metóda je použiteľná aj za jazdy automobilu.
- b. Inštalácia ustáľovacieho potrubia na výustku, meranie prietoku vzduchu prietokomerom, určeným špeciálne na meranie prietoku výustkami.

9 ZÁVER

Táto práca mala za cieľ stanovenie pomerných koeficientov distribúcie vzduchu v kabíne osobného automobilu. Distribúcia vzduchu sa sledovala pri troch typoch okolitých klimatických podmienok, ktoré boli vytipované tak, aby reprezentovali denné podmienky v lete, zime a na jar/jeseň. Pre kontrolu výsledkov sa práca zaoberá aj porovnaním celkového hmotnostného prietoku nasávaním s celkovým hmotnostným prietokom výustkami.

Na začiatku práce je pozornosť venovaná definícii objemového a hmotnostného prietoku vzduchu. Týmito fyzikálnymi veličinami je totiž možné popísať distribúciu a prerozdelenie vzduchu v kabíne automobilu. Zároveň je popísaný teoretický rozbor prúdenia vzduchu, odhad vlastností prúdenia vzduchu v potrubí a vlastnosti prúdu vzduchu vystupujúceho z výustky. Nasledujúca časť práce obsahuje rešeršné spracovanie a popis metód na stanovenie prietoku vzduchu. Meraný objekt je popísaný v kapitole 5. V tejto kapitole je vysvetlený princíp a práca HVAC systému, ďalej obsahuje schémy výustiek v kabíne automobilu i tabuľku popisujúcu klimatické podmienky, pri ktorých bol experiment vykonávaný aj s hodnotami nastavení panelu klimatizačného systému. Metodiku experimentálnej práce, popis a postup merania popisuje nasledujúca kapitola, ktorá je rozdelená na časť venujúcu sa prietoku vzduchu nasávaním a prietoku vzduchu výustkami. Pre obe úlohy bola zvolená metóda určovania prietoku vzduchu meraním rýchlosti. Na meranie rýchlosti bola využitá metóda žiarovej anemometrie. Počas riešenia úlohy stanovenia prietoku nasávaním došlo ku zmene meracej trate. Pôvodná nevyhovujúca meracia trať bola nahradená vylepšenou traťou obsahujúcou ustáľovacie potrubie.

Výsledky meraní sú spracované v kapitole 7 v podobe grafov pomerných koeficientov distribúcie vzduchu s vyhodnotením rozšírenej neistoty merania s 95% pokrytím pravdepodobnosti, samostatne pre každý typ okolitých podmienok. Pre letné a prechodné podmienky sú uvedené aj grafy rýchlostných profilov potrubím nasávania. V prípade zimných podmienok nebol celý rýchlostný profil premeriavaný, na určenie prietoku bola zvolená metóda merania rýchlosti v ose potrubia, pričom je možné konštatovať menšiu presnosť tejto metódy v porovnaní s metódou premeriavania celého rýchlostného profilu potrubia.

Zhodnoteniu spracovaných výsledkov merania sa venuje samostatná kapitola 8. Z výsledkov merania vyplýva, že v prípade letných podmienok je celkový hmotnostný prietok vzduchu systémom z dôvodu vysokej tepelnej a solárnej záťaže vyšší v porovnaní s prechodnými a zimnými. Hlavný podiel na tomto prietoku (cca 60 %) je výustkami na palubnej doske, kvôli kompenzovaniu spomínaného zaťaženia. Výustky na ofukovanie nôh sa dajú považovať za vypnuté. V prípade zimných a prechodných podmienok sa hmotnostný tok vzduchu vystupujúceho z výustiek v interiéri automobilu líši len málo, celkovo je možné distribúciu vzduchu pri týchto podmienkach považovať za zhodnú. V tomto prípade prúdi vzduch najvýraznejšie výustkami na krajoch palubnej dosky (A1, A2), výustkami na ofukovanie nôh (cca 40 %), čo je výrazne viac ako v prípade letných podmienok a ofukovačmi čelného skla. Výsledky mapovania vzduchu HVAC systému je možné považovať za platné, čo potvrdzuje vyhodnotenie rozšírenej neistoty merania i porovnanie celkového hmotnostného prietoku nasávaním s prietokom výustkami vo vnútri automobilu. Výsledky je teda možné použiť na určenie okrajových podmienok pri počítačovom modelovaní tepelnej záťaže v kabíne osobného automobilu. Metódu na stanovenie pomerných koeficientov distribúcie vzduchu použitú pri riešení tejto práci je možné využiť pri realizácii podobných experimentálnych meraní.

10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ZHANG, Huajun. *Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part I: Test/numerical model and validation.* issue 10, 2009, Applied Thermal Engineering, Zv. vol. 29, s. 2022-2027.
- [2] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí.* Brno : Skripta VUT Brno, 2009.
- [3] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Octavia II: Octavia, Octavia Combi, 4x4, Octavia RS, Scout.* 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha : Grada, 2010. s. 548 s. ISBN 978-80-247-2962-6.
- [4] KUREKOVÁ, Eva a HALAJ, Martin. *Meranie prietoku, pretečeného množstva a rýchlosti prúdenia tekutín.* In: Technické meranie : Učebné texty z projektu METROMEDIA-ONLINE I. Bratislava : Ing. Peter Juriga - Grafické štúdio, 2005. ISBN 80-89112-04-8.
- [5] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin.* Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [6] PAVELEK, Milan. *Experimentální metody v technice prostředí.* 3. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2007. s. 215 s. ISBN 978-80-214-3426-4.
- [7] JANALÍK, Jaroslav a ŠTÁVA, Pavel. *Mechanika tekutin.* 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2002. s. 125 s. ISBN 80-248-0038-1.
- [8] BRUUN, H. *Hot-Wire Anemometry: principles and Signal Analysis.* 2 ed. Oxford : Oxford University Press/, 1996. s. 507 s. ISBN 01-985-6342-6.
- [9] JANCO, Marcel. *Klimatizácia, kúrenie a vetranie v osobnom automobile.* Autorubik [online]. 2013 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.autorubik.sk/clanky/klimatizacia-kurenie-a-vetranie-v-osobnom-automobile>
- [10] DALY, Steven. *Automotive air-conditioning and climate control systems.* 1st ed. Oxford : Butterworth Heinemann, 2006. s. xvii, 362 s. ISBN 07-506-6955-1.
- [11] *Atlas klimatu česka: Climate atlas of Czechia.* 1. vyd. Praha : Český hydrometeorologický ústav, 2007. s. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [12] LÍZAL, František. *Větrání kabiny vozidla – rychlostní pole v okolí vyústek přístrojové desky.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. s. 74. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Jedelský, PhD.
- [13] *Manuály klimatická komora.*
- [14] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření.* 1. vyd. Praha : Česká společnost pro jakost, 2008. s. 96 s. ISBN 978-80-02-02089-9.

11 ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMOBOLOV

Skratky

HVAC	Heating, ventilating and air conditioning
OTTP	Odbor termomechaniky a techniky prostředí na VUT v Brně

Symbol	Veličina	Rozmer
q_v	objemový prietok	$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
ΔV	elementárny objem pretekajúcej tekutiny	$[\text{m}^3]$
Δt	časový interval	$[\text{s}]$
q_m	hmotnostný prietok	$[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$
Δm	elementárna hmotnosť pretekajúcej tekutiny	$[\text{kg}]$
ρ	hustota pretekajúcej tekutiny	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
p	tlak ideálneho plynu	$[\text{Pa}]$
v	merný objem ideálneho plynu	$[\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}]$
ρ	hustota ideálneho plynu	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$
r	merná plynová konštanta ideálneho plynu	$[\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
T	je termodynamická teplota ideálneho plynu.	$[\text{K}]$
Re	Reynoldsovo číslo	$[-]$
d	je charakteristický rozmer potrubia	$[\text{m}]$
ϑ	je kinematická viskozita	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
p_s	celková tlaková strata	$[\text{Pa}]$
p_{tr}	tlaková strata trecích odporov	$[\text{Pa}]$
p_m	tlaková strata miestnych odporov	$[\text{Pa}]$
k_0	konštanta	$[-]$
k_1	konštanta	$[-]$
n	počet otáčok obežného kola	$[\text{s}^{-1}]$
S	je plošný obsah prierezu potrubia	$[\text{m}^2]$
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu tekutiny v danom priereze	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
a	konštanta	$[-]$
b	konštanta	$[-]$
w	rýchlosť prúdenia	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
k	konštanta	$[-]$
p_d	dynamický tlak	$[\text{Pa}]$
ρ	hustota tekutiny	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

\dot{Q}	tepelný tok konvektivného prenosu tepla	[W]
P	príkonn potrebný na ohrev telieska	[W]
R	je elektrický odpor telieska	[Ω]
I	je prúd prechádzajúci žhaveným telieskom	[A]
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu	[m.s ⁻¹]
\bar{w}	í-ta lokálna rýchlosť	[m.s ⁻¹]
w_i	í-ta lokálna rýchlosť	[m.s ⁻¹]
n	celkový počet hodnôt jednotlivých rýchlostí	[-]
r_i	polohy pre meranie rýchlosti v kruhovom priereze	[m]
n	požadovaný počet polôh r_i	[-]
q_m	hmotnostný tok nasávaním	[kg.s ⁻¹]
S	obsah plochy prierezu potrubia	[m ²]
\bar{w}	stredná rýchlosť prúdu vzduchu	[m.s ⁻¹]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
k_p	súčiniteľ rýchlostného profilu	[-]
q_v	objemový prietok výustkou	[m ³ .s ⁻¹]
S	je obsah plochy prierezu výustky	[m ²]
\bar{w}	je stredná rýchlosť prúdu vzduchu	[m.s ⁻¹]
k_m	je koeficient mriežky	[-]
u_A	štandardná neistota typu A	[podľa veličiny]
k_{UA}	bezpečnostný faktor	[-]
n	počet opakovaní merania	[-]
y_i	je i-tá nameraná hodnota	[podľa veličiny]
\bar{y}	je aritmetický priemer z i nameraných hodnôt	[podľa veličiny]
u_B	neistota typu B	[podľa veličiny]
u	kombinovaná neistota	[podľa veličiny]
U	rozšírená neistota	[podľa veličiny]
k	koeficient rozšírenia	[-]

12 ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1: Vyznačenie polohy bodov pre meranie lokálnych rýchlostí na výustkách.

13 PRÍLOHY

Príloha 1: Vyznačenie polohy bodov pre meranie lokálnych rýchlostí na výstčkách.

Údaj v zátvorke označuje príslušnú párovú výstčku.

