



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

EXPERIMENTÁLNÍ ANALÝZA PROUDU VZDUCHU Z VYÚSTKY PŘÍSTROJOVÉ DESKY OSOBNÍHO VOZU S VYUŽITÍM KOUŘOVÉ METODY A NÁVRH HODNOCENÍ KVALITY VYÚSTKY

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF AIR STREAM FROM A CAR BLOWER USING SMOKE
METHOD AND DESIGN OF THE BLOWER QUALITY ASSESSMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Bc. Lukáš Krška

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lukáš Krška

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Technika prostředí (2301T024)**

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 diplomové práce:

Experimentální analýza proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu s využitím kouřové metody a návrh hodnocení kvality vyústky

v anglickém jazyce:

Experimental analysis of air stream from a car blower using smoke method and design of the blower quality assessment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vizualizace proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu pomocí kouřové metody. Sestavení měřící aparatury a zkušebního zařízení, provedení experimentů, analýza výsledků a vypracování metodiky pro hodnocení parametrů proudu.

Cíle diplomové práce:

Proveďte vizualizaci proudu z vyústky osobního vozu kouřovou metodou.

Důraz kladen na:

- opakovatelnost měření (metodika nastavování lamel, průtoku, ...)
- stanovení kritérií hodnocení vyústky:
- vypracování metodiky pro určení mezního vertikálního směrování
- vypracování metodiky pro stanovení úhlu vybočení (α) a sklonu (β) proudu
- vypracování metodiky pro určení okraje proudu v rychlostním poli

Seznam odborné literatury:

- [1] J. Chyský, K. Hemzal a kol.: Větrání a klimatizace, BOLIT – B press, Brno, 1993
- [2] G. Gebauer a kol: Vzduchotechnika, ERA group, Brno, 2005.
- [3] H. Awbi: Ventilation of buildings, SE, Spon press, London, 2003.
- [4] Firemní literatura výrobce vozidla.
- [5] Klíma, M.; Bernas, M.; Hozman J.; Dvořák, P.: Zpracování obrazové informace. ČVUT Praha

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Bibliografická citace:

KRŠKA, L. *Experimentální analýza proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu s využitím kouřové metody a návrh hodnocení kvality vyústky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 82s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Experimentální analýza proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu s využitím kouřové metody a návrh hodnocení kvality vyústky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **27. května 2011**

.....

Abstrakt

Cílem této práce byla analýza proudu vzduchu z pravé vyústky s použitím kouřové metody a nalezení řešení, jak je aplikovat. Dalším úkolem bylo vytvoření metodiky pro zjištění dolního a horního úhlu mezního vertikálního směřování, úhlů vybočení (β) a sklonu (α) proudu vzduchu. Experiment byl veden tak, aby se přiblížil co nejvíce reálným podmínkám ve vozidle. Po sestavení tratě s ofukovačem (vyústkou) v laboratoři a určení souřadného systému vozu byl proud vzduchu podroben vizualizaci v pěti polohách nastavených lamel. K vizualizaci byla použita technika pro zvolenou kouřovou metodu. Využili jsme světelnou rovinu s vlastním souřadným systémem, generátor kouře pro zviditelnění vystupujícího proudu vzduchu a fotoaparát pro vytvoření snímků. Výzkumem jsme našli horní a dolní mezní nastavení u specifického zavírání horizontálních lamel ofukovače. Nalezli jsme vzájemnou analogii mezi použitou experimentální tratí a realitou ve voze. Získali jsme úhly vybočení (β) a úhly sklonu (α) ve světelné rovině a po přepočtu i v souřadném systému vozu pro všech pět poloh lamel. Na základě dosažených hodnot bylo provedeno hodnocení daného ofukovače.

Klíčová slova

Ofukovač (vyústka), experimentální trať, metodika, souřadný systém, vizualizace, kouřová metoda, úhly sklonu, úhly vybočení, okraje proudu, mezní vertikální směřování, vyhodnocení.

Abstract

The aim of this work was the analysis of air current from the right outlet, using the smoke method and the subsequent determination of a method for application. A further task was to establish a method for determining the upper and lower vertical routing, yaw angle (β) and angle of inclination (α) of the air current. The experiment aims to approximate conditions as close to those experienced in the actual vehicle. After assembling a track with a soot blower (outlet) in the laboratory and defining the coordinates of the vehicle, the air current was subjected to visualization within the range of five positions of the vanes. Visualization was achieved by the use of technology for the smoke method. We used a light plane with a customized system of coordinates, a smoke generator for visualizing the air current being emitted and a camera for recording images. During our research we established the upper and lower cut off at the specific closures of the horizontal vanes of the soot blower. We determined a common analogy between the experimental track used in the experiment and the circumstances in the actual vehicle. We acquired the yaw angles (β) and the angles of inclination (α) in the light plane and, after conversion, in the system of coordinates of the vehicle for all five settings of the vanes. The assessment of the given soot blower was undertaken according to the values achieved.

Keywords

Soot blower (outlet). Experimental track, method, system of coordinates, visualization, smoke method, angle of inclination, yaw angle, current borders, upper (lower) view, side view, vertical direction cut off, assessment.

Poděkování

Děkuji za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce vedoucím diplomové práce Ing. Janu Jedelskému, Ph.D. a Ing. Františku Lízalovi, dále konzultantům Ing. Pavlu Růžičkovi, Ph.D. a Ing. Janu Klimešovi a kolegovi Bc. Tomáši Ležovičovi za spolupráci na experimentu.

V Brně dne: **27. května 2011**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Zadání práce	12
2.1	Cíle, kterých má být dosaženo	12
2.2	Charakteristika problematiky úkolu	12
3	Kriteria ofukovače.....	13
4	základy problematiky práce.....	14
4.1	Zvolení počtu ofukovačů.....	14
4.2	Místo v laboratoři.....	15
4.3	Měření průtoku.....	16
4.3.1	Způsoby měření průtoku	16
4.3.2	Metody použité pro vyjádření střední rychlosti	19
4.3.3	Tlaková ztráta potrubí	20
4.3.4	Možnosti vedení potrubní tratě	21
5	Popis měřeného objektu	23
5.1	Sestavení experimentální tratě	23
5.2	Umístění experimentální tratě v laboratoři.....	26
6	Měření doplňkových veličin.....	27
6.1	Měření teploty	27
6.2	Měření tlaku	27
6.3	Měření parametrů okolního prostředí.....	28
7	Měření průtoku.....	29
7.1	Měřicí technika pro určení průtoku.....	29
7.2	Získání teoretického průtoku $30 [m^3 \cdot h^{-1}]$	30
7.3	Postup měření průtoku	31
7.4	Výpočet požadovaného průtoku $30 [m^3 \cdot h^{-1}]$	34
8	Určení souřadného systému.....	36
8.1	Orientace úhlů vybočení a sklonu ve vozidle.....	37
8.2	Přepočet souřadného systému světelné roviny do souřadného systému vozu.....	38
8.2.1	Pro vizualizaci v rozmezí $(0^\circ - 90^\circ)$	38
8.2.2	Pro vizualizaci v rozmezí $(90^\circ - 180^\circ)$	40
9	Metodika mezního vertikálního směřování	41
9.1	Odvození vztahu mezi laboratorní a reálnou situací	41
9.2	Využití odvozeného vztahu pro měření mezního vertikálního směřování	42

10	Metodika určení okraje proudu v rychlostním poli	44
11	Metodika stanovení úhlů vybočení a sklonů proudu	46
12	Vizualizace	48
12.1	Vizualizační technika	48
12.1.1	Generátor kouře	48
12.1.2	Světelná rovina	49
12.1.3	Záznamové zařízení	49
12.1.4	Postup vizualizace	50
13	Zdroje nejistot	51
13.1	Teoretický výpočet nejistot	51
13.2	Nejistoty měření průtoku	52
13.3	Nejistoty faktoru profilu	54
13.4	Nejistoty mezního vertikálního směřování	56
14	Vyhodnocení vizualizace	58
14.1	Vyhodnocení horních (spodních) pohledů	59
14.1.1	HS – horní střed	59
14.1.2	LS – levá střed	60
14.1.3	SS – střed střed	61
14.1.4	PS – pravá střed	62
14.1.5	DS – dolní střed	63
14.2	Reprezentativní snímky spodních pohledů	64
14.3	Vyhodnocení bočních pohledů	67
14.3.1	HS – horní střed	67
14.3.2	LS – levá střed	68
14.3.3	SS – střed střed	69
14.3.4	PS – pravá střed	70
14.3.5	DS – dolní střed	71
14.4	Reprezentativní snímky bočních pohledů	72
15	Porovnání výsledků	75
16	Závěr	78
17	seznam použitých zdrojů	79
18	seznam symbolů	81

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá prouděním vzduchu z pravého bočního ofukovače (vyústky) osobního automobilu. Práce byla zadána firmami Škoda Auto a.s. a Evektor s.r.o., které dohlížely na postup práce. Cílem této práce je experimentálně provést analýzu proudu vzduchu pomocí kouřové metody a stanovit celkové hodnocení ofukovače. V práci je řešeno nastavení mezního horního a dolního sklonu horizontálních lamel ofukovače, které lze zcela zavírat. Dále studujeme stanovení úhlu vybočení (α) a sklonu (β) proudu, určení okraje proudu v rychlostním poli. Zkoumali jsme také vytvoření postupu pro převedení výsledků získaných z jednoho ofukovače do modelu se čtyřmi ofukovači, které jsou umístěny ve skutečném vozidle. Účelem práce je vývoj a aplikace metodiky pro měření a vyhodnocení rozsahu ofukovačů.

Experiment byl prováděn na palubní desce a ofukovači Škoda Octavia II, kterou dodala Škoda Auto a.s. Mezi palubní deskou a ofukovačem byla postavena měřicí trať, na které probíhalo veškeré měření. Celou tuto sestavu určenou pro experiment nazýváme experimentální trať. Místem pro měření byla laboratoř oboru Techniky prostředí, která je vybavena systémem pro vizualizaci kouře. Vizualizaci proudu vzduchu se provádělo nasvícením světelné roviny generovaného kouře vycházejícího z vyústky a jeho záznamem pomocí fotoaparátu.

Charakter proudu byl pozorován v pěti polohách, konkrétně v nadefinovaných třech středních a dvou krajních polohách, které byly nastaveny vertikálními a horizontálními lamelami na těle ofukovače. Z nafocených obrazů proudu se u deseti vybraných v každé z pěti poloh vyhodnocovaly proudy vzduchu z ofukovače pomocí softwaru Delphi, MathCad, IrfanView, AutoCad a Microsoft Office Excel.

Poslední fází práce byl vývoj a aplikace metodiky vyhodnocování a porovnání výsledků z měření kouřovou metodou a metodou CTA (žhavených drátků), která byla řešena zatím okrajově a má informativní předvoj pro budoucí práce, které na toto téma budou navazovat.

2 ZADÁNÍ PRÁCE

2.1 Cíle, kterých má být dosaženo

Proveďte vizualizaci proudu z vyústky osobního vozu kouřovou metodou.

Důraz kladen na:

- opakovatelnost měření (metodika nastavování lamel, průtoku)
- stanovení kritérií hodnocení vyústky
- vypracování metodiky pro určení mezního vertikálního směřování
- vypracování metodiky pro stanovení úhlu vybočení (α) a sklonu (β) proudu
- vypracování metodiky pro určení okraje proudu v rychlostním poli

[1]

2.2 Charakteristika problematiky úkolu

Vizualizace proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu pomocí kouřové metody. Sestavení měřicí aparatury a zkušebního zařízení, provedení experimentů, analýza výsledků a vypracování metodiky pro hodnocení parametrů proudu. [1]

3 KRITERIA OFUKOVAČE

Ofukovač ve vozidle pracuje na stejném principu jako vyústka používaná ve vzduchotechnice. Ofukovače slouží k rozvodu upraveného vzduchu do vozidla. Ofukovače dělíme na druhy (pojmenované podle svého umístění ve voze):

- Boční.
- Středové.
- Zadní podloketní ofukovače.
- Defrostová (defogová) mřížka.

Ofukovače jsou napojeny na vzduchové kanály vedené v přístrojové desce a středovém tunelu, které se sbíhají do výměníku tepla umístěného před ventilátorem.

Uživatele zejména zajímá klima komfort, který chceme zajistit v kabině vozidla a z toho důvodu se zabýváme výzkumem ofukovačů, které rozdělíme na dva módy použití:

1. Automobil.

V zimním období požadujeme dostatečné zásobování teplým vzduchem na pokrytí tepelných ztrát a naopak v letním období zásobování chladným vzduchem na pokrytí tepelných zisků v celém automobilu.

2. Posádka.

Správná distribuce, množství, směr proudu respektive směrovatelnost a dostatečné množství vzduchu, které míří na určité části cestujících.

Důležité je hodnotit zejména:

- Teplotní pole napříč interiérem, jaké je rozložení teplot od podlahy ke stropu.
- Rychlostní pole.
- Staří vzduchu ve vozidle (intenzita výměny vzduchu starého za čerstvý v kabině).

Pro tyto argumenty se zabýváme určením metody vybočení a sklonu proudu, okrajů proudu a mezního vertikálního směřování ofukovače. Tyto potřebné informace zjistíme použitím vizualizace, která nám vzduch popíše a určí jeho parametry pro složitější měření.

4 ZÁKLADY PROBLEMATIKY PRÁCE

4.1 Zvolení počtu ofukovačů

Při prvním seznámení s úkolem se pro jednoduchost celého projektu volilo mezi jedním nebo dvěma ofukovači. Jelikož bude při této experimentální práci prováděna vizualizace pomocí kouře, bylo zpočátku zamýšleno pracovat pouze s jedním ofukovačem z důvodu vzájemného ovlivnění výstupu kouře při použití dvou ofukovačů. Také předešlé úkoly se zabývaly prací pouze s jedním ofukovačem, a tak i začátek projektu k tomuto způsobu směřoval. Obsahuje však odlišné zadání práce než předchozí úkoly, neboť jedním ze stěžejních bodů je určit nastavení mezního směrování horizontálních lamel. Po podrobnějším seznámení s úkolem a schůzce se zadavatelem práce byl přehodnocen původní záměr a přistoupilo se k řešení cílenému více do reálné situace. Automobil Škoda Octavia II má v interiéru umístěno celkem pět ofukovačů (obr. 4. 1). Pátý ofukovač je situován pod střední loketní opěrkou, která je určena pro zadní cestující. Tímto ofukovačem jsme se po dohodě v diplomové práci nezaobírali.



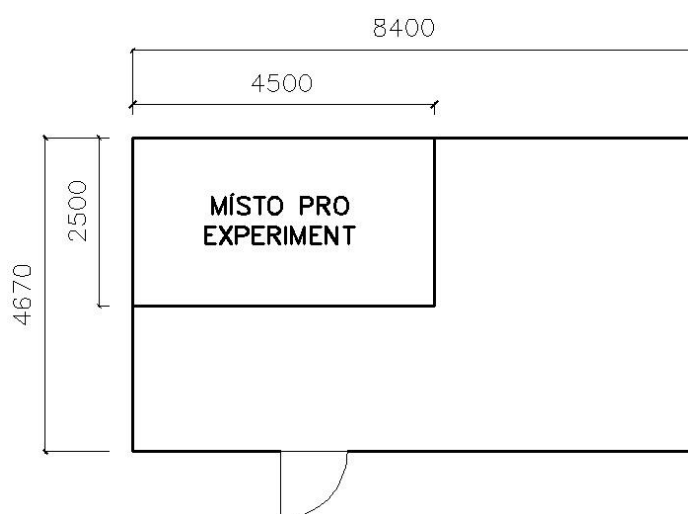
Obr. 4. 1: Uspořádání ofukovačů ve voze.[2]

Na přístrojové desce se nalézají čtveřice vyústek, které mají specifický způsob ovládání odlišujícího se od jiných systémů. Jedná se o systém s dvěma ovládacími koly pro pohyb vertikálních a horizontálních lamel, při čemž kolo pro změnu směru horizontálních lamel slouží i jako kolo pro uzavření ofukovače. U těchto ofukovačů jsme hledali mez, kdy lze považovat ofukovač za otevřený a kdy už za uzavřený. To znamená, kdy z ofukovače bude vystupovat proud dostačující pro pohodlí posádky a kdy už jeho množství průtoku nebude dostačující. Pokles tohoto průtoku byl na začátku práce odhadnut na 10%, ale při určení metody místních zrát (mezního vertikálního směrování) byl zvýšen na 30%. Důvodem bylo malé horní a dolní posunutí horizontálních lamel pro desetiprocentní pokles průtoku a tedy nešlo o mezní nastavení

ofukovače. Úkolem je tedy provést experiment tak, aby byl více položen do reálné situace, a proto bude obsahovat počet alespoň čtyř těchto ofukovačů, důležitých pro komfort cestujících. Jedná se o pravý a levý ofukovač nacházející se na bocích palubní desky (tzv. boční ofukovač) a dva středové ofukovače. A to z důvodu, že při přímém zapojení ventilátoru s jedním ofukovačem dochází při zavírání lamel k poklesu průtoku vzduchu, který je výrazně ovlivněn charakteristikou ventilátoru, a ne jen změnou průtočného průřezu ofukovače. Při úplném uzavření ofukovače bude i celkový průtok nulový. Naproti tomu u skutečného systému s více ofukovači dojde při zavírání pouze jednoho ofukovače k poklesu průtoku vzduchu jen ve větvi vedoucí k tomuto ofukovači, zatímco celkový průtok se tak výrazně nezmění a vzduch je dále distribuován ostatními ofukovači. Přesný postup bude dále v práci detailně popsán (kapitola 9).

4.2 Místo v laboratoři

Experiment se prováděl v laboratorní komoře Ústavu energetiky oboru termomechaniky a techniky prostředí nacházející se v areálu FSI v budově C3 těžké laboratoře. Tato laboratorní komora byla postavena před několika lety z důvodu provádění experimentálních vizualizací. Komora je opatřena černým nátěrem zdí, stropu a podlahy. Přívod a odvod větracího vzduchu v komoře je řešen štěrbínovou vyústkou a je vháněn a odsáván pomocí ventilátorů. Tento nucený větrací systém je nezbytný pro dokonalé vyvětrání laboratoře mezi po sobě jdoucími vizualizacemi. V laboratorní komoře se nalézaly dva další projekty a laboratoř byla rozdělena do 3 dílčích prostor. Z důvodu omezeného prostoru byla potrubní trať řešena tak, aby nezasahovala do prostoru ostatních projektů (obr. 4. 2) a aby na ní mohlo být provedeno měření s vizualizací. Na výběr se nám naskytlo několik možností, jak potrubní trať sestavit (4. 3. 4 Možnosti vedení tratě).



Obr. 4. 2: Půdorys laboratoře s místem pro experiment.

4.3 Měření průtoku

Prvním z bodů úkolu je na trati definovat průtok vzduchu proudící v potrubí. Jedná se o jeden z důležitých nároků kladených na experiment, a proto nejdříve popíšeme základní způsoby a metody měření průtoku vzduchu v potrubí.

4.3.1 Způsoby měření průtoku

Měření průtoku vzduchu se provádí nejčastěji jako měření objemových toků, kdy objemový tok lze určit z hmotnostního toku dle vzorce:

$$\dot{m} = \dot{V} \rho \quad (1)$$

kde

\dot{m} hmotnostní tok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

\dot{V} objemový tok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

ρ hustota tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Objemová měřidla

- Rozdělují se na dva typy:

Měřidla jednorázová pro měření objemového toku plynů

Nádoby konstantního objemu

Vak

Průběžná měření objemového toku plynů

Mokrý plynoměr

Měřidla se škrticími prvky

Měření je založeno na principu poklesu tlaku vznikajícího při proudění různými škrticími prvky. Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru.

Měřidla jsou:

Clona

Dýza

Venturiho trubice

Plováčkové průtokoměry

Dynamické rychlostní sondy

Sondy pracují s odběrem celkového a statického tlaku. Celkový tlak snímáme na náběžné hraně sondy, kde se kinetická energie mění na tlakovou energii. Tlak celkový a statický se přivádí k diferenčnímu manometru nebo mikromanometru, který určuje dynamický tlak dle vztahu:

$$P_d = P_c - P_s \quad (2)$$

kde

P_s *statický tlak [Pa]*

P_c *celkový tlak [Pa]*

P_d *dynamický tlak [Pa]*

Rychlost w se vypočítá z dynamického tlaku P_d dle vztahu:

$$w = k \sqrt{\frac{2P_d}{\rho}} \quad (3)$$

kde

w *rychlost proudění tekutiny [$m \cdot s^{-1}$]*

k *konstanta určující vlastnosti primárního prvku průtokoměru [-]*

P_d *dynamický tlak [Pa]*

ρ *hustota tekutiny [$kg \cdot m^{-3}$]*

Druhy měřicích sond:

Pitotova trubice, Prandtlova trubice, Válcová sonda, Kulová sonda.

Rychlostní sondy

Mechanické anemometry

Jedná se o měření lokálních rychlostí pomocí silového působení tekutiny či vzduchu na oběžné kolo anemometru. V technice prostředí mají rozsáhlé umístění. Uplatnění nachází v měření rychlosti vzduchu v místnostech, ve větracích a klimatizačních zařízeních, v okolí výustek a v tepelných výměnících. Rozdělujeme je dle typu oběžného kola na:

Lopátkové anemometry, Vrtulkové anemometry, Miskové anemometry.

Termoanemometry

Označují se také jako žárové anemometry, používají se v obdobných situacích jako mechanické anemometry. Fungují na principu měření intenzity ochlazování tělísek. Tepelný tok konvekcí a elektrický příkon musí být v rovnováze. Měření lokálních rychlostí lze dosáhnout pomocí dvou metod. První metoda pracuje na způsobu měření elektrického odporu R při konstantním proudu I a druhým způsobem je měření elektrického proudu I při konstantním odporu R (při konstantní teplotě povrchu tělíska T_w). V technice prostředí se používají především k měření menších lokálních rychlostí, kde mechanické anemometry aplikovat nelze. Termoanemometry měří rychlost proudění v rozsahu od 0,01 do 100 $[m.s^{-1}]$ a záleží na druhu tělísek, které jsou:

Žhavený drátek – nutné vložení kolmo na směr proudu. S úhlem vybočení od svislice hrozí chyba měření rychlosti.

Termistorové tělísko – využívá se pro větší rychlost proudění.

Žhavená kulička – má průměr 2 až 6 mm a je směrově nezávislá. Pro své vlastnosti je vhodná na měření vnitřních kanálů. [3] [4] [16]

Tabulka průtokoměrů: Tab. 1 Informace k jednotlivým průtokoměrům.

Průtokoměr	Vhodnost použití	Důvod
Nádoby konstantního objemu	NE	Použití u kapaliny
Vak	NE	Zamezení volnosti ofukovače
Mokrý plynoměr	NE	Tlaková ztráta a použití u kapaliny
Clona	NE	Tlaková ztráta
Dýza	NE	Tlaková ztráta
Venturiho trubice	NE	Tlaková ztráta
Plováčkové průtokoměry	NE	Tlaková ztráta
Pitotova trubice	NE	Nepřesnost měření
Prandtlova trubice	NE	Nepřesnost měření
Válcová sonda	NE	Převážně u kapaliny
Kulová sonda	NE	Převážně u kapaliny
Lopatkové anemometry	NE	Nevhodné pro měření uvnitř potrubí
Vrtulkové anemometry	NE	Malý průměr potrubí
Miskové anemometry	NE	Nevhodné pro měření uvnitř potrubí
Termoanemometr	ANO	Vhodné pro měření uvnitř potrubí, neovlivňuje rychlost proudění.

4.3.2 Metody použité pro vyjádření střední rychlosti

Rychlostní sondou změříme v potrubí lokální rychlosti. K výpočtu objemového toku však potřebujeme střední rychlost proudu. Existuje několik metod, jak hodnotu střední rychlosti určit.

Metoda měření rychlostí v ose potrubí

- méně pracná metoda

Výpočet střední rychlosti se provede podle vztahu:

$$\bar{w} = k \cdot w_{osa} \quad (4)$$

kde

w_{osa} rychlost v ose

k součinitel rychlostního pole určený teoreticky či experimentálně

Metoda měření s pohybujícím se anemometrem

- je metoda méně přesná, ale v technice prostředí velmi rozšířená

Anemometr musí umožnit měření časové střední hodnoty rychlosti po dobu několika desítek sekund. Měřicí sonda se pohybuje při měření střední rychlosti rovnoměrně nebo přerušovaně ve sledovaném průřezu, tak aby se čidlo vyskytovalo ve všech rozvržených bodech průřezu.

Metoda proměření a proložení rychlostního profilu v měřeném řezu

Průměrováním stanovíme střední hodnotu přímo ze souboru naměřených hodnot bez jejich proložení funkcí. Vypočteme tedy aritmetický průměr naměřených hodnot. Přitom je však důležité, aby jednotlivé průměrované veličiny zastupovaly stejně velkou oblast nezávisle proměnné veličiny a aby pokryly celou vyšetřovanou oblast. Pak se střední hodnota určí vztahem:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (5)$$

Kde n je počet veličin nad vyšetřovanou oblastí. Pro jednorozměrné závislosti typu $y = f(x)$ musí být hodnoty y_i určovány v rovnoměrné síti nezávisle proměnných x_i . Abychom tedy mohli toto řešení použít i pro rotačně symetrické závislosti $y = f(r)$, musíme hodnoty y_i měřit na předem vypočtených poloměrech r_i . Pro celý kruhový průřez o poloměru R lze polohy r_i odvodit pomocí ekvidistantního dělení transformované souřadnice $(r/R)^2$ v intervalu 0 až 1. Polohy r_i pak určíme ze vzorce:

$$r_i = R \sqrt{\frac{2i-1}{2n}} \quad (6)$$

Z výše uvedeného vyplývá, že hodnoty lokálních rychlostí musíme měřit v předem vypočtených poloměrech. Abychom eliminovali chyby vzniklé nerovnoměrným rychlostním profilem, který by se v měřicím průřezu mohl vyskytovat i při dodržení dostatečně dlouhého, rovného vstupního a výstupního úseku vlivem tvarových částí potrubní trasy, budeme měřit lokální rychlosti proudu ve vertikální i horizontální ose průřezu. Tak dostaneme ke každé části ekvidistantní sítě průřezu čtyři hodnoty lokálních rychlostí naměřené rychlostní sondou, které zprůměrujeme, a dostaneme průměrnou lokální hodnotu rychlosti pro každou část průřezu. Aritmetický průměr těchto hodnot je pak požadovaná střední hodnota rychlosti proudu. [4]

4.3.3 Tlaková ztráta potrubí

Důležitým faktorem, který nám ovlivňuje měření a kterým se musíme zabývat z důvodu vhodného způsobu zvolení tratě, je tlaková ztráta. Tlaková ztráta v potrubí je způsobena třením a místními (vřazenými) odpory. Tyto místní ztráty například způsobuje změna směru potrubí (oblouk, koleno, odbočky, rozbočky) a průměru potrubí (přechodky, spoje). Součet těchto tlakových ztrát nazýváme celková tlaková ztráta a vypočítá se dle vztahu:

$$\Delta p_z = \Delta p_{tř} + \Delta p_m \quad (7)$$

kde

Δp_z celková tlaková ztráta [Pa]

$\Delta p_{tř}$ tlaková ztráta třením [Pa]

Δp_m tlaková ztráta místními odpory [Pa]

Rovnice pro tlakovou ztrátu třením zní:

$$\Delta p_{tř} = \lambda \frac{l}{d} \frac{w^2}{2} \rho \quad (8)$$

kde

λ součinitel tření [-]

l délka potrubí [m]

d charakteristický průřez potrubí [mm]

w rychlost proudění tekutiny [$m \cdot s^{-1}$]

ρ hustota tekutiny [$kg \cdot m^{-3}$]

Tlakové ztráty místními odpory vypočítáme pomocí vzorce:

$$\Delta p_{\xi} = \xi \frac{w^2}{2} \rho \quad (9)$$

kde

ξ ztrátový součinitel [-]

ρ hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

w rychlost proudění tekutiny [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

4.3.4 Možnosti vedení potrubní tratě

Svislá potrubní trať

V tomto případě potrubní trasa mezi rozdělovačem palubní desky a ofukovačem směřuje do vertikální polohy. Trať obsahuje potrubí pro měření průtoku, uklidňující potrubí a originální přívodní potrubí k samotnému ofukovači. Při tomto způsobu prostorového uspořádání nemusíme do tratě vkládat kolena pro změnu směru potrubí. Díky tomu nám nevznikají nežádoucí tlakové ztráty, trať je řešena do výšky a nevzniká problém s rychlostním profilem v potrubí, který při náhlé změně směru způsobuje zhuštění proudění v určité části potrubí.

Tato varianta nevyhovuje a nemůžeme ji sestavit z důvodu umístění ofukovače (blízkost okolních povrchů). Sestavení tratě do výšky nám neumožňuje dobrou ovladatelnost a dosažitelnost s vizualizační technikou (fotoaparát, světelná rovina).

Vodorovná potrubní trať

Potrubní trasa vedoucí mezi palubní deskou přesněji z rozdělovače do ofukovače je řešena v horizontální poloze. Trasa se skládá z potrubí, ve kterém se měří průtok, uklidňujícího potrubí a originálního přívodního potrubí k samotnému ofukovači. Toto prostorové uspořádání opět neobsahuje kolena pro změnu směru, a proto zde je nižší tlaková ztráta a rychlostní profil je bez lokálního narušení.

Tato varianta nevyhovuje a nemůžeme ji sestavit z důvodu umístění ofukovače (blízkost okolních povrchů), vyčleněnému prostoru v laboratoři a umístění měřicích zařízení pro zkoumání proudu (fotoaparát, světelná rovina).

Kombinace vodorovné a svislé potrubní sítě

Vzhledem k důležitým faktorům, místu v laboratoři a dostatečné vzdálenosti ofukovače od okolních stěn, podlahy a stropu, je trať řešena kombinací vodorovného a svislého uspořádání potrubí. Pomocí přechodky Evektor, krátkého potrubí a dvou kolen je potrubí určené pro měření průtoku řešeno horizontálně nad palubní deskou. Mezi potrubím na měření průtoku a uklidňujícím potrubím je vložena hliníková

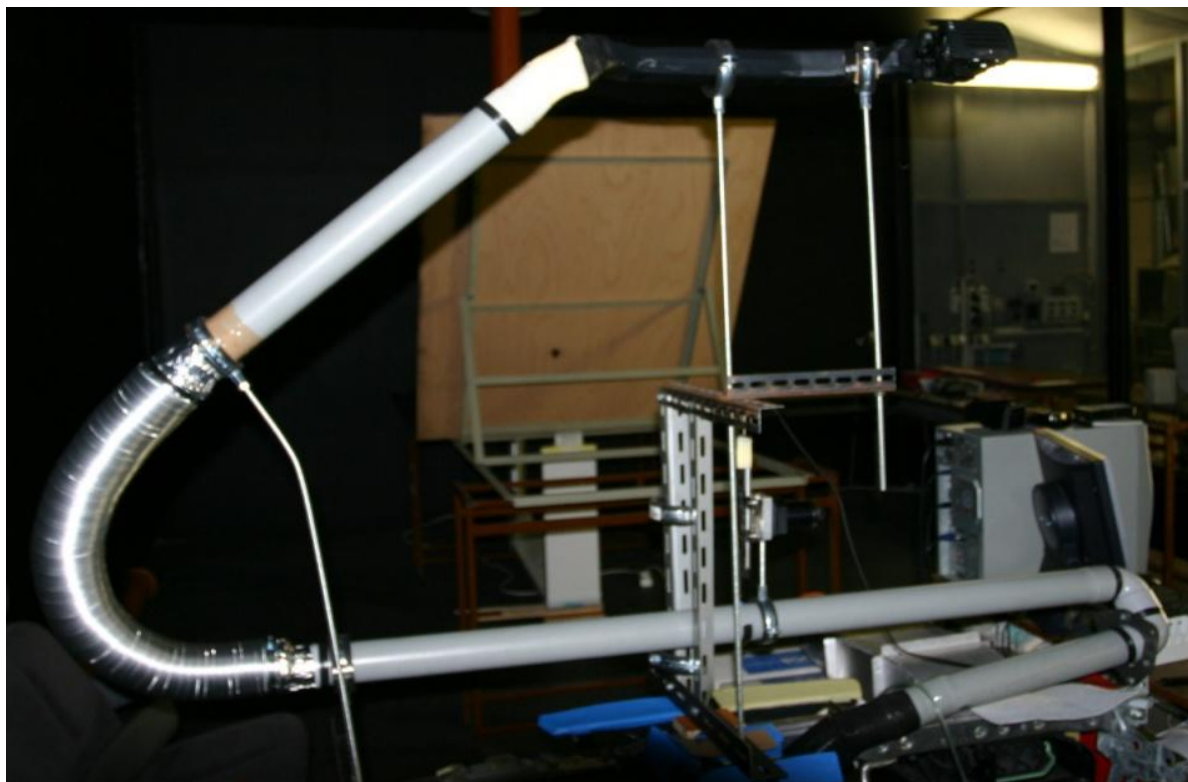
vzduchotechnická hadice, která nám umožňuje flexibilní nastavení uklidňujícího potrubí. To je řešeno směrem do svislé polohy a přechází pomocí přechodky Evektor na originální díl přívodního potrubí, které je opět položeno do vodorovné polohy, k samotnému ofukovači. Na konci této tratě je umístěn samotný ofukovač. Tato trať je důkladně popsána a znázorněna v kapitole (5. 1 Sestavení experimentální tratě).

5 POPIS MĚŘENÉHO OBJEKTU

V předchozích kapitolách jsme se seznámili se zadáním práce a cíli, které jsou na práci kladeny. Provedli jsme rešerši pojednávající o otázkách a důvodech, proč byla práce provedena zvoleným postupem. Jaké způsoby průtoku jsme měli na výběr a jaké nám daná situace dovolila použít. Jaké místo pro experiment v laboratoři bylo přiděleno, což přímo souviselo s volbou sestavení potrubní tratě. Tyto důvody jsme zhodnotili tak, aby v dané situaci byl experiment exaktně naměřen, vypracován a vyhodnocen. Dále se budeme zabývat konkrétním experimentem a jeho postupem.

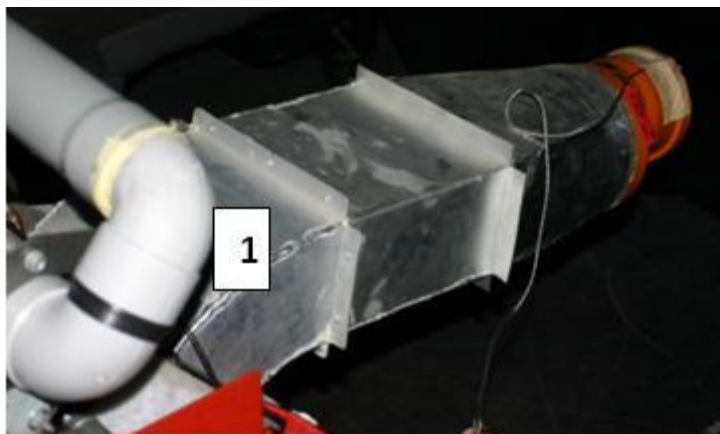
5.1 Sestavení experimentální tratě

Z několika možností vedení tratě byla vybrána kombinace vodorovné a svislé potrubní sítě (obr. 5. 1a).



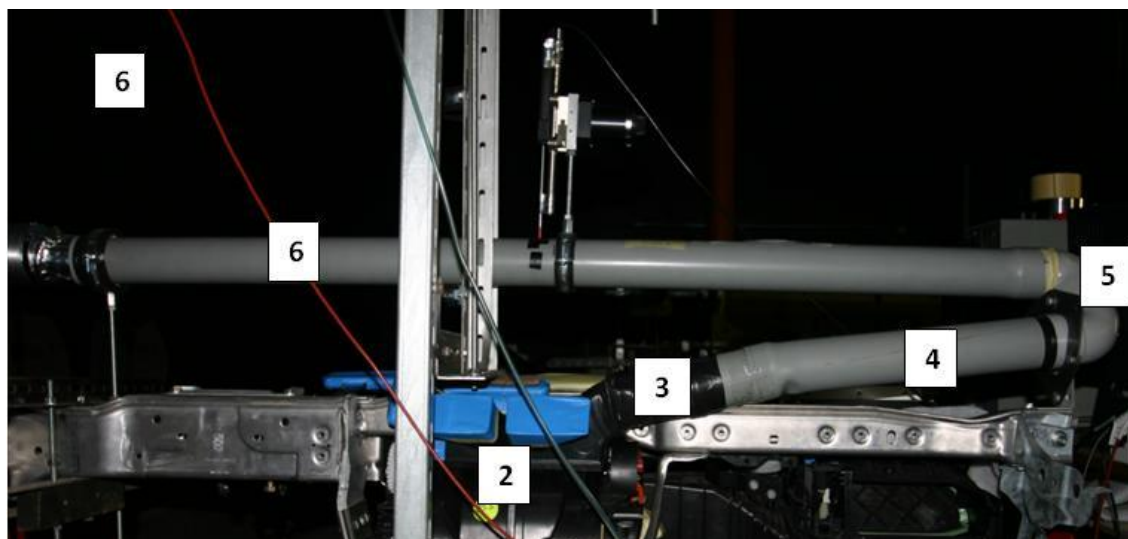
Obr. 5. 1a: Realizovaná sestava potrubní tratě.

Realizovaná sestava má sice oproti svým dvěma náročnějším prostorovým variantám (vodorovné nebo svislé vedení potrubí) větší tlakové ztráty, ovšem pro náš experiment je naprosto vyhovující. Tato potrubní trať se skládá z následujících komponentů, které jsou znázorněny na obrázcích (5. 1b až 5. 1e).



Obr. 5. 1b: První část měřicí tratě.

1. Přiváděcí potrubí k palubní desce s ventilátorem, které slouží pro snadný a rovnoměrný vstup kouře.



Obr. 5. 1c: Druhá část měřicí tratě.

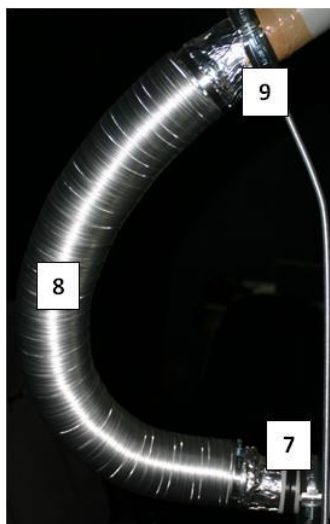
2. Palubní deska Škoda obsahující na vstupu ventilátor a na výstupu rozdělující vyústku, která je pro všechny směry mimo pravý ofukovač utěsněna.

3. Přechodový díl (přechodka), vyrobený firmou Evektor, se nachází mezi vyústkou z palubní desky pro pravý ofukovač a prvním dílem potrubí tratě.

4. První díl potrubí z PVC o průměru 63 mm a délce 400 mm.

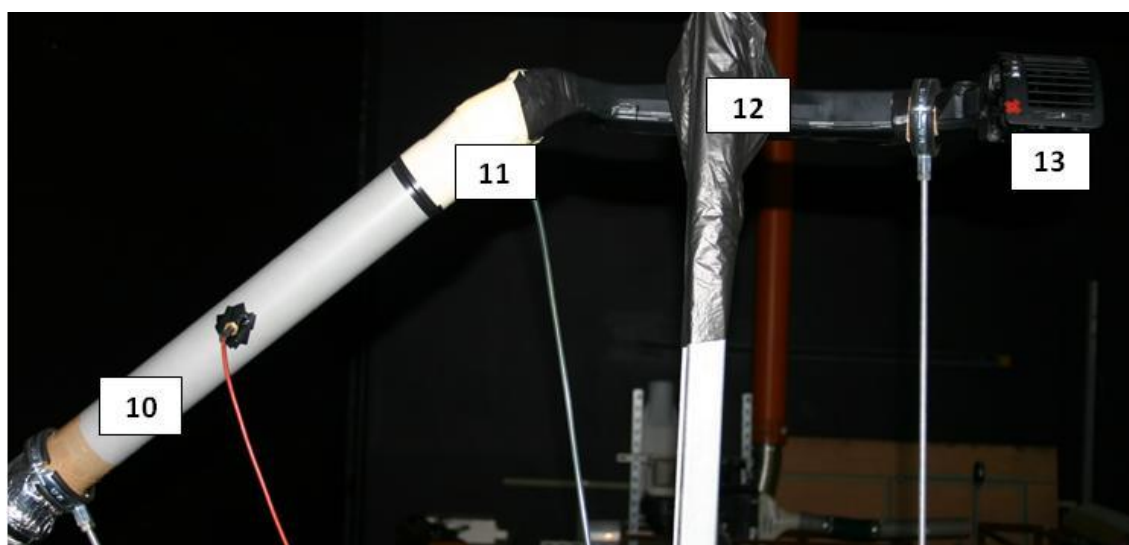
5. 2 x PVC koleno o průměru 60 mm a úhlu 90° s vloženou voštinou pro usměrnění proudu vzduchu.

6. Druhý díl potrubí z PVC o průměru 63 mm a délce 1300 mm sloužící jako měřicí potrubí průtoku.



Obr. 5. 1d: Třetí část měřicí tratě.

- 7. Kruhový přechod z průměru 75 mm na průměr 63 mm.
- 8. Délkově nastavitelná hliníková hadice o průměru 80 mm.
- 9. Kruhový přechod z průměru 63 mm na průměr 75 mm.

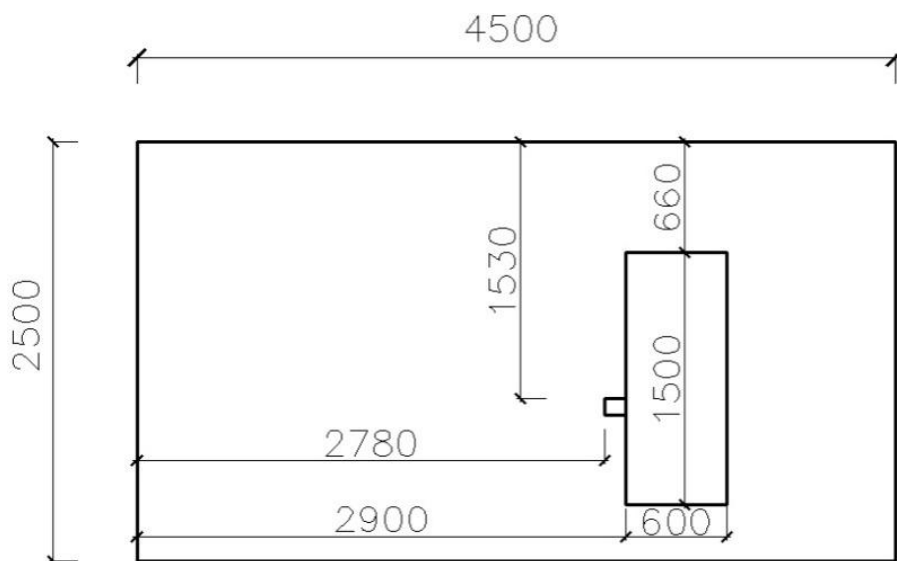


Obr. 5. 1e: Čtvrtá část měřicí tratě.

- 10. Třetí díl potrubí z PVC o průměru 63 mm a délce 500 mm sloužící jako uklidňující potrubí pro usměrnění proudu vzduchu.
- 11. Přechodový díl (přechodka), vyrobený firmou Evector, se nachází mezi vzduchovým potrubím Škoda pro pravý boční ofukovač a třetím dílem potrubí tratě.
- 12. Vzduchové potrubí Škoda pro pravý boční ofukovač.
- 13. Pravý boční ofukovač 0065 z vozu Škoda Octavia II.

5.2 Umístění experimentální tratě v laboratoři

Samostatný díl palubní desky byl upevněn ve stojanu, dodaném Škoda Auto a.s., a umístěn v laboratoři tak, aby zaručoval reálnou polohu v automobilu. Nad palubní deskou je vedeno měřicí potrubí, na jehož konci je v prostoru 1900 mm nad podlahou ofukovač. Rozměrové umístění experimentální tratě je znázorněno v půdorysu (obr. 5. 2).



Obr. 5. 2: Schéma umístění experimentální tratě.

6 MĚŘENÍ DOPLŇKOVÝCH VELIČIN

Pomocí měřicí techniky, senzoru a odběrů jsme určili veškeré veličiny působící nejen na experimentální trati, ale i v okolí. Hodnoty dále budou využity pro opakovatelnost experimentu a případné modelování.

6.1 Měření teploty

Teplota je základní fyzikální veličina a je tedy důležitou složkou působící v experimentální trati. Teplotu proudícího vzduchu měříme na třech místech, a to pomocí dvou odporových teploměrů Pt100. První teploměr je umístěn na sání, tedy na začátku celé tratě, před palubní deskou s ventilátorem. Druhý teploměr měřil teplotu ofukovače a je umístěn mezi uklidňujícím potrubím a ofukovačem. Hodnoty teplot vstupovali do softwaru LabView, který v časovém intervalu výsledné teploty ukládal do datové podoby. Třetí teplota se určuje v místě průtoku v ose měřicího potrubí za pomocí kuličkové sondy TESTO. Hodnoty byly opět ukládány do datové podoby s použitím softwaru TESTO comfort, který byl nainstalován v laboratorním PC a byl propojen datovým kabelem s měřicí sondou.

6.2 Měření tlaku

Tlak je určitá síla působící kolmo na jednotkovou plochu. Tuto důležitá veličinu potřebujeme znát v experimentální trati. Pro měření a znázornění hodnot tlaku používáme diferenční digitální mikromanometr MEDM 500 firmy AIRFLOW (obr. 6. 2), měřící rozsah 0 – 500 Pa, přesnost ± 1 % z naměřené hodnoty. Tento přístroj byl propojen s tlakovým odběrem hadičkou z umělé hmoty. Tlakový odběr byl instalován mezi uklidňujícím potrubím a ofukovačem. Určená tlaková diference nám slouží k aplikaci metody mezního vertikálního směřování.



Obr. 6. 2: Digitální mikromanometr MEDM 500 firmy AIRFLOW.

6.3 Měření parametrů okolního prostředí

K měření stavu okolí byl využíván přístroj Comet D4141 (obr. 6. 3), který měří atmosférický tlak, teplotu rosného bodu, relativní vlhkost vzduchu a teplotu okolí. Tyto hodnoty je opět nutné znát pro porovnání stavu prostředí v případě opakovaného měření. Hodnoty byly odečítány před každým měřením a jsou uloženy v datových souborech.



Obr. 6. 3: Přístroj Comet D4141.

7 MĚŘENÍ PRŮTOKU

Potrubní trať byla sestavena a dalším úkolem je v této trati nastavit a určit požadovaný průtok vzduchu. Průtok vzduchu nám zajišťuje ventilátor, nasávající venkovní vzduch ze směru jízdy, který je umístěný uvnitř palubní desky na straně spolujezdce. V automobilu je intenzita proudu vzduchu z ventilátoru regulována pomocí ovládacího zařízení nacházejícího se uprostřed palubní desky v interiéru vozu. V našem případě je v experimentu zprovozněno pouze nastavení intenzity proudu vzduchu v automobilu. Je to menší regulovatelné kolo nacházející se uprostřed (obr. 7), které má 5 přednastavených stupňů včetně stupně 0, tedy nulové intenzity proudu vzduchu. Zařízení pracuje tak, že v každé poloze kola 0 až 3 jsou předřazeny odpory, které ovlivňují napětí přiváděné k ventilátoru. Při našem experimentu jsme na ovládání ventilátoru nastavili stupeň 4, ve kterém nejsou předřazeny žádné odpory.



Obr. 7: Ovládání ventilátoru.

7.1 Měřicí technika pro určení průtoku

Na základě tvorby rešerše o průtokoměrech, použitého průměru potrubí pro měření průtoku a zkušenostech kolegů, kteří se zabývali v minulých experimentech obdobnými tématy, byl zvolen pro změření průtoku termoanemometr. Průtok proudící v potrubí byl po první schůzce se zadavateli určen na hodnotu $30 [m^3 \cdot h^{-1}]$ a po sestavení tratě musíme této hodnoty v potrubí dosáhnout. Měřicí technika pro změření průtoku je:

Žhavená kuličková sonda TESTO o průměru 3 mm, měřicí rozsah 0 až 10 m/s, v rozmezí teplot -20 až $+70$ °C, přesnost $\pm (3 \text{ mm} \pm 5 \% \text{ z naměřené hodnoty})$.

Multifunkční přístroj TESTO 454 (obr. 7. 1), který je propojen s počítačem a pomocí softwaru TESTO Comfort zapisuje naměřená data a posléze exportuje do programu Microsoft Excel.



Obr. 7. 1: Multifunkční přístroj a žhavená kuličková sonda TESTO.

Napětí, které slouží k pohánění ventilátoru, je ve voze vytvářeno v autobaterii. Na experimentální trati je ventilátor Škoda, vytvářející hybnou složku proudu vzduchu v potrubní síti, poháněn pomocí laboratorního zdroje napětí. Na tomto zdroji bylo regulováno napětí a proud. Pomocí těchto dvou hodnot jsme určili příkon, pro který nám dával ventilátor požadovaný průtok dle vztahu:

$$P = I \cdot U \tag{10}$$

kde

- P *příkon zdroje [W]*
- I *proud na zdroji [A]*
- U *napětí na zdroji [V]*

7.2 Získání teoretického průtoku $30 [m^3 \cdot h^{-1}]$

V provedené rešerši jsme vybrali způsob určení objemového průtoku pomocí metody měření lokálních rychlostí s pohybujícím se anemometrem. Následným průměrováním stanovíme střední hodnotu přímo ze souboru naměřených hodnot dle vztahu:

$$w_s = \frac{\sum w_i}{n} \tag{11}$$

kde

- w_s *střední rychlost proudění vzduchu [$m \cdot s^{-1}$]*
- w_i *lokální rychlosti v profilu [$m \cdot s^{-1}$]*

n počet bodů měření [-]

Teoretický objemový průtok vyřešíme rovnicí:

$$V = w_s \cdot S \quad (12)$$

kde

w_s střední rychlost proudění vzduchu [$m \cdot s^{-1}$]

V objemový průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

S vnitřní obsah potrubí [m^2]

Vnitřní průřez potrubí dostaneme z rovnice:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad (13)$$

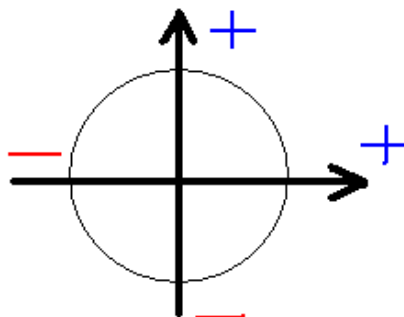
kde

R poloměr vnitřního potrubí [m]

π Ludolfovo číslo [-]

7.3 Postup měření průtoku

Rychlostní sonda TESTO byla umístěna uprostřed druhého dílu potrubí z PVC o průměru 63 mm a délce 1300 mm (sloužící jako měřicí potrubí), kde byly vyvrtány dvě díry o průměru měřicí sondy. Sondy byly umístěny na posuvný milimetrový zámek, kterým jsou posouvány po svislé a vodorovné souřadnici do profilu (obr. 7. 3a). Ventilátor je poháněn laboratorním zdrojem napětí, na kterém je nastaven počáteční proud a napětí. Cílem je určit objemový průtok z naměřených rychlostních hodnot v časovém intervalu. Z jednoho místa odběru jsou hodnoty zprůměrovány na jednu hodnotu lokální rychlosti, s kterou je dále počítáno. Po získání všech zprůměrovaných hodnot je určen skutečný objemový tok tratě. Je zapotřebí získat objemový tok $V = 30 [m^3 \cdot h^{-1}]$. Při výpočtu většího nebo menšího objemového toku je upraveno napětí a proud na zdroji a měření je opakováno až do získání požadované hodnoty.



Obr. 7. 3a: Schéma umístění a směru rychlostních sond v potrubí.

Určení střední rychlosti pomocí rozdělení profilu na mezikruží o stejném obsahu, ve kterých byly změřeny lokální rychlosti. Lokální rychlosti se měří uprostřed mezikruží. Vnitřní profil trubky je $D = 58$ mm a poloměr $R = 29$ mm. V potrubí zvolíme počet n částí, ve kterých byl proměřován profil. V našem případě jsme zvolili od středu potrubí směrem ke stěně $n = 8$ částí.

Výpočet měřicích poloměrů r_i , na kterých byly měřeny body lokálních rychlostí:

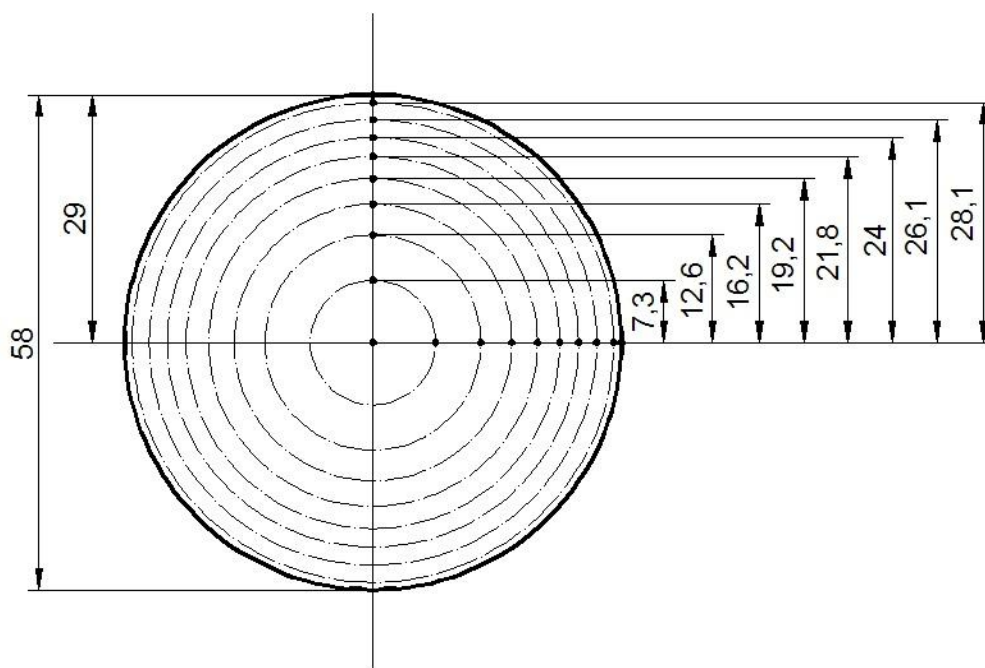
$$r_i = R \sqrt{\frac{2i-1}{2n}} \quad (14)$$

kde

R poloměr vnitřního potrubí [m]

i počet daných měření [-]

n počet částí [-]



Obr. 7. 3b: Schéma profilu.

Dané hodnoty vypočtených poloměrů r_i zaokrouhlíme a známe vzdáleností bodů, ve kterých budeme měřit lokální rychlosti v časovém intervalu (obr. 7. 3b). V každém mezikruží proměřujeme ve svislé a vodorovné rovině. Celkově získané čtyři výsledné rychlosti zprůměrujeme v jednu hodnotu reprezentující lokální rychlost jednoho bodu mezikruží. Ve středu měříme pouze hodnoty 2, které opět aritmeticky zprůměrujeme v jednu. Po určení hodnoty rychlostí v mezikruží přistoupíme k výpočtu průtoku v mezikruží pomocí vzorce:

$$\dot{V}_i = \sum w_i \cdot S_i \quad (15)$$

kde

\dot{V}_i průtoky v mezikruží [$m^3 \cdot s^{-1}$]

w_i lokální rychlost v bodu mezikruží [$m \cdot s^{-1}$]

S_i obsah mezikruží [m^2]

Obsah jednotlivých mezikruží S_i vypočítáme pomocí vzorce:

$$S_i = \pi(r_{i+1} - r_i)^2 \quad (16)$$

kde

r_{i+1} poloměr od středu k bodu měřené lokální rychlosti [m]

r_i předchozí poloměr od středu k bodu lokální rychlosti [m]

Celkový průtok profilem potrubí získáme sečtením dílčích průtoků dle vzorce:

$$\dot{V} = \sum \dot{V}_i \quad (17)$$

Střední skutečnou rychlost proudění vzduchu potrubí vypočteme dle vztahu:

$$\bar{w}_{skut} = \frac{\dot{V}}{S} \quad (18)$$

kde

S celkový obsah profilu v měřicím potrubí [m^2]

\bar{w}_{skut} střední skutečná rychlost proudění vzduchu v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

Získáním střední skutečné rychlosti proudění vzduchu v potrubí se přikloníme dále k metodě měření rychlosti v ose potrubí za pomoci faktoru profilu dle vztahu:

$$FP = \frac{\bar{w}_{skut}}{w_{osa}} \quad (19)$$

kde

w_{osa} rychlost v ose potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

\bar{w}_{skut} střední skutečná rychlost proudění vzduchu v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

Ze známých hodnot faktoru profilu, rychlosti v ose potrubí a obsahu vnitřního potrubí v měřeném místě získáme požadovaný skutečný průtok vzduchu v experimentální trati dle rovnice:

$$\dot{V} = S \cdot FP \cdot w_{osa} \quad (20)$$

kde

S celkový obsah profilu v měřicím potrubí [m^2]

w_{osa} rychlost v ose potrubí [$m.s^{-1}$]

FP faktor profilu [-]

Použitím rychlostní sondy TESTO zavedené svisle do středu osy potrubí a nastavením zjištěného příkonu na laboratorním zdroji napětí dosáhneme výslednou osovou rychlost, pro kterou vypočteme požadovaný objemový průtok v potrubí.

7.4 Výpočet požadovaného průtoku 30 [$m^3.h^{-1}$]

Tabulky s vypočítanými hodnotami dle předešlých vzorců:

Tab. 2: Nastavení příkonu na zdroji.

proud	I	4,5	A
napětí	U	4,1	V
příkon	W	18,45	W

Tab. 3: Počáteční určené a vypočtené hodnoty.

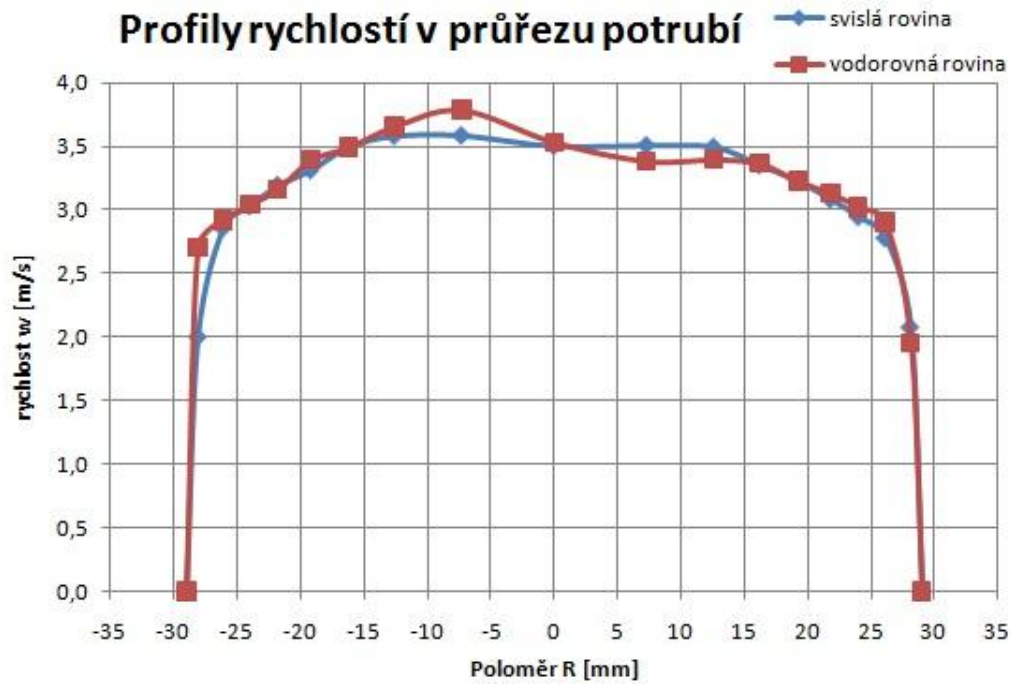
počet veličin (částí)	n	8	-
poloměr potrubí	R	0,029	m
průřez	S	0,002642	m^2
jednotná plocha mezikruží	S_i	0,00033	m^2

Tab. 4: Hodnoty určené z metody průměrování.

dané měření	i	střed	1	2	3	4	5	6	7	8	stěna
měřicí poloměr [m]	r_i	0	0,00725	0,01256	0,01621	0,01918	0,02175	0,02405	0,02614	0,028079	0,029
po zaokrouhlení [mm]		0,0	7,3	12,6	16,2	19,2	21,8	24,0	26,1	28,1	29,0
rozdíl poloměrů [m]	Δr	0	0,00725	0,00531	0,00365	0,00297	0,00257	0,0023	0,00209	0,001939	0,00092
plocha mezikruží [m ²]	S_i	0	0,00017	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00033	0,00017

Tab. 5: Naměřené lokální rychlosti na poloměrech r_i ve svislém a vodorovném směru (obr. 7. 4) a jejich průměrná hodnota.

měřicí poloměr (+/-)	r_i	0	7,3	12,6	16,2	19,2	21,8	24,0	26,1	28,1	29	mm
SVISLÁ rychlost (+)	w_{si}	3,50	3,58	3,57	3,50	3,31	3,19	3,03	2,86	2,00	0	$m.s^{-1}$
SVISLÁ rychlost (-)	w_{si}	0	3,51	3,49	3,35	3,23	3,08	2,95	2,78	2,08	0	$m.s^{-1}$
VODOROVNÁ rychlost (+)	w_{vi}	3,53	3,38	3,40	3,36	3,23	3,13	3,02	2,90	1,95	0	$m.s^{-1}$
VODOROVNÁ rychlost (-)	w_{vi}	0	3,79	3,66	3,49	3,39	3,16	3,04	2,92	2,70	0	$m.s^{-1}$
průměrná rychlost v mezikruží	w_{pi}	3,52	3,57	3,5	3,43	3,29	3,14	3,01	2,87	2,18	0	$m.s^{-1}$



Obr. 7. 4: Rychlostní profily svislé a vodorovné roviny.

Tab. 6. Vypočítaný průtok v jednotlivých mezikružích.

dané měření	i	střed	1	2	3	4	5	6	7	8	stěna
průtok mezikružím [m ³ /s]	V _i	0	0,001179	0,001166	0,001133	0,001087	0,001037	0,000994	0,000948	0,00072	0

Tab. 7: Výsledky pro určení průtoku metodou průměrování.

celkový průtok	V	0,008263	m ³ /s
celková plocha	S	0,00264	m ²
skutečná rychlost	W _{SKUT}	3,1275	m.s ⁻¹

Tab. 8: Výsledky pro určení průtoku z rychlosti v ose potrubí a faktoru profilu.

faktor profilu	FP	0,888494	-
rychlost v ose potrubí	W _{OSA}	3,52	m.s ⁻¹
celkový objemový tok	V	29,75	m ³ /h

8 URČENÍ SOUŘADNÉHO SYSTÉMU

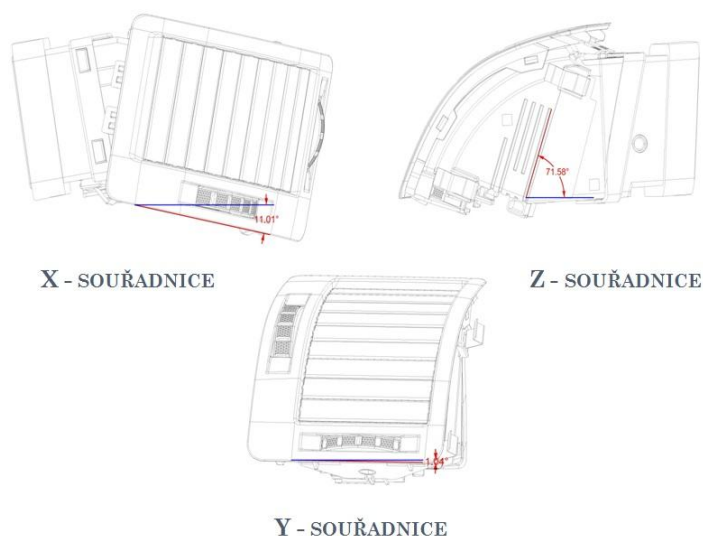
Při provedení experimentu pomocí vizualizace proudu vzduchu z ofukovače jsme se setkali se dvěma souřadnými systémy. Tyto souřadné systémy si popíšeme a určíme mezi nimi vztahy, které slouží pro vzájemné přepočty mezi nimi.

Hlavní souřadný systém, který je nazýván také souřadný systém vozidla (obr. 8a), je vlastně klasický ortogonální souřadný systém (X, Y, Z) [7] (obr. 8c).

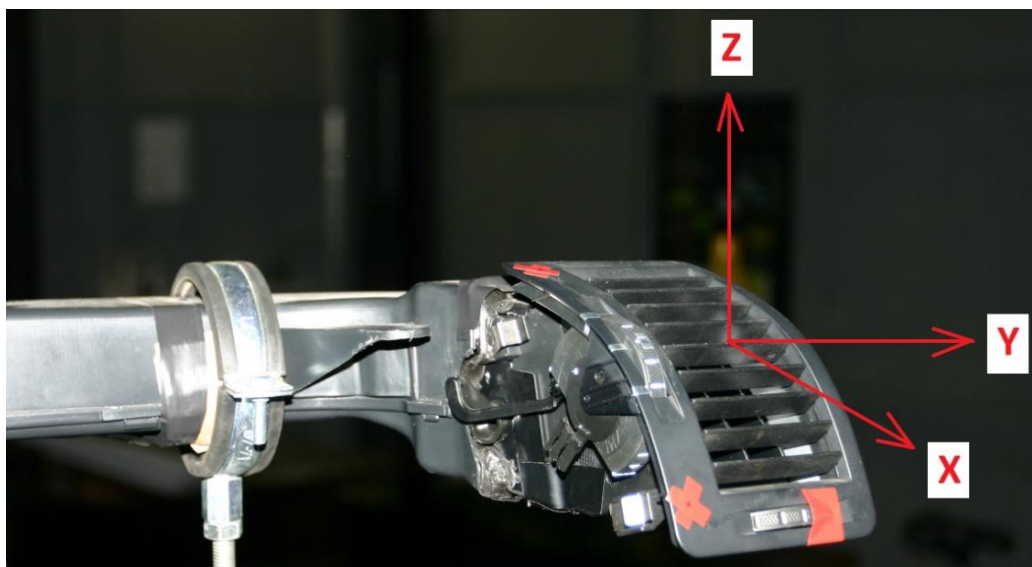


Obr. 8a: Souřadný systém vozidla. Přepřacováno z [13]

Do souřadného systému vozidla ustálíme ofukovač tak, jak se nachází v palubní desce automobilu. Na modelu ofukovače byly odečteny úhly posunutí pomocí programu Rhinoceros verze 4.0 od výrobce Mcneel (obr. 8b).



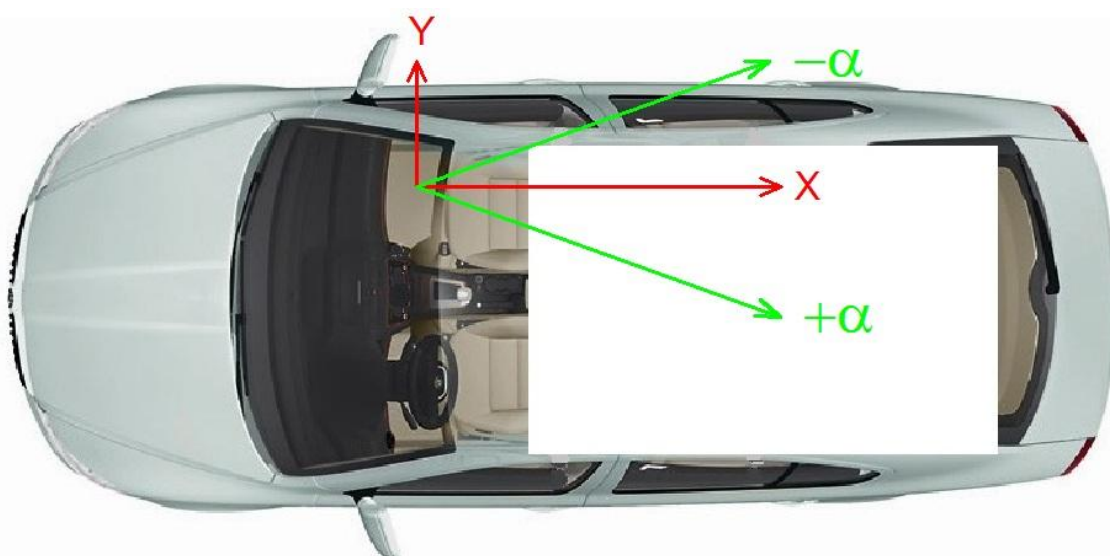
Obr. 8b: Orientace těla ofukovače vůči souřadnému systému vozidla.



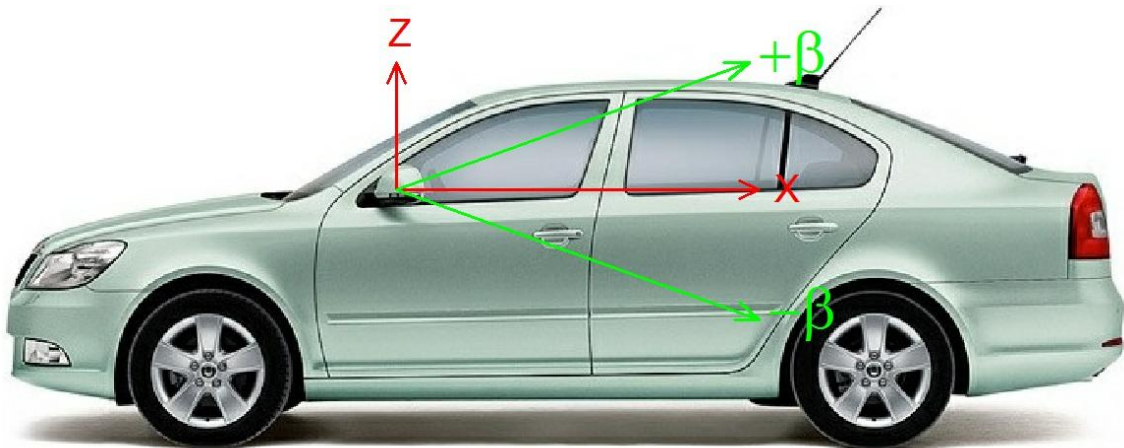
Obr. 8c: Souřadný systém vozidla znázorněn na ofukovači.

8.1 Orientace úhlů vybočení a sklonu ve vozidle

V souřadném systému vozidla pro vystupující proud vzduchu z ofukovače stanovíme úhly vybočení (α) a sklonu (β) proudu. Úhel α je odchylka průmětu proudu do horizontální roviny od osy X. Orientace úhlu α je kladná doleva od osy X (doprava záporná) z pohledu řidiče (Obr. 8. 1a). Úhel β je odchylka průmětu proudu do vertikální roviny od osy X. Orientace úhlu β je kladná nahoru od osy X (záporná dolů) z pohledu řidiče (Obr. 8. 1b).



Obr. 8. 1a: Znaménková orientace úhlu vybočení (α) proudu. Přepřacováno z [14]



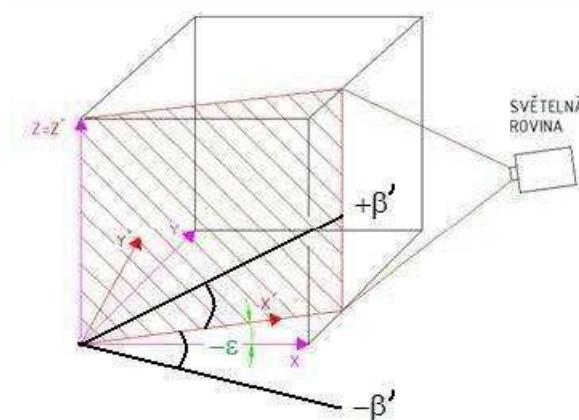
Obr. 8. 1b: Znaménková orientace úhlu sklonu (β) proudu. Přepočováno z [15]

8.2 Přepočet souřadného systému světelné roviny do souřadného systému vozu.

8.2.1 Pro vizualizaci v rozmezí ($0^\circ - 90^\circ$)

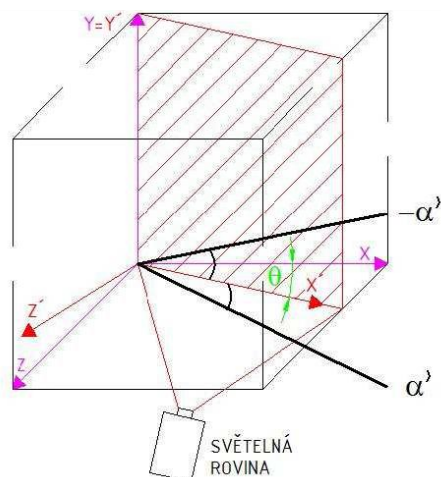
Lokální souřadný systém je souřadný systém světelné roviny. Světelná rovina prochází středem osy proudu vzduchu vystupujícího z ofukovače, a proto vytváří svoje vlastní roviny (X' , Y' , Z'). Ze získaných dat z obrazových záznamů v souřadném systému světelné roviny je nutné provést přepočet do souřadného systému vozu. V souřadném systému světelné roviny vyhodnocujeme dva pohledy podobně jako u souřadného systému vozidla:

Boční pohled, ve kterém jsou vyhodnocovány velikosti úhlů $\beta'h$, $\beta's$, $\beta'd$ a u kterých se určuje znaménková orientace jako u souřadného systému vozidla (obr. 8. 2. 1a).



Obr. 8. 2. 1a: Schéma znázornění souřadného systému světelné roviny a vozidla při pohledu bočním. [8]

Horní (spodní) pohled, u kterého se vyhodnocují velikosti úhlů α'_{\max} , α'_s , α'_{\min} a kde se opět určuje znaménková orientace jako u souřadného systému vozidla (obr. 8. 2. 1b). Mezi horním nebo spodním pohledem vybíráme takový, který je v naší situaci proveditelný. Nejčastěji z důvodu místa fotoaparátu a manipulace světelné roviny.



Obr. 8. 2. 1b: Schéma znázornění souřadného systému světelné roviny a vozidla při pohledu spodním [8]

Důležité je určit vztah pro přepočítání úhlů ze souřadného systému světelné roviny (X' , Y' , Z') do souřadného systému automobilu (X , Y , Z).

Jak pro boční pohled [8]:

$$\beta = \arctg \left[\left(\frac{1}{\cos \varepsilon} \right) x \operatorname{tg} \beta' \right] \quad (21)$$

kde

β' odchylna vyhodnocované přímky v proudu od osy X' měřená ve světelné rovině [°]

β transformace úhlu β' do souřadného systému vozidla [°]

ε úhel odklonu světelné roviny od roviny XZ [°]

tak pro pohled horní (spodní) [8]:

$$\alpha = \arctg \left[\left(\frac{1}{\cos \theta} \right) x \operatorname{tg} \alpha' \right] \quad (22)$$

kde

α' odchylna vyhodnocované přímky v proudu od osy X' měřená ve světelné rovině [°]

α transformace úhlu α' do souřadného systému vozidla [°]

θ úhel odklonu světelné roviny od roviny XY [°]

8.2.2 Pro vizualizaci v rozmezí (90° - 180°)

Vztahy jsou určeny jako v předchozí kapitole pro přepočítání úhlů ze souřadného systému světelné roviny (X' , Y' , Z') do souřadného systému automobilu (X , Y , Z), avšak s tím rozdílem, že jsou určeny pro vizualizaci nacházející se v rozmezí 90° až 180°. V našem případě jsou použity ve vyhodnocení vizualizace HS horní-střed, tedy v horní poloze horizontálních lamel a vertikálních v poloze střed.

Jak pro boční pohled:

$$\beta = 180 - \arctg \left[\left(\frac{1}{\cos \varepsilon} \right) \cdot \operatorname{tg}(180 - \beta') \right] \quad (23)$$

tak pro pohled horní (spodní):

$$\alpha = \arctg \left[\left(\frac{1}{180 - \cos \theta} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha' \right] \quad (24)$$

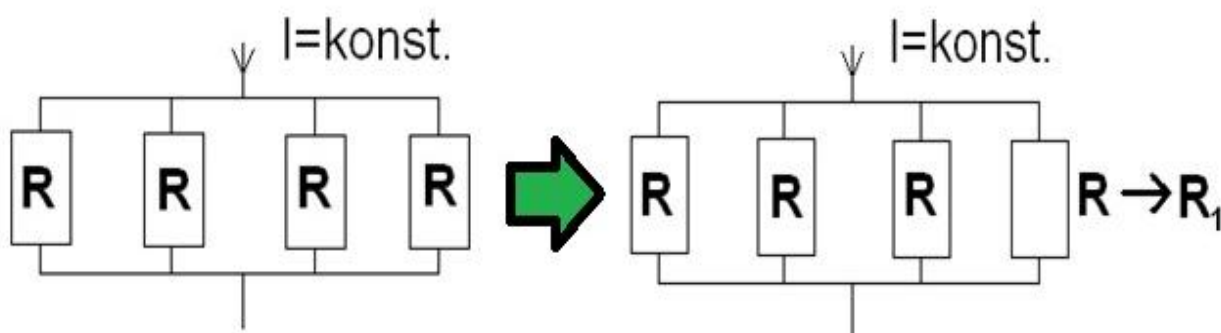
9 METODIKA MEZNÍHO VERTIKÁLNÍHO SMĚROVÁNÍ

Způsobů zajištění klimatického komfortu uvnitř vozu provádíme pomocí ofukovačů. Práce se zabývá ofukovačem z vozidla Octavia II, který právě pracuje na odlišném způsobu regulace a zavírání než jiné typy používané automobilkou. Naším úkolem je tento typ ofukovače podrobit experimentální analýze, protože nastavitelné horizontální lamely slouží také pro úplné uzavření ofukovače. Tyto dvě funkce provádíme pomocí jednoho regulačního kola. Zadavatele zajímá, kdy může ofukovač nazývat otevřeným a kdy jsou horizontální lamely při dolní, ale i horní regulaci nastaveny, tak že požadovaný proud vzduchu vystupující z ofukovače nemá už dostatečné hodnoty pro komfort cestujících. Tomuto nastavení dolních a horních horizontálních lamel říkáme dolní a horní mezní vertikální směřování.

Měření proudu vzduchu a metodika mezního vertikálního směřování (MVS) musí odpovídat reálnému uspořádání větracího systému a jeho regulaci ve vozidle. V měřicím systému pro experiment byl připojen pouze jeden ofukovač, zatímco v reálném zapojení v automobilu je v potrubní trase umístěno čtyři (pět) ofukovače.

9.1 Odvození vztahu mezi laboratorní a reálnou situací

Přiblížení laboratorní měřicí trati s jedním ofukovačem do reality vozu se čtyřmi (pěti) ofukovači provedeme pomocí vztahů popisujících vzájemnou závislost, při čemž klademe důraz na univerzálnost. Je tedy nutno vyvinout a aplikovat takovou měřicí metodu, která bude použitelná univerzálně na rozdílných měřicích tratích a která bude vyžadovat minimum měřených a nastavovaných veličin. Vzájemné vztahy těchto dvou variant propojíme pomocí metody analogie elektrického obvodu s paralelním zapojením n větví s odpory a následnou změnou jednoho z odporů (obr. 9. 1).



Obr. 9. 1: Schéma změny odporu [17]

Odvození vychází ze dvou vzorců [17]:

Vzájemné analogie vztahu napětí a tlakové difference způsobené místní ztrátou:

$$U = I \cdot R \quad \leftrightarrow \quad \Delta p = \xi \frac{Q^2}{2S^2} \rho \quad (25)$$

Po úpravě dostaneme výsledný vztah změny součinitele místních ztrát x v závislosti na definované poměrné změně průtoku k :

$$x = \frac{n-k^2}{(n-1)k^2} \quad \text{kde} \quad k = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{v_1 \cdot S}{v_0 \cdot S} = \frac{w_1}{w_0} \quad \text{a} \quad x = \frac{\xi_1}{\xi} \quad (26)$$

9.2 Využití odvozeného vztahu pro měření mezního vertikálního směrování

Při zjišťování mezních úhlů nastavení lamel ofukovače na měřicím zařízení s jedním ofukovačem využijeme poměru součinitelů místních ztrát pro plně otevřený ofukovač a po změně sklonu, kde jsou lamely skloněny v mezním úhlu. Tento poměr lze určit pomocí odvozeného vztahu mezi laboratorní a reálnou situací.[17]

$$\Delta p_1 = \frac{\xi_1}{\xi} \cdot \Delta p_0 \cdot \left(\frac{w_1}{w_0}\right)^2 \quad (27)$$

kde

Δp_0 tlaková difference před a za ofukovačem při plně otevřeném ofukovači [Pa]

Δp_1 tlaková difference před a za ofukovačem při mezním nastavení sklonu lamel [Pa]

w_0 rychlost proudění vzduchu v potrubí při plně otevřeném ofukovači [m/s]

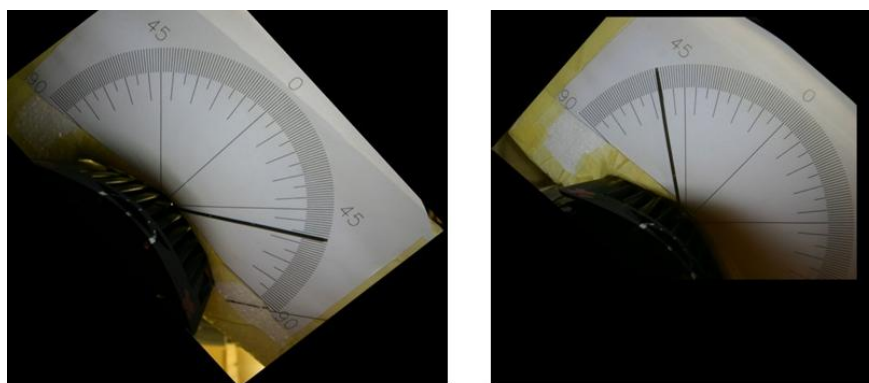
w_1 rychlost proudění vzduchu v potrubí při mezním nastavení lamel ofukovače [m/s]

Postup měření:

1. Příprava měřicí trasy na experiment, zapnutí měřicích přístrojů, spuštění ventilátoru, zaznamenání okolních podmínek.
2. Nastavení lamel ofukovače do rovnovážné polohy (ofukovač plně otevřen), nastaven příkon ventilátoru tak, aby ventilátor dodával do systému požadovaný předem určený průtok vzduchu.
3. Rychlostní sonda umístěná v ose potrubí v měřicím místě kontinuálně měří rychlost proudění v_0 .

4. Vhodně zvoleným místem tlakového odběru (mimo úplav a místa s velkými rychlostmi) je mikromanometrem zjištěna tlaková diference Δp_0 .
5. Z teoretických výpočtů je zjištěna velikost požadované tlakové diference Δp_1 , které se dosáhne polohováním lamel ofukovače při současném zvyšování příkonu ventilátoru tak, aby byla rychlost v ose konstantní.
6. Po nastavení shodného Δp_1 na mikromanometru s teoreticky zjištěnou hodnotou je pomocí speciální stupnice odečten úhel sklonu lamel.
7. Bod 5 a 6 jsou provedeny dvakrát, jelikož zjišťujeme dvě hodnoty úhlu sklonu lamel, což jsou hledané mezní úhly vertikálního směřování.

Pro odečtení úhlu MVS byl použit uhelník s ukazovací tyčkou uchycenou na prostřední horizontální lamele (obr. 9. 2)



DOLNÍ MVS = 56°

HORNÍ MVS = 55°

Obr. 9. 2: Uhelník pro určení MVS.

Tab. 9: Výsledky měření mezního vertikálního směřování:

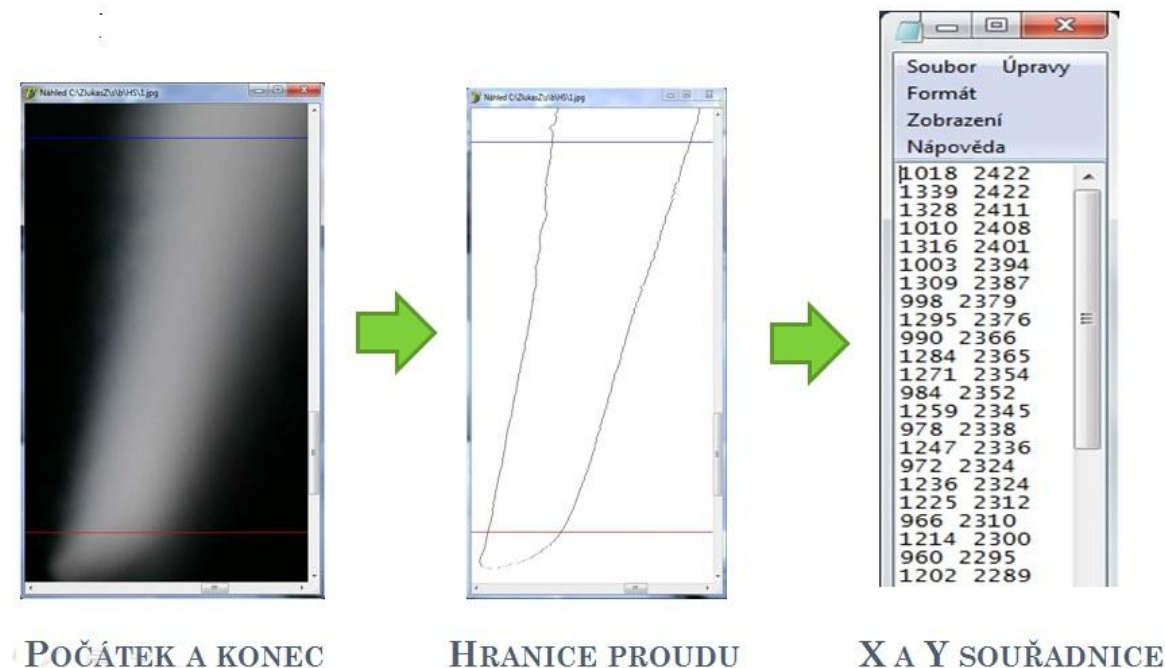
Měření	horní MVS	dolní MVS
1	54,5°	56°
2	55,5°	58°
3	55°	56°
4	55,5°	56°
5	55°	57°
6	54,5°	56,5°
7	54,5°	57°
8	55°	55,5°
9	53,5°	54,5°
10	54°	55°
11	54,5°	55°
Průměr	55°	56°

10 METODIKA URČENÍ OKRAJE PROUDU V RYCHLOSTNÍM POLI

V prostředí Delphi byl vytvořen program pracující s intenzitou jasové složky snímku. Program odečítá x-ové a y-ové souřadnice pixelů na základě zvolené hladiny RGB (red-green-blue), která charakterizuje okraj proudu vzduchu vycházejícího z ofukovače znázorněného kouřem. U RGB jde o zastoupení a míchání aditivních barev, ve kterém je smícháno společně červené, zelené a modré světlo různými cestami k reprodukci obsáhlého pole barev. Každá barva je dána mohutností. Čím větší je součet RGB mohutností, tím světlejší je výsledná barva a tím se mění hranice okraje proudu. Po zkušenostech byla zvolena mohutnost pro všechna tři rozhraní 90. [10]

Tato metodika byla vyvinuta na našem ústavu a pro její spolehlivost byla použita pro tento experiment.

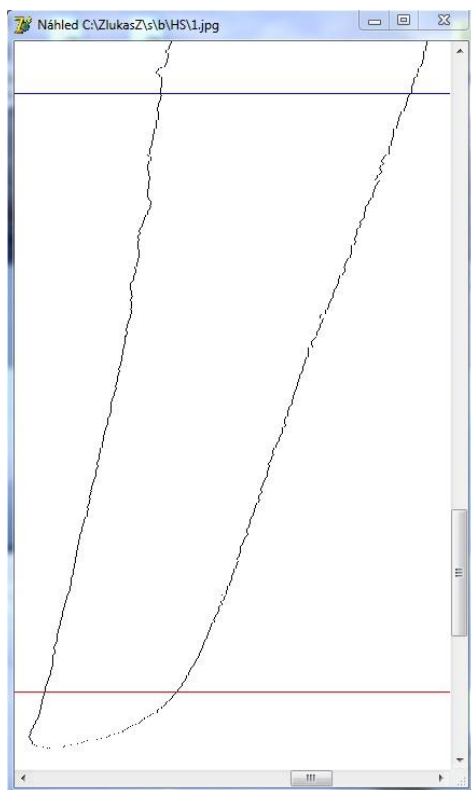
Po nafocení většího množství snímků jsme vybrali deset reprezentativních fotografií s obrazem proudů se stejným nastavením lamel. Abychom mohli snímky snadněji vyhodnotit, podrobili jsme je nejprve úpravám v programu IrfanView (oříznutí, uživatelsky jemná rotace a dávková konverze/přejmenování). Spustili jsme program vytvořený v Delphi a načetli složku s upravenými fotografiemi. Pro snímky jsme určili počáteční a konečnou hranici určující oblast, ze které jsme odečetli souřadnice okrajů proudu pro určité zvolené vzdálenosti (obr. 10a). Odečtené souřadnice jednotlivých snímků byly ukládány v podobě textových souborů, se kterými dále pracuje program MathCAD, který vyhodnocuje úhly odklonu okraje proudu od svislice.



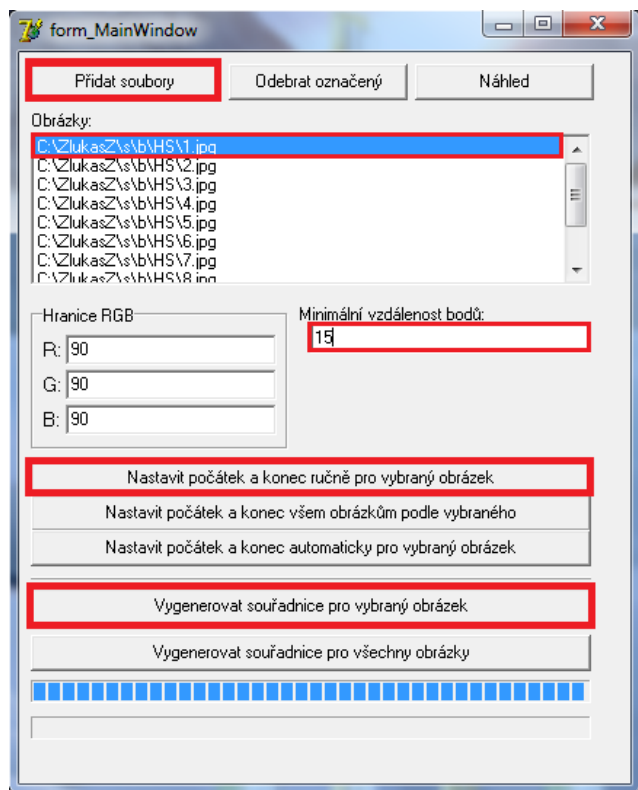
Obr. 10a: Postup vyhodnocení.

Postup práce s programem:

1. Spuštění programu pro určení souřadnic bodů z okrajů proudu v Delphi.
2. Načtení deseti snímků pro určitou polohu lamel ze složky.
3. Vybrání a označení jednoho snímku.
4. Výběr pole nastavení počátku a konce ručně pro vybraný obrázek.
5. Určení dolní a horní meze, které určují oblast odečtených souřadnic bodů (obr. 10b).
6. Zvolení vzdálenosti bodů od sebe, z kterých se budou generovat souřadnice.
7. Nastavení hranice RGB.
8. Vygenerování souřadnic v textovém souboru do složky, kde se nachází načtené snímky.
9. Zkontrolování vygenerovaného souboru a jeho velikosti (z důvodu vkládání do program MathCAD - ideální velikost do 2000 bitů).
10. Postup opakujeme u všech deseti snímků (obr. 10c).



Obr. 10b: Okraj proudu a meze.



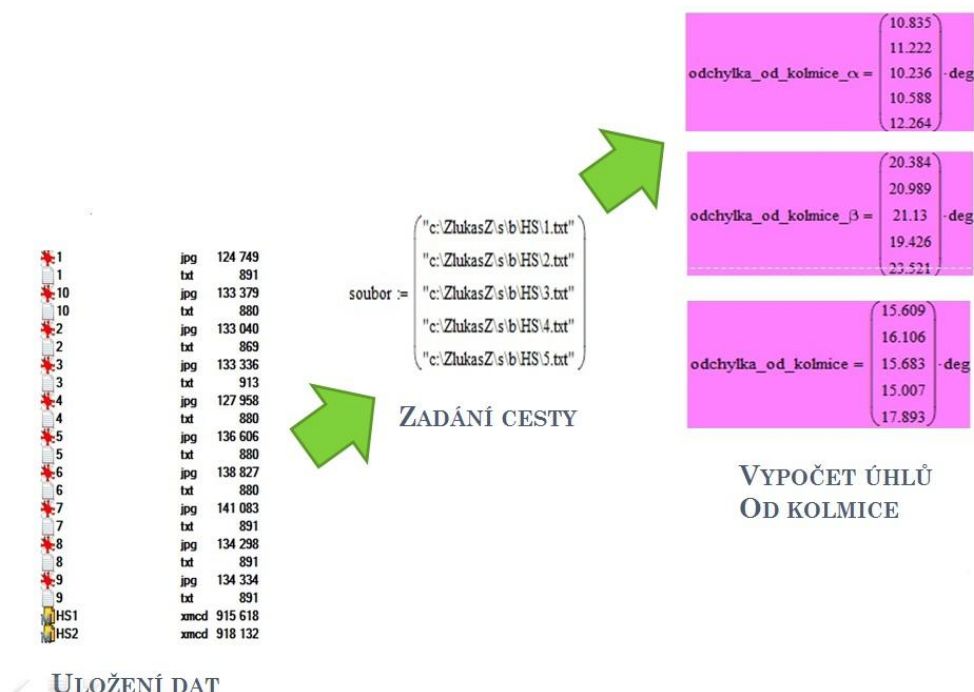
Obr. 10c: Znáznorněn postup v programu.

11 METODIKA STANOVENÍ ÚHLŮ VYBOČENÍ A SKOLNŮ PROUDU

Pro určení úhlů proudu vzduchu byl použit program MathCAD. Z vložených textových souborů obsahující souřadnice okrajů proudu byl vytvořen matematický zápis určující výsledné hodnoty úhlů.

Tato metodika byla vyvinuta na našem ústavu a pro její spolehlivost použita pro tento experiment.

Data získaná pomocí prostředí Delphi byla dále zpracována v MathCADu (obr. 11). Na začátku programu jsme do připravené matice zadali cestu, která vede k souborům souřadnic. Souřadnice bodů obou okrajů proudu byly v programu zapsány do tabulek a jednotlivé body vyneseny do grafu. Body byly proloženy přímkami znázorňující okraje proudu. Přímkami jsme protnuli svislici, od které se odečítal hledaný úhel. Úhly byly zapsány do výsledných tabulek. Střed proudu a jeho úhel byl dopočítán jako polovina okrajů proudu. Výsledné úhly byly určeny v souřadném systému světelné roviny a pro jejich přepočítání do souřadného systému vozidla byl použit program Microsoft Excel, do kterého byly hodnoty importovány z MathCADu.



Obr. 11: Postup cesty vygenerovaných souřadnic k výsledným úhlům.

Použité programy pro stanovení úhlů:

Total Commander

Ukládání vygenerovaných souřadnic a zadávání cesty do MathCADu.

Dobrý přehled nad vygenerovanými souřadnicemi v textovém souboru.

Rychlé zjištění velikosti textových souborů.

MathCAD

Software pro výpočty, ve kterém místo programování zadáváme přímo matematické zápisy.

Microsoft Excel

Vložení vygenerovaných úhlů od svislic v souřadném systému světelné roviny.

Zprůměrování deseti hodnot úhlů.

Přepočet pomocí vzorců dle (kapitoly 8.2) do souřadného systému vozu.

Popis práce s programem:

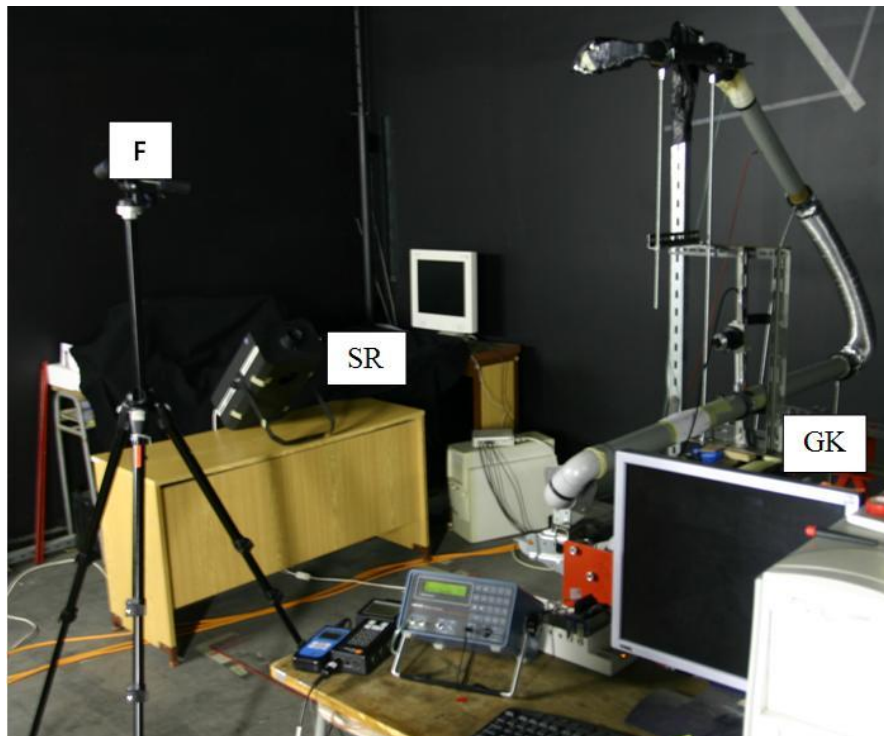
1. Spuštění programu MathCAD s nadefinovanými rovnicemi pro určení výsledných úhlů.
2. Vložení cesty do matice pro prvních pět textových souborů, které obsahují souřadnice bodů určující okraje proudu.
3. Srolování na konec okna programu a získání výsledků úhlů vybočení, sklonu a osy proudu v souřadném systému světelné roviny.
4. Import výsledných úhlů do programu Microsoft Excel a přepočet do souřadného systému vozu.
5. Postup opakujeme pro druhých pět textových souborů. Výpočet jsme rozdělili pro textové soubory 1 až 5 a 6 až 10 z důvodu rychlejší práce programem.

12 VIZUALIZACE

Úkolem práce je analyzovat proud vzduchu vystupující z ofukovače. Proudící vzduch je těžko zachytitelný musíme ho zviditelnit. Zviditelnění proudění provádíme zaváděním látek tvořící souvislá vlákna do plynů nebo kapalin. V našem případě se jedná o vzduch zviditelněny kouřovou metodou.

12.1 Vizualizační technika

K vizualizaci je zapotřebí sestavit na sobě závislé přístroje (obr. 12. 1), generátor kouře (GK), světelnou rovinu (SR) a přístroj pro získání záznamu obrazů (F–fotoaparát).



Obr. 12. 1: Příklad umístění vizualizační techniky.

12.1.1 Generátor kouře

Kouř je vyvíjen v generátoru kouře JEM ZR 12-AL o výkonu 1000 W, obsahu nádrže 2,5 l s multifunkčním dálkovým analogovým ovládáním, s regulací výstupního výkonu a doby provozu (obr. 12. 1. 1). Přístroj je nainstalován ve stejné výšce jako sací potrubí. V nasávacím potrubí umístěném před palubní deskou s ventilátorem se kouř mísí s okolním vzduchem a jeho směs proudí do potrubní tratě. Kouř je v přístroji vyráběn ze směsi oleje obsažené v zásobníku. Čerpadlem nasávaná směs oleje je

přiváděna na žhavou spirálu, kde se vytváří stykem s ní kouř, který je vyfukován přetlakem z vyústky do okolí.



Obr. 12. 1. 1: Zařízení JEM ZR12-AL [11]

12.1.2 Světelná rovina

Vizualizace proudu je provedena pomocí světelné stěny vytvořené optickým zařízením, tzv. světelným zdrojem se šterbinou a prstencovou čočkou o tloušťce 50 mm v temném prostoru. Při bočním pohledu je světelná stěna umístěna svisle a prochází osou sledovaného proudu z ofukovače. Při horním pohledu je světelná stěna rovnoběžná s dolní hranou ofukovače a prochází osou sledovaného proudu. Tyto pohledy umožní zaznamenat úhel osy proudu a úhel rozšíření proudu, viz (kapitola 8.2).

12.1.3 Záznamové zařízení

Vizualizace proudu byla prováděna zrcadlový fotoaparát Canon 300 D s objektivem Canon EF 17-40 mm f/4 L USM (obr. 12. 1. 3). Před začátkem vizualizace bylo hledáno optimální nastavení a volby režimu fotoaparátu. Po zkušebním vyhodnocení snímků v různých režimech jsme se přiklonili k zavedenému režimu: expozice 1 sekunda, ISO 100, clona v 7. 1. Fotoaparát byl umístěn na stativu, který zajišťoval výškové nastavení a rotaci do všech směrů. Objektiv směřoval vždy kolmo na světelnou rovinu procházející osou proudu.



Obr. 12. 1. 3: Detail fotoaparátu Canon 300 D [12]

12.1.4 Postup vizualizace

- 1.** Nastavení průtoku, umístění rychlostní sondy v ose měřícího potrubí, nastavení sklonu lamel a nastavení požadovaného příkonu na zdroji napětí a s tím i rychlosti.
- 2.** Spuštění a zahřátí generátoru kouře.
- 3.** Příprava světelné roviny do požadovaného místa pro spodní (horní) a boční pohled.
- 4.** Umístění světelného kužele do středu proudu vzduchu vystupujícího z ofukovače zviditelněného pomocí zkušební dávky kouře z generátoru kouře.
- 5.** Připevnění fotoaparátu na stativ, umístění do ideální vzdálenosti od ofukovače a natočení objektivu kolmo na světelnou rovinu.
- 6.** Nastavení ISO, clony a času expozice na fotoaparátu a zaostření.
- 7.** Spuštění programu Testo Comfort ukládající data rychlostí a teploty v ose potrubí.
- 8.** Spuštění programu LabView ukládající data teplot vzduchu proudící k ofukovači a na sání.
- 9.** Odečtení a zaznamenání hodnot stavu okolí použitím přístroje Comet D4141.
- 10.** Provedení samotné vizualizace.
- 11.** Uložení snímků do složky.
- 12.** Postup opakujeme pro každou změnu směru lamel pro spodní (horní) a boční pohled.
- 13.** Uložené snímky upravíme dle potřeby a provedeme vyhodnocení okrajů proudu, určení úhlů vybočení a sklonu proudu.

13 ZDROJE NEJISTOT

Pro výpočet byl použit reálný model nejistot. Zdrojem nejistot jsou vlivy vymezené a náhodné. Nejistoty byly určeny typy A, B a jejich spojení v nejistotu kombinovanou C.

13.1 Teoretický výpočet nejistot

Nejistota typu A – metodu je možné použít pouze u opakovaného měření.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (28)$$

kde

y_i jednotlivé známé naměřené hodnoty [-]

\bar{y} střední hodnota naměřených hodnot [-]

n počet opakovaných měření [-]

$$U_A = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (29)$$

kde

S výběrová směrodatná odchylka [-]

n počet opakovaných měření [-]

Nejistoty typu B – zdroje konkrétní příčiny, variability a statického chování bez nutnosti opakování měření.

$$U_{Bf} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} U_{Ba}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} U_{Bb}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} U_{Bc}\right)^2} \quad (30)$$

kde

f funkce jednotlivých veličin [-]

$U_{Ba,b,c}$ směrodatné odchytky veličin a, b, c [-]

a, b, c naměřené veličiny [-]

Kombinovaná nejistota C – stanovená na základě odhadů nejistot typu A a B.

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (31)$$

13.2 Nejistoty měření průtoku

Správné určení průtoku bylo ověřeno pomocí výpočtů nejistot měření.

$$Q = S \cdot w_{str} \quad (32)$$

kde

S průřez potrubí [m^2]

w_{str} střední rychlost v potrubí [$m \cdot s^{-1}$]

Nejistota typu A

$$U_A = \sqrt{\frac{(Q_i - \bar{Q})^2}{n(n-1)}} \quad (33)$$

Tab. 11: Opakované měření průtoku.

n	Q_i [m^3/h]	$\Delta Q = Q_i - Q_{prum}$ [m^3/h]	ΔQ^2 [m^3/h]
1	30,195	0,159	0,025
2	30,133	0,098	0,010
3	30,072	0,037	0,001
4	29,998	-0,038	0,001
5	29,971	-0,065	0,004
6	30,315	0,280	0,078
7	30,016	-0,019	0,000
8	29,849	-0,186	0,035
9	30,124	0,089	0,008
10	29,680	-0,356	0,126

Tab. 12: Průměrná hodnota průtoku.

Q_{prum}	30,03531	[m^3/h]
------------	----------	-------------

Tab. 13: Výsledná nejistota A.

U_A	0,053814	[m^3/h]
-------	----------	-------------

Nejistota typu B

Tab. 14: Vypočtené střední rychlosti.

n	W_{STR} [m/s]
1	3,174563
2	3,168063
3	3,161688
4	3,153844
5	3,151
6	3,187219
7	3,15575
8	3,13825
9	3,167156
10	3,120406

Tab. 15: Průměrná hodnota střední rychlosti.

W_{STRPRUM}	3,157794	[m/s]
----------------------------	----------	---------

$$U_{Bstr} = \frac{5}{100} \cdot W_{str} \quad (34)$$

Tab. 16: Směrodatná odchylka měření přístroje rychlosti pro w_{str} .

U_{BW}	0,157889	[m/s]
-----------------------	----------	---------

$$S = \pi \cdot 0,029^2 \quad (35)$$

Tab. 17: Výpočet obsahu proměřovaného potrubí.

S	0,002642	[m ²]
----------	----------	--------------------

$$U_{BQ} = \sqrt{(S \cdot U_{Bwstr})^2} \quad (36)$$

Tab. 18: Výsledná nejistota B.

U_{BQ}	0,00041716	[m ³ /s]	1,501766	[m ³ /h]
-----------------------	------------	-----------------------	-----------------	-----------------------

Kombinovaná nejistota C

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (37)$$

Tab. 19: Výsledná nejistota C.

U_C	1,50272939	[m ³ /h]
----------------------	-------------------	-----------------------

13.3 Nejistoty faktoru profilu

Ověření faktoru profilu bylo určeno pomocí výpočtů nejistot měření.

$$FP = \frac{w_{str}}{w_{osa}} \quad (38)$$

kde

w_{osa} rychlost v ose potrubí [$m.s^{-1}$]

w_{str} střední rychlost v potrubí [$m.s^{-1}$]

Nejistota typu A

$$U_A = \sqrt{\frac{(FP_i - \overline{FP})^2}{n(n-1)}} \quad (39)$$

Tab. 20: Opakované měření faktoru profilu.

n	FP_i [-]	$\Delta FP = FP_i - FP_{prum}$ [-]	ΔFP^2 [-]
1	0,906	0,010	0,000
2	0,897	0,001	0,000
3	0,892	-0,004	0,000
4	0,861	-0,035	0,001
5	0,859	-0,037	0,001
6	0,915	0,019	0,000
7	0,901	0,005	0,000
8	0,902	0,006	0,000
9	0,914	0,018	0,000
10	0,913	0,017	0,000

Tab. 21: Průměrná hodnota faktoru profilu.

FP_{prum}	0,896066	[-]
-------------	----------	-------

Tab. 22: Výsledná nejistota A.

U_A	0,00615	[-]
-------	----------------	-------

Nejistota typu B

Tab. 23: Vypočtené střední rychlosti a naměřené rychlosti v ose potrubí.

n	W_{STR} [m/s]	W_{OSA} [m/s]
1	3,174563	3,503
2	3,168063	3,53
3	3,161688	3,546
4	3,153844	3,663
5	3,151	3,669
6	3,187219	3,483
7	3,15575	3,503
8	3,13825	3,478
9	3,167156	3,466
10	3,120406	3,416

Tab. 24: Průměrná hodnota střední rychlosti.

$W_{STRPRUM}$	3,157794	[m/s]
---------------	----------	-------

Tab. 25: Průměrná hodnota rychlosti v ose potrubí.

$W_{OSAPRUM}$	3,5257	[m/s]
---------------	--------	-------

$$U_{Bwstr} = \frac{5}{100} \cdot w_{str} \quad (40)$$

Tab. 26: Směrodatná odchylka měření přístroje rychlosti pro w_{str} .

U_{BWstr}	0,157889	[m/s]
-------------	----------	-------

$$U_{Bwosa} = \frac{5}{100} \cdot w_{osa} \quad (41)$$

Tab. 27: Směrodatná odchylka měření přístroje rychlosti pro w_{osa} .

U_{BWosa}	0,176285	[m/s]
-------------	----------	-------

$$U_{BFP} = \sqrt{\left(\frac{1}{w_{str}} U_{BWstr}\right)^2 + \left(-\frac{w_{str}}{w_{osa}^2} U_{BWosa}\right)^2} \quad (42)$$

Tab. 28: Výsledná nejistota B.

U_{BFP}	0,063332032	[-]
-----------	--------------------	-------

Kombinovaná nejistota C

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (43)$$

Tab. 29: Výsledná nejistota C.

U_C	0,063662974	[-]
-------	--------------------	-------

13.4 Nejistoty mezního vertikálního směřování

Nejistot typu A

$$U_{AH,D} = \sqrt{\frac{(MVS_{Hi,Di} - \overline{MVS}_{H,D})^2}{n(n-1)}} \quad (45)$$

Tab. 30: Opakované měření horního a dolního úhlů MVS.

n	MVS _{Hi} [°]	(MVS _{Hi} - MVS _{HIPRUM}) ² [°]	MVS _{Di} [°]	(MVS _{Di} - MVS _{DIPRUM}) ² [°]
1	54,5	0,25	56	0
2	55,5	0,25	58	4
3	55	0	56	0
4	55,5	0,25	56	0
5	55	0	57	1
6	54,5	0,25	56,5	0,25
7	54,5	0,25	57	1
8	55	0	55,5	0,25
9	53,5	2,25	54,5	2,25
10	54	1	55	1
11	54,5	0,25	55	1

Tab. 31: Průměrná hodnota horního úhlu MVS.

MVS_{HIPRUM}	55	[°]
-----------------------------	----	-------

Tab. 32: Průměrná hodnota dolního úhlu MVS.

MVS_{DIPRUM}	56	[°]
-----------------------------	----	-------

Tab. 33: Výsledná nejistota A pro horní MVS

U_{AH}	0,207802	[°]
-----------------------	-----------------	-------

Tab. 34: Výsledná nejistota A pro dolní MVS.

U_{AD}	0,312614	[°]
-----------------------	-----------------	-------

Nejistota typu B – Vychází z kvalifikovaného odhadu velikosti vnášené chyby od jednotlivých zdrojů

$$U_i = \frac{\Delta Z_i}{m} \quad (46)$$

Kde za ΔZ_i dosazujeme tyto odchylky od jednotlivých zdrojů:

ΔZ_{vztup} jednotlivé známé naměřené hodnoty = 1°

$\Delta Z_{veličina}$ nepřesné nastavení požadovaného tlaku a rychlosti = 1°

ΔZ_{lamel} nepřesnost nastavení lamel ofukovače = 0,5°

$\Delta Z_{\Delta p1}$ nepřesnost určení teoretické hodnoty $\Delta p1 = 2°$

m koeficient pro výpočet dílčích nejistot typu B - Rovnoměrné (Pravoúhlé) = 1,73

Tab. 35: Výpočet jednotlivých nejistot z odchylek zdrojů.

$U_{vstup} [^\circ]$	$U_{veličina} [^\circ]$	$U_{lamel} [^\circ]$	$U_{\Delta p1} [^\circ]$
0,57735	0,57735	0,288675	1,154701

$$U_B = \sqrt{\sum U_i^2} \quad (47)$$

Tab. 36: Výsledná nejistota B.

U_B	1,443376	[°]
-------	-----------------	-----

Kombinovaná nejistota C

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} \quad (48)$$

Tab. 37: Výsledná nejistota C pro horní MVS

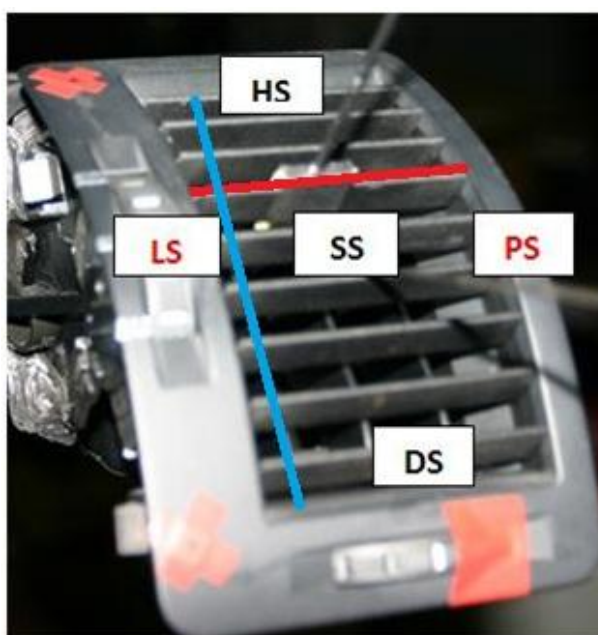
U_{CH}	1,458258	[°]
----------	-----------------	-----

Tab. 38: Výsledná nejistota C pro dolní MVS.

U_{CD}	1,476841	[°]
----------	-----------------	-----

14 VYHODNOCENÍ VIZUALIZACE

Vizualizace byla provedena v pěti polohách. Tři polohy horizontálních lamel HS horní-střed, SS střed-střed, DS dolní-střed s ponecháním vertikálních lamel v poloze střed. Dvě polohy lamel LS levá-střed a PS pravá-střed ponecháním horizontálních lamel v poloze střed a nastavením vertikálních lamel do krajní polohy. Těchto pět poloh je znázorněno na (obr. 14a) a pro vyhodnocení převedeno do jednoduchého schéma (obr.14b). Orientace horizontálních lamel vykreslená červeně a vertikálních lamel vykreslena modře je znázorněna na (obr. 14a). Vyhodnocení bylo rozděleno na dva pohledy, díky dvěma nastavením světelné roviny, a to pro horní (spodní) pohled a boční pohled.



Obr. 14a Směry nastavení lamel a naznačení orientace lamel.

V každé z poloh bylo zaznamenáno fotoaparátem množství snímků v době, kdy z ofukovače vystupoval kouř. Vybrali jsme deset po sobě jdoucích snímků, které jsme podrobili vyhodnocení. Při vizualizaci každé z poloh lamel (obr. 14b) byly zapsány parametry okolního prostředí a tlakové diference v potrubí před ofukovačem a ukládána data teplot a rychlosti v potrubní trati pro opakovatelnost experimentu.

	HS	
LS	SS	PS
	DS	

Obr. 14b: Schéma, které dále použijeme pro znázornění směr lamel.

14.1 Vyhodnocení horních (spodních) pohledů

14.1.1 HS – horní střed

Poloha lamel.

	HS	

Tab. 39: Odklon okrajů proudu a středu proudu od svislice pro 10 snímků.

Číslo snímku	Levý okraj [°]	Osa ve středu [°]	Pravý okraj [°]
1	2,70	-7,78	-18,25
2	2,78	-7,49	-17,76
3	7,71	-3,57	-14,86
4	4,91	-6,38	-17,68
5	1,83	-8,08	-17,99
6	1,54	-8,08	-17,68
7	1,76	-8,12	-17,99
8	5,81	-5,50	-16,81
9	3,32	-8,71	-20,73
10	5,02	-7,63	-20,29

Tab. 40: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr14. 2a).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	3,74	°
Osa proudu	α'_s	-7,13	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	-18,00	°

Úhel světelné roviny = **111°**

Tab. 41: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	10,33	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	-15,94	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	-42,20	°

14.1.2 LS – levá střed

Poloha lamel.

LS		

Tab. 42: Odklon okrajů proudu a středu proudu od svislice pro 10 snímků.

Číslo snímku	Levý okraj [°]	Osa ve středu [°]	Pravý okraj [°]
1	27,10	19,61	12,13
2	28,68	19,70	10,72
3	27,71	17,94	8,17
4	30,19	20,14	10,10
5	28,22	18,56	8,90
6	28,89	19,76	10,64
7	28,34	18,56	8,78
8	29,54	21,09	12,65
9	29,81	20,65	11,48
10	29,75	22,82	15,89

Tab. 43: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 2b).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	28,82	°
Osa proudu	$\alpha's$	19,88	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	10,95	°

Úhel světelné roviny = **53°**

Tab. 44: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	42,44	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	31,01	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	17,81	°

14.1.3 SS – střed střed

Poloha lamel.

	SS	

Tab. 45: Odklon okrajů proudu a středu proudu od svislice pro 10 snímků.

Číslo snímku	Levý okraj [°]	Osa ve středu [°]	Pravý okraj [°]
1	9,59	0,04	-9,51
2	10,69	-0,55	-9,59
3	9,16	-0,49	-8,18
4	8,84	-0,38	-8,07
5	9,75	-0,58	-8,59
6	8,67	-0,16	-8,34
7	9,09	0,30	-9,69
8	8,62	0,31	-9,25
9	8,61	-0,13	-8,36
10	8,01	0,16	-8,33

Tab. 46: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 2c).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	9,10	°
Osa proudu	$\alpha's$	0,16	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	-8,79	°

Úhel světelné roviny = **53°**

Tab. 47: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	14,91	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	0,26	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	-14,41	°

14.1.4 PS – pravá střed

Poloha lamel.

		PS

Tab. 48: Odklon okrajů proudu a středu proudu od svislice pro 10 snímků.

Číslo snímku	Levý okraj [°]	Osa ve středu [°]	Pravý okraj [°]
1	-6,40	-18,04	-29,68
2	-5,11	-18,22	-31,34
3	-7,47	-19,19	-30,91
4	-7,17	-18,74	-30,32
5	-7,61	-20,07	-32,53
6	-10,86	-20,16	-29,46
7	-8,13	-18,60	-29,07
8	-8,44	-19,03	-29,63
9	-10,53	-20,56	-30,59
10	-8,29	-19,03	-29,76

Tab. 49: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr14. 2d).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	-8,00	°
Osa proudu	α'_s	-19,16	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	-30,33	°

Úhel světelné roviny = **53°**

Tab. 50: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	-13,14	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	-30,01	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	-44,19	°

14.1.5 DS – dolní střed

Poloha lamel.

	DS	

Tab. 51: Odklon okrajů proudu a středu proudu od svislice pro 10 snímků.

Číslo snímku	Levý okraj [°]	Osa ve středu [°]	Pravý okraj [°]
1	13,75	2,32	-9,11
2	15,79	2,50	-10,80
3	10,27	-0,57	-11,41
4	14,21	2,09	-10,03
5	16,51	3,63	-9,25
6	16,14	2,91	-10,31
7	14,73	4,76	-5,20
8	14,23	3,14	-7,96
9	16,74	2,00	-12,73
10	15,04	3,74	-7,56

Tab. 52: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 2e).

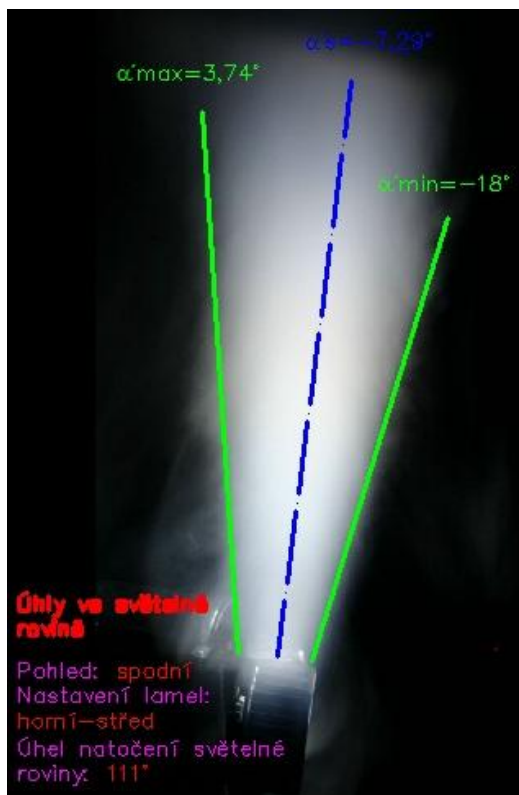
Levý okraj proudu	α'_{\max}	14,74	°
Osa proudu	α'_s	2,65	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	-9,44	°

Úhel světelné roviny = **-11°**

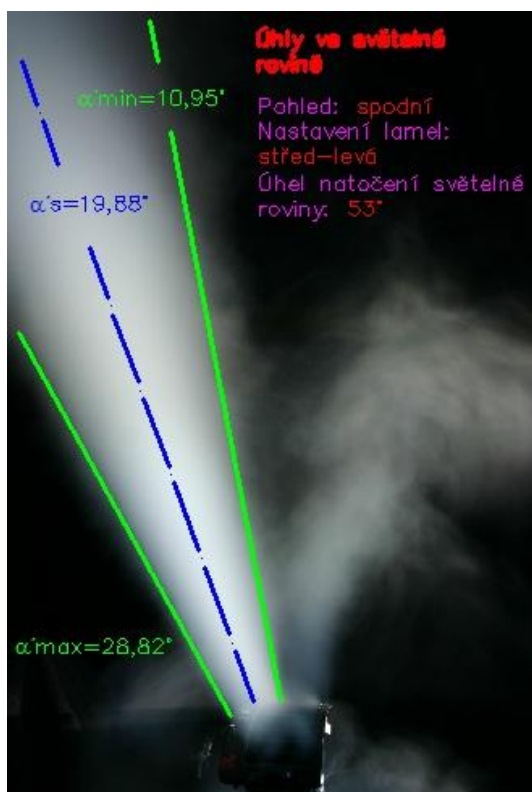
Tab. 53: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	15,00	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	2,7	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	-9,61	°

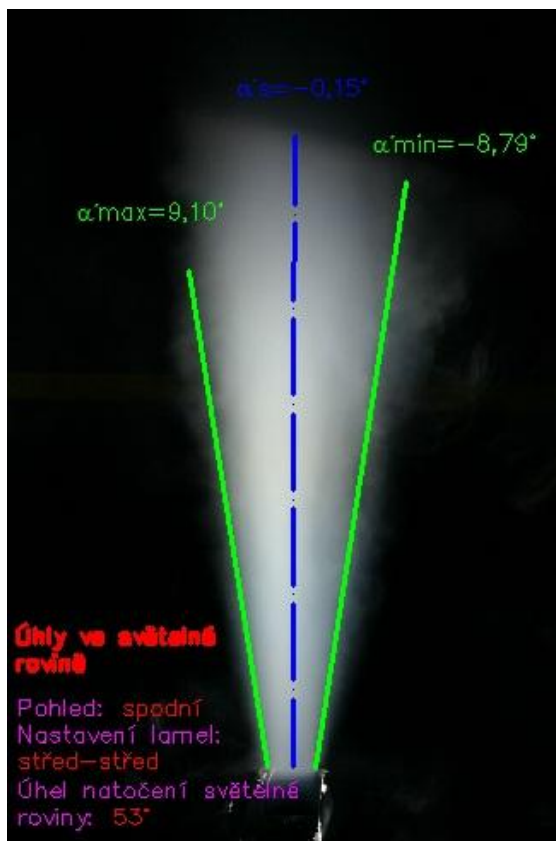
14.2 Reprezentativní snímky spodních pohledů.



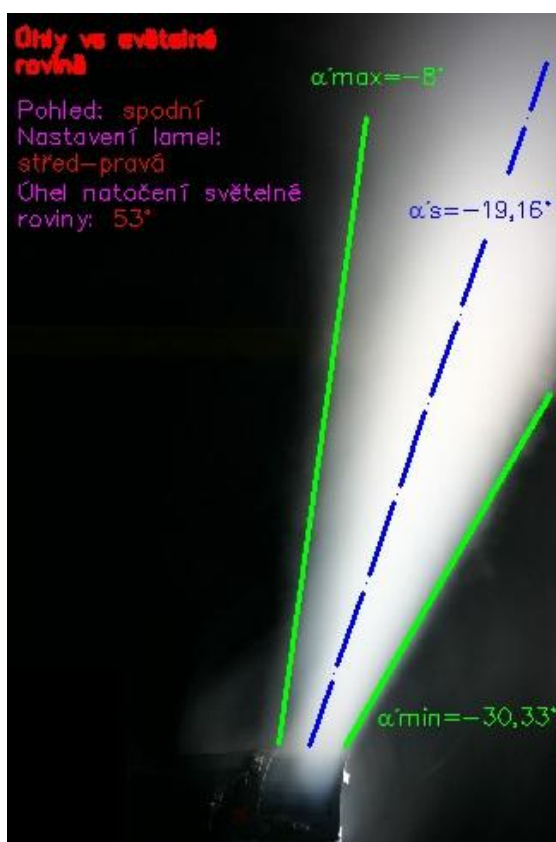
Obr. 14. 2a



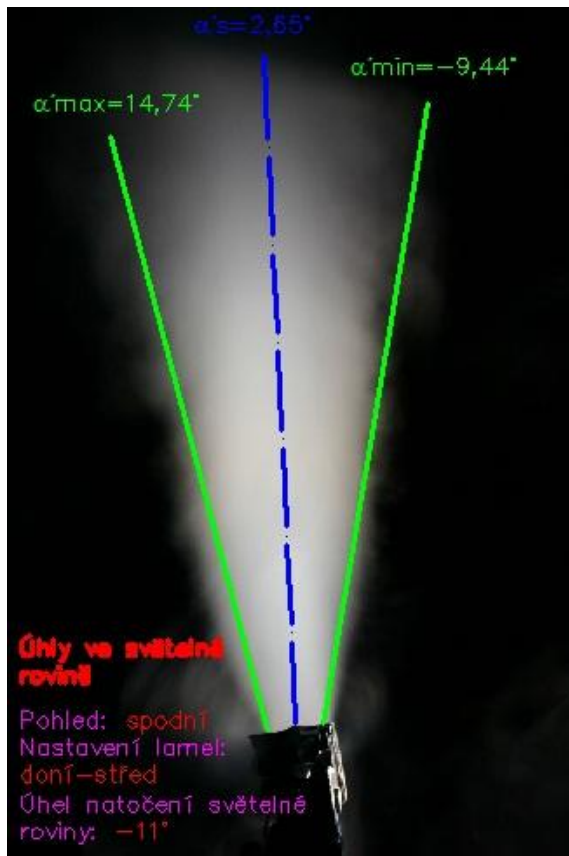
Obr. 14. 2b



Obr. 14. 2c



Obr. 14. 2d



Obr. 14. 2e

14.3 Vyhodnocení bočních pohledů

14.3.1 HS – horní střed

Poloha lamel.

	HS	

Tab. 54: Odklon okrajů proudu a středu proudu od vodorovné osy pro 10 snímků.

Číslo snímku	Spodní okraj [°]	Osa ve středu [°]	Horní okraj [°]
1	107,65	111,28	114,91
2	106,46	109,88	113,31
3	105,99	110,09	114,18
4	106,88	112,00	117,12
5	106,22	110,70	115,17
6	107,12	111,14	115,16
7	111,01	116,28	121,56
8	106,30	110,36	114,43
9	111,24	114,50	117,77
10	112,72	116,90	121,08

Tab. 55: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 4a).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	108,16	°
Osa proudu	α'_s	112,31	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	116,47	°

Úhel světelné roviny = - 10°

Tab. 56: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	107,90	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	112,01	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	116,12	°

14.3.2 LS – levá střed

Poloha lamel.

LS		

Tab. 57: Odklon okrajů proudu a středu proudu od vodorovné osy pro 10 snímků.

Číslo snímku	Spodní okraj [°]	Osa ve středu [°]	Horní okraj [°]
1	41,45	50,34	59,22
2	41,43	50,70	59,98
3	42,23	50,12	58,01
4	42,35	49,94	57,53
5	42,87	50,19	57,51
6	42,85	51,95	61,05
7	41,76	52,31	62,86
8	42,01	55,37	68,73
9	44,11	52,42	60,74
10	43,68	52,34	61,01

Tab. 58: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 4b).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	42,47	°
Osa proudu	$\alpha's$	51,57	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	60,66	°

Úhel světelné roviny = - 30°

Tab. 59: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	46,54	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	55,50	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	64,05	°

14.3.3 SS – střed střed

Poloha lamel.

	SS	

Tab. 60: Odklon okrajů proudu a středu proudu od vodorovné osy pro 10 snímků.

Číslo snímku	Spodní okraj [°]	Osa ve středu[°]	Horní okraj [°]
1	45,47	51,06	56,65
2	47,14	51,97	56,80
3	46,47	51,57	56,68
4	47,20	51,86	56,52
5	47,83	52,34	56,84
6	47,25	52,46	57,66
7	46,93	51,94	56,96
8	48,09	52,55	57,01
9	46,94	51,84	56,74
10	47,00	51,88	56,76

Tab. 61: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr 14. 4c).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	47,03	°
Osa proudu	α'_s	51,95	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	56,86	°

Úhel světelné roviny = **-10°**

Tab. 62: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	47,47	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	52,37	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	57,26	°

14.3.4 PS – pravá střed

Poloha lamel.

		PS

Tab. 63: Odklon okrajů proudu a středu proudu od vodorovné osy pro 10 snímků.

Číslo snímku	Spodní okraj [°]	Osa ve středu [°]	Horní okraj [°]
1	32,61	46,62	60,63
2	33,89	46,61	59,34
3	35,28	47,56	59,84
4	34,35	47,23	60,11
5	33,15	47,42	61,70
6	37,08	49,56	62,04
7	39,69	51,10	62,51
8	38,81	51,02	63,23
9	40,09	51,66	63,23
10	39,52	51,58	63,63

Tab. 64: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 4d).

Levý okraj proudu	α'_{\max}	36,45	°
Osa proudu	$\alpha's$	49,04	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	61,63	°

Úhel světelné roviny = **10°**

Tab. 65: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	36,87	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	49,47	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	61,99	°

14.3.5 DS – dolní střed

Poloha lamel.

	DS	

Tab. 66: Odklon okrajů proudu a středu proudu od vodorovné osy pro 10 snímků.

Číslo snímku	Spodní okraj [°]	Osa ve středu [°]	Horní okraj [°]
1	-20,14	-10,62	-1,10
2	-20,51	-10,18	0,16
3	-19,07	-9,71	-0,35
4	-20,21	-10,10	0,01
5	-19,27	-9,87	-0,47
6	-18,87	-10,55	-2,22
7	-22,08	-12,48	-2,87
8	-23,43	-14,20	-4,96
9	-21,29	-12,49	-3,69
10	-21,25	-12,71	-4,17

Tab. 67: Výsledné úhly v souřadném systému světelné roviny (obr. 14. 4 e).

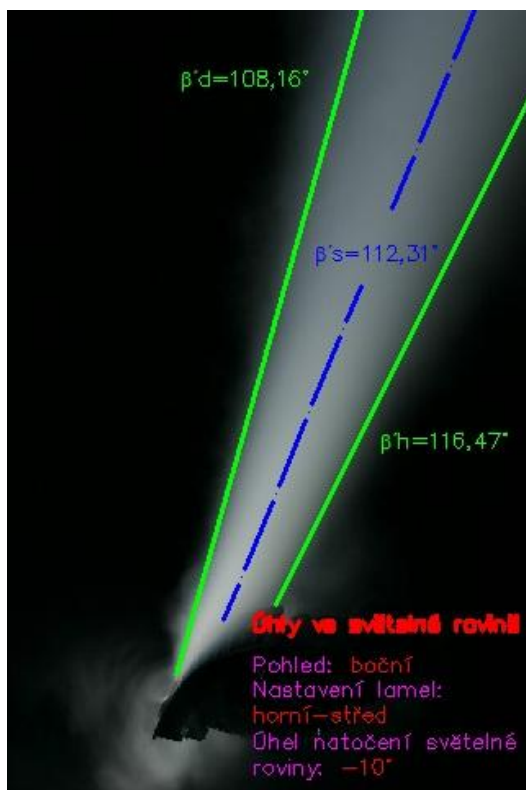
Levý okraj proudu	α'_{\max}	-20,61	°
Osa proudu	α'_s	-11,29	°
Pravý okraj proudu	α'_{\min}	-1,97	°

Úhel světelné roviny = - 10°

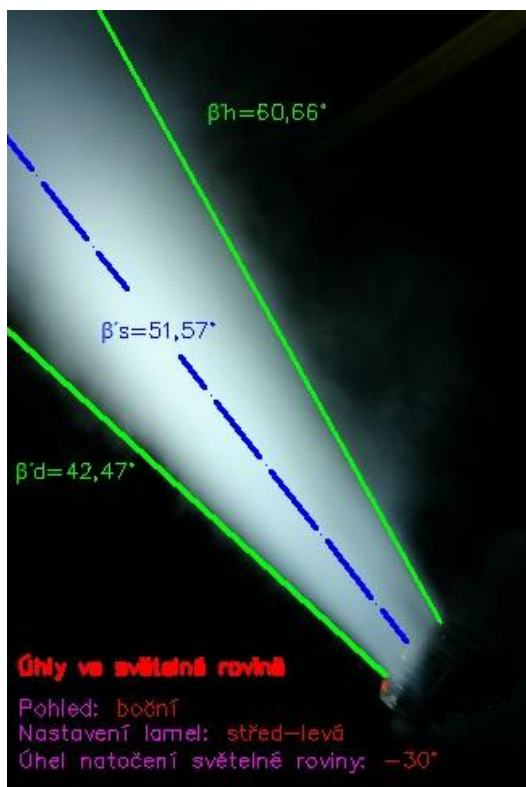
Tab. 68: Výsledné úhly v souřadném systému vozidla.

Levý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\max}	-20,90	°
Osa proudu v souřadném systému vozidla	α_s	-11,46	°
Pravý okraj proudu v souřadném systému vozidla	α_{\min}	-2,00	°

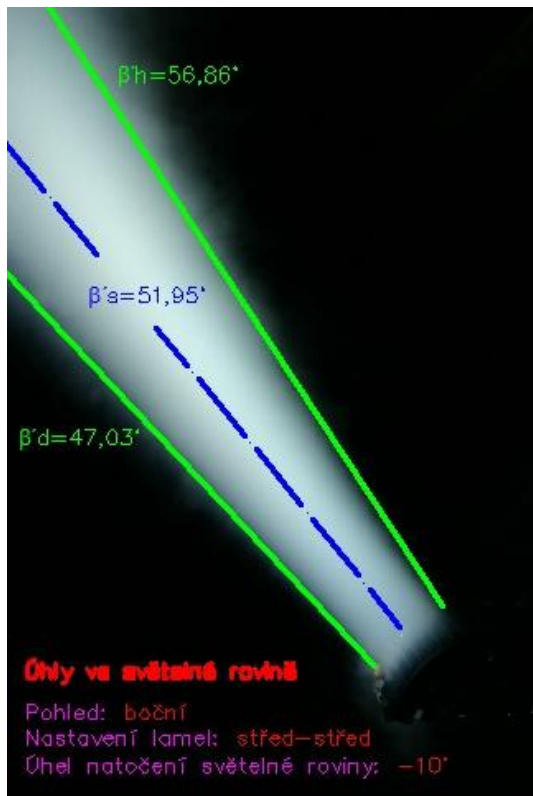
14.4 Reprezentativní snímky bočních pohledů.



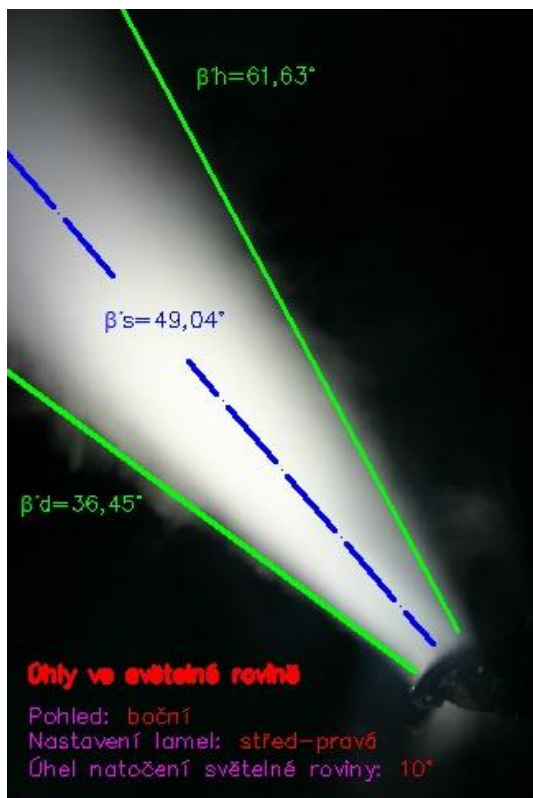
Obr. 14. 4a



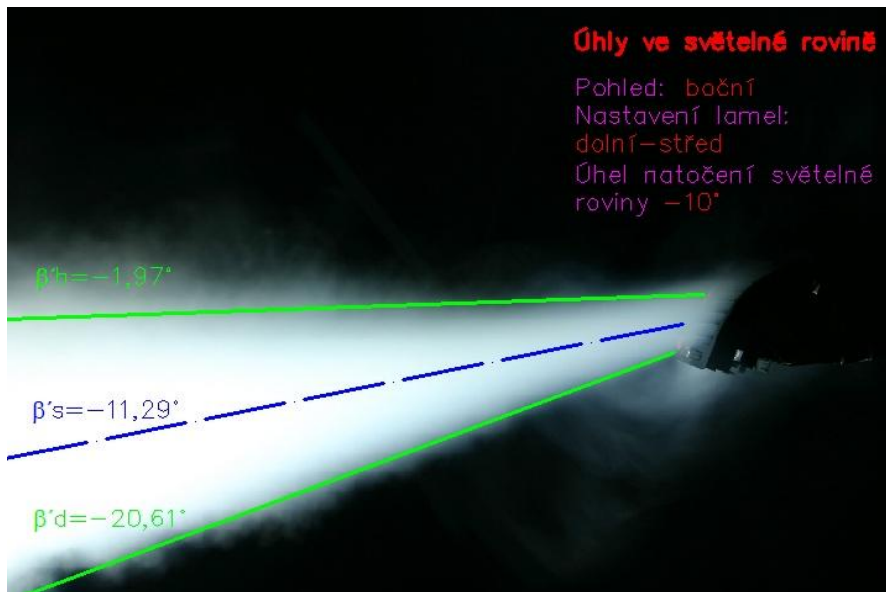
Obr. 14. 4b



Obr. 14. 4c



Obr. 14. 4d



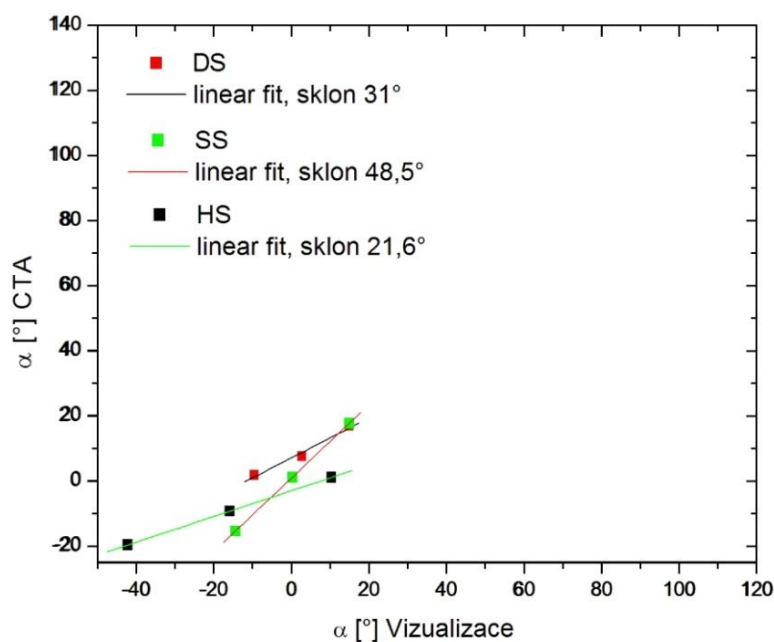
Obr. 14. 4e

15 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ

Vizualizace pomocí kouřové metody a následné vyhodnocení bylo provedeno v předešlých kapitolách. Ve stejném časovém období, kdy byla na experimentální trati prováděna vizualizace kouřem, bylo prováděno i měření rychlostního pole v proudu vzduchu vystupujícího z ofukovače pomocí CTA (constant temperature anemometry) v rámci diplomové práce Bc. Tomáše Ležoviče. Metoda CTA proměřovala rychlostní pole z ofukovače ve třech polohách lamel. Nastavení poloh lamel DS – dolní střed, SS – střed střed a HS – horní střed byly stejné jako u vizualizace kouře. Výsledky z obou metod byly zaznamenány do tabulek a porovnány v následujících grafech. První graf znázorňuje body ve třech nastaveních pro spodní (vodorovné) pohledy (obr. 15a) a druhý pro boční (svislé) pohledy (obr. 15b). Poslední graf porovnává oba pohledy.

Tab. 69: Spodní (vodorovný) pohled

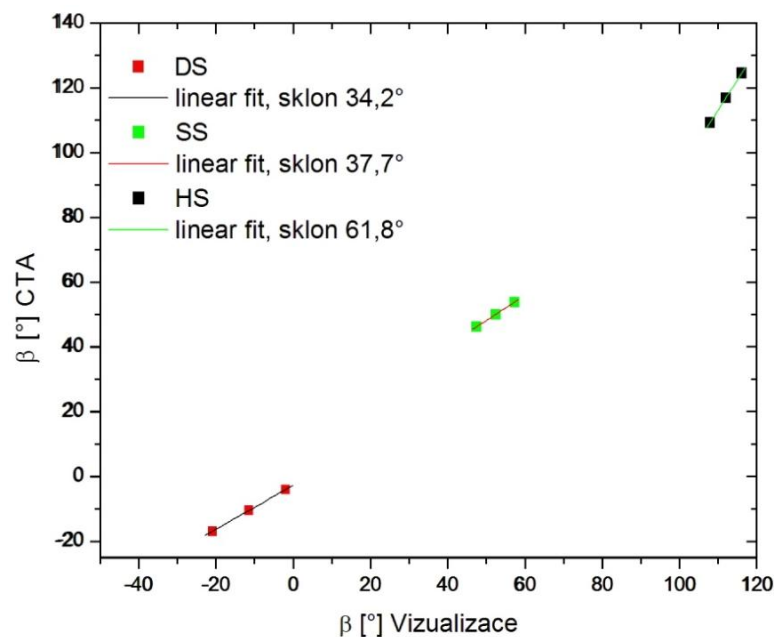
Y	Vizualizace	[°]	X	CTA	[°]
DS	α_{\max}	15	DS	α_{\max}	16,85
	α_s	2,7		α_s	7,54
	α_{\min}	-9,61		α_{\min}	-1,77
SS	α_{\max}	14,91	SS	α_{\max}	17,7
	α_s	0,26		α_s	1,16
	α_{\min}	-14,41		α_{\min}	-15,38
HS	α_{\max}	10,33	HS	α_{\max}	1,11
	α_s	-15,94		α_s	-9,27
	α_{\min}	-42,2		α_{\min}	-19,64



Obr. 15a: Tři polohy lamel ve srovnání obou metod – spodní pohled.

Tab. 70: Boční (svislý) pohled

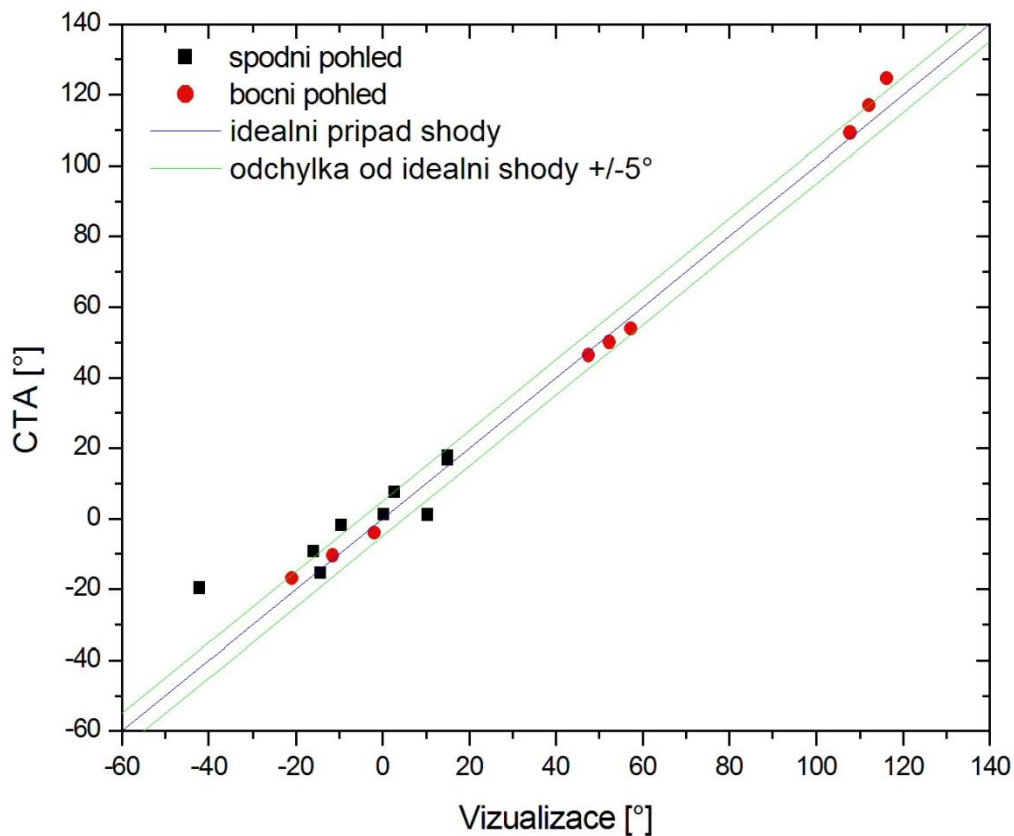
Y	Vizualizace	[°]	X	CTA	[°]
DS	β_h	-2	DS	β_h	-4,05
	β_s	-11,46		β_s	-10,48
	β_d	-20,9		β_d	-16,91
SS	β_h	57,26	SS	β_h	53,85
	β_s	52,37		β_s	50,05
	β_d	47,44		β_d	46,25
HS	β_h	116,12	HS	β_h	124,56
	β_s	112,01		β_s	116,91
	β_d	107,9		β_d	109,25



Obr. 15b: Tři polohy lamel ve srovnání obou metod – boční pohled.

Teoreticky by výsledné hodnoty získané dvěma nezávislými metodami měly být shodné. V takovém případě by měřené hodnoty ležely na přímce se směrnici 1. Ve skutečnosti se však hodnoty více či méně liší. Porovnání metod ukazuje (obr. 15c). Je vidět, že mezi hodnotami jednotlivých úhlů je poměrně dobrá korelace, obvykle se nachází odpovídající hodnoty obou metod v tolerančním pásmu $\pm 5^\circ$. Lepší shoda je u bočního pohledu. Není vidět žádný systematický rozdíl mezi výsledky.

Lepší shoda je u stanovení úhlů středu proudu než u úhlů okrajů proudu, toto asi lze očekávat, protože vliv metody na stanovení okraje proudu se u stanovení středu proudu částečně vyruší.



Obr. 15c: Porovnání výsledků obou metod všech pohledů.

Výrazný rozdíl je zejména u spodního pohledu pro HS, především u úhlu α_{min} . Důvod bychom pravděpodobně našli ve fyzice proudění a v metodách použitých pro získání výsledků. Zjištění přesné příčiny je otázkou dalších experimentů.

16 ZÁVĚR

V této práci jsem se zabýval experimentálním určením vlastností proudu vzduchu z ofukovače metodou kouře a stanovením celkového hodnocení ofukovače. Podařilo se vyhodnotit úhly vybočení (α) a sklonu (β) proudu a také určit okraje proudu v rychlostním poli. Prokázali jsme převedení výsledků získaných z jednoho ofukovače do modelu se čtyřmi ofukovači, které jsou umístěny ve skutečném vozidle. Převedení experimentálních podmínek do reálného automobilu bylo provedeno určením místních ztrát a tím bylo vyřešeno nastavení mezního horního a dolního sklonu horizontálních lamel ofukovače.

Dále byla osvojena znalost s vyvinutými aplikacemi pro metodiky měření a vyhodnocení rozsahu ofukovače s hlavním důrazem na opakovatelnost měření. Nezbytnou součástí řešení problému byl popis a znalost používaných softwarů, mezi které patřil Delphi a MathCAD.

Tento experiment objevil atypické proudění vzduchu v určité poloze lamel. Proud se nacházel v dosud nevyhodnocovaném kvadrantu příslušejícímu úhlům 90-180°. Pro tento kvadrant byly inovovány vzorce pro přepočítání mezi souřadným systémem světelné roviny a vozidla.

Analýza proudu vzduchu byla prováděna dvěma nezávislými metodami, a to metodou kouře a měření pomocí CTA, které je zpracováno v souběžné diplomové práci Bc. Tomáše Ležoviče. Výsledky byly porovnány formou grafů, které potvrdily teoretickou správnost použitých metod, s drobnými odchylkami nejasného původu, které by bylo zajímavé prozkoumat v dalších experimentech.

17 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Publikace

- [4] PAVELEK, Milan;ŠTETINA, Josef. *Experimentální metody v technice prostředí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 215 s. ISBN 978-80-214-3426-4
- [7] KOŠNER, J.;LÍZAL, F.;JEDELSKÝ, J. *Analýza směřování a homogenity proudu vzduchu z bočního ofukovače palubní desky 3.rev.* Obor termomechaniky a techniky prostředí, FSI, VUT v Brně, Brno, 2008.
- [8] VACH, T.;LÍZAL, F.;ELCNER, J.;JEDELSKÝ, J.;KRŠKA, L. *Vizualizace proudu vzduchu z levého bočního ofukovače palubní desky*. Obor termomechaniky a techniky prostředí, FSI, VUT v Brně, Brno, 2009.
- [17] LEŽOVIČ, T. *Zpráva o průběhu diplomové práce II*. Obor termomechaniky a techniky prostředí, FSI, VUT v Brně, Brno, 2011.

Web

- [1] *Vutbr* [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Dostupný z WWW: <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml?sn=zav_prace_moje>.
- [2] *Moje.auto* [online]. 2011 [cit. 2011-03-23]. Dostupný z WWW: <http://moje.auto.cz/?sekce=foto&im_id=im_4d627dafda88c&ga_id=GA_4d011a014e74c>.
- [3] *Tzb-info* [online]. 2011 [cit. 2011-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/4624-mereni-prutoku-tekutin-principy-prutokomeru>>.
- [5] *Omegaeng* [online]. 1995 - 2011 [cit. 2009-03-20]. Dostupný z WWW: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/Flow_Graphic4.html>.
- [6] *Jspshop* [online]. 2010 [cit. 2011-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.jspshop.cz/anemometry/kimo-lv110e>>.
- [9] *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2011-04-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.wikipedia.org/wiki/Delphi>>.
- [10] *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2011-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.cs.wikipedia.org/wiki/RGB>>.
- [11] *Audiotek* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.audiotek.cz/product-14067-jem-zr12-al>>.

- [12] *Dpreview* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. Dostupný z WWW:
<<http://www.dpreview.com/reviews/canoneos300d/page2.asp>>.
- [13] *Skoda-auto* [online]. 2011 [cit. 2011-20-05]. Dostupný z WWW:
<http://www.skoda-auto.cz/cze/Documents/Catalogue/NewOctavia/10_Octavia_Catalogue_CZ.pdf>.
- [14] *Skoda-auto* [online]. 2011 [cit. 2011-20-05]. Dostupný z WWW:
<<http://www.skoda-auto.cz/CZE/model/newoctavia/facts/Pages/dimensions.aspx>>.
- [15] *Skoda-auto* [online]. 2011 [cit. 2011-20-05]. Dostupný z WWW:
<<http://www.skoda-auto.cz/cze/model/newoctavia/gallery/colours/Pages/colours.aspx>>.
- [16] *Vutbr* [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Dostupný z WWW:
< <https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=100108>>.

18 SEZNAM SYMBOLŮ

<i>Značka</i>	<i>název</i>	<i>jednotka</i>
FP	faktor profilu	[-]
I	proud	[A]
MVS	mezní vertikální směřování	[°]
P	příkon	[W]
Q	průtok	[m ³ ·h]
R	poloměr	[m]
S	obsah	[m ²]
U	napětí	[V]
V	průtok	[m ³ ·s]
X	osa X	[-]
Y	osa Y	[-]
Z	osa Z	[-]
i	počet měření	[-]
k	změna hodnoty	[-]
n	počet (částí) bodů	[-]
p	tlak	[Pa]
r	poloměry	[mm]
w	obecná rychlost	[m·s ⁻¹]

řecké symboly

<i>Značka</i>	<i>název</i>	<i>jednotka</i>
α	úhel	[°]
β	úhel	[°]
ε	úhel	[°]
θ	úhel	[°]
ξ	místní ztráty	[°]
Δ	chyby určení úhlu od dílčích zdrojů	[°]

indexy

<i>Značka</i>	<i>název</i>
d	dolní
h	horní
i	lokální hodnota
max	maximální

min	minimální
osa	hodnota v ose
s	střed
str	střední hodnota
skut	skutečná hodnota
0	počáteční hodnota
1	mezní hodnota