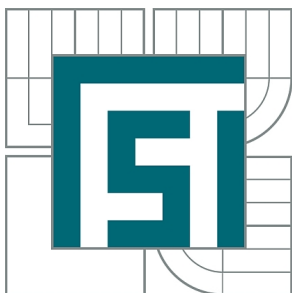


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

HODNOCENÍ FUNKČNOSTI VĚTRACÍ VYÚSTKY PRO KABINU OSOBNÍHO VOZU

EVALUATION OF FUNCTIONALITY OF VENTILATION OUTLET IN PASSENGER CAR CABIN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR CALETKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN JEDELSKÝ, Ph.D.

BRNO 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Caletka

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Hodnocení funkčnosti větrací vyústky pro kabinu osobního vozu

v anglickém jazyce:

Evaluation of functionality of ventilation outlet in passenger car cabin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Prostředí v kabinách dopravních prostředků ovlivňuje nejen komfort posádky, ale souvisí také s aktivní bezpečností. Předpokladem správné funkce ventilačního systému vozidla je optimalizovaná konstrukce větracích vyústek v kabině.

Při hodnocení proudění vzduchu z vyústky bude použita vizualizace proudu pomocí tzv. kouřové metody, kdy je zviditelněný proud vzduchu z vyústky osvětlen vhodným světelným zdrojem a jeho obraz zaznamenán pomocí kamery nebo fotoaparátu. Získaný 2D obraz proudění je pak analyzován s cílem získat informace o směru proudění a geometrii proudu. V práci bude kladen důraz na detekci okrajů proudu a

Při hodnocení kvality vyústek je užitečné mít jednotnou metodiku zkoušení. Ta by měla být snadno aplikovatelná, robustní a univerzálně použitelná pro různé konfigurace větrání. Tato práce má za úkol upravit, aplikovat a ověřit metodiku navrženou studenty v předešlé diplomové práci.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše metod detekce okrajů proudu a obecně i prací věnovaných vizualizaci proudění z vyústek
- Revize uspořádání zkušebního zařízení a jeho seřízení, optimalizace záznamového řetězce
- Provedení experimentu vizualizace proudění z vyústky
- Analýza obrazu, vyhodnocení okrajů proudu s využitím volitelných kritérií, stanovení úhlu směřování proudu a případně homogenity proudu, přepočet výsledků do stanoveného systému souřadnic

Seznam odborné literatury:

PAVELEK, Milan;ŠTETINA, Josef. Experimentální metody v technice prostředí. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 215 s. ISBN 978-80-214-3426-4

NĚMEČEK, Pavel. Nejistoty měření. Praha: Česká společnost pro jakost, o. s., 2008. 96 s.

JANOTKOVÁ, E., Technika prostředí, Brno 2009, online skripta na: <http://ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/technika_prostredi/SylabyTP6.pdf>

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.

DALY, Steven. Automotive Air Conditioning and Climate Control Systems. [s.l.]: Butterworth-Heinemann, 2006. 432 s. ISBN 0-7506-6955-1.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 18.11.2013

L.S.

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

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá detekcí okrajů proudu vycházejícího z automobilové vyústky. Pro zviditelnění proudu byla zvolena vizualizace kouřem. Na snímky různých kvalit byly aplikovány tři vybrané detekční metody. Na základě detekovaných tvarů proudu a z toho vyplývajících úhlů směřování proudu byla posouzena vhodnost jednotlivých metod pro snímky dané kvality.

Klíčová slova

Experimentální vybavení, vyústka, vizualizace proudění, tvar proudu, segmentace obrazu, okraje proudu, úhly směřování proudu, vhodnost detekce.

Abstract

This work engages in flow boundaries detection that flows from a car ventilation outlet. Smoke visualization was chosen for the flow visibility. There were applied three detection methods on the pictures with different types of quality. It was evaluated a suitability of these detection methods for the pictures with different types of quality. This suitability was evaluated based on the detected shapes of the flow and obviously based on the detected direction angles.

Keywords

Experimental rig, ventilation outlet, flow visualization, flow shape, image segmentation, flow boundaries, flow direction angles, detection suitability.

Bibliografická citace

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.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Hodnocení funkčnosti větrací vyústky pro kabinu osobního vozu* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Jedelského, Ph.D a že jsem uvedl všechny literární prameny, odbornou literaturu a webové stránky, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 30. května 2014

.....
Petr Caletka

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Janu Jedelskému, Ph.D. za cenné rady a připomínky při odborných konzultacích. Dále děkuji Ing. Ondřeji Pechovi za spolupráci při revizi a úpravách experimentálního vybavení.

Zde publikované výsledky jsou výstupem výzkumné a vědecké činnosti NETME Centre, regionálního výzkumného a vývojového centra vybudovaného z finančních prostředků Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace v rámci projektu NETME Centre (Nové technologie pro strojírenství), Reg. č.: CZ.1.05/2.1.00/01.0002 a podporovaného v navazující fázi udržitelnosti prostřednictvím projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

This work is an output of research and scientific activities of NETME Centre, regional R&D centre built with the financial support from the Operational Programme Research and Development for Innovations within the project NETME Centre (New Technologies for Mechanical Engineering), Reg. No. CZ.1.05/2.1.00/01.0002 and, in the follow-up sustainability stage, supported through NETME CENTRE PLUS (LO1202) by financial means from the Ministry of Education, Youth and Sports under the „National Sustainability Programme I“.

Obsah

Úvod	11
1 Proudění	12
1.1 Parametry proudění.....	12
1.2 Proudění tekutiny v potrubí	12
1.2.1 Určení Reynoldsova čísla	13
1.3 Proudění tekutiny vystupující z vyústky.....	13
1.3.1 Určení Archimédova čísla	15
2 Vizualizace proudění.....	16
2.1 Vizualizace pomocí mlhy (kouře).....	16
2.2 Vizualizace pomocí zavádění částic	16
2.3 Vizualizace sledováním upravených povrchů	17
2.4 Vizualizace pomocí nit'ových sond	17
3 Vizualizace proudění z vyústek.....	18
3.1 Vizualizace zaváděním kouře do proudu	18
3.2 Vizualizace zaváděním cizích částic do proudu	19
3.3 Vizualizace sledováním upravených povrchů	20
4 Detekce objektů v obraze	21
4.1 Segmentace obrazu	21
4.2 Segmentační techniky (ST).....	21
4.2.1 ST založené na detekci hran	22
4.2.2 ST založené na detekci oblastí	23
4.2.3 ST založené na prahování.....	24
4.3 Určení okrajů proudu	25
4.3.1 Detekce podle úrovně	25
4.3.2 Detekce podle poměru	26
4.3.3 Detekce podle změny.....	26
4.3.4 Okrajové přímky proudu	27
5 Experimentální zařízení.....	28
5.1 Měřicí trať	28
5.1.1 Komponenty měřicí tratě	28
5.1.2 Měřicí přístroje, snímače a příslušenství	32
5.2 Záznamový řetězec	34
5.2.1 Komponenty záznamového řetězce	34
5.2.2 Optimalizace záznamového řetězce.....	36
6 Fáze experimentu	40
6.1 Příprava měřicí tratě.....	40

6.2	Příprava záznamového řetězce	40
6.3	Pořízení snímků.....	41
6.4	Vyhodnocení snímků.....	41
6.5	Přepočet úhlů směřování do souřadného systému automobilu	41
7	Vyhodnocení experimentu.....	42
7.1	Volba parametrů detekčních metod.....	44
7.2	Vyhodnocení snímků jednotlivých kvalit.....	47
7.2.1	Snímky s výraznými rušivými jevy	47
7.2.2	Snímky bez výrazných rušivých jevů	51
7.2.3	Snímky bez rušivých jevů (upraveny v PC).....	55
7.3	Vhodnost detekčních metod	59
7.3.1	Detekce podle úrovně.....	59
7.3.2	Detekce podle poměru	59
7.3.3	Detekce podle změny	60
Závěr		61
Seznam použité literatury.....		62
Seznam použitých symbolů		65

Úvod

Větrací vyústky v kabině osobního automobilu (ofukovače) jsou součástí vytápěcího a klimatizačního systému, který jako celek ovlivňuje nemalou měrou tepelný komfort pasažérů. Správná funkce větracích vyústek pozitivně přispívá k tepelnému komfortu uvnitř automobilu. V případě pozitivního dopadu, zejména na řidiče, také přispívá k aktivní bezpečnosti. Funkce větracích vyústek je reprezentována charakterem vystupujícího proudového pole.

Pro analýzu a zjišťování charakteristik proudového pole z vyústky byla v laboratoři větrání sestavena speciální měřicí trať umožňující nastavení požadovaného průtoku a měření teploty proudu ve dvou různých místech. Trať byla revidována a doplněna zejména o testovací benchmarkovou vyústku umožňující rozsáhlou měnitelnost jejích charakteristik. Měřicí trať byla upravena i z hlediska vhodnějšího prostorového uspořádání měřících přístrojů.

Oblast proudového pole je ve dvou na sebe kolmých rovinách zviditelněna kouřovou vizualizační metodou a zaznamenána záznamovým řetězcem (generátor kouře, laserový nůž a fotoaparát). U záznamového řetězce byla provedena základní optimalizace včetně částečné automatizace ovládání. Dílčí výsledky této optimalizace jsou v práci publikovány.

Okrajové body proudu jsou nalezeny pomocí vhodné detekční metody na principu obrazové segmentace. Body jsou následně proloženy okrajovými přímkami proudu. Úhlové odchylky těchto přímek od osy X v rovině X - Y , resp. X - Z definují vybočení proudu (α), resp. sklon proudu (β) v souřadném systému světelné roviny. Pro přepočítání těchto odchylek do souřadného systému automobilu je využito známých empirických vztahů používaných již při vyhodnocování předchozích experimentů.

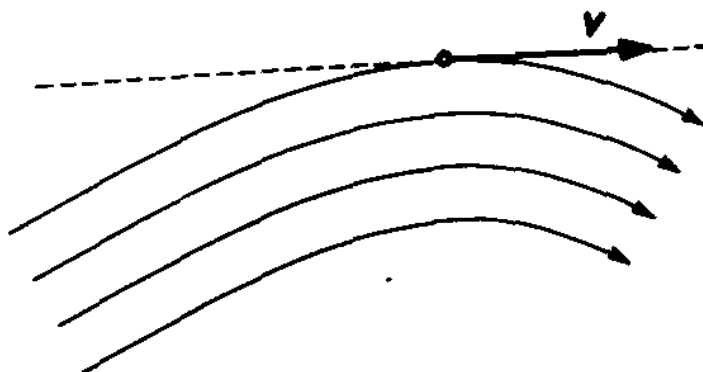
Na vhodnost použití jednotlivých detekčních metod může mít vliv např. nerovnoměrnost osvětlení scény na snímku či přítomnost a míra rušivých jevů. Snímky pořízené při kouřové vizualizaci obsahují rušivé jevy, tj. oblasti vizualizační látky nepatřící k hlavnímu proudu, velmi často, a ne vždy jim lze úplně předejít. U některých detekčních metod jsou tyto kvalitativní nedostatky dokonce zásadní překážkou ke správné detekci.

Jedním z praktických cílů této práce je analýza kvalitativně rozdílných snímků třemi principiálně různě fungujícími detekčními metodami. Pomocí vytvořeného kvalitativního klíče je následně posouzena odolnost konkrétní detekční metody vůči konkrétní míře rušivých jevů na vyhodnocovaném snímku. Tím pádem je určen i předpoklad vhodnosti použití konkrétní metody.

1 Proudění

Proudění je definováno jako pohyb částic tekutiny po určitých trajektoriích (analogie pohybu hmotného bodu). Trajektorie je v případě stacionárního proudění totožná s proudnicí, jejíž tečna určuje směr vektoru rychlosti dané částice. Na proudění tekutin může být nahlíženo více způsoby a podle toho je také možno jednotlivé druhy proudění rozdělit:

- Podle fyzikálních vlastností tekutin – vířivé a nevířivé (ideální tekutina); laminární a turbulentní (reálná tekutina)
- Podle kinematických hledisek – 1D, 2D, 3D proudění (uspořádání proudění v prostoru); ustálené a neustálené (závislost na čase) [2; 3]



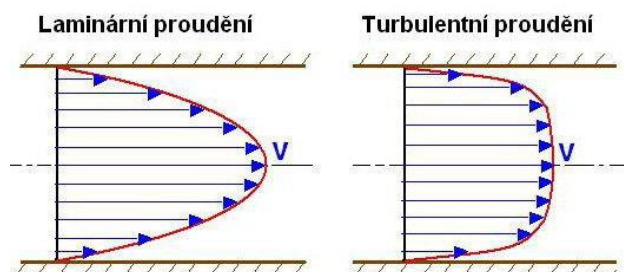
OBR. 1 - PROUDNICE S NAZNAČENÝM VEKTOREM RYCHLOSTI [4]

1.1 Parametry proudění

Pro další práci je zkoumaný proud v základních obrysech přiřazen již známým skupinám popsanych v literatuře [5]. Zkoumaný proud je důsledkem tzv. nuceného větrání. Do prostoru je přiváděn vzduch ventilátorem a prostřednictvím vodorovného potrubí s vyústkou. Analyzovat se bude proud vzduchu z pohledu mechaniky tekutin (proudění v potrubí) a techniky prostředí (proudění z vyústky do prostoru). [6]

1.2 Proudění tekutiny v potrubí

Z rychlostního hlediska se dělí proudění jakékoliv tekutiny v potrubí na laminární a turbulentní. Laminární proudění je specifické tím, že se trajektorie částic tekutiny neprotínají. Vzniká při poměrně malých rychlostech a 2D model rychlostního profilu má tvar paraboly (Obr. 2). Proudění turbulentní naopak vzniká při větších rychlostech a 2D model rychlostního profilu se více blíží obdélníku. Trajektorie částic tekutiny se v tomto případě protínají. [2; 7]



OBR. 2 - RYCHLOSTNÍ PROFILY V POTRUBÍ [2]

Ke zjištění skutečnosti, zda se jedná o proudění laminární či turbulentní, slouží tzv. bezrozměrná rychlost – Reynoldsovo číslo Re . Aby bylo možné označit proudění jako

turbulentní, Re by muselo mít větší hodnotu než cca 2000 (platí pro kruhové potrubí). V opačném případě se jedná o proudění laminární. [3]

Vztah pro Reynoldsovo číslo

$$Re = \frac{wL}{\nu} \quad (1)$$

1.2.1 Určení Reynoldsova čísla

Hodnota Reynoldsova čísla se zjišťuje pro objemové průtoky Q_V 33,5 m³/h a 80,6 m³/h, resp. pro jejich odpovídající střední rychlosti w , které lze zjistit z rovnice kontinuity: $Q_V = S \cdot w$ (2). Po úpravě bude výsledný vztah pro střední rychlost: $w = \frac{Q_V}{S}$ (3). Hodnota charakteristického rozměru L vychází z použití měřicí tratě DN 65 PN 40 od firmy Mattech a odpovídá vnitřnímu průměru potrubí d 69,6 mm. Kinematická viskozita vzduchu ν se určí z tabulek pro smlouvenou teplotu v laboratoři 20 °C a relativní vlhkost 50 %. Její hodnota je $1,514 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. [6; 8]

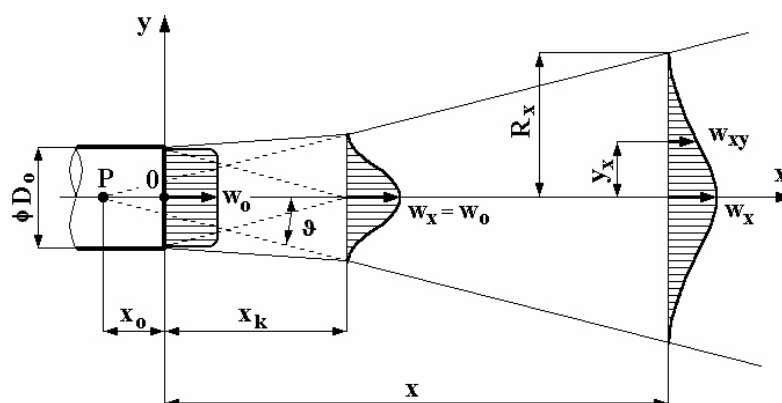
TABULKA 1 - VÝPOČET REYNOLDSOVA ČÍSLA

Průtok Q_V [m ³ ·s ⁻¹]	Střední rychlost w [m·s ⁻¹]	Reynoldsovo číslo Re [-]
$8,47 \cdot 10^{-3}$	2,23	10237
$22,3 \cdot 10^{-3}$	5,88	27053

Výpočet Reynoldsova čísla pro oba uvažované průtoky ukazuje, že jeho hodnota velmi výrazně převyšuje hodnotu 2000, která odlišuje laminární a turbulentní proudění (viz. Tab. 1). Lze proto konstatovat, že proudění v kruhovém potrubí měřicí tratě je turbulentní.

1.3 Proudění tekutiny vystupující z vyústky

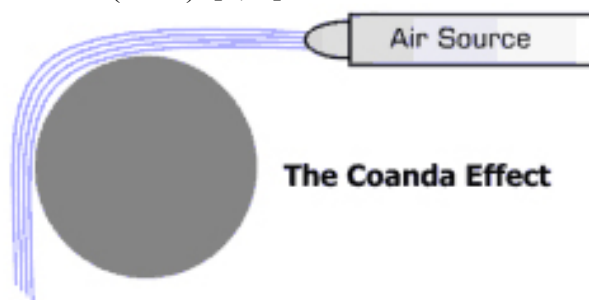
Proud vzduchu vystupující z vyústky je z hlediska techniky prostředí téměř vždy turbulentní, jelikož se jedná o větraný prostor. Jeho turbulentní charakter je navíc potvrzen výpočtem Re (viz Tab. 1), protože se předpokládá rovnost výtokové rychlosti w_0 a střední rychlosti w . [5]



OBŘ. 3 - SCHÉMA VOLNÉHO IZOTERNÍHO PROUDU Z KRUHOVÉ VYÚSTKY [5]

Základem pro objasnění parametrů proudu je volný izotermní proud (viz Obr. 3). Proudění z vyústek do prostoru lze rozdělit podle více hledisek. Zprvce na proud volný a omezený. Volný proud nemá ve své cestě žádné překážky, navíc je předpokládáno, že není ovlivňován okolními stěnami či jinými tělesy. Opakem je proud omezený, u kterého se předpokládá ovlivňování jeho okrajů např. zmiňovanými stěnami. Svou roli tady hraje také

Coandův jev (Obr. 4). To znamená, že proudící vzduch vyvolává tlakové síly, které způsobí jeho přilnutí k obtékanému tělesu (stěně). [7; 9]



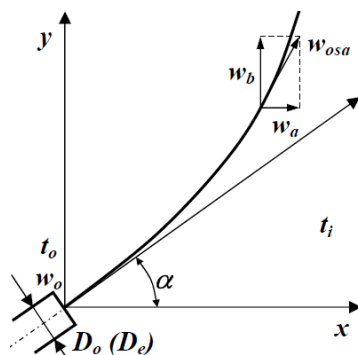
OBR. 4 - PRINCIP COANDOVA JEVU [10]

Kabina osobního automobilu je typickým příkladem prostoru s mnoha zakřivenými stěnami, tudíž by měl být proud vystupující z ofukovače charakterizován jako omezený, na základě zjednodušení problému však bude charakterizován jako volný. Oblast zájmu¹ je totiž proudové pole v maximální vzdálenosti jednoho metru od vyústky. Vyhodnocovaná oblast se tedy nachází dostatečně daleko od ploch, které by mohly ovlivňovat směřování proudu. V daných laboratorních podmínkách navíc nejsou stěny kabiny simulovány. [7; 11]

V laboratoři je klidné okolní prostředí. Proud, který vystupuje z vyústky, má stejné fyzikální vlastnosti jako okolní prostředí. Dle těchto hledisek je označen jako proud zatopený. [1; 11]

Podle charakteru proudění je zkoumaný proud charakterizován jako přívod vzduchu osamocenou vyústkou. Důvodem jsou rozměry větrací vyústky v kabině automobilu, které jsou podstatně menší než prostor, do kterého je vzduch přiváděn. Proud vystupující z takové vyústky získává po krátké vzdálenosti parametry proudění z kruhové vyústky a jeho hranice tvoří kuželovou plochu. [5]

Poslední důležitou charakteristikou je izotermní či neizotermní charakter proudu. Pokud je teplota přiváděného vzduchu stejná jako teplota okolí, jedná se o proud izotermní a do okolí se šíří přímočaře, a to stejným směrem, který udává osa vyústky (viz Obr. 3). Pokud má však proud teplotu výrazně odlišnou od okolního prostředí, jeho osa se odchyluje od původní osy vyústky (Obr. 5). [5]



OBR. 5 - ZAKŘIVENÍ OSY NEIZOTERMNÍHO PROUDU [5]

Ke zjištění izotermního či neizotermního charakteru proudu slouží Archimédovo číslo Ar_0 , které vyjadřuje poměr vztlačových a setrvačných sil, které působí na částice vzduchu. Je-li $Ar_0 \leq 0,001$, jedná se o mírně neizotermní proud, pokud je však $Ar_0 > 0,01$, jedná se o silně neizotermní proud. [12]

¹ Oblast zájmu proudového pole – Odpovídá pojmu “pracovní oblast proudu”, vysvětlen dále na str. 33.

Vztah pro Archimédovo číslo

$$Ar_o = \frac{g l_o |T_o - T_i|}{w_o^2 T_i} \quad (4)$$

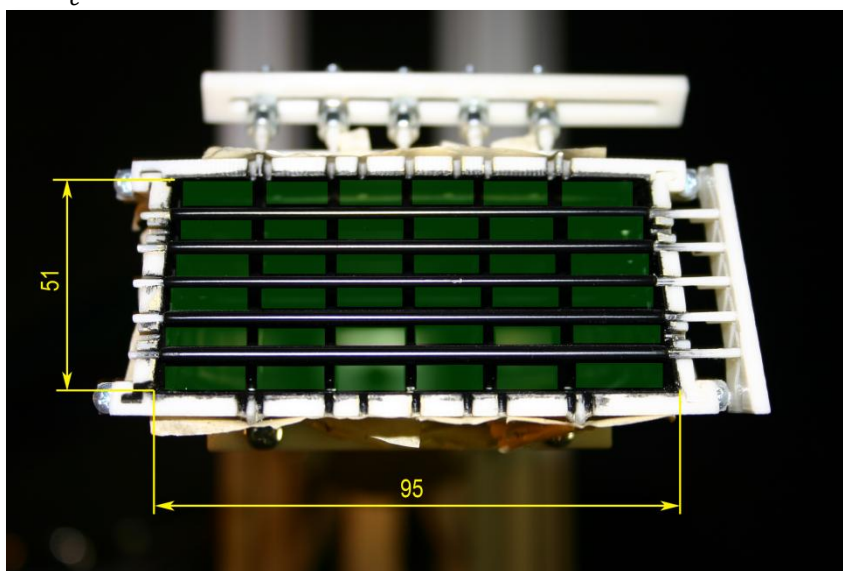
1.3.1 Určení Archimédova čísla

Ke zjištění Archimédova čísla bylo v případě zkoumané vyústky potřeba experimentálně změřit 4 veličiny, a to charakteristický rozměr l_o , výtokovou rychlost w_o , teplotu vystupujícího proudu T_o a teplotu okolí T_i .

Charakteristický rozměr pro čtyřhrannou vyústku l_o je ekvivalentní průměr D_e , který se určí ze vztahů:

$$l_o = D_e = 1,128 \sqrt{S_o} \quad (5)$$

$$S_o = \tau \kappa S_c \quad (6)$$



OBR. 6 - POMĚR PLOCHY OTVORŮ VYÚSTKY (ZELENĚ) A JMENOVITÉHO PRŮŘEZU (95×51 MM) URČUJE KOEFICIENT K

Výtoková rychlost w_o a teplota T_o byla změřena pomocí měřicí stanice Testo 454 Logger s termickým anemometrem a NTC senzorem. Průměr žhavené kuličky je 4 mm a měřicí rozsah umožňuje zaznamenat rychlosti až 10 m/s při teplotách od -20 °C do 70 °C.[13] Teplota T_i byla zaznamenána pomocí měřicí stanice Testo 400. Všechny délkové rozměry potřebné k výpočtu průřezů byly změřeny posuvným měřítkem. Jelikož zadavatele, firmu ŠKODA AUTO, zajímají 2 různé průtoky, Archimédovo číslo je pro oba případy uvedeno v tabulce (Tab. 2).

TABULKA 2 – VÝPOČET ARCHIMÉDOVA ČÍSLA ($T_i = 16,75$ °C, $T_o = 20,75$ °C)

Průtok Q_V [m ³ ·s ⁻¹]	Výtoková rychlost w_o [m·s ⁻¹]	Archimédovo číslo Ar_o [–]
$8,47 \cdot 10^{-3}$	2,35	$1,2 \cdot 10^{-3}$
$22,39 \cdot 10^{-3}$	5,8	$4,82 \cdot 10^{-6}$

Výpočty ukazují, že i nejvyšší hodnoty Archimédova čísla výrazně nepřekračují hraniční hodnotu zmíněnou výše. Platí tedy, že se jedná o mírně neizotermní proud. Na základě zjednodušení problému však bude považován za proud izotermní. Odklon jeho osy je totiž v rámci zjednodušení zanedbatelný. Z těchto výsledků vyplývá, že se jedná o volný izotermní proud odpovídající kruhové vyústce. [7; 12]

2 Vizualizace proudění

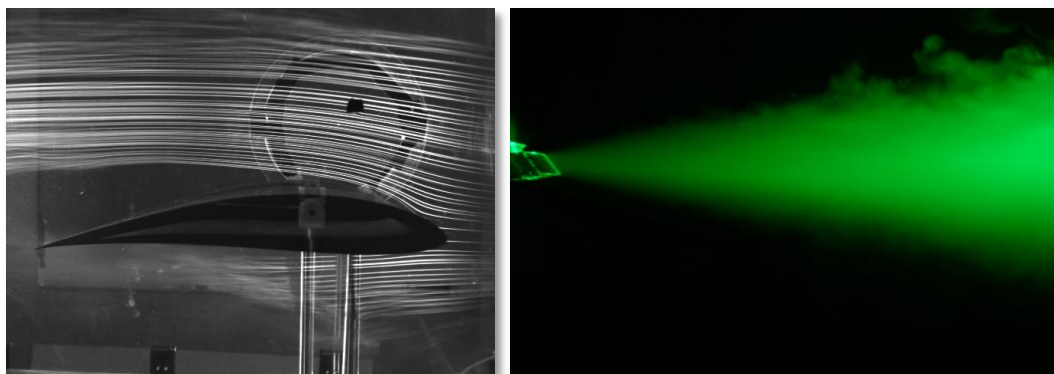
Proudové pole jakéhokoliv typu je často potřeba charakterizovat z různých hledisek. Zkoumání geometrie či časového vývoje proudového pole je důležité při hledání souvislostí s jeho fyzikálními vlastnostmi. Trajektorie částic tekutiny v uzavřeném prostoru, popř. proudové pole ve volném prostoru však není v mnoha případech bez vnějšího zásahu viditelné. Vizualizační metody jsou způsob, jak fyzikální veličiny proudového pole zviditelnit. Výsledky těchto metod jsou vždy použitelné k jeho kvalitativnímu vyhodnocení. Pokud jsou dobře známy i závislosti mezi proudící látkou a vizualizační látkou, lze proudové pole vyhodnotit i kvantitativně. [14; 15] Následuje přehled metod, které jsou vhodné pro vizualizaci proudového pole vzduchu.

2.1 Vizualizace pomocí mlhy (kouře)

Existují dva základní způsoby přivádění mlhy do proudu. Jsou-li bodem zájmu trajektorie částic tekutiny, mlha je vytvářena odpařováním oleje z tenkých drátů zavedených do proudu (metoda „smoke-wire“, Obr. 7). Tím vzniknou tenká kouřová vlákna, která je možno ztotožnit s trajektoriemi. Je tedy možné sledovat vlastnosti laminárního i turbulentního proudění. Tato metoda je často praktikována v dýmovém tunelu, kde je možné sledovat např. obtékání cizích těles v proudovém poli (Obr. 7). [14]

V druhém případě se jedná o kouřovou vizualizaci proudu ve volném prostoru. Podstata je zviditelnění celého proudového pole (Obr. 7). Mlha je přiváděna do proudu souvisle generátorem kouře, a to maximálně v takovém množství, které je schopen proud pojmout. Výsledkem jsou tedy informace o celkovém tvaru, popř. směřování proudu. Tento způsob je vhodný pro vizualizaci proudu z vyústek. [15]

V obou případech kouřové vizualizace je nutné osvětlit buď příslušný řez proudu, nebo zkoumaný prostor vhodným světelným zdrojem (zpravidla laserem). Záznamovou kamerou (fotoaparát) se pořídí obrazový záznam osvětlené scény pro další zpracování.

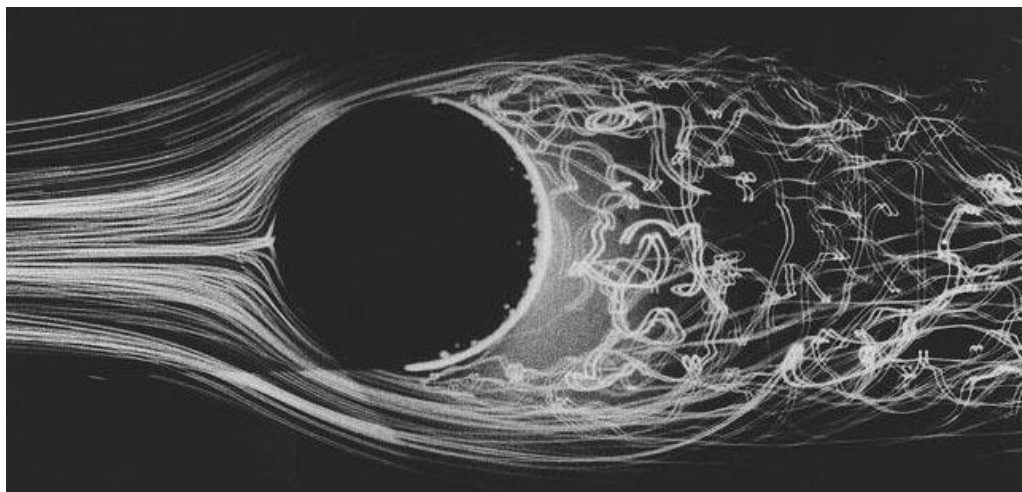


OBR. 7 – PROUD ZVIDITELNĚNÝ METODOU „SMOKE-WIRE“ (VLEVO) [14], PROUDOVÉ POLE ZVIDITELNĚNÉ KOUŘOVOU METODOU (VPRAVO)

2.2 Vizualizace pomocí zavádění částic

Princip spočívá v zavádění takových částic do proudového pole, které jsou rozpoznatelné pouhým okem. Jejich velikost a hmotnost však musí být taková (dostatečně malá), aby co nejméně ovlivňovaly proudění. Vizualizační částice vhodné pro vzduchový proud jsou např. heliové bublinky (Obr. 8) či termoplastické kuličky naplněné plynem. Při vyšších rychlostech lze použít i pevný metylaldehyd nebo hliníkový prach. Tyto metody jsou vhodné především k určení rychlostního pole proudu. [15]

Vhodným osvětlením (laserem) je zviditelněn příslušný řez proudy a záznamovou kamerou je tento řez digitalizován. Nastavením určité časové prodlevy mezi snímky nebo delšího expozičního času je možné ze získaných snímků zjistit rychlostní pole proudy. [15]



OBR. 8 – VIZUALIZACE PROUDĚNÍ POMOCÍ HELIOVÝCH BUBLINEK [14]

2.3 Vizualizace sledováním upravených povrchů

Pro kvalitativní vyhodnocení vzduchového proudového pole lze také využít vizualizačních metod založených na sledování speciálně upravených povrchů. Princip spočívá v obtékání proudy kolem plochy se speciálním nátěrem či vrstvou. Tato vrstva je pak schopna buďto chemicky, fyzikálně, nebo mechanicky reagovat na proudění (např. změnou barvy, nanášením drobných částic na povrch apod.) a zviditelnit tak jeho trajektorie. [15]

2.4 Vizualizace pomocí nitových sond

K vizualizaci směru i charakteru proudění lze využít také metody nitových sond. Je možné ji použít ke zviditelnění proudění kolem trupů letadel nebo automobilových karoserií. V uzavřených prostorech však lze uplatnit také. [14] Nitová sonda (často vyrobená z nylonového vlákna), která by neměla přesahovat délku 2 cm, je připevněna na zkušební těleso a toto těleso je vloženo do proudového pole. Pokud je proudění laminární, vlákno indikuje v tomto místě směr proudění. Při turbulentním proudění se sondy pohybují chaoticky všemi směry. Trhavé pohyby nití znamenají místo odtržení proudy. [15]



OBR. 9 – NITOVÉ SONDY NA TRUPU LETADLA [16]

3 Vizualizace proudění z vyústek

Vizualizací proudění z vyústek je možné zjistit informace o vystupujícím proudu ve volném prostoru. Může se jednat o jeho tvar, směřování, časový vývoj, rychlostní pole apod. Nejvhodnějšími a nejpoužívanějšími vizualizačními způsoby pro proudění z vyústek jsou metody na principu zavádění kouře nebo cizích částic do proudu. Vhodným vizualizačním způsobem může být i sledování upravených povrchů.

3.1 Vizualizace zaváděním kouře do proudu

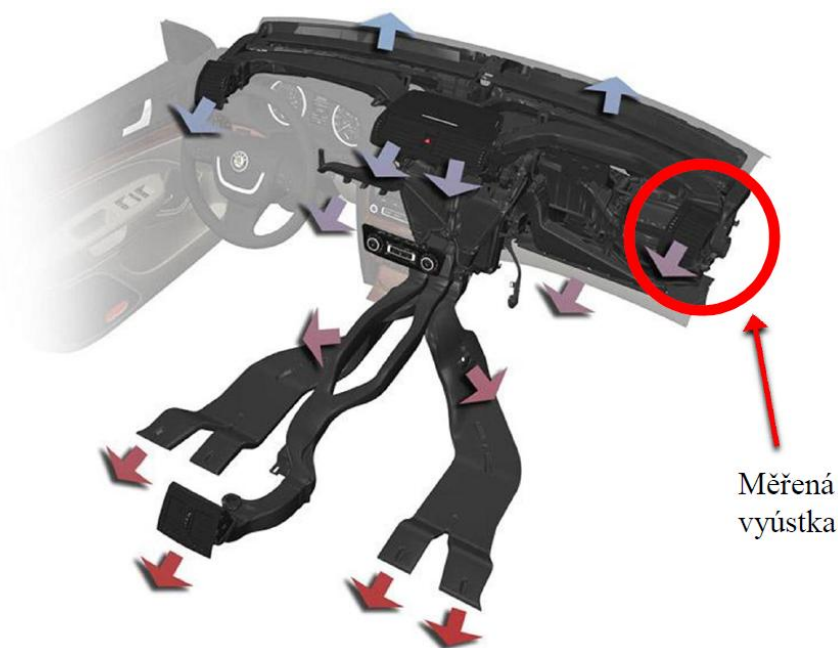
Cílem tohoto typu vizualizace je zviditelnění proudu ve volném prostoru. Její princip je popsán výše (viz kap. 2.1). Výstupem je snímek se zviditelněnou oblastí proudu, který je dále vyhodnocován vhodnou segmentační technikou (viz kap. 4). Hlavními zájmy zde bývá tvar a směřování proudu v definovaném prostoru.

Proudění z vyústek ve vnitřních prostorech budov zkoumá pomocí kouřové metody např. McQuillan a kol. [17]. V této práci řeší aktivní regulaci přívodu vzduchu v klimatizovaných prostorech a je zde také využita segmentační obrazová technika pro určení okraje proudu (Obr. 10).



OBR. 10 – ZVIDITELNĚNÁ OBLAST PROUDU (VLEVO), DETEKOVANÁ HRANICE PROUDU (VPRAVO) [17]

Proudění z automobilových vyústek je pomocí kouřové vizualizace řešeno už několik let na Energetickém ústavu FSI VUT v Brně. Publikované závěrečné práce [1] a [11] se zabývají určením oblasti proudu (okrajů a jeho směřování) z pravé přední vyústky automobilu Škoda Octavia 2 (Obr. 11).

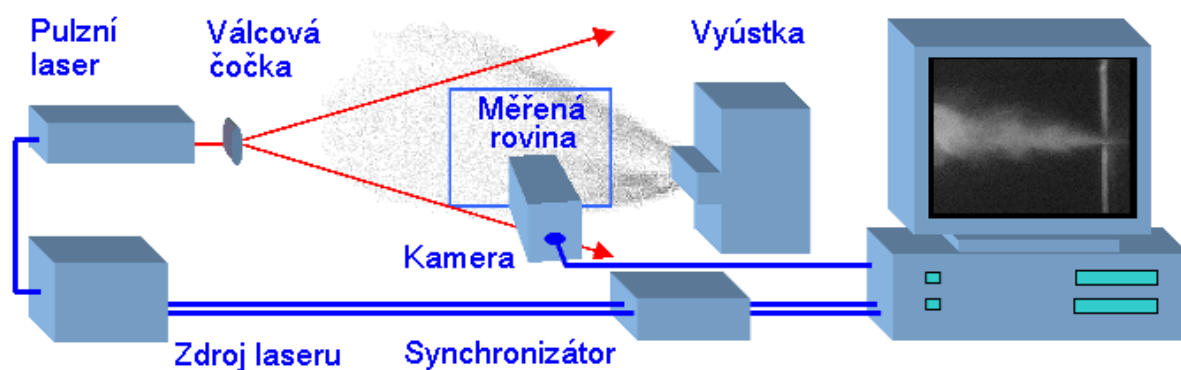


OBR. 11 – VZDUCHOTECHNIKA VOZU ŠKODA OCTAVIA 2 [1]

3.2 Vizualizace zaváděním cizích částic do proudu

Vizualizace proudění z vyústek pomocí tohoto způsobu (viz kap. 2.2) je mnohem více používaná než kouřová vizualizace. Kromě zviditelnění proudu totiž tento způsob umožňuje kvantifikovat i jeho rychlostní pole, ve valné většině metodou PIV (Particle Image Velocimetry).

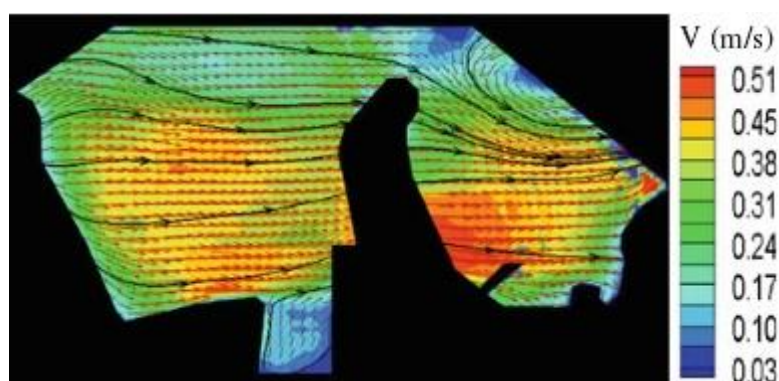
PIV metoda (Obr. 12) je speciálním typem vizualizační metody fungující na principu zavádění cizích částic do proudu. Takto vizualizovaný proud je osvětlen světelnou rovinou s pulzním laserem a zaznamenán pomocí kamery, která je s tímto laserem časově synchronizována. Časová prodleva mezi pořízenými snímky je tedy známá hodnota. Na jednom snímku je identifikována poloha částice a na základě změny této polohy na druhém snímku, lze určit její rychlost. [15]



OBR. 12 – KOMPONENTY PRO PIV METODU [15]

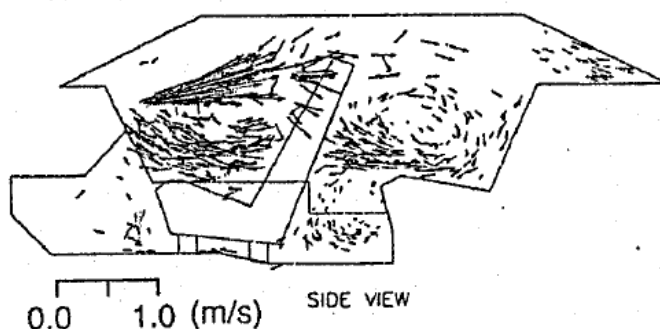
Proudění z obdélníkové vyústky zkoumá pomocí metody PIV např. Gori a kol. [18]. Práce se zabývá tím, jak závisí vlastnosti proudu na Reynoldsově čísle. Konkrétně zkoumá délku tzv. nenarušené oblasti proudění, která se s rostoucí hodnotou Reynoldsova čísla zkracuje.

Prouděním z automobilových vyústek se zabývá pomocí PIV metody např. Lee a kol. [19]. Vyhodnocované roviny jsou přímo v prostředí reálného automobilu (Obr. 13) a jako vizualizační látka je použit olivový olej s velikostí kapek 1 – 3 μm .



OBR. 13 – RYCHLOSTNÍ POLE PROUDĚNÍ V CENTRÁLNÍ ROVINĚ AUTOMOBILU [19]

Pomocí metody na principu PIV bylo řešeno proudění z vyústek v kabině automobilu i v práci [20]. Zde byl vyhodnocován zmenšený model kabiny automobilu (v měřítku 1:4), přičemž prostředí bylo reprezentováno vodou a zavedené částice byly polystyrenové kuličky o průměru 0,4 mm. Změřené rychlostní pole v centrální rovině je znázorněno na obrázku (Obr. 14).

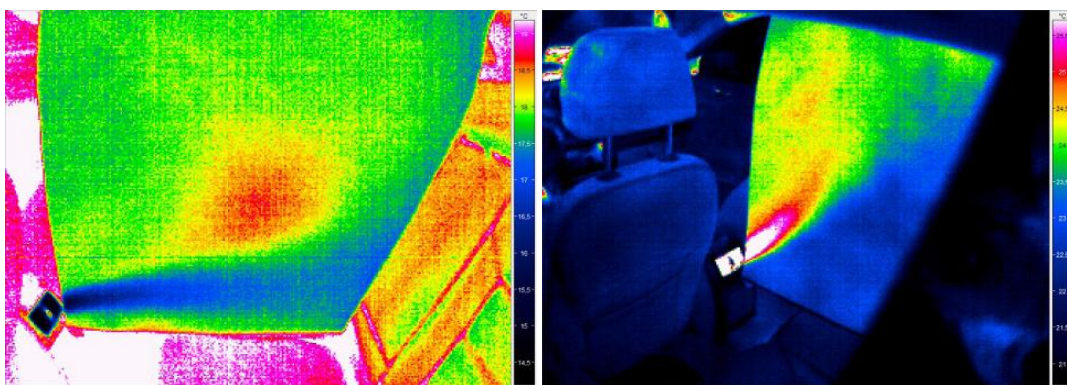


OBR. 14 – RYCHLOSTNÍ POLE PROUDĚNÍ V CENTRÁLNÍ ROVINĚ AUTOMOBILU [20]

3.3 Vizualizace sledováním upravených povrchů

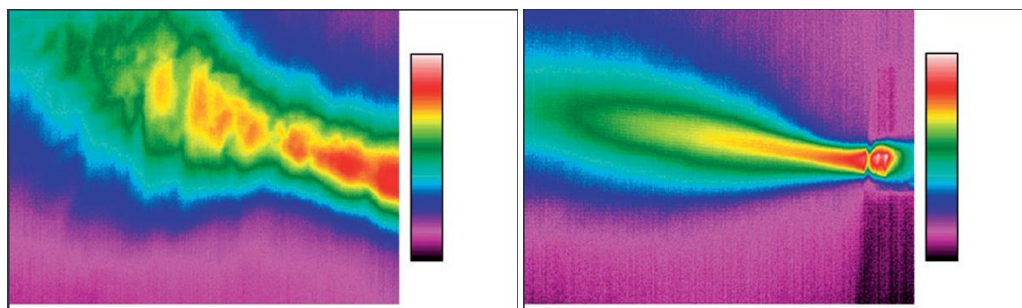
Princip vizualizace pomocí upravených povrchů spočívá v určité změně tohoto povrchu. Podrobněji je tento princip popsán v kap. 2.3. Tento typ vizualizace sice není typický a mnoho používaný pro proudění z vyústek, v některých pracích se však vyskytuje.

Např. práce [21] se zabývá měřením teplotního pole proudu z automobilové vyústky pomocí termovize. Teplotní pole je termovizí detekováno na materiálu s vysokou emisivitou, konkr. na kancelářském papíře. Na základě takto zviditelněného teplotního pole lze určit oblast a směřování proudu (Obr. 15).



OBR. 15 – STUDENÝ (VLEVO) A TEPLÝ (VPRAVO) VIZUALIZOVANÝ PROUD [21]

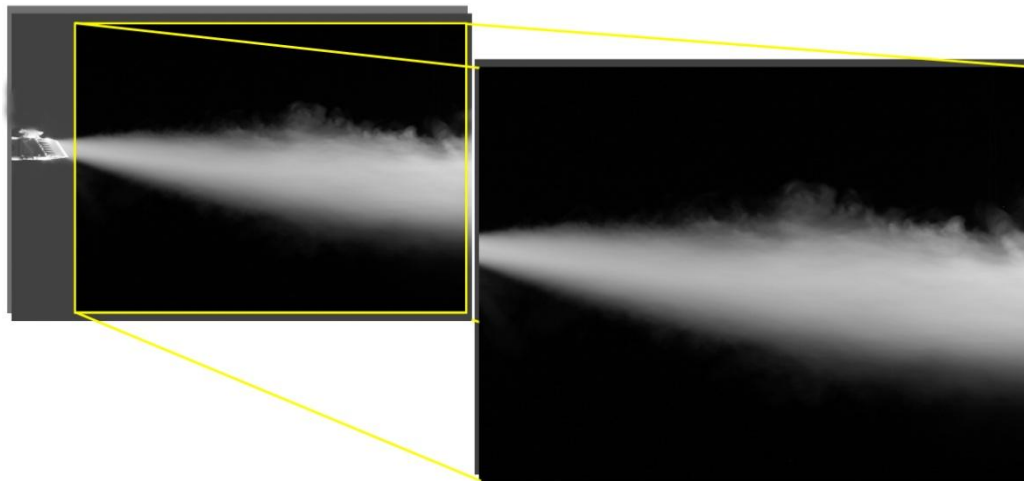
Proudění vzduchu z mobilního elektrického přímotopu rozebírá pomocí termovizní vizualizace Jančík a kol. [22]. Jako zkoumaný povrch byla zvolena kartonová deska, protože oproti původně zvolenému archu papíru měla lepší výsledky (Obr. 16).



OBR. 16 – TERMVIZNÍ VIZUALIZACE NA ARCHU PAPIRU (VLEVO) A NA KARTONOVÉ DESCE (VPRAVO) [22]

4 Detekce objektů v obraze

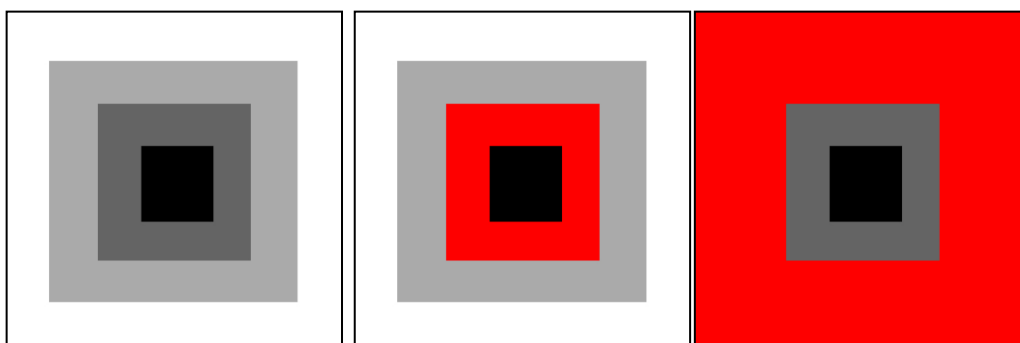
Výstupem kouřové vizualizační metody ve volném prostoru, je digitalizovaný 2D obraz typu 1^2 (Obr. 17). Primárním úkolem je segmentace obrazu, která jej rozdělí na 2 oblasti (segmenty). Jedná se o oblast proudu (objekt) a oblast okolního prostředí (pozadí). Takového rozdělení je možné dosáhnout použitím různých segmentačních technik.



OBR. 17 – OBRAZ S VYZNAČENOU PRACOVNÍ OBLASTÍ PROUDU URČENOU K SEGMENTACI

4.1 Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je definována jako rozdělení obrazu na části, které korespondují s konkrétními objekty v obraze. Každý pixel je přiřazen určitému objektu v obraze. Tento proces je jedním z nejdůležitějších při zpracování obrazu, protože právě takto získaná data se dále zpracovávají. Oblasti mohou být detekovány na základě splnění různých podmínek, např. všechny pixely v oblasti mají stejnou hodnotu jasu, popř. hodnota jasu se neliší o definovanou hodnotu apod. (Obr. 18) [23; 24]



OBR. 18 – ORIGINÁL (VLEVO), OBLAST S PODMÍNKOU STEJNÉ HODNOTY JASU (UPROSTŘED), OBLAST S PODMÍNKOU HODNOTY JASU „VĚTŠÍ NEŽ“ (VPRAVO)

4.2 Segmentační techniky (ST)

Technik, jak dosáhnout požadované segmentace, existuje nespočet a jsou založeny na různých principech. Pro bližší pochopení těchto principů se ST zařazují do následujících kategorií, jsou to ST založené na:

- Detekci hran (edge-based segmentation)
- Detekci oblastí (region-based segmentation)
- Prahování (thresholding-based segmentation)

[25]

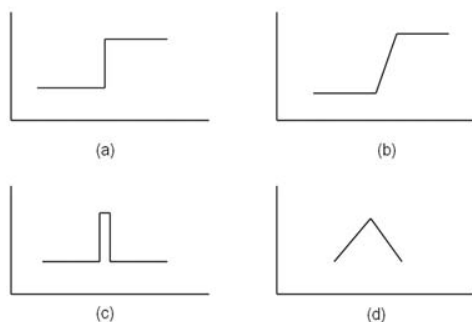
² Obraz typu 1 – Definováno v [37], jedná se o snímek vizualizovaného proudu v laboratorních podmínkách.

4.2.1 ST založené na detekci hran

Techniky tohoto typu aplikují na obraz hranový detektor. Na základě výstupu hranového detektoru jsou pixely označeny buď jako hrany, nebo objekty mezi hranami. Výsledné segmenty jsou tedy takto vzniklé objekty. [25]

Detekce hran (*Edge detection*)

Detekce hran je jedna z nejpoužívanějších metod v rámci segmentačních technik. Hrana je v obraze definována jako významná lokální změna jasu, která je spojena buď s nespojitostí obrazové funkce, nebo její první derivace. Rozeznáváme 2 základní typy ideálních hran, a to hrany typu „step“ a „line“ (Obr. 19). Hrana „step“ je typická změnou jasu na jinou úroveň, na které zůstává. Hrana „line“ dosáhne jiné jasové hodnoty pouze v jednom bodě (Obr. 19). V reálném obraze se však tyto ideální hrany vyskytují vzácně, proto je nahrazujeme reálnými modely s postupnou změnou jasu „ramp“ a „roof“ (Obr. 19). [26]



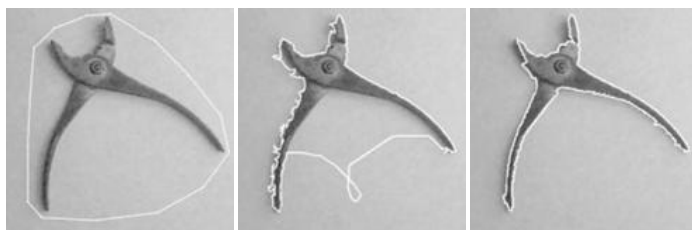
OBR. 19 – TYPY HRAN: STEP (A), RAMP (B), LINE (C), ROOF (D) [26]

Detekce hran se skládá ze třech fází: filtrace, zvýraznění a detekce. K odstranění nežádoucího šumu lze využít vhodný filtr, následně se zvýrazní oblasti, kde dochází k významné změně jasu a nakonec se vyberou ty body v oblasti, kde je jasová změna největší. [23]

Metody detekce využívají první nebo druhé derivace obrazové funkce. Provede-li se první derivace obrazové funkce, hrana je hledána v místě maxima první derivace. Při výpočtu druhé derivace je hrana hledána tam, kde druhá derivace prochází nulou. Derivace obrazové funkce je ovšem složitý úkol, a proto je častěji pro určení hran využíván některý z hranových operátorů. Tyto operátory aproximují derivace. [27]

Aktivní kontury (*Active contours, snakes*)

Aktivní kontury jsou uzavřené křivky, které se postupně deformují až k hraně. Na jejich deformaci mají vliv vnitřní síly (kontrolují hladkost průběhu), obrazové síly (směřují deformaci kontury směrem k hraně) a vnější síly (výsledek počátečního umístění kontury). Jakmile dosáhne kontura hrany, její deformace se zastaví (Obr. 20). [23]



OBR. 20 – ZLEVA: POSTUPNÁ DEFORMACE AKTIVNÍ KONTURY [23]

Metoda aktivních kontur pracuje nejen na principu klasické detekce hran (hledání gradientu obrazové funkce), ale existuje i ve verzi, která je vhodná pro objekty s neostrými hranicemi. [28]

Další techniky

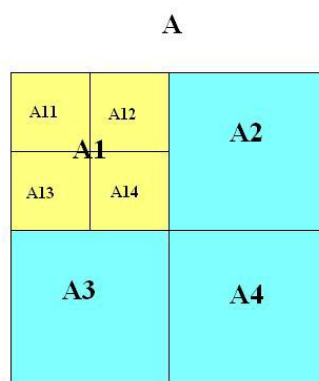
Mezi další techniky umožňující nalezení hran patří např. Houghova transformace nebo level-set segmentace. [23]

4.2.2 ST založené na detekci oblastí

Tyto techniky hledají segmenty přímo, a to určením homogenních oblastí např. se stejnou či nevýrazně lišící se úrovní jasu či barvy. Metody tohoto typu jsou výrazně odolnější vůči šumu než techniky v kap. 4.2.1. [29]

Rozdělování a spojování oblastí (Split and merge method)

Princip této metody spočívá v rozdělení obrazu na oblasti, které se navzájem nepřekrývají. Proběhne test homogenity jednotlivých oblastí podle předem zadaného kritéria. Pokud algoritmus vyhodnotí, že je oblast dostatečně homogenní, oblast již dále nedělí, v opačném případě proběhne další dělení a další test homogenity. Princip dělení na oblasti je znázorněn na obrázku (Obr. 21). [29]



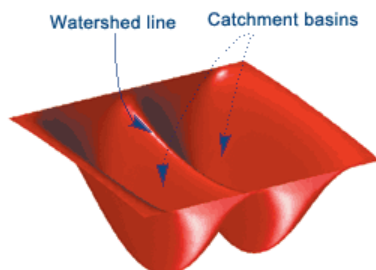
OBR. 21 – PRINCIP DĚLENÍ OBLASTI A METODOU SPLIT AND MERGE [29]

Narůstání oblastí (Region growing)

Metoda narůstání oblastí je startována jakýmsi startovacím pixelem, který je externě zadán do obrazu. Kritérium homogenity je nyní testováno na definovaném okolí tohoto pixelu. Pokud pixely v tomto okolí s definovanou pravděpodobností splňují toto kritérium, jsou do detekované oblasti zahrnuty, v opačném případě nárůst oblasti končí. Tento postup se může opakovat vícekrát, protože ne vždy k detekci požadované oblasti stačí pouze jeden startovací pixel. Jednotlivé oblasti jsou následně spojeny do jedné výsledné oblasti. [23; 30]

Segmentace postupného zaplavování (Watershed segmentation)

Tato často používaná metoda pro určení oblastí funguje na principu zaplavování. Obraz je brán v úvahu jako topografický terén (Obr. 22, čím vyšší světelná intenzita, tím vyšší nadmořská výška), který je postupně zaplavován vodou od nejnižších poloh. Takto vzniklé vodní plochy se nazývají povodí (catchment basins). Zaplavování končí, jakmile by voda přetekla do jiného povodí, takto vzniklá hráz se nazve rozvodím (watershed line). Rozvodí je zároveň hranicí segmentované oblasti. [31]



OBR. 22 – ZNÁZORNĚNÍ OBRAZU JAKO TOPOGRAFICKÉHO TERÉNU [32]

Další techniky

Mezi další techniky detekující přímo oblasti patří např. segmentace podle pyramidy, bottom-up, mean-shift či K-mean segmentace. [29]

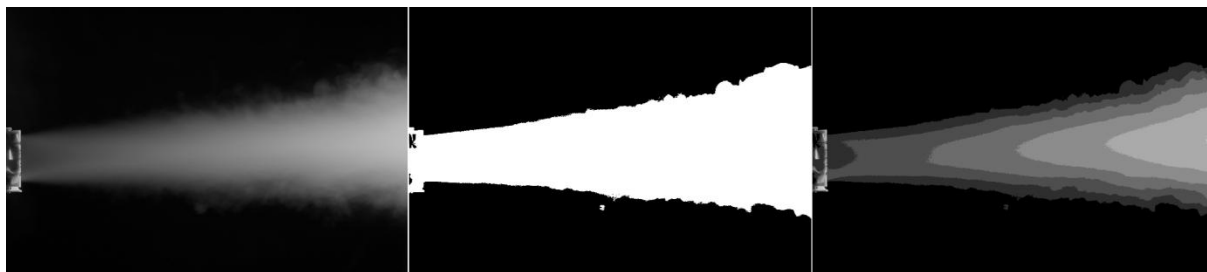
4.2.3 ST založené na prahování

Segmentační techniky fungující na principu prahování analyzují jednotlivé pixely na pozici (i, j) v obraze z hlediska jasu. Tyto techniky zjišťují hodnoty jasu pixelů $f_{i,j}$ a na základě této analýzy je přiřadí určitému objektu podle zvoleného kritéria – prahu Pr . Pixel je přiřazen hledanému segmentu, je-li $f_{i,j} > Pr$ (4), v opačném případě je přiřazen pozadí. [33]

Určení prahu není triviální záležitostí a vždy záleží na konkrétních vlastnostech obrazu (např. rovnoměrnost osvětlení, množství šumu apod.). [23]

Globální prahování

Analýza hodnot jednotlivých pixelů $f_{i,j}$ proběhne v celém obraze. Pokud je zvolena pouze jedna hodnota prahu Pr , jedná se o tzv. jednoúrovňové prahování a pixely jsou přiřazeny dvěma oblastem podle vztahu (4). Pokud je však zvoleno více prahových hodnot Pr_i , jedná se o tzv. víceúrovňové prahování a pixely budou přiřazeny analogicky $(i + 1)$ oblastem (Obr. 23). Globální prahování je vhodné pro rovnoměrně osvětlené scény. [34]



OBR. 23 – ORIGINÁL (VLEVO), PRAHOVANÝ OBRAZ S $Pr = 30$ (UPROSTŘED), PRAHOVANÝ OBRAZ S $Pr_{1-7} = 30 - 217$ (VPRAVO)

Lokální a adaptivní prahování

Obraz je rozdělen na n nepřekrývajících se oblastí a analýza hodnot pixelů $f_{i,j}$ probíhá v každé oblasti zvlášť. V každé oblasti je definován práh Pr_n a je provedeno prahování s touto hodnotou. Rozdělení obrazu na více oblastí je vhodné především pro nerovnoměrně osvětlené

scény, v některých případech dokonce nezbytné (Obr. 24). Vyhodnocování každé oblasti zvlášť eliminuje nerovnoměrnost osvětlení celého obrazu. [35]

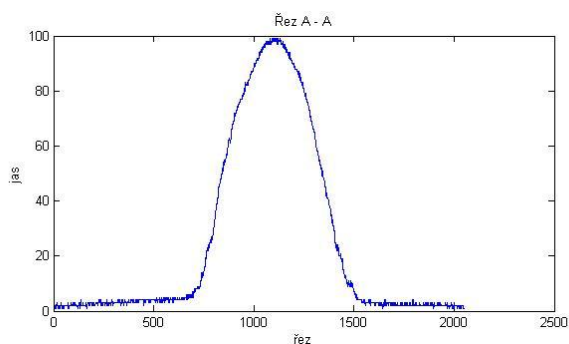
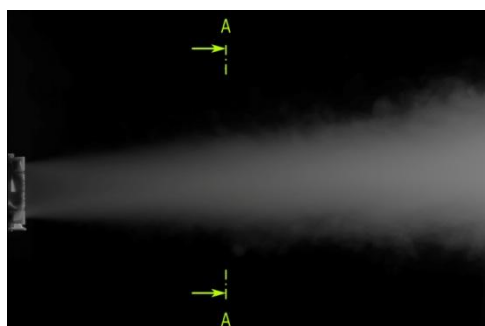


OBR. 24– ORIGINAL (VLEVO), GLOBÁLNÍ PRAHOVÁNÍ (UPROSTŘED), LOKÁLNÍ PRAHOVÁNÍ (VPRAVO) [36]

4.3 Určení okrajů proudu

Pro určení oblasti proudu³ z výstvek lze využít vhodné modifikace jak hranových detektorů (např. aktivní kontury), tak i technik založených na hledání oblastí. Jejich použití však nebylo na tomto problému zatím podrobně zkoumáno. Nejvhodnějším a nejpoužívanějším způsobem pro detekci okrajových bodů oblasti jsou proto ST založené na prahování, resp. na lokálním prahování.

Hlavním problémem je nalezení vhodného prahu, který je zároveň hranicí mezi proudem a pozadím. Nejvhodnějším způsobem se ukázala detekce obrazu v řezech kolmých na osu proudu. Řezy představují oblasti, na které je obraz rozdělen při lokálním prahování. Přestože nerovnoměrnost osvětlení neznemožňuje globální prahování (viz Obr. 23), detekce v řezech zvyšuje šance na lepší výsledky. Rozložení jasu v jednotlivých řezech je zobrazeno na obrázku (Obr. 25), z jeho rozložení vyplývá několik přístupů k určení okrajových bodů proudu. [37]

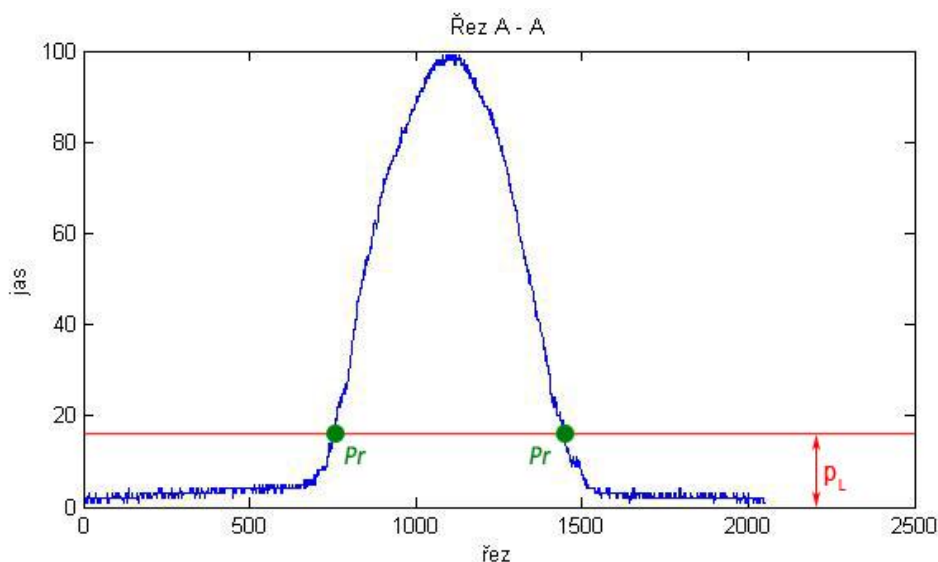


OBR. 25 – ZNÁZORNĚNÍ VYHODNOCOVANÉHO ŘEZU A – A (VLEVO) A ROZLOŽENÍ JASU V ŘEZU (VPRAVO)

4.3.1 Detekce podle úrovně

Jedná se o velmi jednoduchou a intuitivní metodu určení okrajových bodů proudu. Podle parametru p_L se v každém řezu označí bod právě s touto hodnotou $f_{i,j}$, ten reprezentuje okrajový bod proudu – práh Pr (Obr. 26). Jde v podstatě o jednoduché globální prahování, kdy je práh zvolen pro všechny řezy jako stejná hodnota. [15; 37]

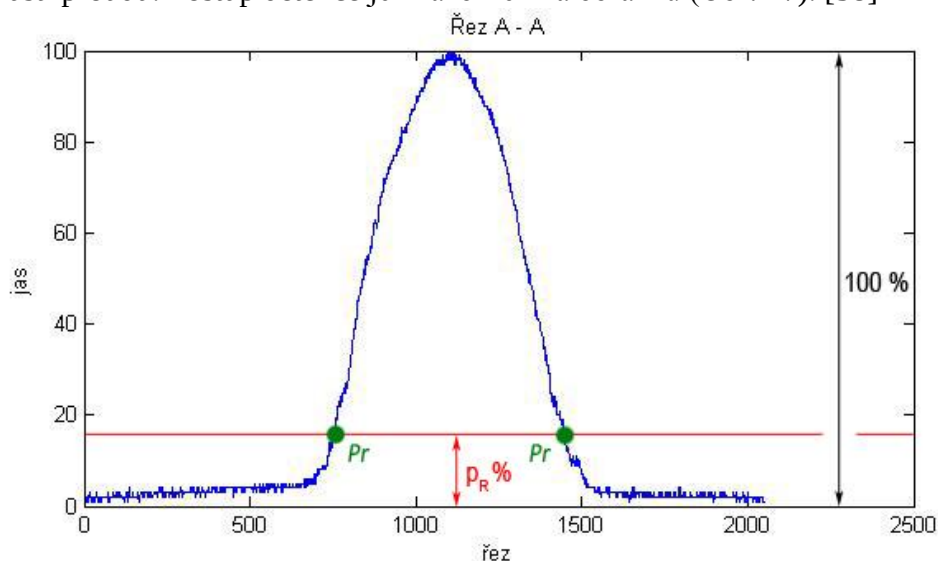
³ Oblast proudu – Nepravidelný útvar ohraničený okrajovými body proudu.



OBR. 26 – DETEKCE OKRAJŮ PODLE ÚROVNĚ

4.3.2 Detekce podle poměru

Jedná se o metodu založenou na lokálním prahování. Práh je v tomto případě hledán jako určitý poměr maximální hodnoty jasů (100 %) v každém řezu. Podobně jako v detekci podle změny (viz kap. 4.3.3) je i tady eliminován vliv nerovnoměrného nasvícení scény. Parametr p_R je tedy volen mezi hodnotami 0 až 100 a reprezentuje procentuální hodnotu z maximální hodnoty jasů v řezu. Takto získaný bod je označen prahem Pr – okrajovým bodem oblasti proudu. Postup detekce je znázorněn na obrázku (Obr. 27). [38]

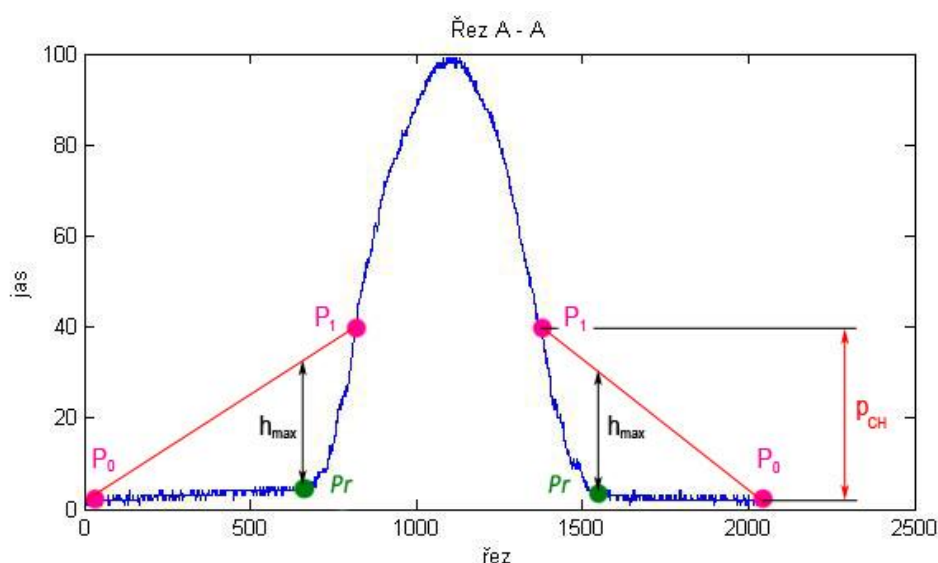


OBR. 27 – DETEKCE OKRAJŮ PODLE POMĚRU

4.3.3 Detekce podle změny

Práh se v tomto případě hledá složitějším způsobem a jedná se o techniku lokálního prahování. Krajní body P_0 každého řezu jsou automaticky přiřazeny k pozadí. Potom proběhne porovnání hodnot $f_{i,j}$ ostatních bodů řezu s bodem P_0 . Jakmile rozdíl těchto hodnot přesáhne zvolený parametr p_{CH} , aktuální bod je označen jako P_1 (předpokládá se, že se tady oblast proudu určitě nachází). Vznikne tedy úsečka $|P_0P_1|$. Poté se hledá maximální výška h_{max} mezi úsečkou a aktuální hodnotou jasů. Při nalezení této hodnoty je odpovídající jasová

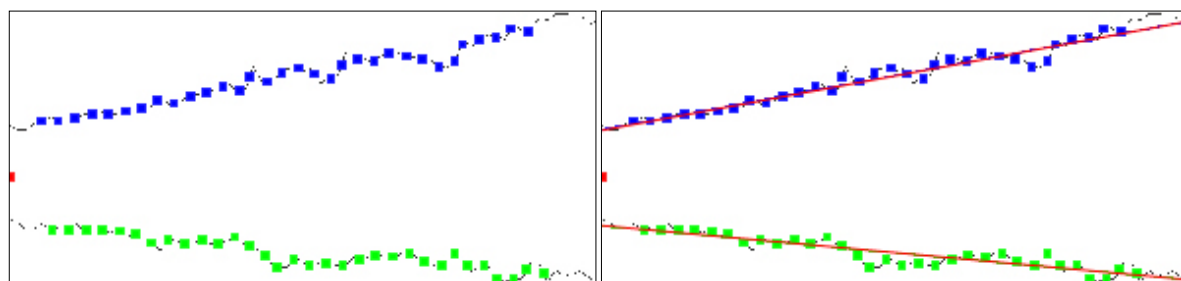
hodnota $f_{i,j}$ označena jako práh Pr , čili okrajový bod proudu. Celý postup je realizován z obou stran grafu a je znázorněn na obrázku (Obr. 28). [37]



OBR. 28 – DETEKCE OKRAJŮ PODLE ZMĚNY

4.3.4 Okrajové přímky proudu

Výstupem jakéhokoliv uvedeného způsobu detekce jsou okrajové body proudu, okrajová přímka proudu je potom definována jako lineární regrese okrajových bodů segmentované oblasti proudu (Obr. 29). Takto vzniklé přímky, resp. jejich úhlové odchylky od základních os, jsou potom vyhodnocovány jako sklon či vybočení proudu. Je rovněž možné určit i úhel osy proudu či úhel rozevření proudu. [11]



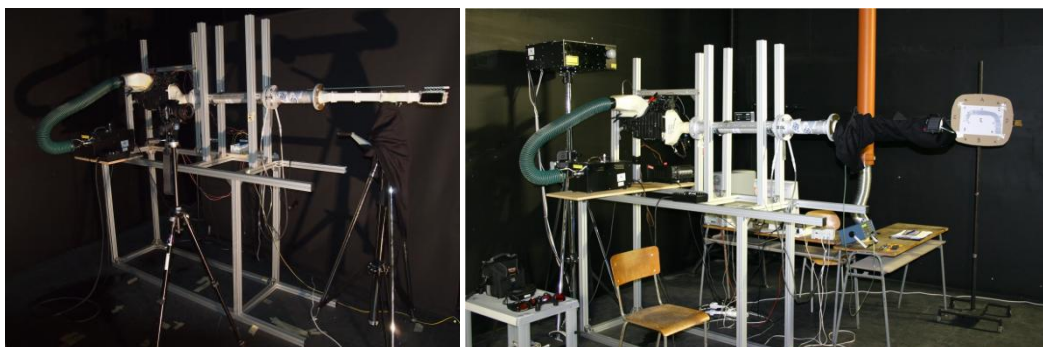
OBR. 29 – OKRAJOVÉ BODY OBLASTI PROUDU (VLEVO), OKRAJOVÉ PŘÍMKY OBLASTI PROUDU (VPRAVO)

5 Experimentální zařízení

Veškeré zařízení potřebné k experimentu bylo instalováno ve speciální laboratoři větrání na FSI VUT v Brně (místnost C3/213c). Experimentální zařízení se skládá z měřicí tratě, jejíž součástí je i měřený objekt – vzduchovod s vyústkou, a také ze záznamového řetězce (fotoaparát, laserový nůž, generátor kouře). Byla provedena revize tohoto zařízení a oproti předchozímu experimentu, publikovaném v [1], byly provedeny vhodné úpravy měřicí tratě i záznamového řetězce. Na provedené úpravy, týkající se konkrétních komponent, je upozorněno vždy za jejich popisem.

5.1 Měřicí trať

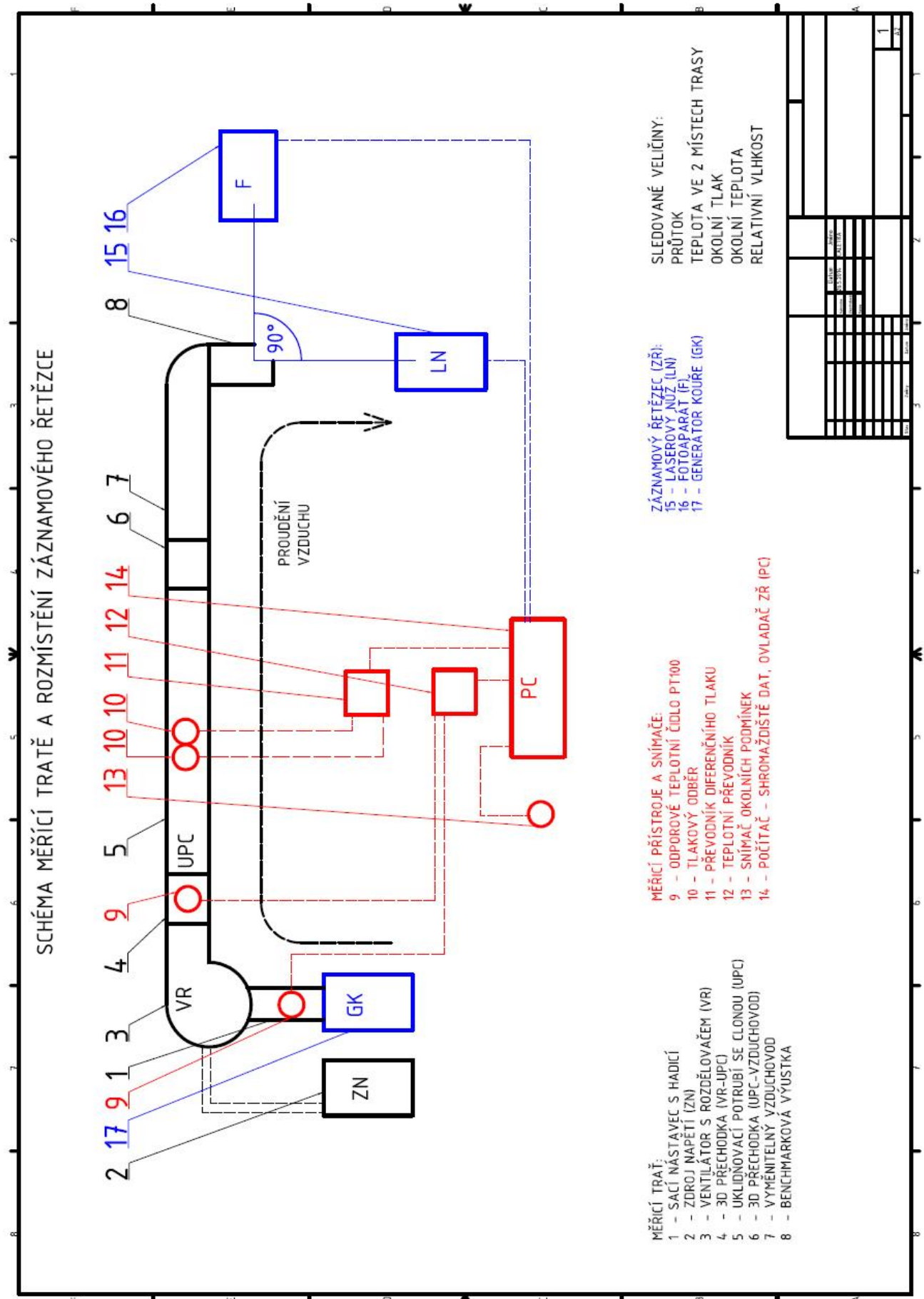
Měřicí trať (Obr. 30) se skládá z několika komponent včetně měřicích přístrojů a čidel – viz schéma (Obr. 31). Úkolem trati jako celku je nasát okolní vzduch, pomocí měřicích přístrojů zaznamenat veličiny, které jsou pro experiment relevantní (průtok, teplota) a proud s takto detekovanými parametry poslat přes vzduchovod a vyústku do prostoru, kde je digitalizován ve formě obrazového záznamu.



OBR. 30 – SOUČASNÁ MĚŘICÍ TRAŤ (VLEVO), PŮVODNÍ MĚŘICÍ TRAŤ [1]

5.1.1 Komponenty měřicí tratě

- Sací nástavec s hadicí
- Rozvaděč vzduchu s ventilátorem topení 1K1 819 015 (originální kus od Škoda Auto)
- Zdroj napětí MCP M10-330-30
- Přechodka z rozvaděče vzduchu do uklidňovacího potrubí
- Uklidňovací potrubí DN 65 PN 6 od firmy MATTECH s.r.o. s vyměnitelnými clonami
- Přechodka z uklidňovacího potrubí do vzduchovodu
- vzduchovod s vyústkou (vyměnitelná komponenta)



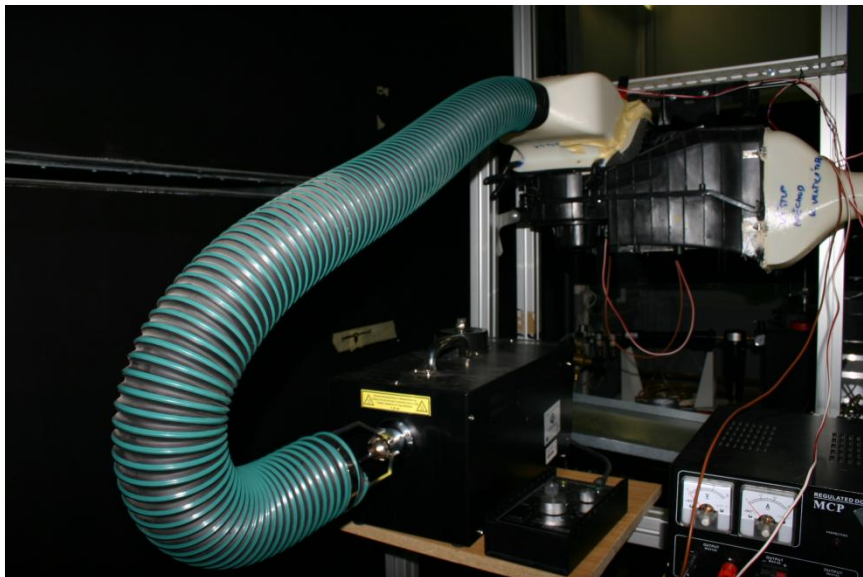
OBR. 31 – SCHÉMA MĚŘICÍ TRATĚ, PŘEPRACOVÁNO Z [1]

Hadice a sací nástavec (Obr. 32)

Nejprve nasávaný vzduch projde hadicí (instalovaná kvůli přívodu kouře) a následně sacím nástavcem. Po průchodu těmito komponenty se proud vzduchu dostane k lopatkám ventilátoru, který je součástí rozvaděče vzduchu.

Rozvaděč vzduchu s ventilátorem topení (Obr. 32)

Vzduch dále proudí z ventilátoru topení dále do rozvaděče vzduchu. Ten je speciálně upraven pouze na 1 výstup. Ostatní otvory pro vzduchovody jsou utěsněny.



OBR. 32 – HADICE SE SACÍM NÁSTAVCEM A ROZVADĚČ VZDUCHU S VENTILÁTOREM

Zdroj napětí MCP M10-330-30 (Obr. 33, vlevo)

Ventilátor topení je napájen a regulován přímo zdrojem MCP M10-330-30, který mění síťové napětí 220 VAC na napětí používané v automobilech, a to 12 VDC.



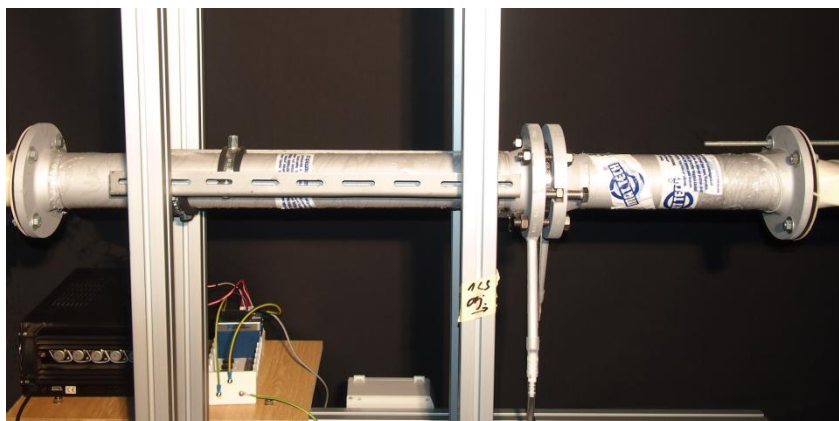
OBR. 33 – ZDROJ NAPĚTÍ (VLEVO), OVLÁDACÍ PANEL Z VOZIDLA (VPRAVO) [1]

Úprava: V předchozím experimentu byl výkon ventilátoru topení regulován prostřednictvím ovládacího panelu z vozidla Škoda Octavia 2 (Obr. 33, vpravo), který byl napojen na zdroj MCP M10-330-30. Ovládací panel byl z úsporných důvodů odstraněn. Sledovanou veličinou je objemový průtok, který je možné regulovat pouze prostřednictvím zdroje napětí, i bez použití ovládacího panelu.

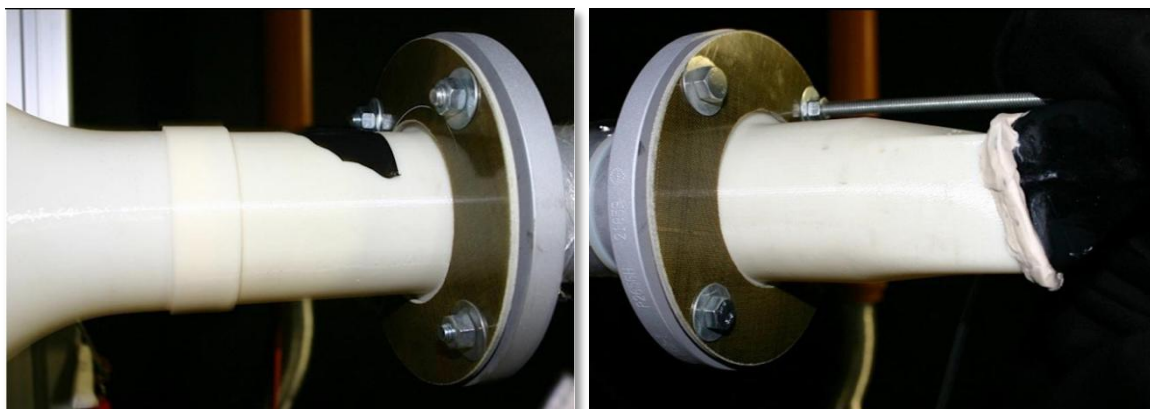
Uklidňovací potrubí se clonou (Obr. 34)

Pro zajištění plynulého proudění prochází proud vzduchu uklidňovacím potrubím se clonou. Clona způsobí tlakovou ztrátu (diferenci), která je závislá na objemovém průtoku (viz kap. 5.1.2, dle příslušné normy). Protože má uklidňovací potrubí průřez různý od přímo

navazujících komponent (rozvaděč vzduchu a vzduchovod), bylo nutné vytvořit odpovídající přechodky, které tyto rozdíly redukuje (Obr. 35).



OBR. 34– UKLIDŇOVACÍ POTRUBÍ SE CLONOU



OBR. 35 – PŘECHODKA ROZVADĚČ VZDUCHU – UKLIDŇOVACÍ POTRUBÍ (VLEVO) A UKLIDŇOVACÍ POTRUBÍ – VZDUCHOVOD (VPRAVO) [1]

Vzduchovod s vyústkou (Obr. 36, měřený objekt)

Poslední částí tratě, kudy proud protéká, je vzduchovod s vyústkou – měřený objekt. Při průchodu touto komponentou je proud vzduchu ovlivňován různými faktory, ať už je to tvar či vnitřní povrch vzduchovodu, geometrie samotné vyústky, počty směrovacích lamel aj. Zmíněné faktory je možné ovlivňovat a nastavovat výměnou či úpravou příslušných částí testovacího vzduchovodu i vyústky.

Je také možné zkoumat vlastnosti proudění z originálních kusů. V minulosti byl např. řešen problém vyústek vozu Škoda Octavia 2. V současnosti je plánováno srovnávací měření vyústky vozu Škoda Octavia 3, ze které model testovací vyústky vychází.



OBR. 36 – SOUČASNÝ TESTOVACÍ VZDUCHOVOD S VYÚSTKOU (VLEVO), PŮVODNÍ VZDUCHOVOD S VYÚSTKOU (VPRAVO) [1]

Úprava: V předchozím experimentu byl měřeným objektem originální vzduchovod s vyústkou vozidla Škoda Octavia 2. Tento kus byl nahrazen testovacím kusem, který vychází z geometrie vyústky vozu Škoda Octavia 3.

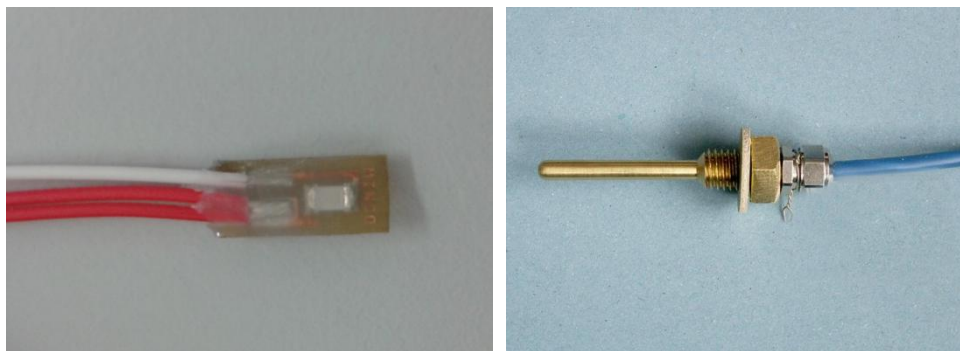
5.1.2 Měřicí přístroje, snímače a příslušenství

- Teplotní odporové čidlo Pt100 2×
- Vstupní analogový modul NI 9217 (National Instruments)
- Odběr diferenčního tlaku před a za clonou, převodník tlaku Airflow PTSXR
- Vstupní analogový modul NI 9215 (National Instruments)
- Snímač okolních podmínek Testo 400
- Základna slotů NI cDAQ-9172 (National Instruments)
- Počítač vybavený programem LabVIEW (National Instruments)

Teplotní odporová čidla Pt100 (Obr. 37)

Jedno čidlo je umístěno v sacím nástavci a druhé v přechodce z rozvaděče vzduchu do uklidňovacího potrubí. Je zaznamenávána teplota na sání (před ventilátorem) a teplota téměř v uklidňovacím úseku (za ventilátorem). Teplotní čidla zaznamenají, o kolik stupňů teplota proudu vzroste při průchodu ventilátorem (v důsledku jeho tepelných ztrát).

Čidla jsou připojena ke vstupnímu analogovému modulu NI 9217, který je zapojen v základně slotů NI cDAQ-9172. Základna připojená k počítači je schopna prostřednictvím programu LabVIEW v reálném čase zobrazovat a následně ukládat naměřené teploty.



OB. 37 – VELIKOST SOUČASNÉHO ČIDLA (VLEVO), VELIKOST PŮVODNÍHO ČIDLA [39] (VPRAVO)

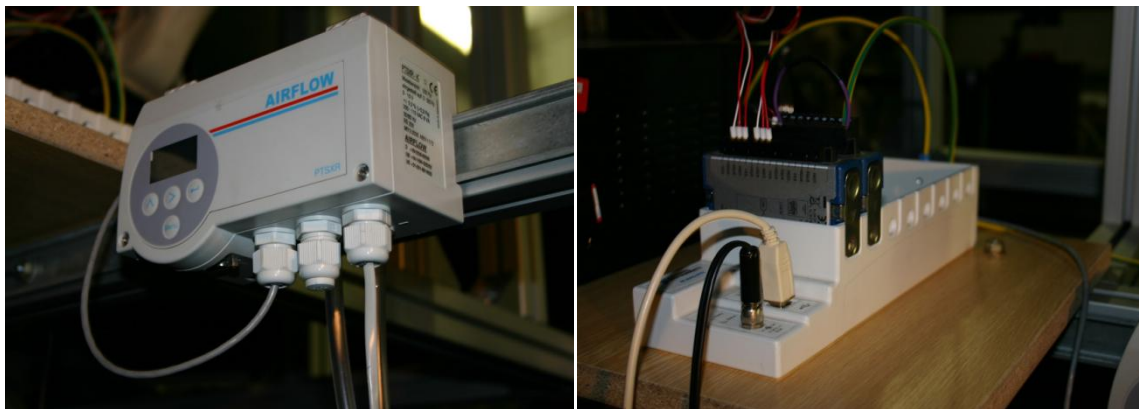
Úprava: V předchozím experimentu byla používána teplotní odporová čidla nadměrných rozměrů v souvislosti s měřenou látkou (Obr. 37, vpravo). Odezva na změnu teploty byla příliš dlouhá, tedy nevyhovující. Původní čidla byla nahrazena kusy s menšími rozměry (Obr 37, vlevo).

Převodník tlaku Airflow PTSXR (Obr. 38, vlevo)

Dva odběry tlaku jsou umístěny v uklidňovacím potrubí, před clonou a za clonou. Rozdíl těchto tlaků (tlaková diference) je zaznamenán tlakovým převodníkem Airflow PTSXR. Převodník je napojen ke vstupnímu analogovému modulu NI 9215, který je zapojen v základně slotů NI cDAQ-9172. Prostřednictvím programu LabVIEW je možné sledovat a ukládat hodnoty tlakové difference v reálném čase. Objemový průtok je vypočítán pomocí tlakové difference dle normy: ČSN EN ISO 5167-1 – Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu.

Základna slotů NI cDAQ-9172 (Obr. 38, vpravo)

Měřicí moduly umožňují převod analogového signálu z měřicích přístrojů na digitální. Jejich připojení k počítači je realizováno prostřednictvím slotů v základně s označením NI cDAQ-9172, která pojme až 8 takových modulů. Připojení základny k PC je realizováno prostřednictvím USB.



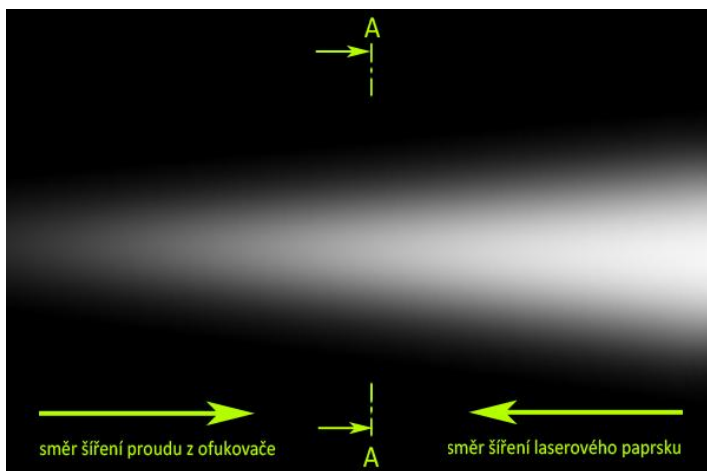
OBR. 38 – PŘEVODNÍK DIFERENČNÍHO TLAKU AIRFLOW PTSXR (VLEVO), ZÁKLADNA SLOTŮ NI cDAQ-9172 (VPRAVO)

Snímač okolních podmínek

Pro monitorování okolních podmínek – teploty, relativní vlhkosti a barometrického tlaku byla využita měřicí stanice TESTO 400.

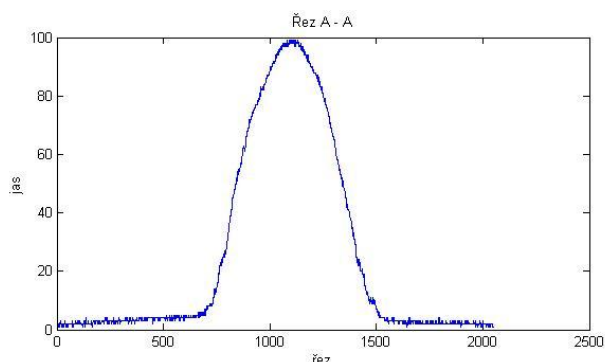
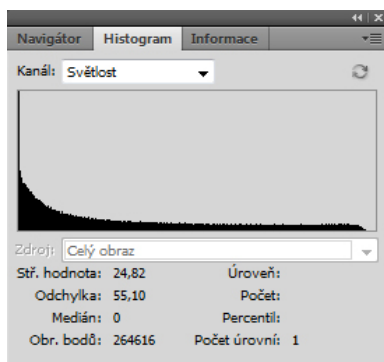
5.2 Záznamový řetězec

Záznamový řetězec je soubor komponent, jehož úkolem je pořízení správně orientovaného a exponovaného snímku, který je vhodný pro další zpracování (např. některou z metod v kap. 4.3). Na obrázku (Obr. 39) je znázorněn takový idealizovaný jasový model pracovní oblasti proudu⁴, který je v případě proudění z vyústky očekáván.



OBR. 39 – IDEALIZOVANÝ JASOVÝ MODEL PRACOVNÍ OBLASTI PROUDU

Nejjednodušším měřítkem správné expozice je jasový histogram pracovní oblasti (Obr. 40). Důraz je kladen zejména na to, aby snímek nebyl přexponován. Při dosažení přexpozice totiž dochází ke ztrátě informací o oblasti proudu a zvyšuje se riziko nesprávného vyhodnocení.



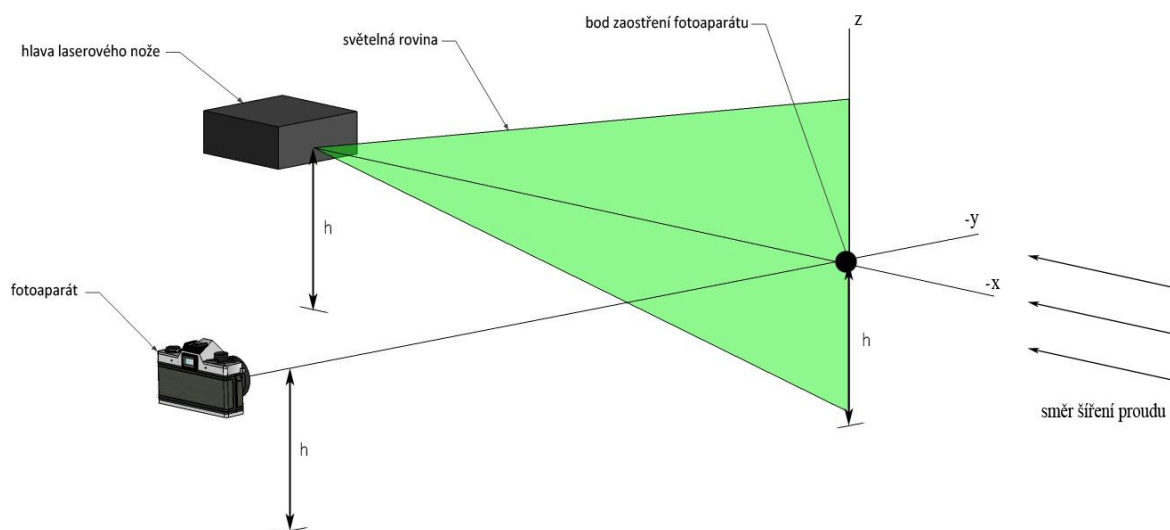
OBR. 40 – JASOVÝ HISTOGRAM IDEÁLNÍHO MODELU (VLEVO), ROZLOŽENÍ JASU V ŘEZU A – A (VPRAVO)

5.2.1 Komponenty záznamového řetězce

- Generátor mlhy a kouře Safex Nebelgerät „195 SG“
- Laserový světelný nůž od firmy LAO – průmyslové systémy, s.r.o.
- Fotoaparát Canon EOS 300D
- Počítač vybavený příslušnými ovládacími programy

K pořízení snímku blížíícího se ideálnímu modelu (viz Obr. 39) je potřeba mj. vhodné rozmístění komponent záznamového řetězce. Takové rozmístění (Obr. 41) zabráňuje geometrickému zkreslení proudu. Důraz je kladen zejména na kolmost objektivu fotoaparátu vůči světelné rovině (viz Obr. 31).

⁴ Pracovní oblast proudu – Oblast za vyústkou, ve které proud plní svou funkci.



OBR. 41 – ROZMÍSTĚNÍ KOMPONENT ZÁZNAMOVÉHO ŘETĚZCE

Generátor mlhy a kouře (Obr. 42)

Generátor mlhy a kouře od firmy Safex zavádí kouřové částice do tratě. Mlha vzniká odpařováním kapaliny na olejové bázi a je společně se vzduchem nasávána hadicí se sacím nástavcem (viz Obr. 32) a je dále přiváděna k vyústce. Množství generované mlhy lze ovládat regulátorem přímo na přístroji (11 základních regulačních stupňů) nebo prostřednictvím dálkového ovládání (10 ovládacích stupňů).

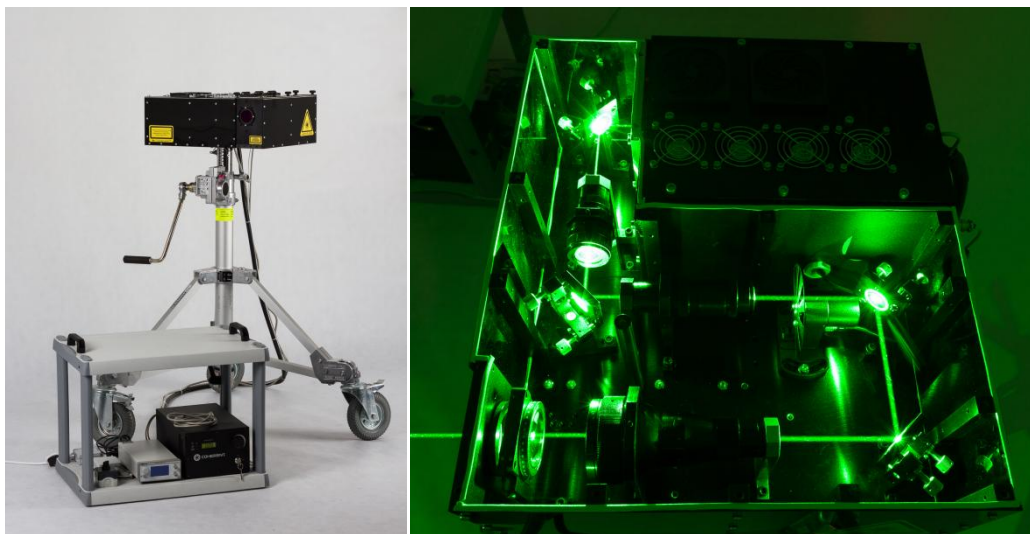


OBR. 42 – GENERÁTOR MLHY A KOUŘE SAFEX NEBELGERÄT „195 SG“

Laserový světelný nůž (Obr. 43)

Základní komponentou laserového nože je 2W kontinuální laser s vlnovou délkou 532 nm. Laserový svazek prochází optickou cestou, která obsahuje beam expandéry, zrcátka, π shaper, chopper a válcovou čočku. Svazek kruhového průřezu je průchodem touto cestou modifikován na světelnou rovinu (viz Obr. 41). Beam expandéry mění průměr svazku, π shaper mění energetický profil svazku z gaussovského na rovnoměrný a chopper je schopný svazek přerušovat a tím jej např. synchronizovat se záznamovou kamerou. Válcová čočka je vyměnitelná a upravuje geometrii světelné roviny, slouží i k jejímu natočení či změně šířky. [40]

Úprava: V předchozím experimentu bylo nutné laserový nůž ovládat manuálně. Byl pořízen software, který při propojení umožňuje dálkové spuštění laserového nože i regulaci výkonu laseru.



OBR. 43 – LASEROVÝ NŮŽ S PŘÍSLUŠENSTVÍM (VLEVO) A OPTICKÁ DRÁHA LASERU (VPRAVO) [40]

Fotoaparát (Obr. 44)

Pro pořízení snímků byla využita digitální zrcadlovka Canon EOS 300D s objektivem Canon EF 17–40 mm f/4L USM. Fotoaparát umožňuje nastavení následujících faktorů: expozičního času t , clonového čísla F a citlivosti čipu ISO . Fotoaparát byl nastaven v režimu M (manuální), jelikož bylo potřeba měnit tyto faktory nezávisle na sobě.



OBR. 44 – FOTOAPARÁT CANON EOS 300D [41]

Úprava: V předchozím experimentu bylo nutné fotoaparát ovládat manuálně. Byl pořízen software, který při propojení umožňuje dálkové nastavení faktorů fotoaparátu, dálkové fotografování a okamžité ukládání snímků do PC.

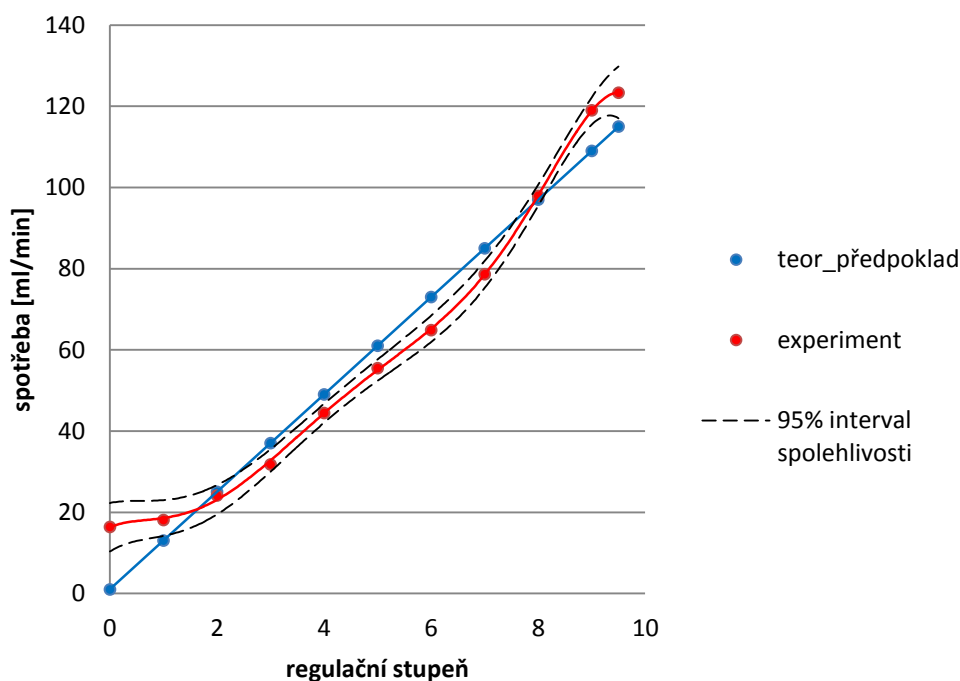
5.2.2 Optimalizace záznamového řetězce

Pro pořízení snímku kvalitativně blížího se idealizovanému modelu (viz Obr. 39) je nutné znát vlivy jednotlivých komponent záznamového řetězce na pořízený snímek (výstup). Tyto vlivy lze zjišťovat změnou nastavitelných faktorů u jednotlivých komponent (např. u fotoaparátu – t , F , ISO). Problematika optimalizace hledá takovou kombinaci těchto faktorů,

aby se výstup blížil kvalitě idealizovaného modelu (viz Obr. 39). Celý proces optimalizace bude podrobně popsán v aktuálně rozpracovaném díle [42].

Vliv generátoru mlhy a kouře

Nastavitelné faktory této komponenty jsou množství generované mlhy, resp. spotřeba mlhové kapaliny a typ použité mlhové kapaliny. Kvantifikace množství generované mlhy (m^3/min) není i díky své časové proměnlivosti triviální úlohou, proto je směrodatnějším údajem spotřeba mlhové kapaliny (ml/min). Jednotlivým základním regulačním stupňům byla předpokládaná spotřeba přiřazena teoreticky na základě maximální spotřeby uvedené v manuálu (lineární závislost, Graf 1). Spotřeba byla následně třikrát experimentálně změřena a těmto stupňům přiřazena její střední hodnota (obecná polynomická závislost). Srovnání předpokladu a experimentu s 95% intervalem spolehlivosti je uvedeno v grafu (Graf 1). Každou z těchto hodnot lze ještě dále regulovat 10 ovládacími stupni. Optimální kombinace základního a ovládacího regulačního stupně (tj. množství generované mlhy) byla určena experimentálně s přihlédnutím na průtok v měřicí trati.



GRAF 1 - PŘÍŘAZENÍ SPOTŘEBY K ZÁKLADNÍM REGULAČNÍM STUPŇŮM S VYZNAČENÝM 95% INTERVALEM SPOLEHLIVOSTI PRO 3 OPAKOVANÁ MĚŘENÍ

Použitý typ mlhové kapaliny může rovněž ovlivňovat výstup. Různé typy kapalin generují mlhu se specifickými vlastnostmi, tj. s různou trvanlivostí, odrazivostí apod. Pro experimenty na zjištění právě těchto vlivů je prostor v další optimalizaci.

Vliv laserového nože

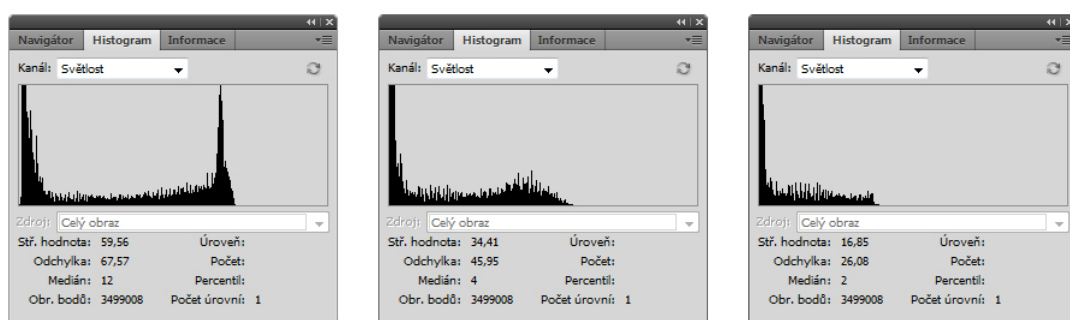
Vliv této komponenty na výstup lze zjišťovat změnou několika nastavitelných faktorů, zejména změnou výkonu laseru, ale i šířky a vrcholového úhlu světelné roviny. Výkon laseru je možné měnit mezi hodnotami 0,01 – 2 W. Optimální hodnota výkonu byla v této fázi výzkumu určena experimentálně dle nejlepších zkušeností (s přihlédnutím na množství generované mlhy) a je zde prostor pro další optimalizaci. Šířku společně s vrcholovým úhlem světelné stěny lze měnit pomocí posledního beam expandéru v optické cestě laserového paprsku. Geometrii stěny lze měnit výměnou válcové čočky.

Vliv fotoaparátu

Bezprostřední vliv této komponenty na výstup je zřejmý. Nastavitelné faktory fotoaparátu (t , F , ISO), dosazené do vztahu (7), lze reprezentovat jedním číslem – expoziční hodnotou EV (Exposure Value).

$$EV = \log_2 F - \log_2 t - \frac{\log_2 ISO}{100} \quad (7)$$

EV je absolutní veličina, která dává informace o množství světla na scéně [43]. Více různých kombinací nastavitelných faktorů fotoaparátu tak může propustit na snímek stejné množství světla, ale pouze v případě, že EV hodnota bude při každé různé kombinaci stejná. Ideální hodnota EV byla zjišťována experimentálně, a to při $t = 1$ s a citlivosti $ISO = 100$. Clonovým číslem F byla EV měněna a jasové histogramy pořízených snímků (Obr. 45) byly srovnávány s histogramem idealizovaného modelu (viz Obr. 40).

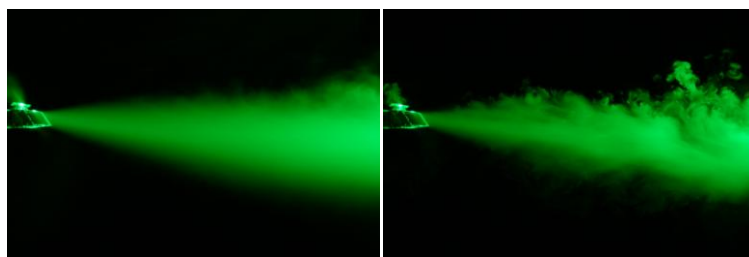


OBR. 45 – JASOVÉ HISTOGRAMY PRO VYBRANÉ EXPOZIČNÍ HODNOTY: EV (VLEVO) < EV (UPROSTŘED) < EV (VPRAVO)

Nežádoucím jevem v histogramu je vytvoření ostrého maxima (viz Obr. 45 vlevo), což značí přexpozici snímku. Idealizovanému tvaru (viz Obr. 40) se při okolních světelných podmínkách přiblížil snímek reprezentovaný histogramem na obrázku (viz Obr. 45 uprostřed). Malé zaplnění histogramu (viz Obr. 45 vpravo) může znamenat podexpozici a v některých případech dokonce znemožnit relevantní zpracování.

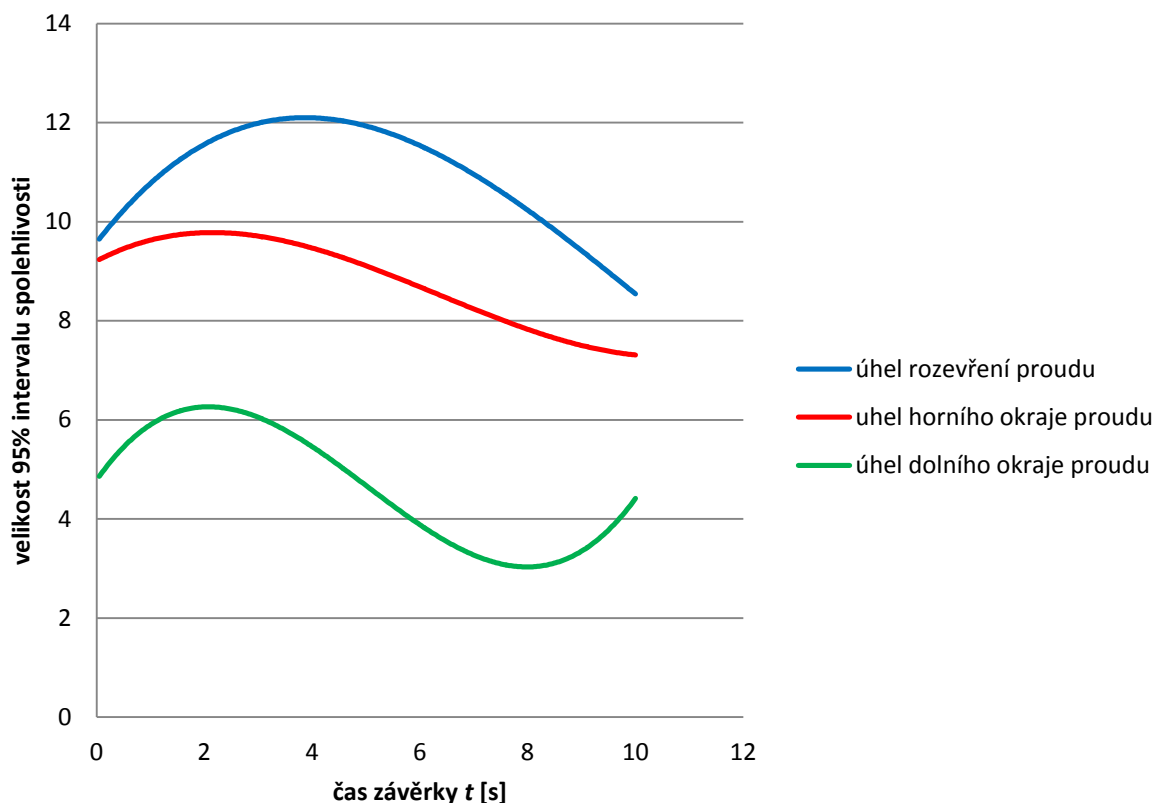
Z experimentu tedy vyplynulo, že při daném nastavení ostatních komponent záznamového řetězce, je minimální ideální hodnota EV reprezentována odpovídajícím tvarem histogramu a jelikož jsou fotografie ukládány průběžně do počítače, je možné tento tvar okamžitě analyzovat a podle toho hodnotu EV upravit.

Prvním z nastavitelných faktorů fotoaparátu je čas závěrky t , čili doba, po kterou je scéna na čip zaznamenávána. Byl vytvořen předpoklad, že při krátkých časech (do 1 s) bude rozptyl naměřených úhlů (reprezentován velikostí 95% intervalu spolehlivosti) větší, než při časech delších (nad 1 s). Tento rozptyl může mít souvislost s mírou turbulencí na okrajích proudu. Je-li předmětem zájmu spíše určení stálého orientačního směru proudu, je vhodné nastavit delší čas závěrky (Obr. 46 vlevo). Kratší čas závěrky (Obr. 46 vpravo) je vyžadován naopak v případech, kdy je předmětem zájmu chování proudu v čase a prostoru.



OBR. 46 – ZLEVA: ČAS ZÁVĚRKY 5 s, ČAS ZÁVĚRKY 0,1 s

Pro 25 bočních snímků⁵ proudu, s časy závěrky 0,05 – 10 s, byla experimentálně pro každý čas zjištěna velikost 95% intervalu spolehlivosti pro úhel rozevření a pro horní i dolní okrajový úhel proudu (úhly sklonu). Naměřené hodnoty byly proloženy kubickým trendem. Graf 2 ukazuje, že se zkracujícím se časem závěrky do určité hodnoty roste velikost intervalu spolehlivosti u všech úhlů. Největší velikost má interval spolehlivosti dolního i horního okrajového úhlu shodně, v čase $t = 2$ s. Maximální interval spolehlivosti úhlu rozevření proudu ukazuje graf v čase $t = 4$ s.



GRAF 2 - ZÁVISLOST VELIKOSTI 95% INTERVALU SPOLEHLIVOSTI NAMĚŘENÝCH ÚHLŮ PRO 25 SNÍMKŮ

Z experimentu vyplývá, že k určení maximálních fluktuací horního a dolního okrajového úhlu nezávisle na sobě, je nejvhodnější čas závěrky $t = 2$ s. Maximální fluktuace úhlu rozevření, tj. úhlu mezi horním a dolním okrajem proudu, je dle experimentu nejlépe detekovatelná při čase závěrky $t = 4$ s.

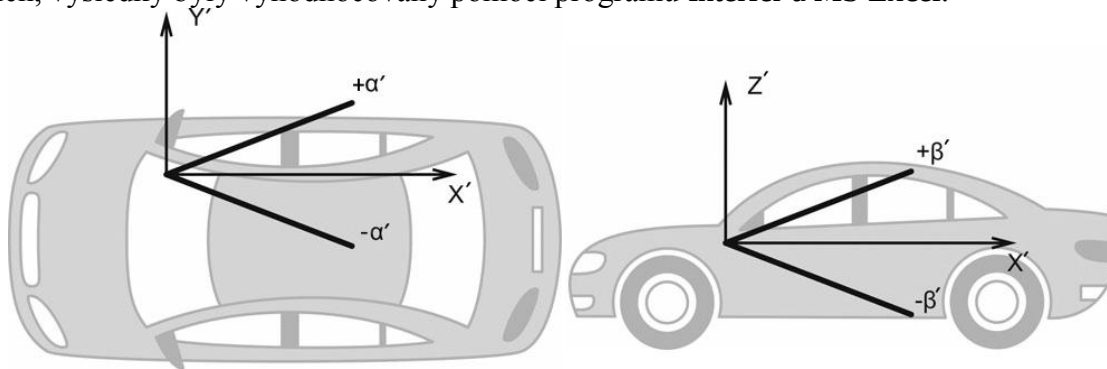
Clonové číslo F je další nastavitelný faktor fotoaparátu. Tento parametr popisuje velikost otvoru, kterým světlo k čipu prochází. Čím menší je clonové číslo, tím větší je otvor, a na čip tím pádem dopadá více světla. [43] Nastavováním tohoto faktoru byla určována ideální hodnota EV (viz Obr. 45).

Posledním z nastavitelných faktorů je ISO citlivost. Jedná se o světelnou citlivost čipu a opět upravuje množství potřebného světla pro požadovaný výstup [43]. Zjednodušeně lze říci, že co není možné nastavit kombinací času a clony, lze ještě ovlivnit citlivostí přímo na čipu. Primární snahou však je zachovat hodnotu ISO citlivosti minimální možnou, protože při jejím zvyšování roste i šum na fotografii. Ten může nepříznivě ovlivnit kvalitu a následné vyhodnocování.

⁵ Boční snímek – Proudové pole zviditelněné v rovině XZ, souřadné systémy jsou popsány v kap. 6.

6 Fáze experimentu

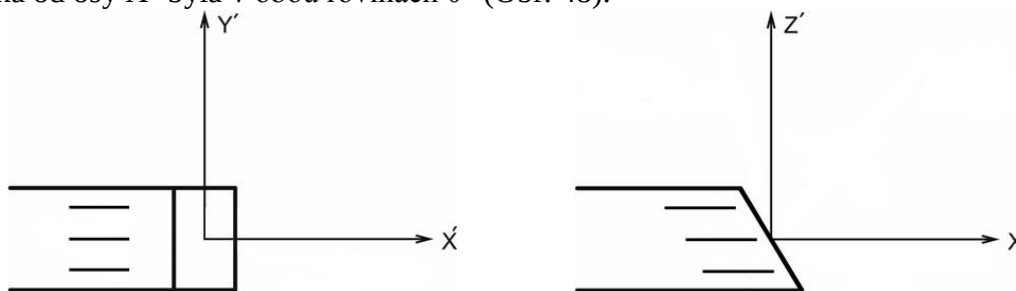
Širším smyslem experimentu je určení úhlů vybočení (α' , Obr. 47) a sklonu (β') proudu zviditelněného kouřovou vizualizací, a to v souřadném systému automobilu ($[X' Y' Z']$). V této práci je kladen důraz na detekci okrajů proudu, resp. na vliv jednotlivých použitých detekčních metod (viz kap. 4.3). Experiment probíhal opakovaně, v několika fázích, výsledky byly vyhodnocovány pomocí programů Interfer a MS Excel.



OBR. 47 – ZLEVA: ÚHLY VYBOČENÍ PROUDU (α') A ÚHLY SKLONU PROUDU (β') V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU [44]

6.1 Příprava měřicí tratě

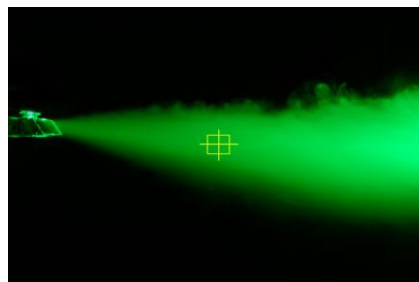
Během první fáze experimentu byl na měřicí trati prostřednictvím zdroje napětí nastaven objemový průtok vzduchu s konstantní hodnotou Q_V 33,5 m³/h. Horizontální i vertikální lamely testovací výústky byly orientovány do polohy střed-střed, tzn. jejich odchylka od osy X' byla v obou rovinách 0° (Obr. 48).



OBR. 48 – VERTIKÁLNÍ LAMELY V POLOZE STŘED (VLEVO), HORIZONTÁLNÍ LAMELY V POLOZE STŘED (VPRAVO), PŘEPRACOVÁNO Z [44]

6.2 Příprava záznamového řetězce

Druhá fáze experimentu spočívala v nastavení záznamového řetězce. Dle základní optimalizace (viz kap. 5.2.2) byla na generátoru kouře nastavena kombinace základního/ovládacího regulačního stupně 4/3. Výkon laserového nože byl ustanoven na hodnotu 0,8 W, při konstantní šířce světelné stěny (divergence paprsku = 0) a konstantním vrcholovém úhlu (beam expandér nastaven na hodnotu 5). Fotoaparát byl při daných světelných podmínkách v laboratoři reprezentován hodnotou EV 5,65. Velmi důležitou fází z hlediska opakovatelnosti měření a také časově nejnáročnější fází bylo rozmístění komponent záznamového řetězce (viz kap. 5.2.1), zejména laserového nože a fotoaparátu (viz Obr. 41). Důraz byl kladen na to, aby světelná rovina procházela osou proudu (při vertikální i horizontální orientaci). Fotoaparát byl vždy umístěn do stejné vzdálenosti od bodu zaostření (Obr. 49) a jeho objektiv byl orientován kolmo ke světelné rovině.



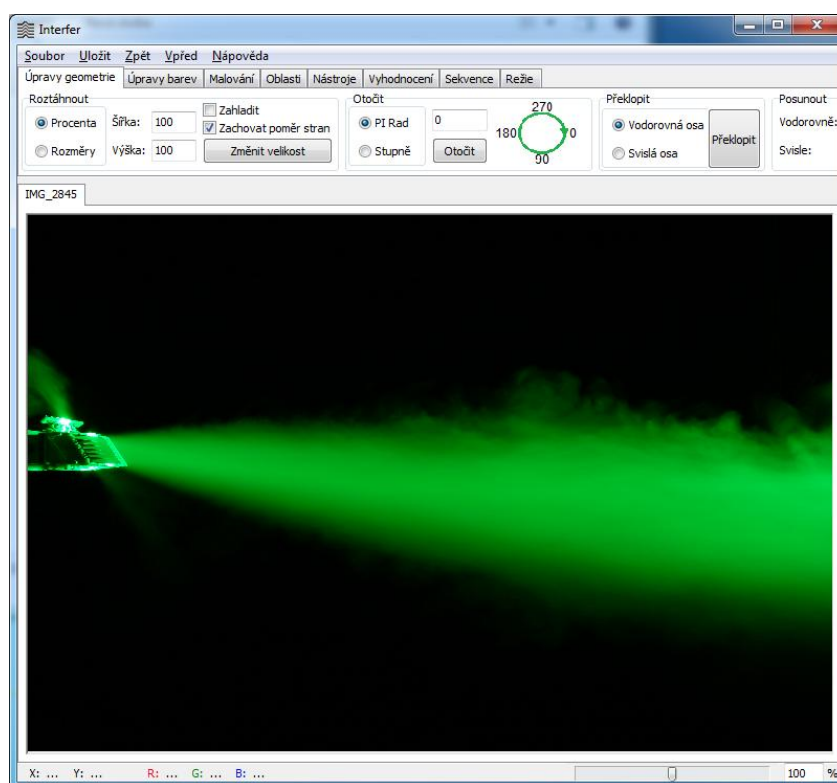
OBR. 49 – BOD ZAOSTŘENÍ

6.3 Pořízení snímků

Po provedení dvou přípravných fází následovala fáze vlastní vizualizace a pořízení snímků. Počet pořízených snímků byl zpravidla dvojnásobek počtu vyhodnocovaných snímků, který byl stanoven na 10. Snímky byly bezprostředně ukládány do počítače, prostřednictvím programu RemoteCapture, který umožňoval takovou komunikaci s fotoaparát. Snímky bylo proto možné ihned zběžně zhodnotit a doporučit tak případnou úpravu záznamového řetězce.

6.4 Vyhodnocení snímků

Vyhodnocení pořízených snímků probíhalo v programu Interfer (Obr. 50). Na pořízeném snímku jsou úhly směřování proudu (α , β) v souřadném systému laserové roviny [X Y Z]. Z analýzy snímků lze získat i tvar oblasti proudu, čili souřadnice okrajových bodů. Dle takto detekovaného tvaru lze potom posoudit vliv a vhodnost různých detekčních metod na příslušný soubor snímků stejného typu. Na tyto snímky byly aplikovány celkem 3 detekční metody (viz kap. 4.3) a u každé metody byly zvoleny dvě hodnoty charakteristického parametru (viz kap. 7.1).



OBR. 50 – INTERFER: PROSTŘEDÍ PROGRAMU

6.5 Přepočítání úhlů směřování do souřadného systému automobilu

Přepočítání příslušných detekovaných úhlů ze souřadného systému světelné roviny do souřadného systému automobilu byl realizován dosazením hodnot do následujících vztahů:

$$\alpha' = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\cos \theta} \cdot \tan \alpha \right) \quad (8)$$

$$\beta' = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\cos \varepsilon} \cdot \tan \beta \right) \quad (9)$$

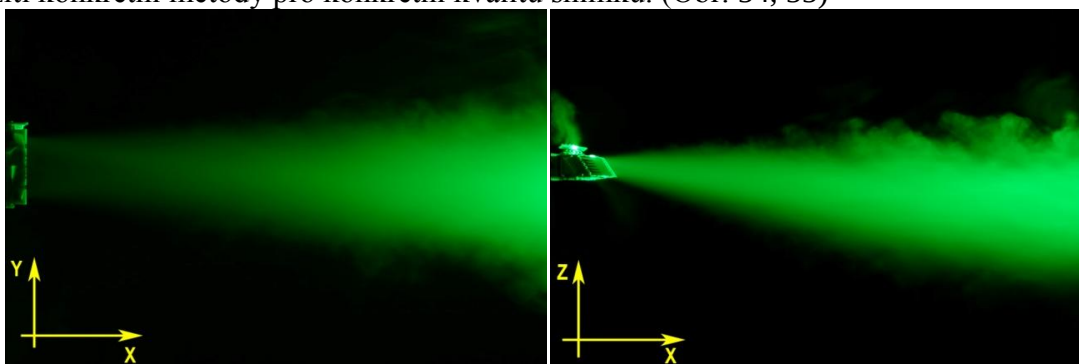
[1]

7 Vyhodnocení experimentu

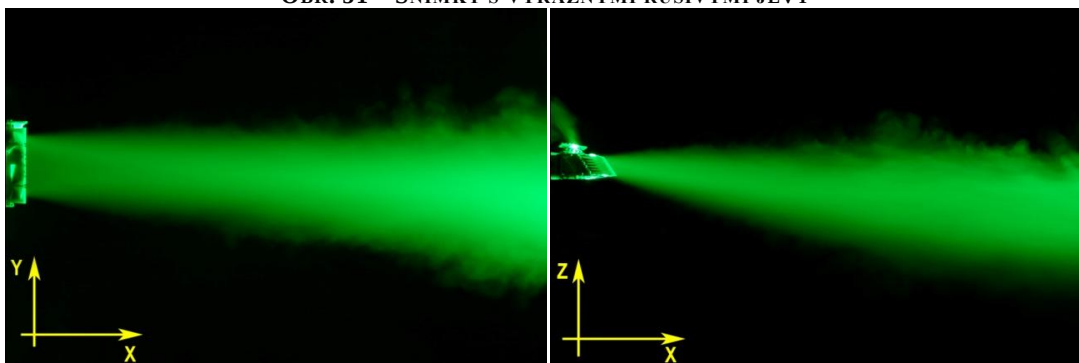
Analýza vlivů tří vybraných detekčních metod probíhala na snímcích s expozičním časem 1 s, clonovým číslem 7,1 a ISO citlivostí 100 (EV hodnota 5,65). Tyto vlivy byly zkoumány ve dvou rovinách, na snímcích trojí kvality:

- S výraznými rušivými jevy (Obr. 51)
- Bez výrazných rušivých jevů (Obr. 52)
- Bez rušivých jevů – pozadí snímků retušováno v PC (Obr. 53)

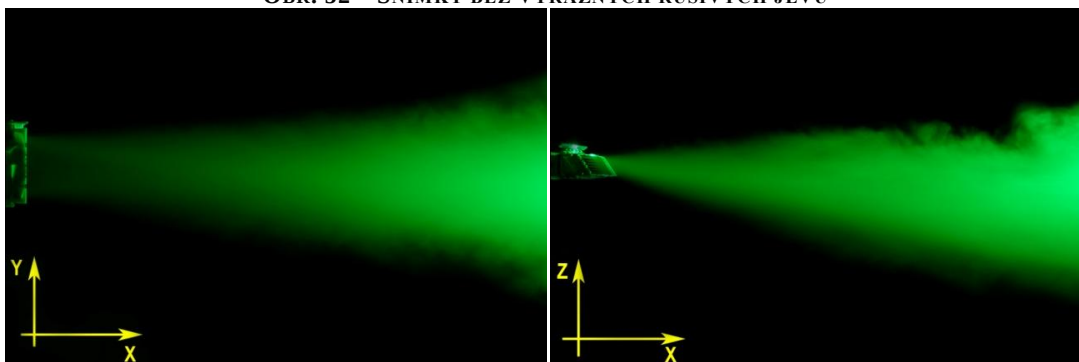
Rušivé jevy jsou nežádoucí oblasti vizualizační látky – kouře, které nepatří hlavnímu proudu. Výskyt takových jevů je na pořízených fotografiích velmi častý, ať už v jakémkoliv množství. Na základě detekovaného tvaru proudu, který byl kvalitativně srovnán s tvarem idealizovaného modelu a tvarem detekovaným metodou CTA⁶, byla posouzena vhodnost použití konkrétní metody pro konkrétní kvalitu snímku. (Obr. 54, 55)



OBR. 51 – SNÍMKY S VÝRAZNÝMI RUŠIVÝMI JEVY



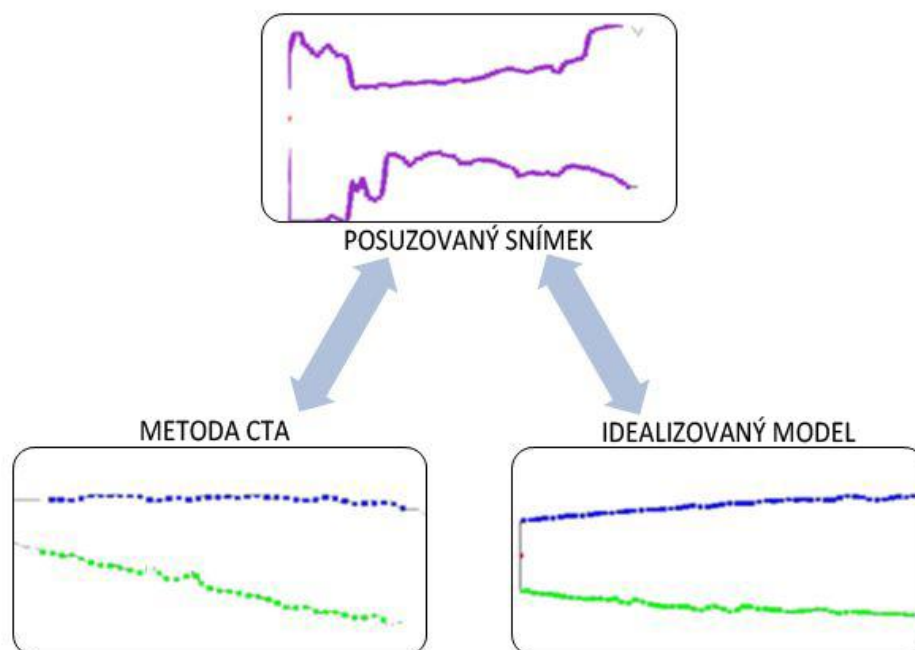
OBR. 52 – SNÍMKY BEZ VÝRAZNÝCH RUŠIVÝCH JEVŮ



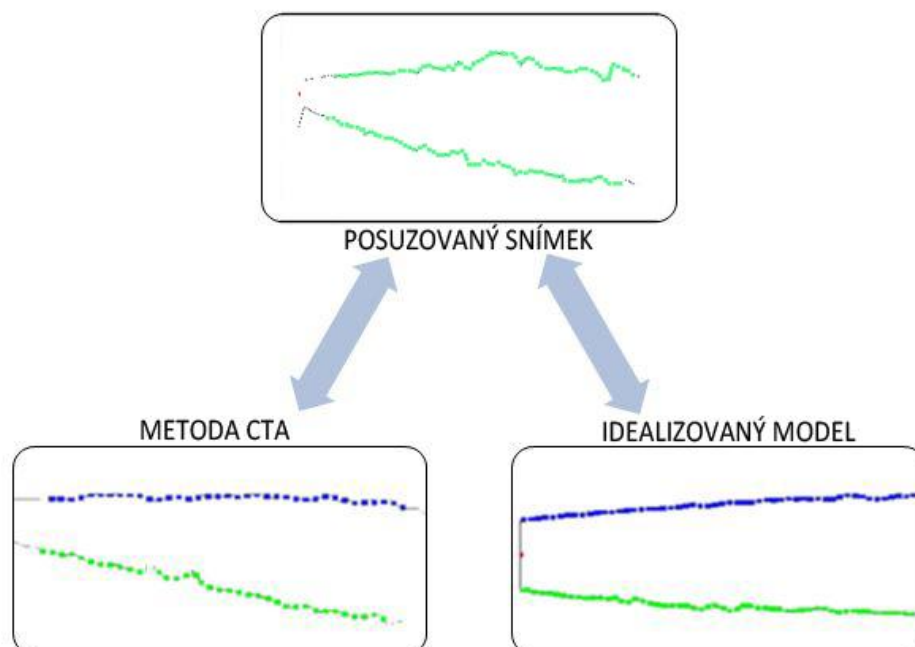
OBR. 53 – SNÍMKY BEZ RUŠIVÝCH JEVŮ (UPRAVENY V PC)

⁶ CTA (Constant Temperature Anemometry) - metoda pro měření rychlostního pole proudu, podrobnosti v [6]

Klíč k posouzení vhodnosti konkrétní detekční metody



OBR. 54 – NEVHODNÁ DETEKČNÍ METODA REPREZENTOVANÁ POSUZOVANÝM SNÍMKEM (KONKR. DETEKCE PODLE POMĚRU $s_R = 10\%$ APLIKOVANÁ NA SNÍMEK S VÝRAZNÝMI RUŠIVÝMI JEVY)



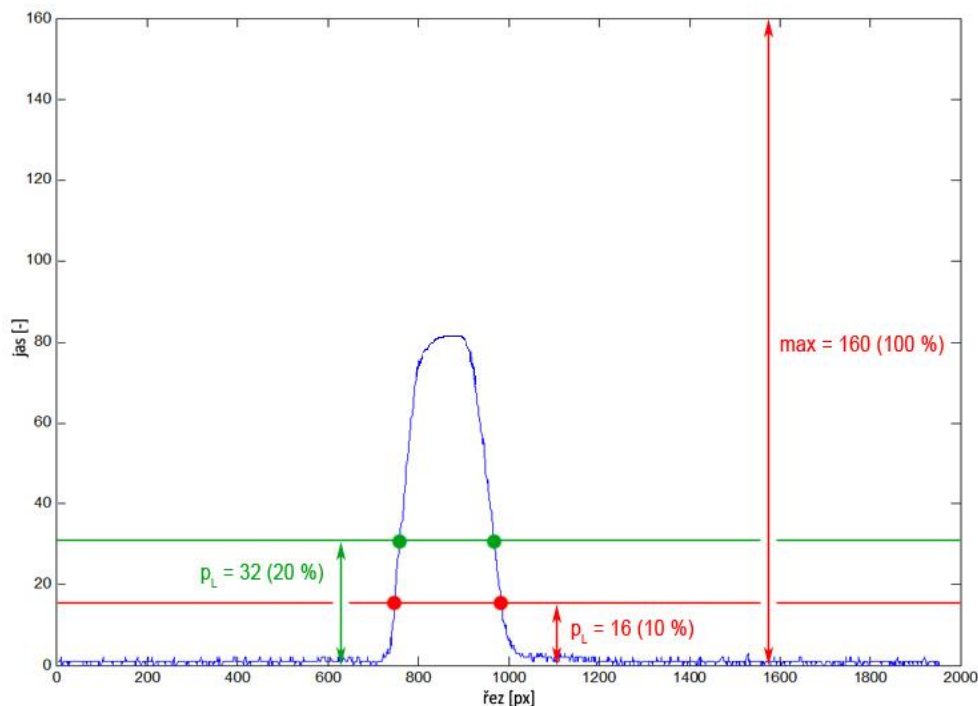
OBR. 55 – VHODNÁ DETEKČNÍ METODA REPREZENTOVANÁ POSUZOVANÝM SNÍMKEM (KONKR. DETEKCE PODLE ZMĚNY $s_R = 50\%$ Z MIN. JAS NA OSE PROUDU APLIKOVANÁ NA SNÍMEK BEZ VÝRAZNÝCH RUŠIVÝCH JEVŮ)

7.1 Volba parametrů detekčních metod

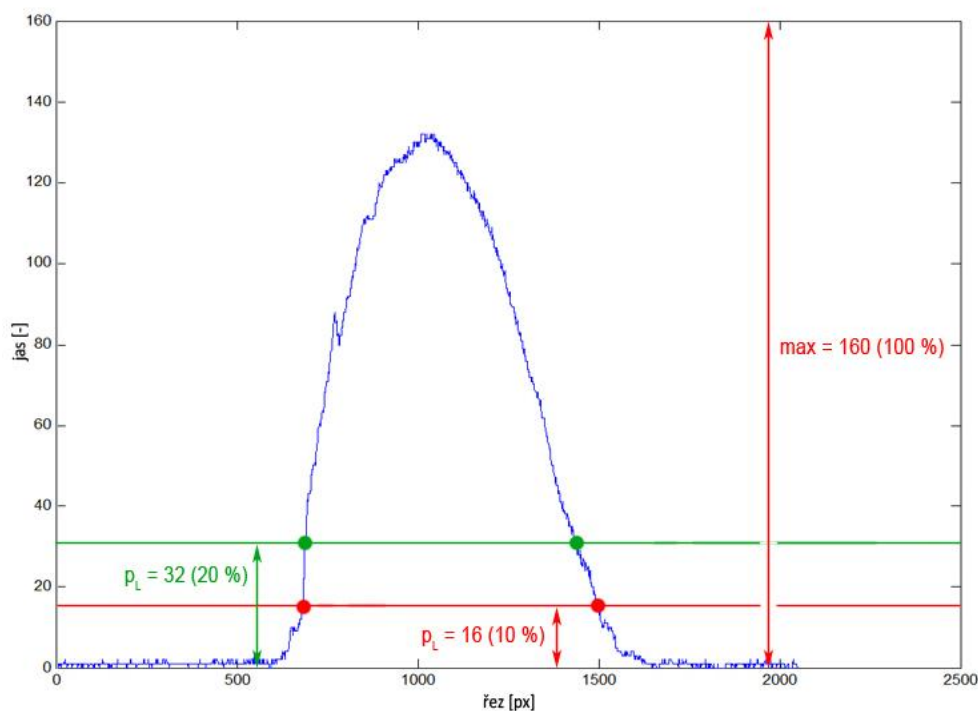
Charakter detekce konkrétní metody je popsán specifickým parametrem (viz kap. 4.3). Jeho vhodnou volbou lze dosáhnout požadovaného charakteru metody. Při vyhodnocování snímků příslušné kvality byly u každé metody zvoleny dvě hodnoty tohoto parametru. Vyhodnocení snímků jedné kvality tedy probíhalo při aplikaci jedné metody ve dvou fázích.

Detekce podle úrovně

V první fázi $p_L = 10\%$, ve druhé fázi $p_L = 20\%$ z max. hodnoty jasu v histogramu (Obr. 56, 57).



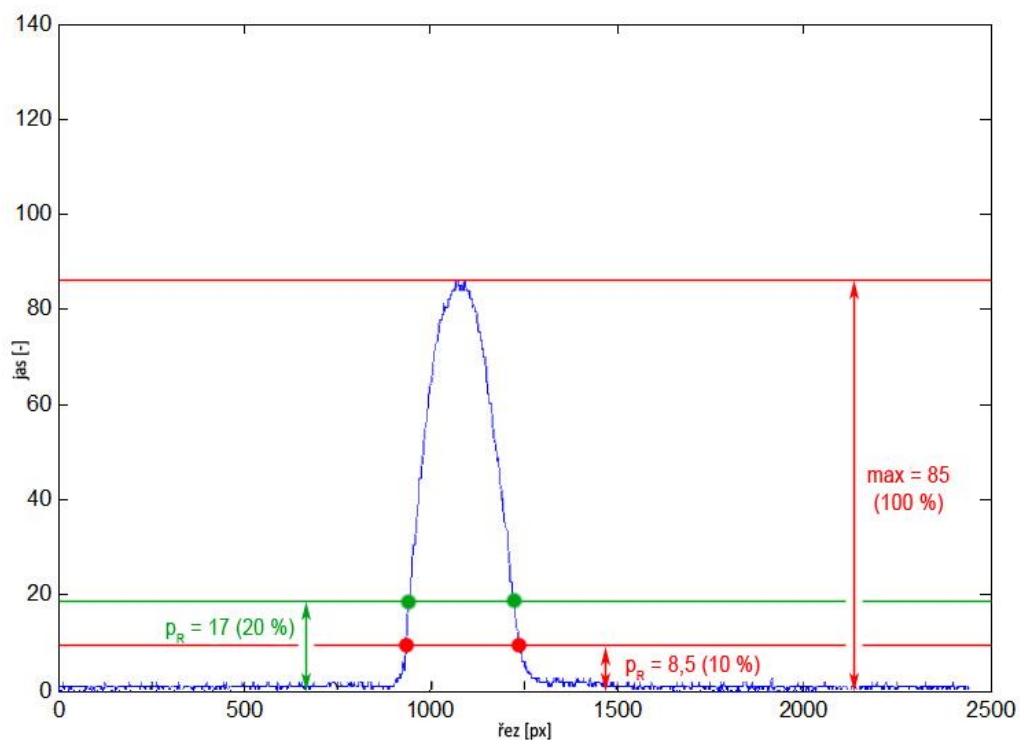
OBR. 56 – PARAMETRY p_L V ŘEZU BLÍŽE K ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELENĚ)



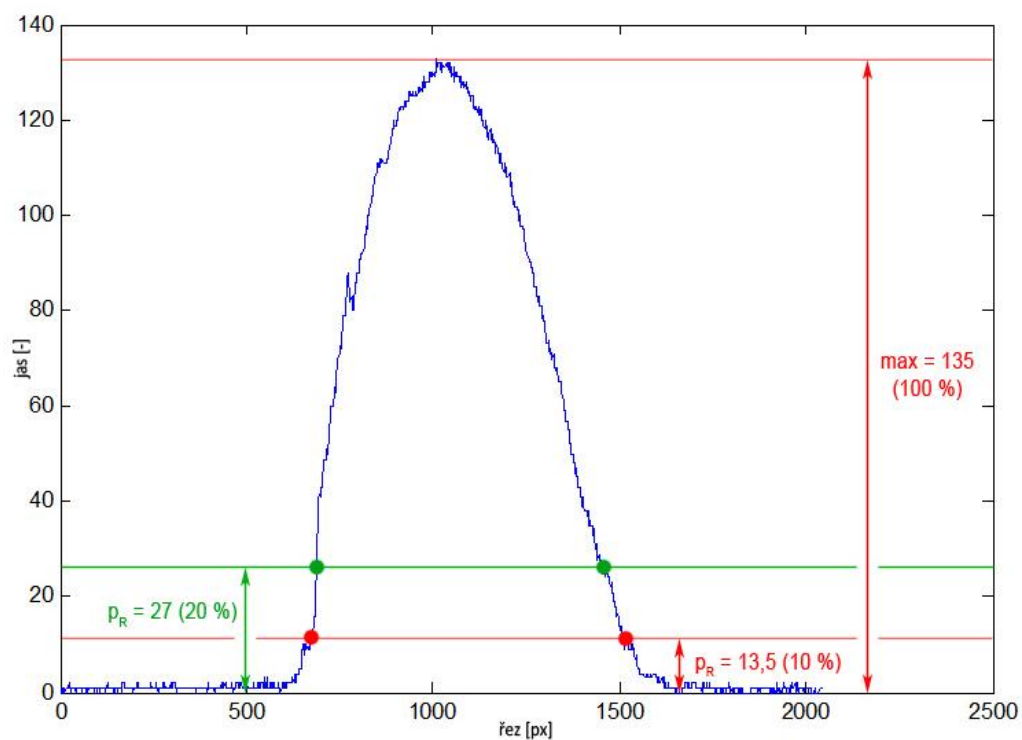
OBR. 57 – PARAMETRY p_L V ŘEZU DÁLE OD ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELENĚ)

Detekce podle poměru

V první fázi $p_R = 10 \%$, ve druhé fázi $p_R = 20 \%$ z max. hodnoty jasů v řezu (Obr. 58, 59).



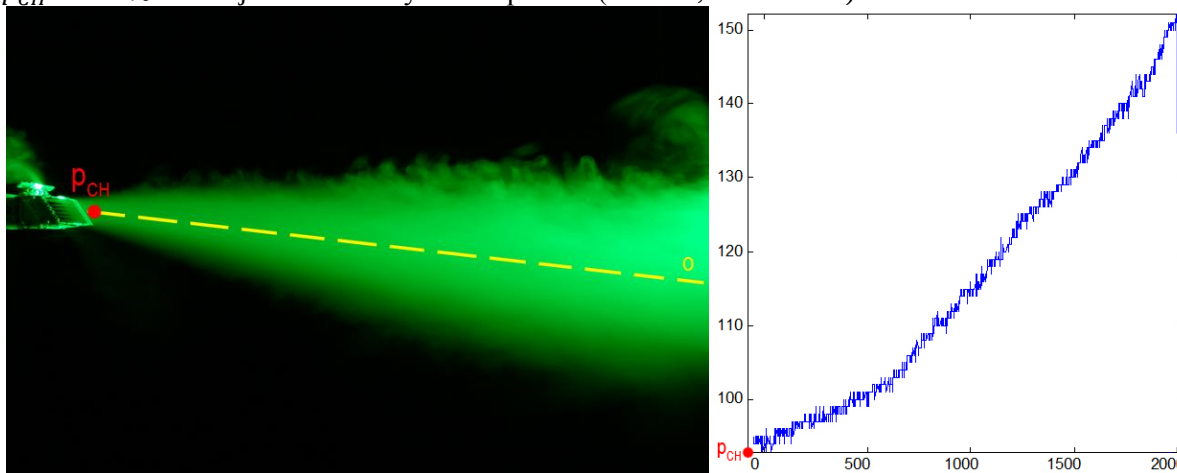
OBR. 58 – PARAMETRY p_R V ŘEZU BLÍŽE K ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELEŇ)



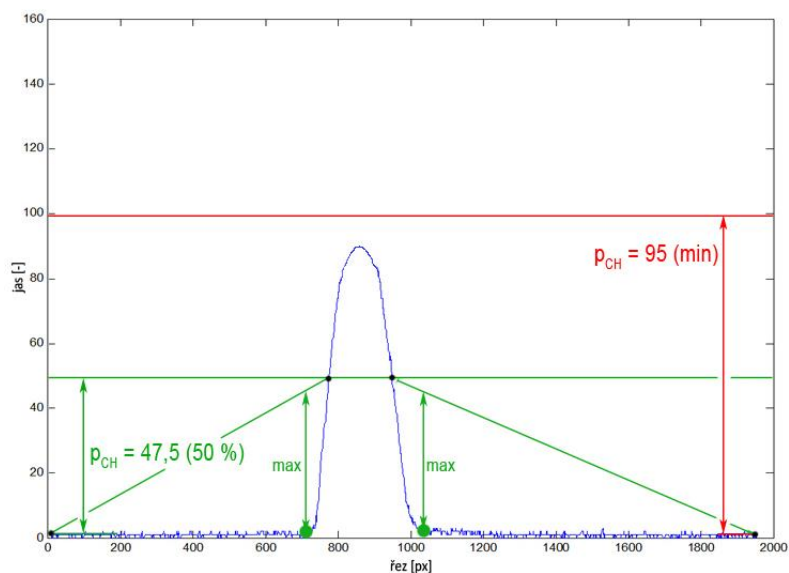
OBR. 59 – PARAMETRY p_R V ŘEZU DÁLE OD ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELEŇ)

Detekce podle změny

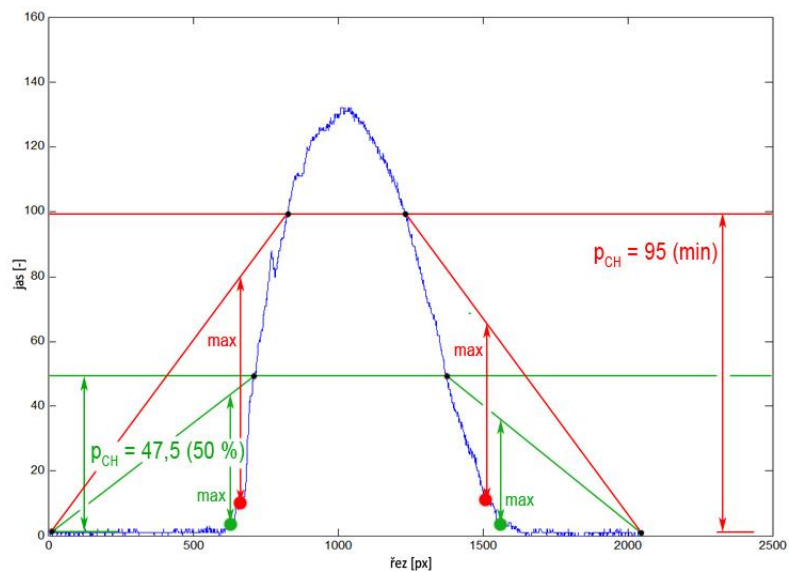
V první fázi $p_{CH} = \min.$ jasová hodnota na ose proudu (Obr. 60, 61, 62 – červeně), ve druhé fázi $p_{CH} = 50 \%$ z min. jasové hodnoty na ose proudu (Obr. 61, 62 – zeleně)



OBR. 60 – ROZLOŽENÍ JASU NA OSE O A ZVÝRAZNĚNÁ MIN. HODNOTA 95 – PARAMETR p_{CH} (MIN) PRO PRVNÍ FÁZI



OBR. 61 – PARAMETRY p_{CH} V ŘEZU BLÍŽE K ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELENĚ)



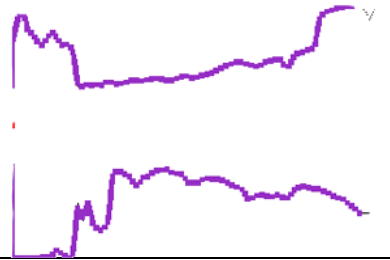
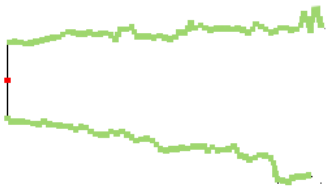
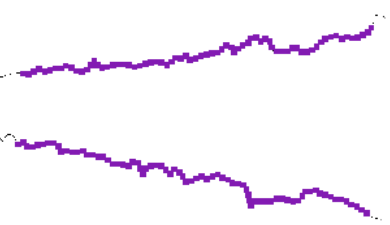
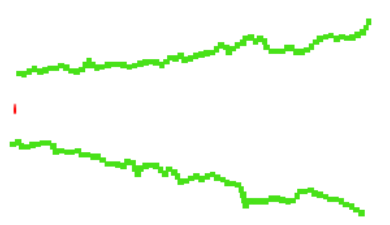
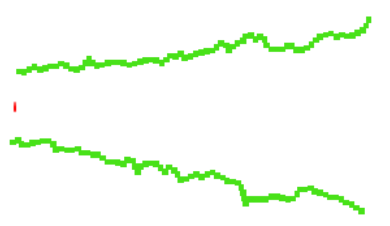
OBR. 62 – PARAMETRY p_{CH} V ŘEZU DÁLE OD ÚSTÍ VYÚSTKY (1. FÁZE ČERVENĚ, 2. FÁZE ZELENĚ)

7.2 Vyhodnocení snímků jednotlivých kvalit

7.2.1 Snímky s výraznými rušivými jevy

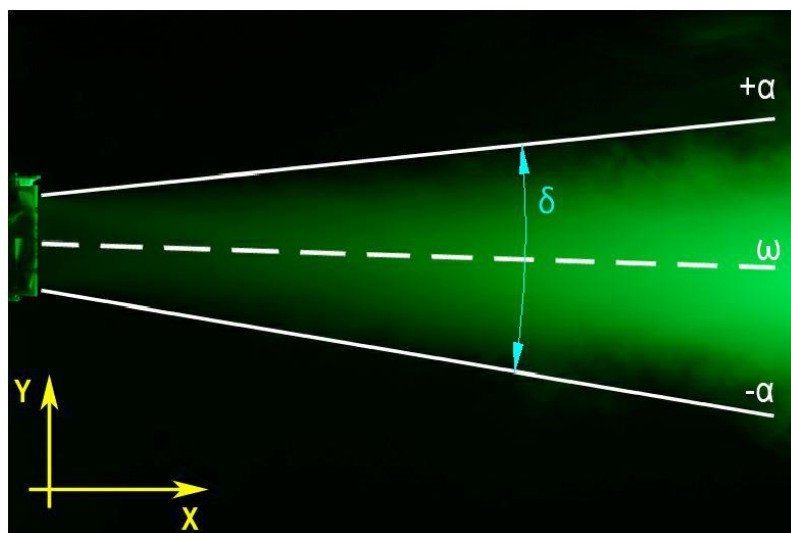
Analýza v rovině XY

TABULKA 3 – TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasu v histogramu		NEVHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasu v řezu		NEVHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas na ose proudu}$		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasu v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasu v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasu na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 4 - DETEKOVANÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 63), NEVHODNÉ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\alpha$ [°]	$\sigma_{+\alpha}$ [°]	$-\alpha$ [°]	$\sigma_{-\alpha}$ [°]	ω [°]	σ_{ω} [°]	δ [°]	σ_{δ} [°]
úroveň_10%	10,78	1,24	-11,44	1,3	-0,6	0,99	21,72	1,68
poměr_10%	-5,63	4,44	-2,97	7,22	-4,33	2,59	8,59	5,16
změna_min	7,92	0,94	-10,59	1,32	-1,38	0,8	18,51	1,68
úroveň_20%	7,89	1,04	-10,76	1,41	-1,47	0,91	18,65	1,74
poměr_20%	7,95	1,02	-10,77	1,4	-1,45	0,9	18,72	1,71
změna_50%	8,99	0,63	-10,2	3,10	-0,64	1,52	19,19	3,34



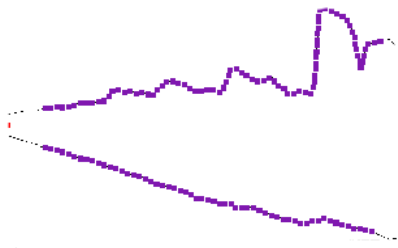
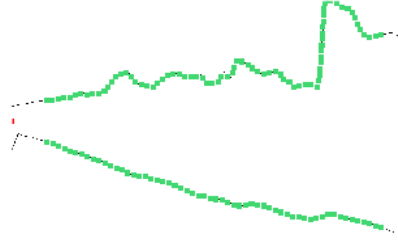
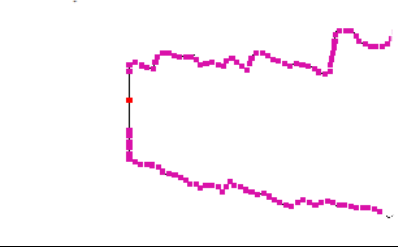
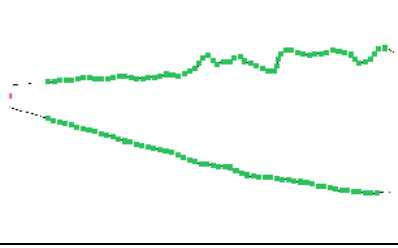
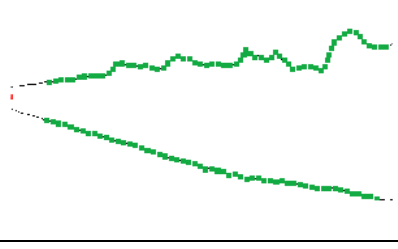
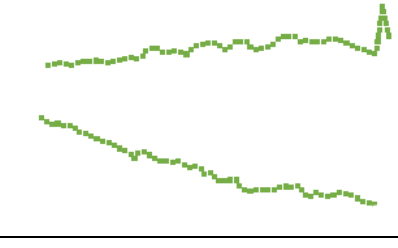
OBR. 63 – ÚHLY VYBOČENÍ PROUDU

TABULKA 5 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (8)

Metoda detekce	$+\alpha'$ [°]	$\sigma_{+\alpha'}$ [°]	$-\alpha'$ [°]	$\sigma_{-\alpha'}$ [°]	ω [°]	$\sigma_{\omega'}$ [°]	δ [°]	$\sigma_{\delta'}$ [°]
úroveň_20%	8,24	1,09	-11,23	1,47	-1,54	0,95	19,42	1,82
poměr_20%	8,29	1,06	-11,23	1,46	-1,51	0,94	19,47	1,78
změna_50%	9,34	0,65	-10,59	3,22	-0,67	1,58	19,89	3,47

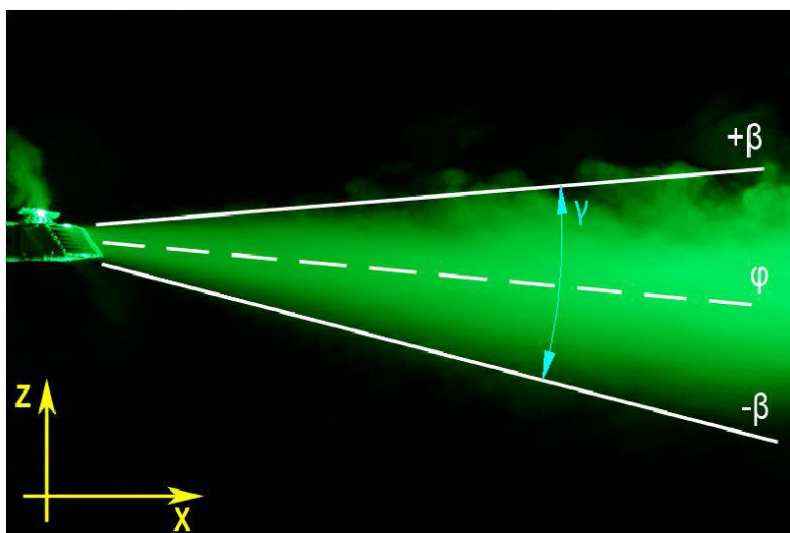
Analýza v rovině XZ

TABULKA 6 - TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasů v histogramu		NEVHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasů v řezu		NEVHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas na ose proudu}$		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasů v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasů na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 7 - DETEKOVANÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 64), NEVHODNÉ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\beta$ [°]	$\sigma_{+\beta}$ [°]	$-\beta$ [°]	$\sigma_{-\beta}$ [°]	φ [°]	σ_{φ} [°]	γ [°]	σ_{γ} [°]
úroveň_10%	8,03	2,61	-13,7	0,96	-2,94	1,17	21,73	3,19
poměr_10%	8,5	2,97	-13,71	0,73	-2,69	1,49	22,21	3,22
změna_min	4,05	3,05	-10,62	5,34	-3,37	2,03	14,67	7,73
úroveň_20%	6,17	2,02	-12,38	1,19	-3,19	1,01	18,56	2,65
poměr_20%	5,9	1,93	-12,58	0,73	-3,43	0,95	18,48	2,23
změna_50%	5,31	1,99	-13,47	0,62	-4,19	1	18,78	2,17



OBR. 64 – ÚHLY SKLONU PROUDU

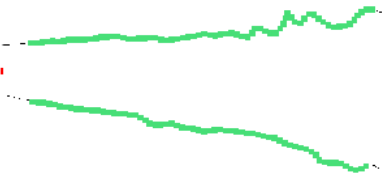
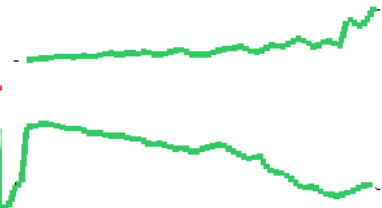
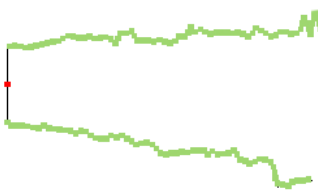
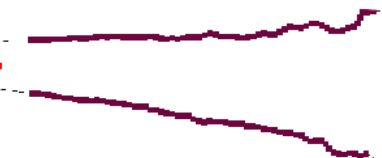
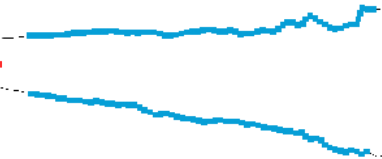
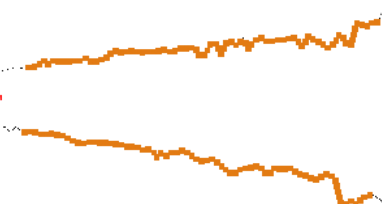
TABULKA 8 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (9)

Metoda detekce	$+\beta'$ [°]	$\sigma_{+\beta'}$ [°]	$-\beta'$ [°]	$\sigma_{-\beta'}$ [°]	φ [°]	σ_{φ} [°]	γ [°]	σ_{γ} [°]
úroveň_20%	6,18	2,02	-12,40	1,19	-3,20	1,01	18,59	2,65
poměr_20%	5,91	1,93	-12,60	0,73	-3,44	0,95	18,51	2,23
změna_50%	5,32	1,99	-13,48	0,62	-4,19	1,00	18,80	2,17

7.2.2 Snímky bez výrazných rušivých jevů

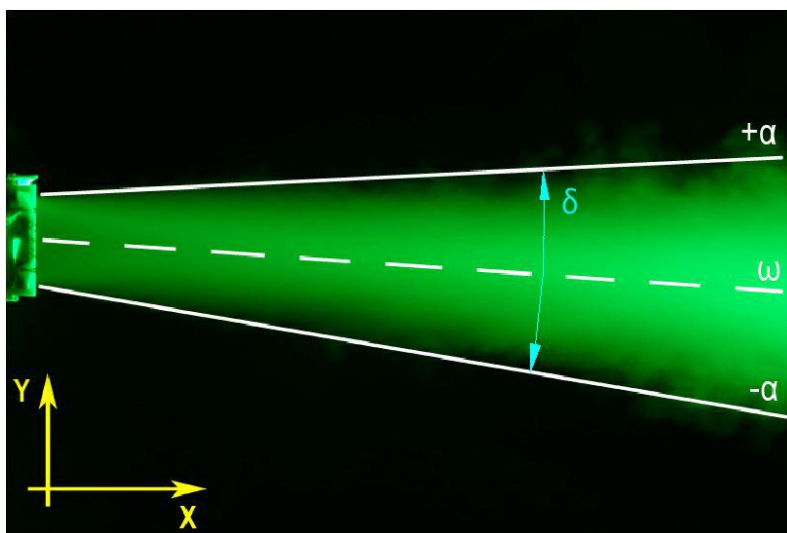
Analýza v rovině XY

TABULKA 9 - TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasů v řezu		NEVHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas na ose proudu}$		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasů v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasů na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 10 - DETEKOVANÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 65), NEVHODNÉ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\alpha$ [°]	$\sigma_{+\alpha}$ [°]	$-\alpha$ [°]	$\sigma_{-\alpha}$ [°]	ω [°]	σ_{ω} [°]	δ [°]	σ_{δ} [°]
úroveň_10%	4,77	1,22	-10,56	2,14	-2,95	1,34	15,34	2,31
poměr_10%	4,68	1,62	-8,13	3,32	-1,75	1,91	12,81	3,65
změna_min	3,65	1,23	-9,85	1,52	-3,15	1,13	13,50	1,65
úroveň_20%	3,26	1,33	-9,64	1,59	-3,23	1,1	12,9	1,98
poměr_20%	2,86	1,2	-9,18	1,64	-3,2	1,14	12,05	1,8
změna_50%	4,29	1,07	-10,28	1,53	3,04	0,98	14,56	1,8



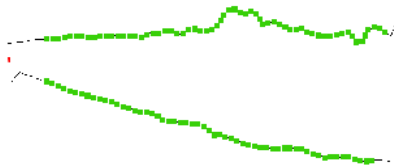
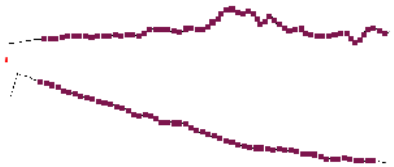
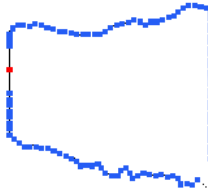
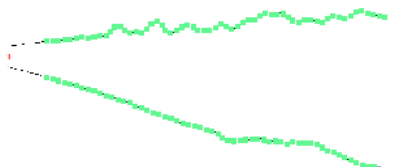
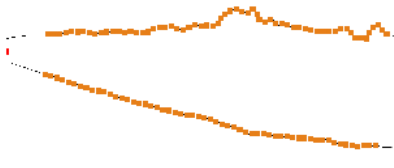
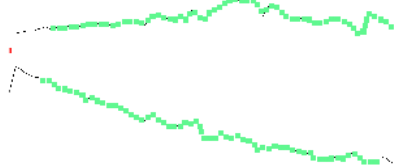
OBR. 65 – ÚHLY VYBOČENÍ PROUDU

TABULKA 11 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (8)

Metoda detekce	$+\alpha'$ [°]	$\sigma_{+\alpha'}$ [°]	$-\alpha'$ [°]	$\sigma_{-\alpha'}$ [°]	ω' [°]	$\sigma_{\omega'}$ [°]	δ' [°]	$\sigma_{\delta'}$ [°]
úroveň_10%	4,93	1,26	-10,91	2,21	-3,05	1,38	15,83	2,39
úroveň_20%	3,38	1,38	-9,99	1,65	-3,35	1,14	13,36	2,05
poměr_20%	2,96	1,24	-9,51	1,70	-3,32	1,18	12,48	1,87
změna_50%	4,43	1,11	-10,61	1,58	3,14	1,01	15,02	1,86

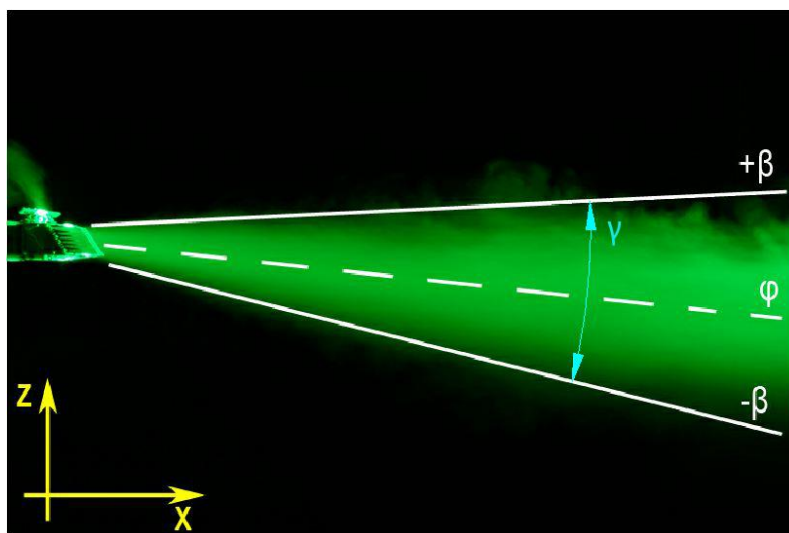
Analýza v rovině XZ

TABULKA 12 - TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasů v řezu		NEVHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas na ose proudu}$		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasů v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasů na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 13 - DETEKOVANÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 66), NEVHODNÉ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\beta$ [°]	$\sigma_{+\beta}$ [°]	$-\beta$ [°]	$\sigma_{-\beta}$ [°]	φ [°]	σ_{φ} [°]	γ [°]	σ_{γ} [°]
úroveň_10%	4,56	1,91	-14,99	1,35	-5,37	1,39	19,55	1,9
poměr_10%	4,21	1,81	-14,08	1,43	-5,06	1,48	18,28	1,51
změna_min	2,42	2,52	-12,75	2,11	-5,16	2,52	12,72	7,23
úroveň_20%	4,95	1,95	-14,06	1,3	-4,68	0,92	19,01	2,76
poměr_20%	3,89	1,78	-13,19	1,12	-4,75	1,26	17,08	1,63
změna_50%	3,71	2,04	-14,26	1,38	-5,41	1,52	17,98	1,8



OBR. 66 – ÚHLY SKLONU PROUDU

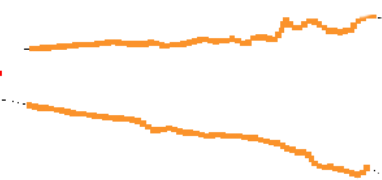
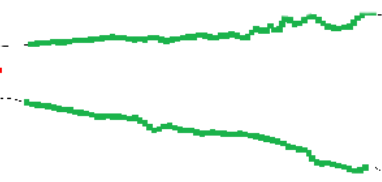
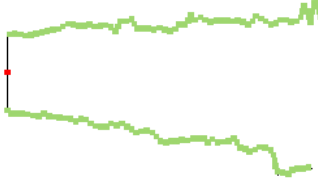
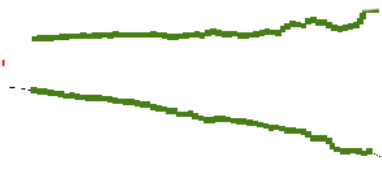
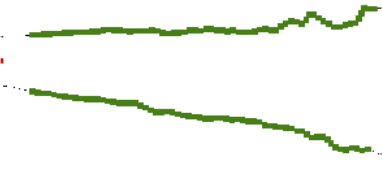
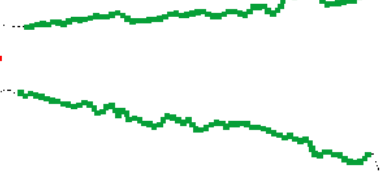
TABULKA 14 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (9)

Metoda detekce	$+\beta'$ [°]	$\sigma_{+\beta'}$ [°]	$-\beta'$ [°]	$\sigma_{-\beta'}$ [°]	φ [°]	σ_{φ} [°]	γ [°]	σ_{γ} [°]
úroveň_10%	4,58	1,92	-15,04	1,36	-5,39	1,40	19,62	1,91
úroveň_20%	4,97	1,96	-14,12	1,31	-4,70	0,92	19,08	2,77
poměr_20%	3,91	1,79	-13,24	1,12	-4,77	1,27	17,15	1,64
změna_50%	3,72	2,05	-14,31	1,39	-5,43	1,53	18,05	1,81

7.2.3 Snímky bez rušivých jevů (upraveny v PC)

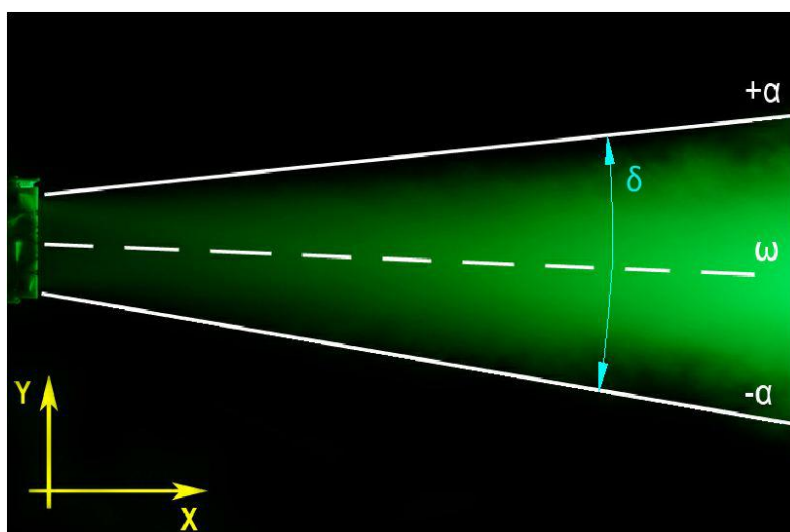
Analýza v rovině XY

TABULKA 15 - TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasu v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasu v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas na ose proudu}$		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasu v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasu v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasu na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 16 - DETEKOVANÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 67), NEVHODNÉ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\alpha$ [°]	$\sigma_{+\alpha}$ [°]	$-\alpha$ [°]	$\sigma_{-\alpha}$ [°]	ω [°]	σ_{ω} [°]	δ [°]	σ_{δ} [°]
úroveň_10%	3,7	1,3	-10,16	1,54	-3,28	1,08	13,86	1,92
poměr_10%	3,46	1,23	-9,82	1,62	-3,22	1,08	13,27	1,92
změna_min	3,92	1,17	-10,08	1,6	-3,13	1,11	14,01	1,75
úroveň_20%	3,21	1,32	-9,6	1,49	-3,24	1,05	12,81	1,9
poměr_20%	2,7	1,15	-9,12	1,58	-3,24	1,08	11,82	1,76
změna_50%	4,26	1,23	-10,13	1,47	-2,98	0,98	14,39	1,91



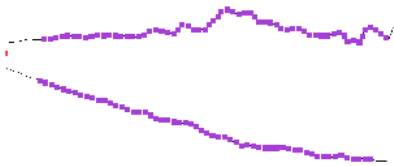
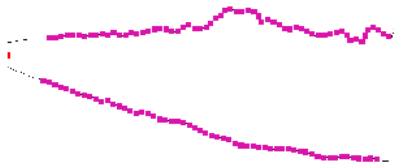
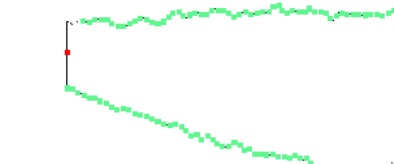
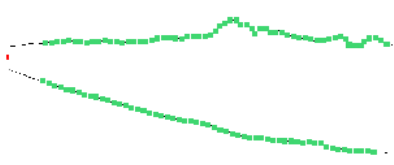
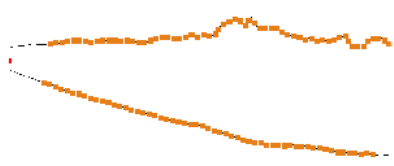
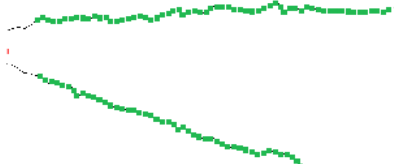
OBR. 67 – ÚHLY VYBOČENÍ PROUDU

TABULKA 17 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY VYBOČENÍ V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (8)

Metoda detekce	$+\alpha'$ [°]	$\sigma_{+\alpha'}$ [°]	$-\alpha'$ [°]	$\sigma_{-\alpha'}$ [°]	ω' [°]	$\sigma_{\omega'}$ [°]	δ' [°]	$\sigma_{\delta'}$ [°]
úroveň_10%	3,82	1,34	-10,49	1,59	-3,39	1,12	14,30	1,98
poměr_10%	3,58	1,27	-10,15	1,68	-3,33	1,12	13,70	1,99
úroveň_20%	3,32	1,37	-9,94	1,54	-3,36	1,09	13,25	1,97
poměr_20%	2,80	1,19	-9,45	1,64	-3,36	1,12	12,24	1,82
změna_50%	4,40	1,27	-10,46	1,52	-3,08	1,01	14,84	1,97

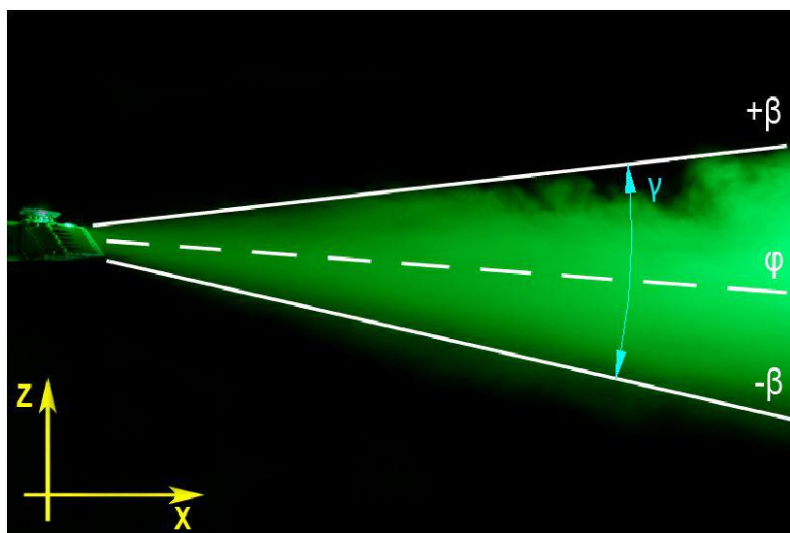
Analýza v rovině XZ

TABULKA 18 - TVARY DETEKOVANÝCH OBLASTÍ

Detekční metoda	Tvar detekované oblasti	Vhodnost dle klíče
podle úrovně, $p_L = 10\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 10\%$ z max. jasů v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = \text{min. jas}$ na ose proudu		NEVHODNÁ
podle úrovně, $p_L = 20\%$ z max. jasů v histogramu		VHODNÁ
podle poměru, $p_R = 20\%$ z max. jasů v řezu		VHODNÁ
podle změny, $p_{CH} = 50\%$ z min. jasů na ose proudu		VHODNÁ

TABULKA 19 - DETEKOVANÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU LASEROVÉ ROVINY (OBR. 68), NEVHODNĚ ČERVENĚ

Metoda detekce	$+\beta$ [°]	$\sigma_{+\beta}$ [°]	$-\beta$ [°]	$\sigma_{-\beta}$ [°]	φ [°]	σ_{φ} [°]	γ [°]	σ_{γ} [°]
úroveň_10%	4,41	2,03	-14,94	1,37	-5,42	1,38	19,35	2,15
poměr_10%	4,06	1,9	-14,34	1,28	-5,27	1,41	18,4	1,67
změna_min	3,32	8,31	-11,98	6,57	-7,71	6,25	8,66	8,24
úroveň_20%	4,44	2,02	-14,06	1,37	-4,93	1,23	18,5	2,46
poměr_20%	3,89	1,78	-13,24	1,11	-4,78	1,26	17,14	1,62
změna_50%	4,14	2,06	-14,78	1,31	-5,47	1,46	18,92	1,93



OBR. 68 – ÚHLY SKLONU PROUDU

TABULKA 20 – PŘEPOČÍTANÉ VHODNÉ ÚHLY SKLONU V SOUŘADNÉM SYSTÉMU AUTOMOBILU – DLE VZTAHU (9)

Metoda detekce	$+\beta'$ [°]	$\sigma_{+\beta'}$ [°]	$-\beta'$ [°]	$\sigma_{-\beta'}$ [°]	φ' [°]	$\sigma_{\varphi'}$ [°]	γ' [°]	$\sigma_{\gamma'}$ [°]
úroveň_10%	4,43	2,04	-15,00	1,38	-5,44	1,39	19,43	2,16
poměr_10%	4,08	1,91	-14,40	1,29	-5,29	1,42	18,47	1,68
úroveň_20%	4,46	2,03	-14,12	1,38	-4,95	1,24	18,57	2,47
poměr_20%	3,91	1,79	-13,29	1,11	-4,80	1,27	17,21	1,63
změna_50%	4,16	2,07	-14,83	1,31	-5,49	1,47	18,99	1,94

7.3 Vhodnost detekčních metod

Použité detekční metody pracují na různých principech (viz kap. 4.3). Jejich vhodnost pro uvedené kvality snímků lze posoudit podle uvedeného klíče (viz kap. 7). Vhodnost lze také upravit příslušnou změnou specifického parametru.

7.3.1 Detekce podle úrovně

Detekce podle úrovně je metoda typu globálního prahování. Zvyšování parametru p_L v případě potřeby eliminuje rušivé jevy (viz Tab. 19), má také ovšem za následek zkreslení výsledků z důvodu nerovnoměrného nasvícení scény.

Tato metoda je při použití nižšího parametru p_L vhodná zejména pro počítačově upravené snímky, popř. pro snímky bez výrazných rušivých jevů. Aplikace na snímky s výraznými rušivými jevy je možná, zejména s použitím vyššího parametru p_L . Z důvodu nerovnoměrného nasvícení scény však používání vyššího parametru p_L není vhodné.

TABULKA 21 – VHODNOST POUŽITÍ DETEKCE PODLE ÚROVNĚ

kvalita snímku	s výraznými rušivými jevy	bez výrazných rušivých jevů	bez rušivých jevů (upraveny v PC)	- nevhodné + vhodné ++ velmi vhodné
vhodnost $p_L = 10 \%$	-	+	++	
vhodnost $p_L = 20 \%$	+	+	++	

7.3.2 Detekce podle poměru

Detekce podle poměru je metoda typu lokálního prahování. Zvyšování parametru p_R v případě potřeby eliminuje rušivé jevy (viz Tab. 20), vliv nerovnoměrného nasvícení scény je díky lokalizaci prahování částečně eliminován.

Tato metoda je při použití nižšího parametru p_R vhodná zejména pro počítačově upravené snímky. Pro snímky s výraznými rušivými jevy i bez nich je použití nižšího parametru p_R nevhodné a často vede k nekonvergenci celé metody. Aplikace na snímky s výraznými rušivými jevy i bez nich je ovšem možná, zejména s použitím vyššího parametru p_R . Použití vyššího parametru p_R je žádoucí i s přihlédnutím na nerovnoměrně nasvícenou scénu.

TABULKA 22 – VHODNOST POUŽITÍ DETEKCE PODLE POMĚRU

kvalita snímku	s výraznými rušivými jevy	bez výrazných rušivých jevů	bez rušivých jevů (upraveny v PC)	- nevhodné + vhodné ++ velmi vhodné
vhodnost $p_R = 10 \%$	-	-	++	
vhodnost $p_R = 20 \%$	+	++	++	

7.3.3 Detekce podle změny

Detekce podle změny je metoda typu lokálního prahování. Práh je v každém řezu hledán pomocí speciální grafické konstrukce. Metoda je vhodná pro všechny 3 uvedené typy snímků, velmi důležitá je ovšem správná volba parametru p_{CH} (viz Tab. 21).

V první fázi byla určena hodnota parametru p_{CH} dle uvedeného postupu (viz kap. 7.1). Parametr p_{CH} jako minimální hodnota jasu na ose proudu vede k detekci správného tvaru proudu, metoda je navíc velmi odolná i na snímky s výraznými rušivými jevy. Tato hodnota p_{CH} je ovšem experimentátorem určena pouze podle referenčního snímku. U ostatních snímků, které se s takto určenou hodnotou neztotožňují (minimální jasová hodnota ose je nižší než zvolený parametr p_{CH}), není metoda schopná okraje detekovat a nekonverguje. To je nežádoucí stav, který zvyšuje riziko nesprávných výsledků.

Ve druhé fázi je parametr p_{CH} volen jako 50 % předešlé hodnoty p_{CH} . Metoda po této úpravě eliminuje chybu vzniklou v první fázi a vždy konverguje, je naopak náchylnější k detekci rušivých jevů. Rozdíl v rozevření proudu je ovšem oproti první fázi maximálně 1°, a proto je možné považovat tyto výsledky za správné.

TABULKA 23 - VHODNOST POUŽITÍ DETEKCE PODLE ZMĚNY

kvalita snímku	s výraznými rušivými jevy	bez výrazných rušivých jevů	bez rušivých jevů (upraveny v PC)	- nevhodné + vhodné ++ velmi vhodné
vhodnost $p_{CH} = \min$	-	-	-	
vhodnost $p_{CH} = 50 \%$	++	++	++	

Závěr

Práce pojednává o proudění z interiérové automobilové vyústky se zaměřením se na určení okrajových bodů a okrajových přímků vystupujícího proudu.

V první části práce je proveden základní rozbor obecného proudění a jeho parametrů. Proudění z automobilové vyústky je na základě rozboru označeno jako volný izotermní proud.

Následuje přehled vizualizačních metod obecného proudění, a také literární rešerše vizualizačních metod používaných při proudění z vyústek. Rešerše ukazuje, že nejpoužívanějšími metodami pro vizualizaci proudění z vyústek (zejména automobilových) jsou metody na principu zavádění cizích částic do proudu, pokud je předmětem zájmu jeho rychlostní pole. Pokud je předmětem zájmu tvar a směřování proudu, využívají se např. metody kouřové či termovizní vizualizace.

Výstupem kouřové vizualizace bývá snímek se zviditelněnou oblastí proudu. Pro oddělení oblasti proudu a pozadí se využívají segmentační techniky, jejichž přehled je v práci uveden. Tyto techniky detekují okrajové body proudu, které je následně možné proložit přímkou a získat tak okrajové přímky. Metody vhodné pro detekci okrajových bodů proudu (detekce podle úrovně, poměru a změny) fungují na principu globálního či lokálního prahování a jsou v práci podrobně popsány.

Praktická část práce obsahuje mj. revizi zkušebního zařízení a optimalizaci záznamového řetězce. Zkušební zařízení, zejména měřicí přístroje jsou oproti předchozím experimentům vhodněji rozmístěny a zapojeny. Záznamový řetězec prošel základní optimalizací, největším přínosem je možnost opakovaného pořízení snímků se stejnými světelnými vlastnostmi (viz EV hodnota) a také možnost dálkového ovládání všech komponent záznamového řetězce, což v minulosti nebylo možné.

Stěžejní částí práce je vyhodnocení experimentu. Analýza obrazu proběhla na snímcích trojí kvality. Byly to snímky s výraznými rušivými jevy, bez výrazných rušivých jevů a retušované snímky, tzn. naprosto bez rušivých jevů. Na tyto snímky byly aplikovány 3 různé detekční metody. Byla to detekce podle úrovně, detekce podle poměru a detekce podle změny.

Analýzou bylo zjištěno, že detekce podle úrovně je při použití nižšího parametru p_L vhodná především pro snímky bez rušivých jevů a bez výrazných rušivých jevů. Se zhoršující se kvalitou snímků je možné tyto jevy eliminovat zvyšováním parametru p_L , z důvodu nerovnoměrného nasvícení snímku však tento postup není doporučen.

Dále se ukázalo, že detekce podle poměru je při použití nižšího parametru p_R naprosto nevhodná jak pro snímky s rušivými jevy, tak pro snímky bez výrazných rušivých jevů. Náchylnost k detekování velmi nízkých jasových hodnot je v obou případech vysoká. Eliminovat tento nežádoucí stav je možné zvyšováním parametru p_R . Jelikož se jedná o metodu typu lokálního prahování, vyššímu parametru p_R by nemělo vadit ani nerovnoměrné nasvícení snímku.

Poslední vyhodnocovanou metodou byla detekce podle změny. Při volbě nižšího parametru p_{CH} je metoda vhodná pro snímky všech kvalit. Při volbě vyššího parametru se rušivé jevy eliminují, zároveň se však zvyšuje náchylnost k nekonvergenci metody.

Z celkové analýzy vyplývá, že při volbě správného parametru je nejuniverzálnější detekční metoda detekce podle změny. Další dva typy detekcí lze použít rovněž, je však třeba brát větší ohled na kvalitu vybíraných snímků. Retušované snímky je možné detekovat všemi zmíněnými metodami prakticky rovnocenně, je však třeba přihlídnout k časové náročnosti samotného retušování a také k možnému riziku ovlivnění oblasti proudu při této operaci.

Seznam použité literatury

- [1] BEČICA, R. Vizualizace proudu z větrací vyústky pro přístrojovou desku osobního vozu. In. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, s. 79.
- [2] JANALÍK, J., ŠTÁVA, P., FAKULTA, V. Š. B.-T. U. O. S. *Mechanika tekutin*. Edition ed.: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN 9788024800387.
- [3] JEŽEK, J., VÁRADIOVÁ, B., ADAMEC, J. *Mechanika tekutin*. Edition ed.: ČVUT, 1997. ISBN 9788001016152.
- [4] Středoškolská fyzika [online]. [citováno 28.5. 2014]. Dostupné z<http://kvinta-html.wz.cz/fyzika/mechanika/tekutiny/proudeni_kapalin_a_plynu.htm>.
- [5] JANOTKOVÁ, E. *TECHNIKA PROSTŘEDÍ* - 1. část [online]. 2011 [citováno 28.5. 2014]. Dostupné z:<http://studyenergyweb.fme.vutbr.cz/file/110_1_1/>.
- [6] LEŽOVIČ, T. Experimentální analýza proudu vzduchu z ofukovače osobního vozu s využitím žárového anemometru a návrh hodnocení kvality ofukovače. In. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, s. 90.
- [7] JANOTKOVÁ, E. *Technika prostředí*. Edition ed.: Čs. redakce MON, 1991. ISBN 9788021402584.
- [8] Měřicí tratě DN 50-1000 [online]. [citováno 2.5. 2014]. Dostupné z<<http://www.mattech.cz/o-nas/produkty-group1/merici-trate/50-1000>>.
- [9] Studijní podklady - Coandův jev. In.
- [10] SIMPSON, B. Using The Coanda Effect In A Pulse Jet [online]. 2002. Dostupné z<<http://aardvark.co.nz/pjet/coanda.shtml>>.
- [11] KRŠKA, L. Experimentální analýza proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu s využitím kouřové metody a návrh hodnocení kvality vyústky. In. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011, s. 82.
- [12] NOVÝ, R., FAKULTA, Č. V. U. T. V. P. S. *Technika prostředí*. Edition ed.: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 9788001021088.
- [13] Testo 454 Instruction manual. In.
- [14] ĎURDINA, L. Metody vizualizace proudění. In. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010, s. 45.
- [15] PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E., ŠTĚTINA, J. Vizualizační a optické měřicí metody [online]. 2. [Brno]: Odbor termomechaniky a techniky prostředí, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2007 [citováno 25.3. 2014]. Dostupné z:<<http://ottp.fme.vutbr.cz/~pavelek/optika/0000.htm>>.
- [16] BOSEK, M. Contrails ! Airflow visualization [online]. Dostupné z<http://contrails.free.fr/test_aero_huile_en.php>.
- [17] MCQUILLAN, B., HERTZBERG, J., MONTTOYA, L. D. Flow visualization study of synthetic flow control in the indoor environment. *Building and Environment*, 3// 2014, 73(0), 239-248.
- [18] GORI, F., PETRACCI, I., ANGELINO, M. Flow evolution of a turbulent submerged two-dimensional rectangular free jet of air. *Average Particle Image Velocimetry (PIV) visualizations and measurements. International Journal of Heat and Fluid Flow*, 12// 2013, 44(0), 764-775.
- [19] LEE, J. P., KIM, H. L., LEE, S. J. Large-scale PIV measurements of ventilation flow inside the passenger compartment of a real car. *Journal of visualization*, 2011, 14(4), 321-329.
- [20] ISHIHARA, Y., HARA, J., SAKAMOTO, H., KAMEMOTO, K., et al. Determination of flow velocity distribution in a vehicle interior using a visualization and computation techniques. 1991.

- [21] PEŠEK, M. The temperature fields measurement of air in the car cabin by infrared camera. EPJ Web of Conferences, 2013, 45, 01073.
- [22] JANČÍK, L. , BAŠTA, J. Termovizní vizualizace teplotního pole neizotermního vzdušného proudu [online]. 2011 [citováno 25.5. 2014]. Dostupné z<<http://www.asb-portal.cz/tzb/vetrani-a-klimatizace/termovizni-vizualizace-teplotniho-pole-neizotermniho-vzdusneho-proudu>>.
- [23] ŠPANĚL, M. , BERAN, V. Obrazové segmentační techniky [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, Ústav počítačové grafiky a multimédií, 2005 [citováno 26.3.2014. Dostupné z<http://www.fit.vutbr.cz/~spanel/segmentace/#_Toc125769322>.
- [24] PAL, N. R. , PAL, S. K. A review on image segmentation techniques. Pattern Recognition, 9// 1993, 26(9), 1277-1294.
- [25] DAVIES, E. R. *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Edition ed.: Elsevier, 2012. ISBN 9780123869081.
- [26] SENTHILKUMARAN, N. , RAJESH, R. Edge detection techniques for image segmentation—a survey of soft computing approaches. International Journal of Recent Trends in Engineering, 2009, 1(2), 250-254.
- [27] JANOUSOVÁ, E. Statistické metody segmentace v MRI obrazech mozku. In. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta., 2008.
- [28] CHAN, T. F. , VESE, L. A. Active contours without edges. Image Processing, IEEE Transactions on, 2001, 10(2), 266-277.
- [29] BAJGAR, A. Segmentačních techniky zpracování obrazu 2013.
- [30] WU, T. , QIN, K. Image data field for homogeneous region based segmentation. Computers & Electrical Engineering, 3// 2012, 38(2), 459-470.
- [31] BEUCHER, S. , LANTUEJOL, C. Use of Watersheds in Contour Detection. In *International Workshop on Image Processing: Real-time Edge and Motion Detection/Estimation, Rennes, France.*, 1979.
- [32] EDDINS, S. The Watershed Transform: Strategies for Image Segmentation [online]. 2002. Dostupné z<<http://www.mathworks.com/company/newsletters/articles/the-watershed-transform-strategies-for-image-segmentation.html>>.
- [33] GLASBEY, C. A. , HORGAN, G. W. *Image analysis for the biological sciences*. Edition ed.: J. Wiley, 1995. ISBN 9780471937265.
- [34] HÁJOVSKÝ, R. *Zpracování obrazu v měřicí a řídicí technice učební text : studijní materiály pro studijní obor Měřicí a řídicí technika, Elektronika Fakulty elektrotechniky a informatiky*. edited by PUSTKOVÁ, R. , KUTÁLEK, F. Edition ed. Vysoká škola báňská - Technická univerzita: Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2596-0 (CDR).
- [35] KULA, J., LINKA, A. , TUNÁK, M. Zpracování a analýza obrazu [online]. [Liberec]: Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, [citováno 5.4. 2014]. Dostupné z<http://blade1.ft.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?page=publ&action=showThemeContentText&item=500&theme_id=39>.
- [36] KALOVÁ, I. Segmentace a detekce geometrických primitiv [online]. [Brno]: VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, [citováno 5.4. 2014]. Dostupné z<http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/zvs_cz.php>.
- [37] RICHTER, J. , STASTNY, J. Fog Border Detection in the Airflow Image.
- [38] RICHTER, J. Interfer. [2014].
- [39] Měření a regulace teploty [online]. [citováno 27.5. 2014]. Dostupné z<<http://www.aterm.cz/Teperm.htm>>.

- [40] JANDÍK, A. LAO - průmyslové systémy, s.r.o. [online]. [citováno 25.5. 2014]. Dostupné z<<http://www.lao.cz/lao-info-49/vyvoj-ve-firme-lao---laserovy-nuz-a-laser-combiner-55>>.
- [41] WIKIPEDIA [online]. [citováno 26.5. 2014]. Dostupné z<http://fr.wikipedia.org/wiki/Canon_EOS_300D>.
- [42] CALETKA, P. Metodika měření ofukovačů v kabině osobního automobilu - optimalizace záznamového řetězce. In., 2014.
- [43] PIHAN, R. FotoRoman.cz [online]. [citováno 26.5. 2014]. Dostupné z<http://fotoroman.cz/techniques2/exposure_basic.htm#Clonov%C3%A9%20%C4%8D%C3%ADslo%20versus%20clona>.
- [44] LEŽOVIČ, T., LÍZAL, F., JEDELSKÝ, J. , JÍCHA, M. HVAC automotive vents evaluation and their performance. HVAC&R Research, 2013/11/17 2013, 19(8), 1073-1082.

Seznam použitých symbolů

Symbol Jednotka Popis

Symbols in Latin

Ar_0	[-]	Archimédovo číslo
D_e	[m]	Ekvivalentní průměr
EV	[-]	Expoziční hodnota
f	[-]	Jasová hodnota
F	[-]	Clonové číslo
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Délkový rozměr
L	[m]	Charakteristický rozměr potrubí
l_0	[m]	Charakteristický rozměr vyústky
p	[-]	Parametr detekční metody
Q_V	[m ³ ·s ⁻¹]	Objemový průtok
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
S	[m ²]	Vnitřní průřez potrubí
S_0	[m ²]	Průřez proudu z vyústky
S_c	[m ²]	Jmenovitý průřez vyústky
T	[-]	Práh u jednoúrovňového prahování, okrajový bod proudu
t	[s]	čas závěrky
T_0	[°K]	Teplota vzduchu proudícího z vyústky
t_0	[°C]	Teplota vzduchu proudícího z vyústky
T_i	[°K]	Teplota okolního vzduchu
t_i	[°C]	Teplota okolního vzduchu
T_i	[-]	Prahová jasová hodnota víceúrovňového prahování
T_n	[-]	Prahová jasová hodnota lokálního prahování
w	[m·s ⁻¹]	Rychlost
w_0	[m·s ⁻¹]	Výtoková rychlost z vyústky
X	[-]	Osa X
Y	[-]	Osa Y
Z	[-]	Osa Z

Greek symbols

α	[°]	Úhel
β	[°]	Úhel
γ	[°]	Úhel
δ	[°]	Úhel
ε	[°]	Úhel
θ	[°]	Úhel
κ	[-]	Poměr celkové plochy otvorů ke jmenovitému průřezu vyústky
σ	[-]	Směrodatná odchylka
τ	[-]	Součinitel zúžení (obvykle volen 0,9)
ν	[m ² ·s ⁻¹]	Kinematická viskozita

φ	[°]	Úhel
ω	[°]	Úhel

Indexy

CH	Detekce podle změny
i	Souřadnice
j	Souřadnice
L	Detekce podle úrovně
R	Detekce podle poměru