



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**POSOUZENÍ FUNKČNOSTI RŮZNÝCH MODIFIKACÍ
VĚTRACÍ VYÚSTKY PRO KABINU OSOBNÍHO VOZU**

EVALUATION OF FUNCTIONALITY OF SEVERAL MODIFICATIONS OF VENTILATION OUTLET FOR
PASSENGER CAR CABIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Caletka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Petr Caletka**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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

Posouzení funkčnosti různých modifikací větrací vyústky pro kabinu osobního vozu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Prostředí v kabinách dopravních prostředků ovlivňuje komfort posádky i její aktivní bezpečnost. Předpokladem správné funkce ventilačního systému vozidla je optimalizovaná konstrukce vnitřních větracích vyústek.

Při hodnocení proudění vzduchu z vyústky bude použita vizualizace proudu pomocí tzv. kouřové metody, kdy je proud vzduchu z vyústky zviditelněn vhodným světelným zdrojem a jeho obraz zaznamenán pomocí kamery nebo fotoaparátu. Získaný 2D obraz proudění je pak analyzován pro získání informací o směru proudění a geometrii proudu.

Tato práce má za úkol optimalizovat a aplikovat kouřovou metodu na několika modifikacích generické vyústky. Data budou analyzována s cílem stanovit parametry proudění, porovnat jednotlivé modifikace a posoudit jejich přednosti a nedostatky.

Cíle diplomové práce:

Rešerše literatury k problému (automobilní vyústky: typová řešení a jejich výhody/nedostatky, vizualizace proudění kouřovou metodou: vyhodnocování obrazu, poskytované výstupy, korekce)

Optimalizace nastavení komponent vizualizačního řetězce, ověření přesnosti snímačů zkušebního stendu

Vizualizace proudění z vyústky pro několik případů (různé nastavení lamel, konfigurace kanálu, klapky a vyústky)

Technická analýza výsledků (vyhodnocení okrajů proudu, stanovení úhlu směřování proudu a případně homogenity proudu, přepočty výsledků do stanoveného systému souřadnic). Fyzikální analýza výsledků (vysvětlení zjištěných výsledků, porovnání jednotlivých variant, zhodnocení a návrhy na optimální řešení)

Seznam literatury:

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.

AWBI, Hazim. Ventilation of buildings. London : Spon press, 2003. 536 s. ISBN 0-415-27056-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá určováním okrajů proudu vystupujícího z benchmarkové automobilové vyústky (pravé přední – před spolujezdcem), a to pomocí kouřové vizualizace. V této práci je testováno celkem osm konstrukčních variant, které se mezi sebou liší typem lamelové mříže. Úhly okrajů proudu jsou porovnány s příslušnými požadavky na směřování (zadanými firmou ŠKODA AUTO a.s.) a dle těchto výsledků je určena směrovatelnost každé lamelové mříže. Z výsledků experimentů vyplývá, že lepší směrovatelnosti ve vertikální rovině dosahují lamelové mříže, které mají umístěny horizontální lamely blíže výstupnímu otvoru nebo obsahují více horizontálních a méně vertikálních lamel, nezávisle na jejich umístění. Směrovatelnost lamelových mříží v horizontální rovině je analogicky lepší, pokud jsou vertikální lamely umístěny blíže výstupnímu otvoru nebo pokud lamelové mříže obsahují více vertikálních a méně horizontálních lamel, nezávisle na jejich umístění.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automobilová vyústka, kouřová vizualizace, proudové pole, okraje proudu, experiment, směřování proudu, směrovatelnost lamelové mříže

ABSTRACT

This master thesis deals with determination of boundaries of the flow from a benchmark automotive vent (right-front situated – in front of a front passenger) using the smoke visualization. In this thesis is tested a pack of eight different constructional variants which differ among them by the type of deflection grille. The angles of the flow borders are compared to specific directional requirements (defined by ŠKODA AUTO a.s.) and there is evaluated a directability of each of the constructional variant on the bases of these results. The results of experiments show that better directability in vertical plane achieve deflection grilles with horizontal vanes situated closer to orifice of the vent or deflection grilles with higher number of horizontal vanes and lower number of vertical vanes (independently of their location). Directability of the deflection grilles in horizontal plane is analogically better with vertical vanes situated closer to orifice of the vent or with deflection grilles with higher number of vertical vanes and lower number of horizontal vanes (independently of their location).

KEYWORDS

Automotive vent, smoke visualization, flow field, flow borders, experiment, flow direction, directability of deflection grille

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CALETKA, P. *Posouzení funkčnosti různých modifikací větrací vyústky pro kabinu osobního vozu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 88 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Posouzení funkčnosti různých modifikací 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 27. 5. 2016

.....
Bc. Petr Caletka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Janu Jedelskému, Ph.D. za cenné rady a připomínky při odborných konzultacích. Dále děkuji Ing. Ondřeji Pechovi za spolupráci při experimentech a úpravách laboratorního vybavení. Dále také děkuji Bc. Stanislavu Libřickému za časovou flexibilitu ohledně využívání laboratoře, v níž paralelně probíhalo měření hlučnosti.

Práce vznikla za podpory projektu „Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka TE01020020“ a projektu NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu “Národní program udržitelnosti I.“

This work was created with the support of the project TE01020020 Josef Bozek Competence Centre for Automotive Industry and LO1202 NETME CENTRE PLUS funded by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic under the National Sustainability Programme I.

OBSAH

ÚVOD	11
1 AUTOMOBILNÍ VYÚSTKY	12
1.1 Vyústky na palubní desce	14
1.1.1 Konstrukční řešení.....	14
1.1.2 Typová řešení	16
1.1.3 Srovnání vybraných typů	20
2 KOUŘOVÁ VIZUALIZACE.....	21
2.1 Analýza SVV snímků	23
2.1.1 Detekce podle úrovně.....	23
2.1.2 Detekce podle poměru.....	24
2.1.3 Detekce podle změny	24
2.1.4 Další možnosti detekce.....	25
2.2 Kvantitativní výstupy	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ	28
3.1 Měřicí trať.....	28
3.1.1 Vzduchová trasa	28
3.1.2 Měřicí přístroje, snímače a příslušenství.....	30
3.2 Vizualizační řetězec.....	34
3.2.1 Komponenty vizualizačního řetězce	36
3.2.2 Optimalizace nastavení vizualizačního řetězce.....	39
4 EXPERIMENT	42
4.1 Konstrukční varianty – složení.....	43
4.2 Konstrukční varianty – výsledky.....	44
4.2.1 BM_5H5V_1BV_BD.....	45
4.2.2 BM_3H5V_1BV_BD.....	48
4.2.3 BM_5H3V_1BV_BD.....	51
4.2.4 BM_3H3V_1BV_BD.....	54
4.2.5 BM_5V5H_1BV_BD.....	57
4.2.6 BM_3V5H_1BV_BD.....	60
4.2.7 BM_5V3H_1BV_BD.....	63
4.2.8 BM_3V3H_1BV_BD.....	66
4.3 Nejistoty měření sledovaných veličin	69
4.3.1 Rozšířené nejistoty přímo měřených veličin.....	69
4.3.2 Rozšířené nejistoty nepřímo měřených veličin	70
5 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	72
5.1 Zařazení výsledků do intervalů směřování.....	72

5.2	Posouzení směrovatelnosti lamelových mříží	73
5.2.1	Doplňky do požadavků v rovině XZ.....	73
5.2.2	Doplňky do požadavků v rovině XY	74
5.3	Příčiny rozdílů ve směrovatelnosti lamelových mříží.....	76
6	DALŠÍ PUBLIKACE AUTORA	78
	ZÁVĚR.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	86

ÚVOD

Přívodní automobilní vzduchotechnické vyústky jsou součástí větracího a vytápěcího systému kabiny automobilu. Úkolem tohoto systému je udržet v kabině stav tepelné pohody, která je důležitá nejen pro komfort posádky, ale také pro aktivní bezpečnost.

Funkcí přívodních vyústek je přívod vzduchu o požadovaných parametrech do kabiny automobilu. Tyto vyústky mají, na rozdíl od odvádějících, většinový vliv na obraz proudění v celé kabině. Obraz proudění, zejména jeho teplotní a rychlostní pole, má zase přímý vliv na tepelnou pohodu uvnitř kabiny.

Přívodní automobilní vyústky mohou být typově řešeny jako vyústky s lamelovou mříží (o různých tvarech), příp. jako dýzy či anemostaty. Různé tvary i typy vyústek mohou mít různé vlivy na charakter proudění.

Tato práce zkoumá proud z benchmarkové automobilové vyústky (pravá přední na palubní desce – před spolujezdcem) prostřednictvím kouřové vizualizace ve dvou na sebe kolmých rovinách (horizontální a vertikální). Benchmarková vyústka, vyvinutá v rámci projektu *Centrum kompetence automobilového průmyslu Josefa Božka*, má vyměnitelné části (přívodní vzduchovod, uzavírací klapka, směrovací lamely), což umožňuje porovnávat funkčnost jednotlivých konstrukčních variant mezi sebou.

Funkčnost dané konstrukční varianty je posuzována na základě dat získaných z kouřové vizualizace. Obrazovým zpracováním (detekční metodou) pořízených snímků je možné získat průměrné hodnoty úhlů okrajů proudu v příslušné rovině. Z těchto hodnot se dopočítává průměrný úhel osy i rozevření proudu. Kromě průměrných hodnot je také možné získat hodnoty výběrových směrodatných odchylek, které korelují s fluktuacemi na okrajích proudu.

V této práci jsou příslušné průměrné úhly a směrodatné odchylky u osmi konstrukčních variant vyhodnoceny. Tyto hodnoty jsou porovnány s požadavky i mezi sebou a na základě konkrétních hodnot je posouzeno, která konstrukční varianta směřuje v příslušné rovině lépe, příp. lze také posoudit, která konstrukční varianta vykazuje větší či menší fluktuace na okrajích proudu.

Na základě dat z kouřové vizualizace je tedy možné velmi jednoduchým a efektivním způsobem hodnotit rozdíly ve funkčnosti porovnávaných konstrukčních variant.

Souběžně s touto prací vzniká i závěrečná práce [1] zkoumající doplňující konstrukční varianty zde nepublikované (rovněž kouřovou vizualizací), a také závěrečná práce [2] zkoumající hlučnost různých konstrukčních variant.

1 AUTOMOBILNÍ VYÚSTKY

Princip větrání a vytápění (angl. HVAC system) kabiny automobilu je založen na přívodu čerstvého (v případě potřeby i teplotně upraveného) vzduchu, a to prostřednictvím vzduchotechnických vyústek.

Přívodní vzduchotechnické vyústky lze obecně rozdělit na několik základních typů [3]:

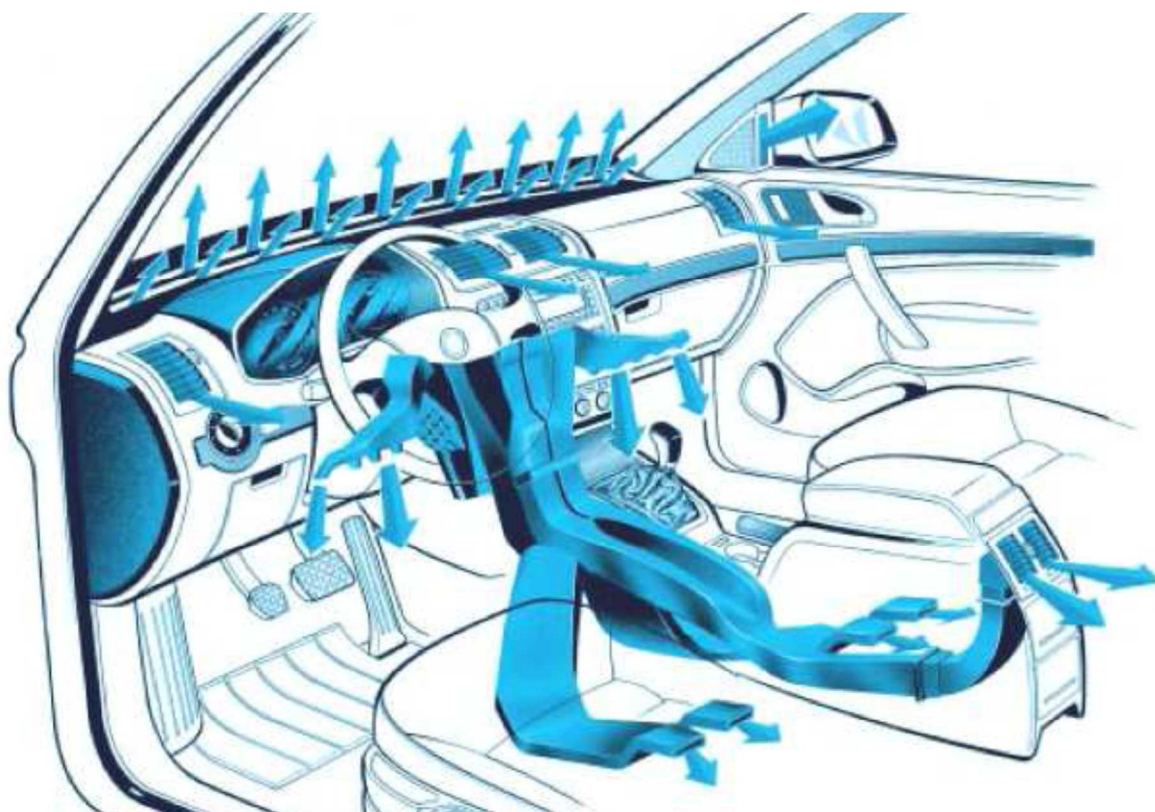
1) Dle konstrukce:

- vyústky s lamelovou mříží
- anemostaty
- dýzy
- vířivé vyústky
- velkoplošné vyústky

2) Dle tvaru:

- čtyřhranné
- kruhové
- štěrbinové

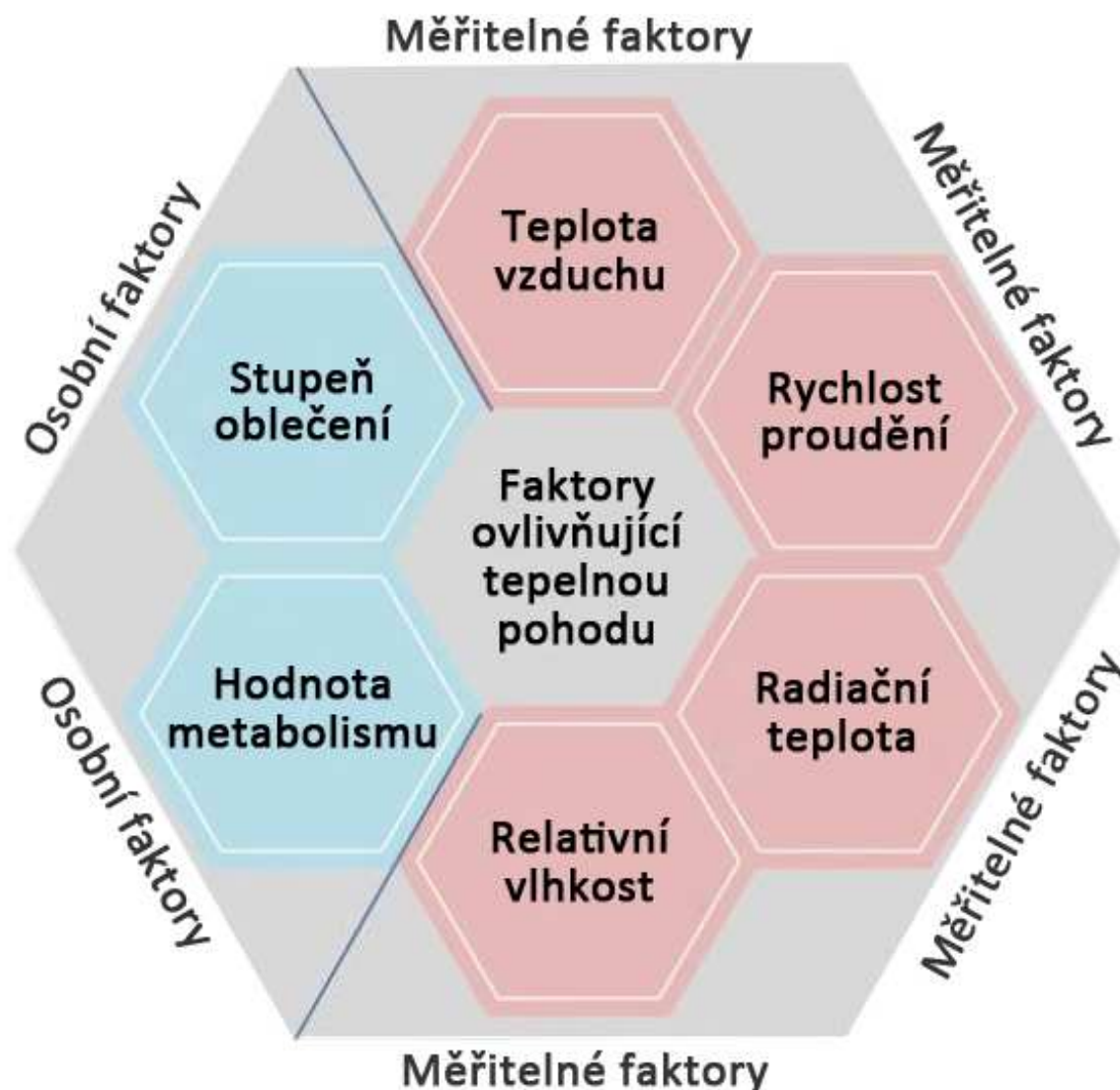
Přívodní automobilní vzduchotechnické vyústky se standardně nacházejí v několika konkrétních částech kabiny vozidla (obr. 1), a to pod sedadly (směřující na nohy), na palubní desce (směřující na obličej a horní polovinu těla) a pod čelním sklem (směřující na čelní sklo – tzv. defrostová vyústka). Některé automobily disponují vyústkami směřujícími na obličej a horní polovinu těla i v zadní řadě sedadel. Lokální proudy z jednotlivých vyústek o příslušných rychlostech a teplotách ovlivňují mikroklima nejen příslušných oblastí interiéru, ale také interiéru jako celku [4], [5].



Obr. 1 – Schéma přívodu vzduchu vyústkami v kabině automobilu [6]

Mikroklima interiéru automobilu by mělo mít v ideálním případě takové parametry, aby pasažéři pocítovali pocit tepelné pohody. Tepelná pohoda je v tomto případě důležitá nejen z hlediska komfortu pasažérů, ale také z hlediska bezpečnostního. Tepelná pohoda pasažérů lze podle [7] hodnotit následujícími faktory (obr. 2):

- faktory měřitelné (teplota, rychlost proudění, a relativní vlhkost vzduchu, radiační teplota)
- faktory osobní (hodnota metabolismu, oblečení)



Obr. 2 – Měřitelné faktory vnitřního prostředí a osobní faktory k hodnocení tepelné pohody [7]

Rychlost proudění vzduchu uvnitř kabiny automobilu – jeden z měřitelných faktorů vnitřního prostředí – je bezprostředně ovlivňována právě přírodními výústkami. Důležitý pro tepelnou pohodu pasažérů je zejména charakter proudění kolem jejich těl, který dle [4] závisí na třech následujících faktorech:

- a) směřování proudů z jednotlivých výústek
- b) vzdálenost jednotlivých výústek od těl pasažérů
- c) rychlostní profily na výstupech z jednotlivých výústek

ad a) Dle [8] je velmi důležité proudy z jednotlivých výústek jednoduchým způsobem příslušně směřovat. Dle studie [4] se dokonce jedná o jeden ze stěžejních faktorů ovlivňujících přestup tepla z lidského těla, tím pádem i tepelný komfort.

ad b) Vzdálenost mezi výústkou a tělem pasažéra by měla být dle [4] taková, aby rychlost proudění z výústek byla schopna v místě člověka narušit přirozený stoupavý proud vznikající okolo lidského těla. Studie [9] např. uvádí rozmezí takové vzdálenosti 0,4 m – 0,6 m, a minimální hodnotu rychlosti proudění okolo lidského těla 0,3 m/s.

ad c) Velmi důležitá je také možnost jednoduché regulace průtoku výústkami. Průtok má přímý vliv na třetí zmiňovaný faktor – rychlostní profil na výstupu z výústky.

Dle [4] ovlivňuje hodnoty faktorů (a – c) geometrie kabiny, aktuální pozice pasažéra vzhledem k vyústkám, počet a rozmístění vyústek a také tvar a konstrukce přívodních vzduchovodů a výstupních otvorů vyústek.

1.1 Vyústky na palubní desce

Jelikož je praktická část této diplomové práce zaměřena na proudění z pravé přední přívodní vyústky (umístěné na palubní desce – před spolujezdcem), je i řešerše v následujících podkapitolách zaměřena na vyústky, které jsou používané na palubních deskách vozidel – čili vyústky směřující na obličej a horní polovinu těla.

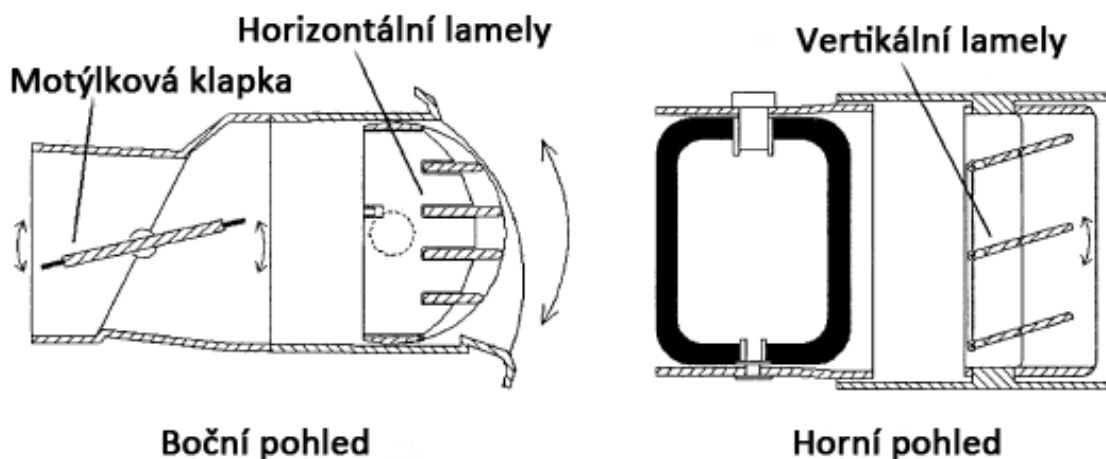
1.1.1 Konstrukční řešení

Dle rozdělení vyústek uvedenému na začátku kapitoly 1 je z konstrukčního hlediska možné většinu používaných vyústek na palubních deskách zařadit mezi vyústky s lamelovou mříží [10].

Méně často bývají na palubních deskách pro přívod vzduchu využity dýzy či anemostaty, toto řešení bývá využíváno zejména u luxusnějších a sportovních modelů [11], [12].

Vyústky s lamelovou mříží

Na základě studie [13] je možno uvažovat, že přívodní vyústky s lamelovou mříží, standardně nacházející se na palubních deskách, se skládají ze tří typických konstrukčních prvků, a to z přívodního kanálu, motýlkové uzavírací klapky a dvouřadé lamelové mříže (obr. 3).



Obr. 3 – Schéma standardní konstrukce vyústky směřující na obličej a horní polovinu těla [14]

Geometrie přívodního kanálu je velmi často limitována vnitřním prostorem palubní desky, ve kterém se nachází. Z tohoto důvodu obsahuje kanál ve většině případů několik kolen (obr. 4), nevyjímaje prostoru těsně před výstupním otvorem. Je prokázáno, že přítomnost kolena generuje v proudění nestabilitu a má prokazatelný vliv na směr proudění z vyústky [15], [16]. Např. osa proudu bývá od osy vyústky odchýlena v důsledku nevyváženého tlakového (tím pádem i rychlostního) pole [17].



Obr. 4 – Tvar přívodního kanálu k pravé krajní vyústce na palubní desce (Škoda Octavia III. generace)

Uzavírací motýlková klapka (viz obr. 3 – vlevo) je díky své konstrukční jednoduchosti a také ekonomické dostupnosti dle [18] hojně využívanou možností regulace průtoku potrubím, přívodní kanály automobilových vyústek nevyjímaje. V těchto kanálech se umísťuje motýlková klapka mezi poslední koleno před výstupním otvorem a výstupní otvor samotný. Dle [19] je minimální doporučená vzdálenost motýlkové klapky od kolene cca 8 průměrů potrubí, což je vzdálenost, ve které jsou nestability v proudění způsobené kolenem už eliminovány.

Nejčastěji dvouřadá směrovací lamelová mříž (obr. 5) se nachází ve výstupních otvorech vyústek na palubních deskách. Lamelová mříž obsahuje dvě řady směrovacích lamel (vertikálně a horizontálně orientovaných) a její funkcí je možnost změny směru proudění z vyústky [20]. Tvary jednotlivých směrovacích lamel vycházejí zpravidla z leteckého profilu, který má pro efektivní směrování proudění velmi dobré vlastnosti [21].



Obr. 5 – Dvouřadá směrovací lamelová mříž [22]

Dýzy a anemostaty

V ojedinělých případech se jako koncové elementy namísto lamelových mříží, příp. i uzavíracích motýlkových klapek používají dýzy či kruhové anemostaty [11], [12].

Konstrukce dýz je velmi jednoduchá, jedná se o zužující se rotační prostor – ve tvaru polokoule či hyperboloidu (obr. 6) – ze kterého proudí vzduch do větraného prostoru. Co se týká nastavitelných dýz, ty umožňují změnu směrování proudu, a to prostřednictvím kloubového mechanismu (obr. 6 – vlevo) [23].



Obr. 6 – Dýza: nastavitelná s kloubovým mechanismem (vlevo); pevná tvaru hyperboloidu (vpravo) [24]

Kruhové anemostaty se skládají ze soustředných rozšiřujících se prstenců, které vytvářejí průduchy pro vzduch (obr. 7). Tyto průduchy mívají charakter difuzorů, proto se tyto anemostaty často označují jako difuzorové. Průtok je možné regulovat otáčivým ústrojím nacházejícím se přímo na anemostatu [3].



Obr. 7 – Kruhový difuzorový anemostat [24]

1.1.2 Typová řešení

Tato podkapitola je zaměřena především na v praxi používané a v rámci odborných publikací zkoumané struktury lamelových mříží, tvary, konstrukce, a rozmístění přírodních vyústek na palubních deskách automobilů.

Struktury lamelových mříží

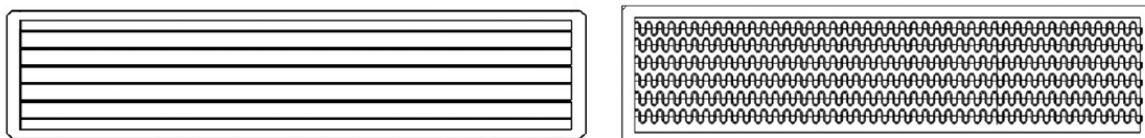
Dle [10] je patrné, že se v rámci palubních desek vyskytují v drtivé většině případů přírodní vyústky s lamelovou mříží, zpravidla se dvěma řadami směrovacích lamel.



Volba umístění řady příslušně orientovaných lamel může souviset s orientací výstupního otvoru vyústky, resp. s jeho delším rozměrem. Dle [25] směřují lépe takové lamelové mříže, které mají blíže výstupnímu otvoru vyústky řadu lamel, jež jsou orientovány ve směru delšího rozměru otvoru vyústky (obr. 8 – vlevo).

Obr. 8 – Řada lamel blíže výstupnímu otvoru, orientovaných ve směru: delšího rozměru vyústky (Ford Focus, vlevo); kratšího rozměru vyústky (Hyundai i30, vpravo) [10]

Existuje několik rozdílů mezi charaktery proudů, které procházejí skrz lamelovou mříž s klasickými rovnými lamelami (obr. 9 – vlevo), nebo s tzv. lalokovitými lamelami (obr. 9 – vpravo). Proudů z výústek s lalokovitými lamelami dosahují v první řadě lepšího míšení s okolním vzduchem, lalokovité lamely dále umožňují vyšší průtok výústkou, a také vykazují nižší stupeň obtěžování průvanem (angl. draft risk) ve větraném prostoru. Hlučnost i tlaková ztráta výústky je při použití lalokovitých lamel prakticky stejná jako v případě rovných lamel [26].



Obr. 9 – Čelní pohled na výústku: s rovnými lamelami (vlevo); s lalokovitými lamelami (vpravo) [26]

Náznamy lalokovitých lamel jsou patrné např. u luxusních sportovních vozů automobilky Lamborghini (modely Huracán a Asterion) [27]. V těchto případech se jedná o lalokovitý tvar horizontálních lamel (obr. 10).



Obr. 10 – Jemně lalokovitý tvar horizontálních lamel pravé přední výústky vozu Lamborghini Huracán LP 610-4 [28]

Tvary výústek

Tvary výústek s lamelovou mříží (obr. 11) bývají standardně čtyřhranné (čtvercové, obdélníkové i nepravidelné čtyřúhelníky), příp. kruhové [10].



Obr. 11 – Kombinace obdélníkových středových a kruhových krajních výústek na palubní desce vozu Toyota Auris [10]

Nejčastěji používané tvary přírodních vyústek na palubních deskách jsou obdélníky a nepravidelné čtyřúhelníky – často se zaoblenými hranami. Méně používaná, přesto však vyskytující se, je kombinace obdélníkových vyústek ve středu palubní desky a kruhových vyústek na jejích okrajích (viz obr. 11) [10].

Právě posledně zmíněnou kombinaci mj. zkoumala studie [29], která zjistila, že pokud budou instalovány kruhové vyústky namísto čtyřhranných (o stejné ploše výstupního otvoru), obraz proudění a rozložení teplot v interiéru budou ovlivněny tak, že na tepelný komfort pasažérů to bude mít pozitivní vliv, zejména v režimu chlazení. Příkladem je mnoho modelů automobilky Bentley a také některé modely automobilky Lamborghini, ty mají na palubní desce vyústky pouze kruhového tvaru (obráz. 12) [30], [31].



Obr. 12 – Výhradně kruhové vyústky na palubní desce vozu Bentley Flying Spur W12 [30]

Ve studii [32] byla srovnávána schopnost míšení proudů z obdélníkové a čtvercové vyústky s okolním vzduchem. Dle této studie bylo zjištěno, že lepší míšící schopnost vykazují vyústky čtvercové oproti obdélníkovým. Čtvercové vyústky se na palubních deskách ve srovnání s obdélníkovými používají velmi málo, byly však užity např. u modelu V8 Vantage od automobilky Aston Martin nebo u modelu Mercedes-Benz C 200 (obráz. 13) [33], [34].



Obr. 13 – Čtvercové vyústky na palubní desce vozu Mercedes-Benz C 200 CDI AMG Style [34]

Konstrukce vyústek

Netradičním řešením přívodu vzduchu do kabiny je použití kruhových dýz s vnitřními lamelami, např. v automobilu Audi A3 (obr. 14) [11]. Při proudění z dýzy dochází k intenzivnímu promíchávání s okolním vzduchem. Tvar proudu z dýzy ovlivňuje kromě teplotního pole také obraz proudění v interiéru. Za výhody dýz lze považovat velký dosah proudu a nízká hlučnost i při vyšších výtokových rychlostech [23].



Obr. 14 – Kruhové dýzy pro přívod vzduchu v automobilu Audi A3 [35]

Ojedinelým řešením přívodu vzduchu do kabiny je použití kruhových difuzorových anemostatů. Tato varianta je instalována např. na palubních deskách modelu Mercedes-Benz CLA250 (obr. 15). Průtok i obraz vytékajícího proudu mohou být měněny otáčením středového elementu, v tomto případě je navíc možné nastavovat směr proudu natáčením celého anemostatu díky kloubovému mechanismu, podobně jako případě dýzy [12], [23].



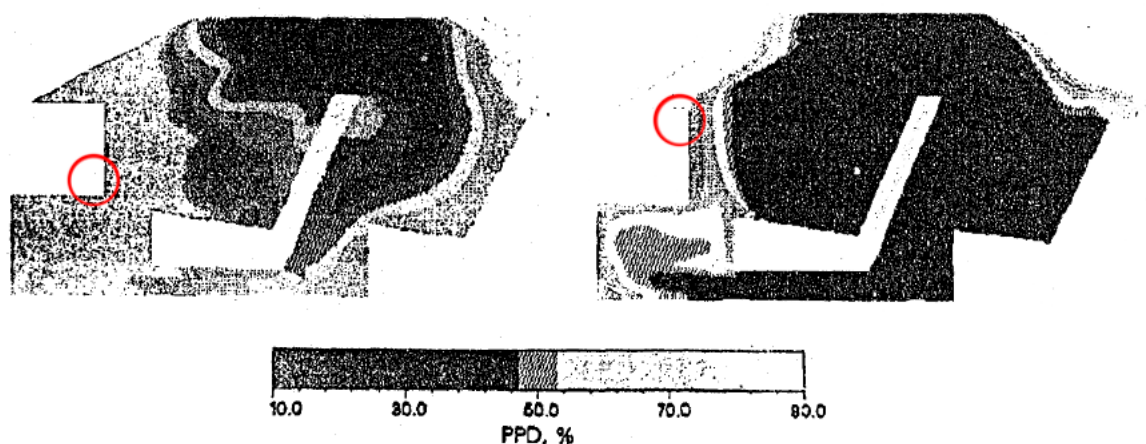
Obr. 15 – Kruhové anemostaty ve středu palubní desky automobilu Mercedes-Benz CLA 250 [36]

Počet a poloha vyústek

Větší počet přívodních vyústek, resp. jejich větší celková přívodní plocha, způsobuje v kabině vozidla vyšší střední teplotu při vytápění a také rovnoměrnější rozložení teplot [37], [38].

Pozitivní vliv na tyto veličiny má dle studie [38] rovněž vhodné rozmístění vyústek. Jako nejvhodnější varianta se ve studii ukázalo následující rozmístění vyústek: 2 ks ve středu a po 1 ks na každém okraji palubní desky, čili varianta i v praxi dnes nejvyužívanější (viz obr. 11, obr. 12).

Dalším velmi důležitým parametrem pro tepelný komfort v kabině vozu je vertikální poloha vyústek na palubní desce. Ze studie [39] je patrné, že čím výše budou vyústky na palubní desce umístěny, tím se hodnota PPD znatelně sníží (obr. 16).



Obr. 16 – Rozložení hodnot PPD kolem řidiče (červené kroužky značí umístění vyústek na palubní desce), přepracováno z [39]

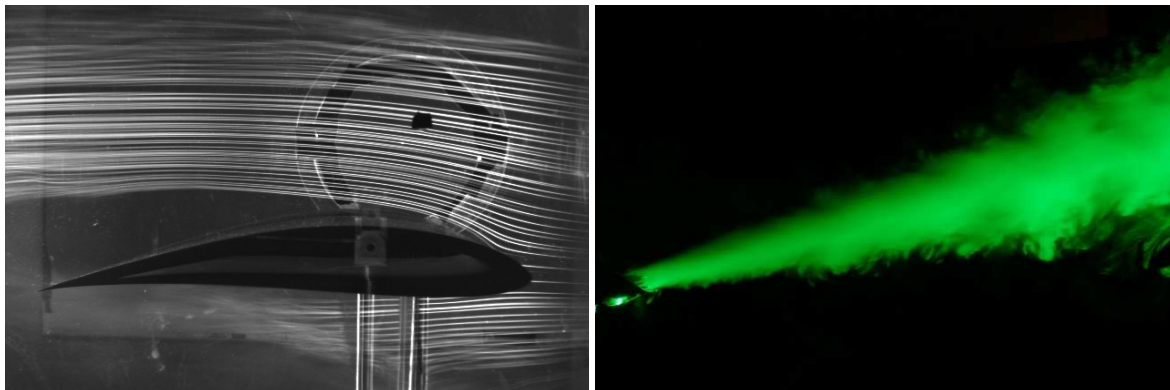
1.1.3 Srovnání vybraných typů

Z provedené rešerše typových řešení přívodních automobilních vyústek vyplývá následující:

- pro celkově dobrou směrovatelnost vyústky je výhodnější umístit horizontální lamely těsně před výstupní otvor
- napříč automobilkami by neuškodilo více experimentovat s tvary (např. lalokovitými) a příčnými profily lamel
- pro teplotní pole i míšení vzduchu jsou dle některých studií výhodnější tvary pravidelné, symetrické (kruhové, čtvercové apod.), hlavně kvůli designu se ale v praxi hojně používají i nepravidelné tvary
- podle [40] mají přívodní dýzy (např. v Audi A3) oproti klasickým vyústkám s lamelovou mříží (např. v Audi A4) nižší hodnoty hlučnosti a navíc směřují proudění lépe dle požadavků

2 KOUŘOVÁ VIZUALIZACE

Kouřová vizualizace spadá do skupiny vizualizačních metod, fungujících na principu zavádění látek do proudění tekutin. Zavedení kouře je možné provést dvěma způsoby, a to ve formě kouřových vláken (obr. 17 – vlevo), nebo souvislého přívodu (obr. 17 – vpravo) [41].



Obr. 17 – Vizualizace proudění formou kouřových vláken (vlevo) [42]; souvislého přívodu kouře (vpravo)

Zavádění kouře formou kouřových vláken – „smoke-wire visualization“ (SWV)

Metoda SWV byla použita např. ve studii [43], kde je znázorněno deset různých případů proudění z vyústek či trysek. Mnohem častěji se však tento typ vizualizace využívá v aerodynamickém tunelu, kde je takto možné pozorovat proudění kolem těles nebo jejich částí. Např. studie [42] využila tuto metodu ke zviditelnění proudnic kolem leteckého profilu s různými úhly náběhu (viz obr. 17 – vlevo). Dle [44] je dále patrné, že metoda SVW je vhodná také ke zviditelnění proudnic např. kolem karoserie automobilu (obr. 18).

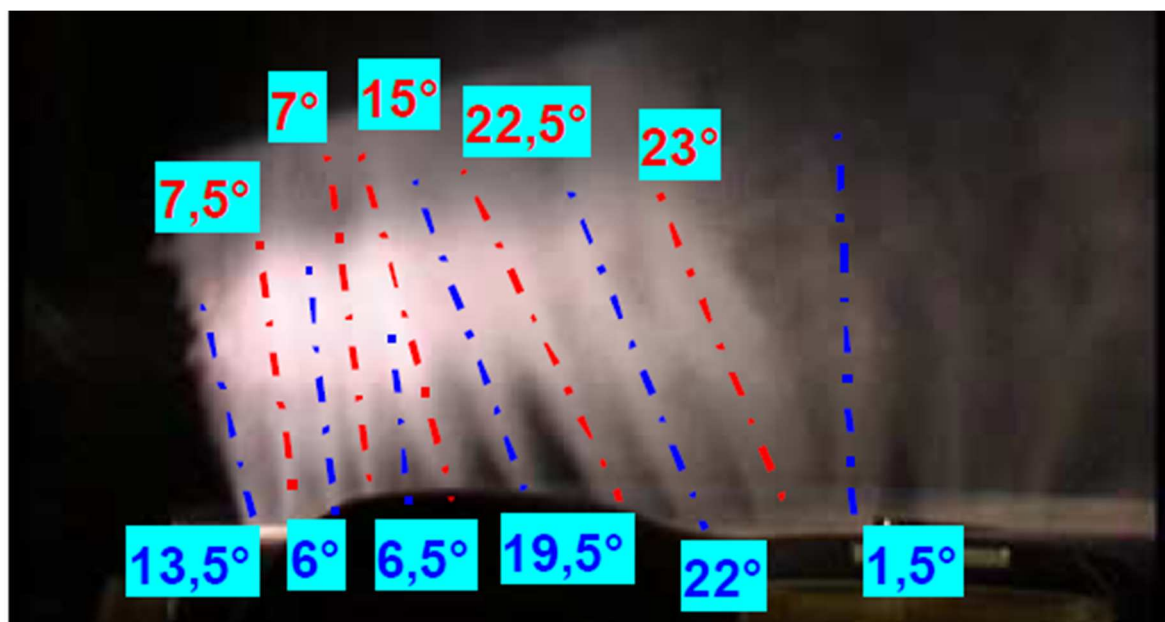


Obr. 18 – Kouřové vlákno okolo automobilu v aerodynamickém tunelu [44]

Zavádění kouře formou souvislého přívodu – „smoke-volume visualization“ (SVV)

Metoda SVV byla použita např. pro zviditelnění proudění z defrostoné štěrbinové vyústky v diplomové práci [45] (obr. 19). Proudění z vyústek na palubní desce bylo tímto typem vizualizace analyzováno např. ve studii [46] a závěrečných pracích [47], [48]. Vyústky na palubní desce, resp. jejich rychlostní pole, byly ve studiích [49] a [50] měřeny

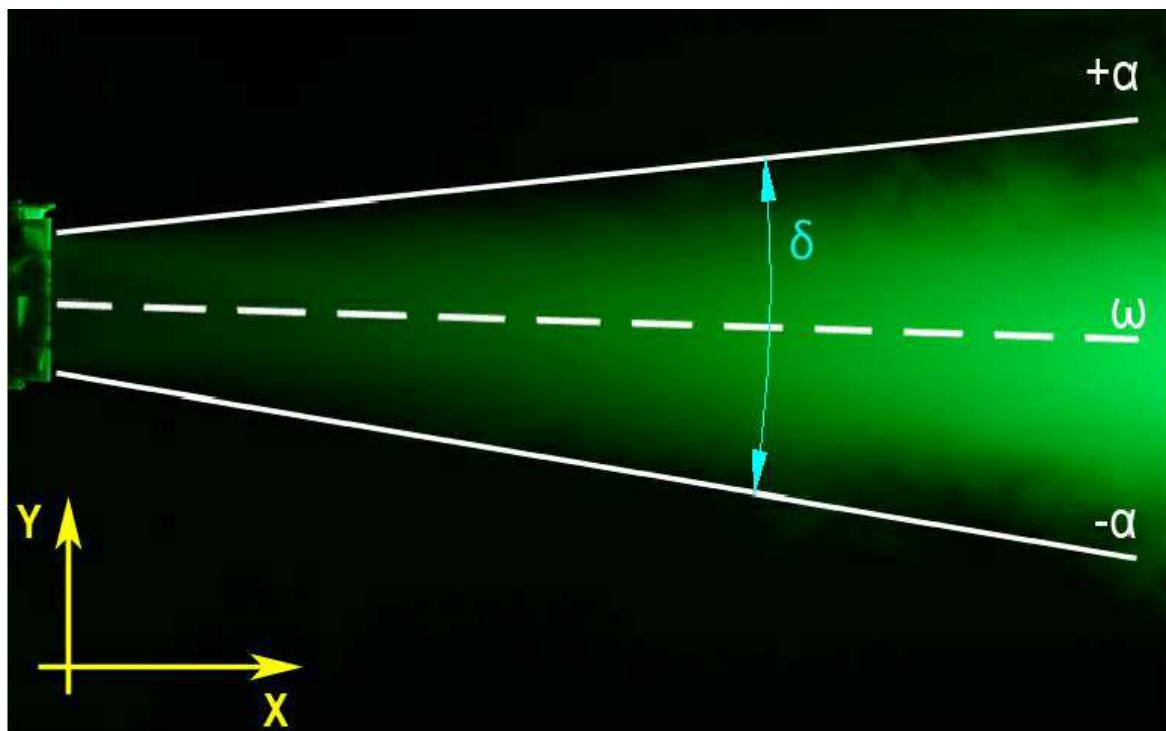
žárovou anemometrií, které ovšem předcházela právě tato forma kouřové metody, a to z důvodu orientačního určení směřování proudění.



Obr. 19 – Kouřem zviditelněné proudění z defrostové vyústky [45]

Použití SWV a SVV

Metoda SWV se obecně při výzkumu proudění používá mnohem častěji než metoda SVV. Při analýze snímků SWV je důležité získat informace o kvalitě obrazu proudění, např. o tvarech proudnic, velikostech úplavů apod. Ze snímků pořízených při SVV (dále jen „SVV snímky“, obr. 20) lze vyhodnotit nejen tvar proudu vystupujícího z vyústky (kvalitativní informace), ale také úhly jeho směřování ve větraném prostoru (kvantitativní informace).



Obr. 20 – Typický SVV snímek s naznačenými úhly směřování proudu [25]

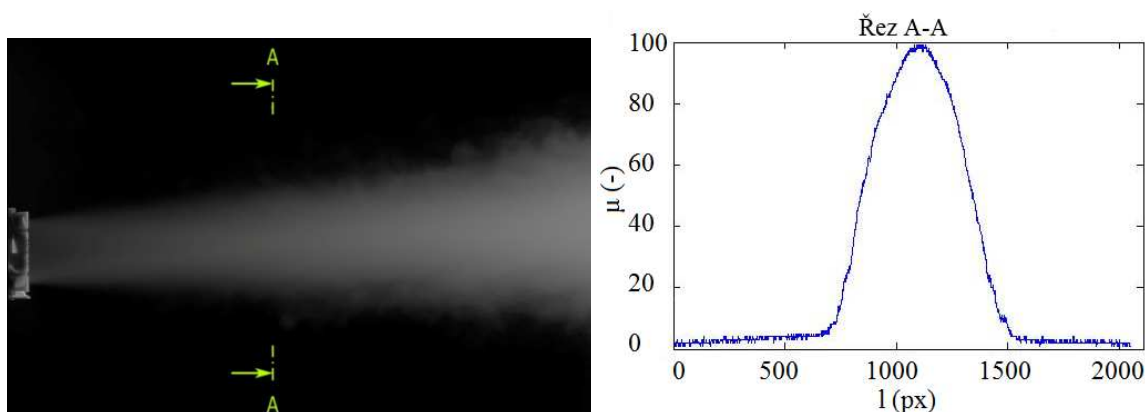
2.1 Analýza SVV snímků

Charakter SVV snímků je zřejmý z obr. 20 – jedná se o řez proudu, zviditelněného kouřem, v příslušné rovině. Pro získání kvantitativních informací o proudu je potřeba nejprve určit jeho okrajové body, čehož je možné dosáhnout vhodnou obrazovou detekční metodou, nejčastěji prahováním [51].

V publikacích [51] a [52] jsou detailně popsány principy fungování tří nejpoužívanějších detekčních metod pro SVV snímky, a to detekce podle:

- úrovně
- poměru
- změny

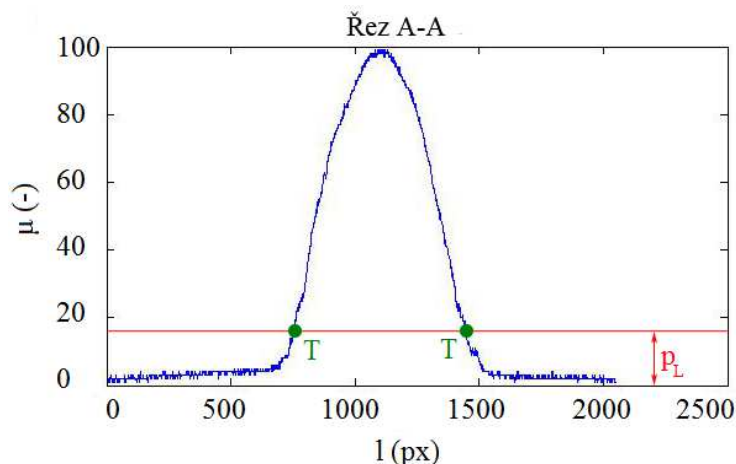
Všechny tyto metody hledají okrajové body proudu v řezech kolmých na jeho osu (obr. 21 – vlevo), konkr. z průběhu jasu v každém řezu (obr. 21 – vpravo).



Obr. 21 – Řez kolmý na osu proudu (A-A, vlevo); průběh jasu v řezu A-A (vpravo) [51]

2.1.1 Detekce podle úrovně

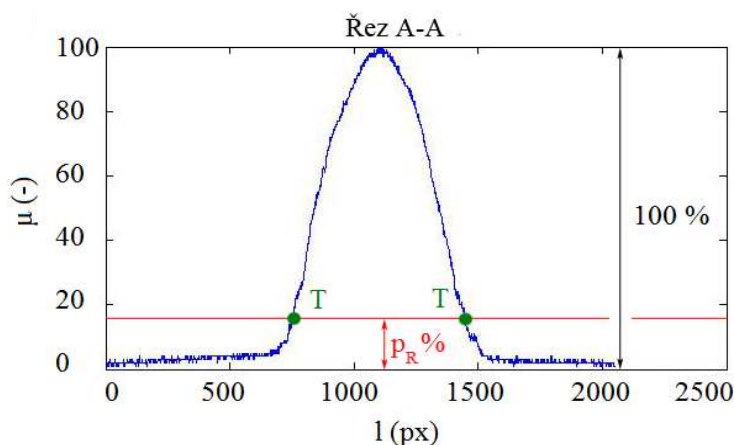
V závěrečných pracích [47] a [48], které se zabývaly experimentální analýzou proudu z vyústky na palubní desce, bylo pro detekci okrajových bodů proudu využito programu vytvořeného v prostředí Delphi, který pracuje na principu globálního prahování, konkr. detekce podle úrovně. Pro celý snímek je, jako parametr, zvolena právě jedna jasová hodnota p_L , která jednoznačně definuje okrajové body proudu T (obr. 22). Tato detekční metoda byla mj. využita i ve studii [53], která posuzovala použitelnost jednotlivých detekčních metod na SVV snímky různých kvalit. Podle této studie však není detekce podle úrovně vhodná pro analýzu SVV snímků horší kvality, a to kvůli charakteru globálního prahování.



Obr. 22 – Princip detekce podle úrovně znázorněný v řezu A-A [51]

2.1.2 Detekce podle poměru

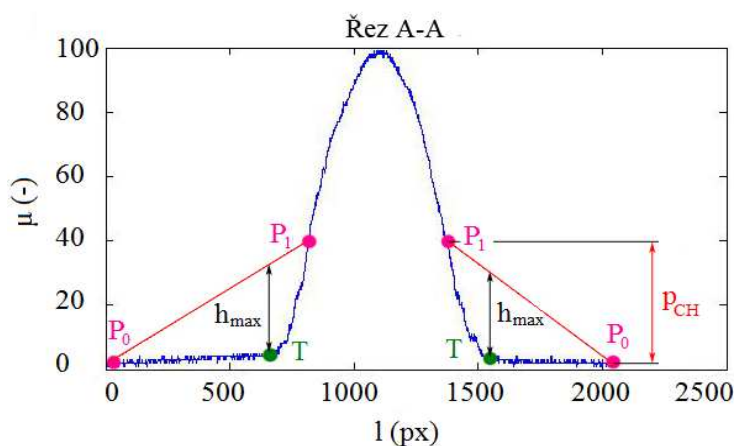
Detekce podle poměru byla mj. také použita v porovnávací studii [53] a její princip spočívá v adaptivním prahování. Parametr p_R , jenž je volen uživatelem, udává určité procento z automaticky detekované maximální jasové hodnoty v příslušném řezu, okraje proudu T jsou určeny průsečíky zřejmými z obrázku (obr. 23). Ze závěru studie [53] vyplývá, že detekce podle poměru je velmi citlivá na rušivé oblasti v pozadí, a proto je možné ji s větší jistotou používat pouze s vyššími hodnotami parametru p_R .



Obr. 23 - Princip detekce podle poměru znázorněný v řezu A-A [51]

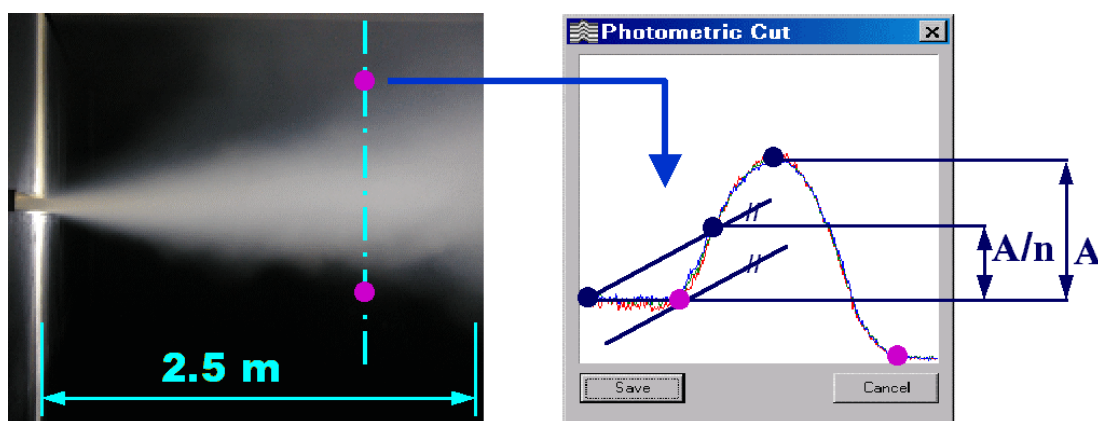
2.1.3 Detekce podle změny

Detekce podle změny, příp. modifikace této metody jsou využívány pro analýzu SVV snímků jednoznačně nejčastěji. Princip této detekční metody spočívá rovněž v adaptivním prahování. Tato metoda hledá okrajové body T v každém řezu pomocí geometrické konstrukce zřejmé z obrázku (obr. 24). Parametr p_{CH} bývá volen uživatelem buď přímo, nebo jako určitý zlomek z maximální jasové hodnoty v řezu [51], [54].



Obr. 24 – Princip detekce podle změny znázorněný v řezu A-A [51]

Detekce podle změny byla využita k analýze SVV snímků např. ve studii [54] pro detekci okrajových bodů proudu ze štěrbinové vyústky (obr. 25).



Obr. 25 – Detekce okrajových bodů proudu ze štěrbinové vyústky metodou podle změny [54]

V závěrečné práci [45] byly mj. určovány pomocí kouřové vizualizace osy proudů z defrostové vyústky automobilu a k detekci takto vzniklých SVV snímků byla také využita detekce podle změny.

V dokumentu [55] je k detekci okrajových bodů proudu použit program Interfer-Visual 5.0. Dokument popisuje mj. metodiku vyhodnocování okrajů proudu z automobilové vyústky. Okrajové body proudu jsou i v tomto případě detekovány podle změny.

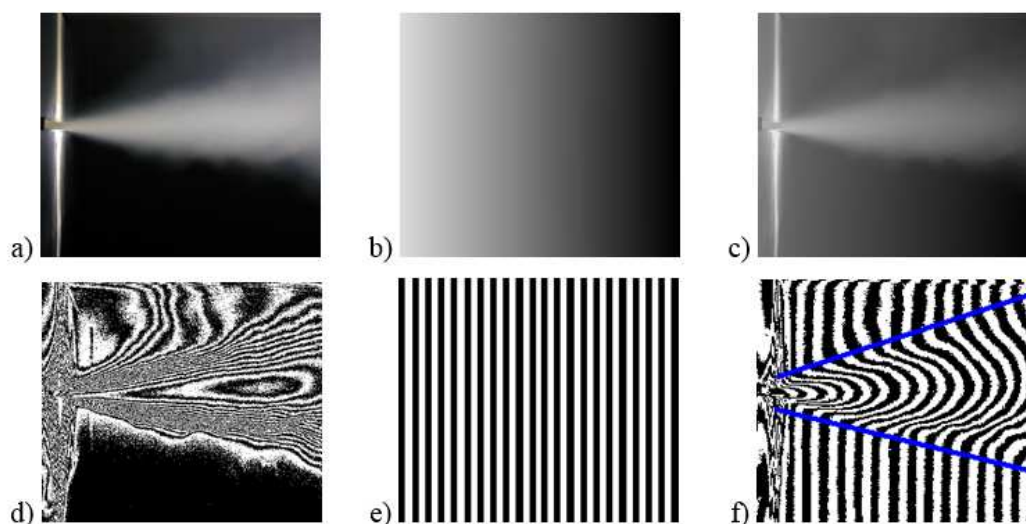
Z metodiky popsané v [55] vychází studie [46], ve které bylo zkoumáno proudění z boční vyústky na palubní desce. V této studii je pro detekci okrajových bodů proudu také využita detekce podle změny.

Detekce podle změny je dle závěrů porovnávací studie [53] nejuniverzálnější metodou pro analýzu SVV snímků. Dle této studie je tato detekce vhodná i pro méně kvalitní SVV snímky, což má při jejich velkém množství pozitivní vliv na celkový čas vyhodnocování.

2.1.4 Další možnosti detekce

Okraje proudu, resp. jeho okrajové úhly, je možné v případě potřeby určit i manuálně, avšak dle dokumentu [55] dochází při takovém vyhodnocení ke snížení přesnosti v rozsahu až $\pm 2^\circ$ oproti detekci podle změny.

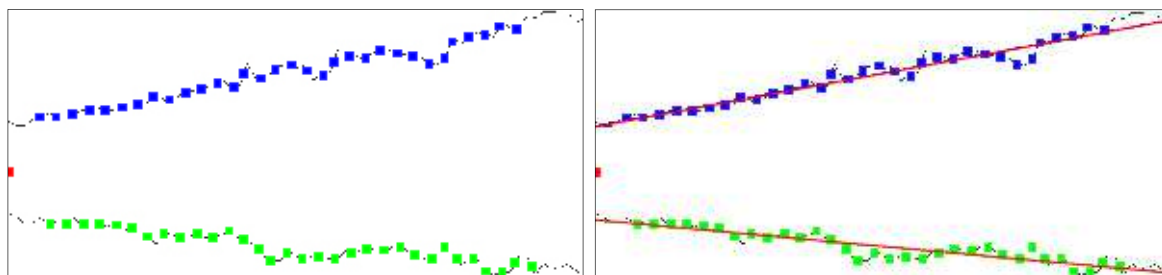
Články [54] a [52] zmiňují možnost detekovat okraje proudu pomocí tzv. „falešného interferogramu.“ Pozice příslušného okrajového bodu proudu je jednoznačně určena změnou orientace inteferenčního proužku. Postup získání „falešného interferogramu“ i okrajových bodů je znázorněn na obrázku (obr. 26).



Obr. 26 – Detekce okrajových úhlů proudu z tzv. „falešného interferogramu“ [54]

2.2 Kvantitativní výstupy

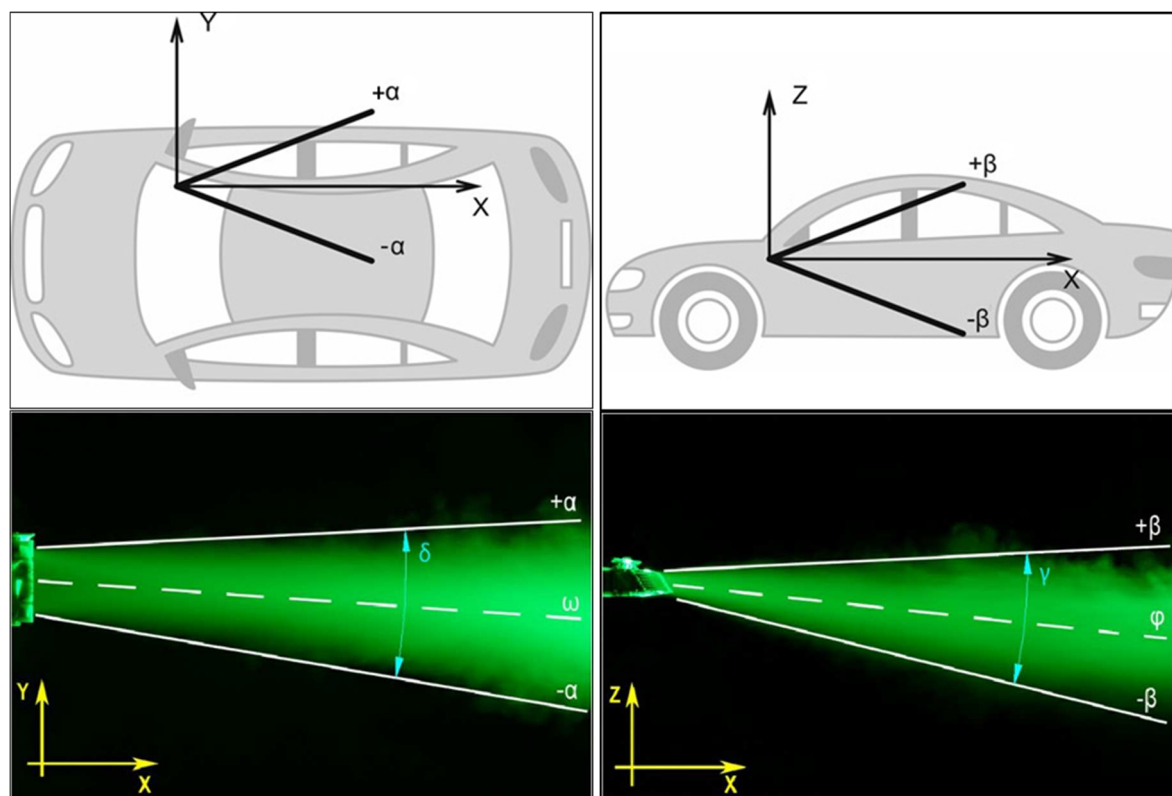
Přímým kvantitativním výstupem jakékoliv detekční metody jsou souřadnice okrajových bodů proudu (viz kapitola 2.1). Tyto body lze následně proložit přímkami (např. pomocí metody nejmenších čtverců, obr. 27).



Obr. 27 – Okrajové body proudu (vlevo), proložení bodů červenými přímkami (vpravo) [51]

Odchyšky těchto přímek od příslušných os v souřadném systému automobilu přímo kvantifikují okrajové úhly proudu ($\pm\alpha$, $\pm\beta$, obr. 28) [25].

Prvním z dopočítávaných kvantitativních výstupů je osa proudu (ω , φ , obr. 28), která se určuje jako aritmetický průměr obou okrajových úhlů proudu. Dalším dopočítávaným kvantitativním výstupem je úhel rozevření proudu (δ , γ , obr. 28), který se určuje jako absolutní hodnota rozdílu okrajových úhlů proudu.



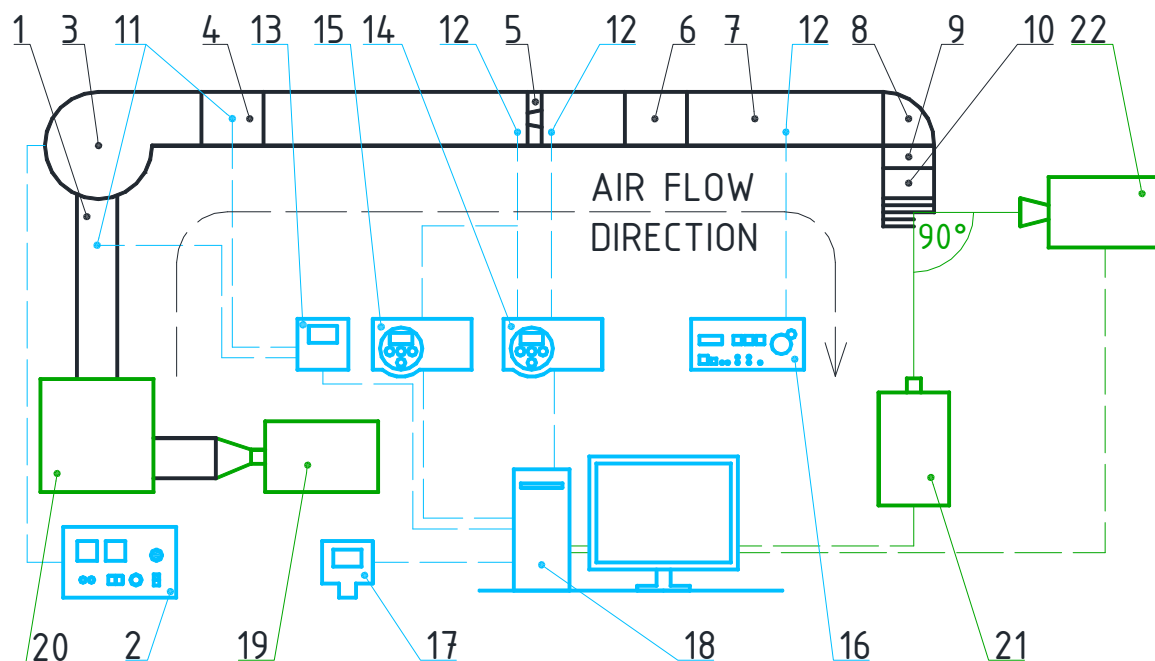
Obr. 28 – Úhly směřování proudu naznačené na SVV snímcích v příslušných rovinách souřadného systému automobilu [25]

Okrajové úhly, osa i rozevření proudu byly určovány např. v pracích [46], [47] a [48]. Ve všech těchto případech se jednalo o proudění z pravé přední automobilové přívodní vyústky.

V pracích [25] a [51] byly navíc určovány výběrové směrodatné odchylky okrajových úhlů proudu. Velikost odchylek vyjadřuje četnost fluktuací na okrajích proudu a navíc může mít spojitost i s intenzitou turbulence. SVV snímky analyzované v těchto pracích měly krátké expoziční časy, konkr. 0,1 s.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ

Experimentální zařízení je umístěno v laboratoři větrání na FSI VUT v Brně (místnost C3/213c). Toto zařízení (obr. 29) uzpůsobené pro kouřovou vizualizaci se skládá z měřicí tratě (obsahující vzduchovou trasu – černě a měřicí snímače a přístroje – modře) a vizualizačního řetězce (zeleně).



Obr. 29 – Schéma experimentálního zařízení [25]

1 – sací nástavec s hadicí, 2 – zdroj napětí, 3 – rozvaděč vzduchu s ventilátorem, 4 – redukce, 5 – ukladňovací potrubí s clonou, 6 – redukce, 7 – přívodní vzduchovod, 8 – koleno, 9 – uzavírací klapka, 10 – benchmarková výustka, 11 – senzory teploty Pt100, 12 – odběry tlaku, 13 – modul pro měření teploty, 14, 15 – převodník tlaku, 16 – mikromanometr, 17 – snímač teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku, 18 – PC, 19 – generátor kouře, 20 – homogenizační box, 21 – laserový nůž, 22 – fotoaparát

3.1 Měřicí trať

K měřicí trati patří mj. i vzduchová trasa s ventilátorem a benchmarkovou výustkou (viz obr. 29 – černě) a rovněž měřicí snímače a přístroje s příslušenstvím (viz obr. 29 – modře).

3.1.1 Vzduchová trasa

Vzduchová trasa obsahuje následující komponenty a částečně vychází z dokumentu [51]:

- Sací nástavec s hadicí
- Rozvaděč vzduchu s ventilátorem topení 1K1 819 015
- Redukce z rozvaděče vzduchu do uklidňovacího potrubí
- Uklidňovací potrubí DN 65 PN 6 se clonou
- Redukce z uklidňovacího potrubí do přívodního vzduchovodu
- Přívodní vzduchovod s benchmarkovou výustkou

Sací nástavec s hadicí a rozvaděč vzduchu s ventilátorem (obr. 30)

Směs vzduchu a kouře proudí z homogenizačního boxu přes hadici a sací nástavec do rozvaděče vzduchu, jehož součástí je ventilátor. Rozvaděč má průchodný pouze 1 výtláčný otvor, a to pro pravý přední vzduchovod, ostatní výtláčné otvory jsou utěsněny.

Na schématu (viz obr. 29) jsou tyto komponenty na pozicích 1 a 3.



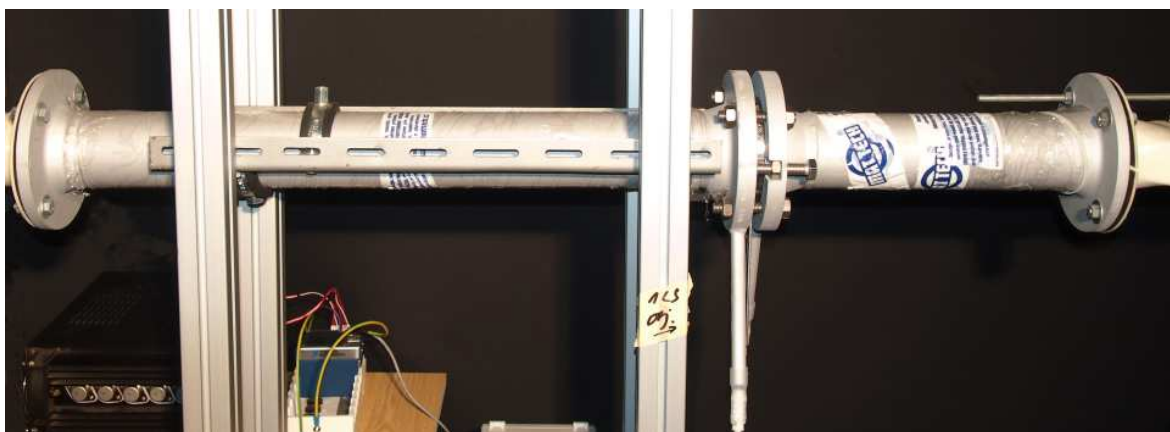
Obr. 30 – Sací nástavec s hadicí a rozvaděč vzduchu s ventilátorem [51]

Pozn.: Na obr. 30 je hadice připojena přímo ke generátoru kouře, tato konfigurace se již nepoužívá, hadice je v současnosti připojena k homogenizačnímu boxu. Kvůli souběžně probíhajícímu měření hluku je však v současné době tato část vzduchové trasy zakryta protihlukovým tlumičem, a proto je použit obrázek, kde jsou tyto komponenty viditelné.

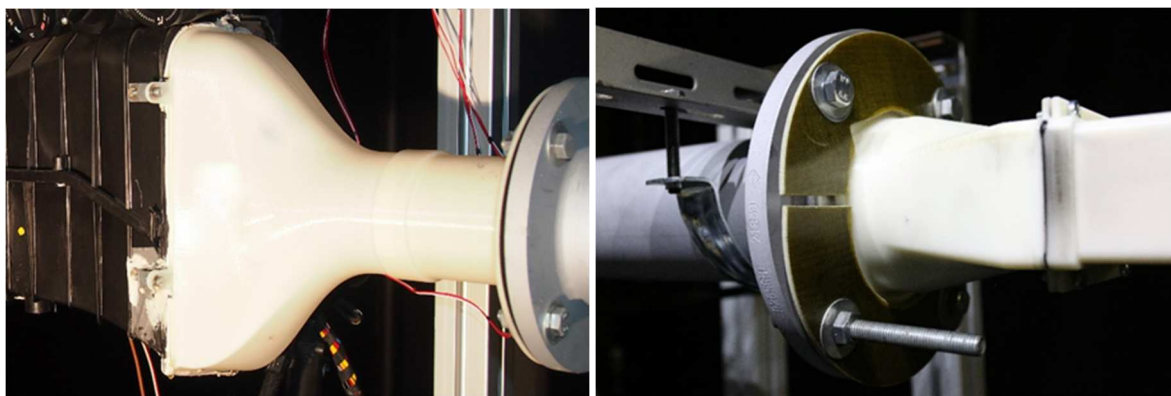
Uklidňovací potrubí se clonou a příslušnými redukcemi (obr. 31, obr. 32)

Směs vzduchu a kouře vystupující z rozvaděče dále prochází uklidňovacím potrubím, ve kterém je clona. Tato clona způsobuje tlakovou diferenci, ze které lze dopočítat objemový průtok (dle ČSN EN ISO 5167). Plynulé napojení sousedních komponent na uklidňovací potrubí je na obou jeho koncích řešeno prostřednictvím redukce z ABS plastu (vyrobeny metodou Rapid Prototyping).

Na schématu (viz obr. 29) jsou tyto komponenty na pozicích 4, 5 a 6.



Obr. 31 – Uklidňovací potrubí se clonou [51]



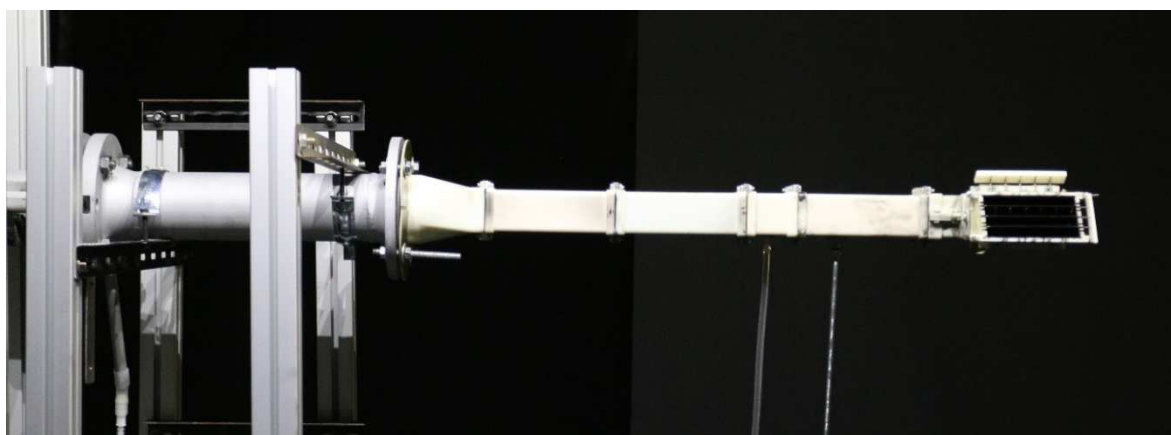
Obr. 32 – Redukce z rozvaděče vzduchu do uklidňovacího potrubí (vlevo); redukce z uklidňovacího potrubí do přívodního vzduchovodu (vpravo)

Přívodní vzduchovod a benchmarková vyústka (obr. 33)

Poslední, koncovou, částí, kterou směs vzduchu a kouře proudí, je přívodní vzduchovod a benchmarková vyústka (vycházející z předlohy automobilu Škoda Octavia 3. generace). Všechny kusy koncové části (samotný vzduchovod, uzavírací klapka, vertikální lamely a horizontální lamely) jsou nastavitelné a vyměnitelné dle potřeby.

Přívodní vzduchovod je k dispozici ve variantách: „rovný“, „s kolenem“ a „s kolenem a usměrňovacími lamelami.“ Uzavírací klapka je k dispozici ve variantách: „motýlková“, „dvojitá motýlková“, „tenkostěnná se zaoblením“ a „tenkostěnná se sražením“. Vertikální i horizontální lamely lze vzájemně různě situovat, a také měnit jejich počet v rozmezí 3 – 5 ks. Detailní popis všech variant je k dispozici v [25].

Na schématu (viz obr. 29) jsou tyto komponenty na pozicích **7, 8, 9 a 10**.



Obr. 33 – Přívodní vzduchovod a benchmarková vyústka

3.1.2 Měřicí přístroje, snímače a příslušenství

Měřicí přístroje, snímače a příslušenství jsou následující a částečně vycházejí z dokumentu [51]:

- Zdroj napětí MCP M10-330-30
- Teplotní odporové čidlo Pt100 (2 ks)
- Převodník tlaku Airflow PTSXR (2 ks)
- Mikromanometr a kalibrátor Halstrup Walcher KAL 84
- Snímač teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku Comet T7418
- Vstupní analogové moduly NI 9217, NI 9215 (National Instruments)
- Základna slotů NI cDAQ-9172 (National Instruments)

- Počítač vybavený programem LabVIEW (National Instruments)

Zdroj napětí MCP M10-330-30 (obr. 34)

Otáčky ventilátoru topení (tím pádem i průtok vzduchovou trasou) jsou regulovány zdrojem napětí, který transformuje střídavé síťové napětí (230 V) na stejnosměrné regulovatelné napětí.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 2.

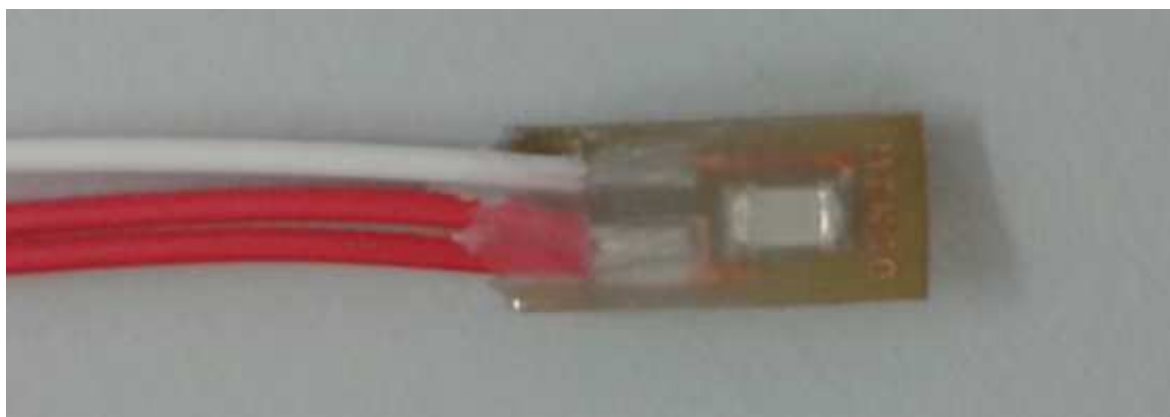


Obr. 34 – Zdroj stejnosměrného regulovatelného napětí [51]

Teplotní odporová čidla Pt100 (obr. 35)

Teplotní čidlo Pt100 (celkem 2×) je umístěno jak v sacím nástavci, tak v redukci z rozvaděče vzduchu do uklidňovacího potrubí. Čidla měří teplotu na sání do vzduchové trasy t_1 a teplotu na výtlaku ventilátoru t_2 . Z takto naměřených hodnot je patrné ohřátí vzduchu při průchodu ventilátorem a také při smíchání s kouřem.

Na schématu (viz obr. 29) jsou tato čidla na pozici 11. Měřicí rozsah čidel je od -50 °C do 260 °C a jejich přesnost činí $\pm 0,4$ °C (viz katalog výrobce). Tato přesnost je pro účely tohoto experimentu nadměrně dostačující. Již v bakalářské práci [51] bylo vypočteno Archimédovo číslo při ohřátí vzduchu až o 5 K, z jehož hodnoty vyplývá, že se jedná o proudění mírně neizotermní, což má na výstupy kouřové vizualizace zanedbatelný vliv.



Obr. 35 – Teplotní odporové čidlo Pt100 [51]

Převodníky tlaku Airflow PTSXR (obr. 36)

V ukladňovacím potrubí jsou dva koutové odběry tlaků (před a za clonou), konkr. komorové s prstencovou šterbinou [56]. Tlak před clonou p_1 a tlaková difference Δp jsou měřeny dvěma tlakovými převodníky. Z takto naměřených hodnot, mj., je vypočítán objemový průtok Q_V , dle ČSN EN ISO 5167 – „Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu.“

Na schématu (viz obr. 29) jsou tyto přístroje na pozicích **14** a **15**, odběry tlaku jsou na pozici **12**. Měřicí rozsah každého převodníku tlaku je od 0 Pa do 500 Pa a jeho přesnost činí $\pm 0,2 \%$ z tohoto rozsahu (viz typový štítek). Tato přesnost je ověřena kalibračním procesem pomocí kalibrátoru KAL 84 od firmy Halstrup Walcher (tab. 1, tab. 2). Z tab. 1 je patrné, že převodník tlaku měřící p_1 bez potíží dosahuje uvedené přesnosti. tab. 2 ukazuje, že převodník tlaku měřící Δp dosahuje uvedené přesnosti v podtlakové oblasti bez potíží, avšak v přetlakové oblasti se už pohybuje na hraně uvedené přesnosti. Přesto však i tato nežádoucí skutečnost není zásadní pro výsledky experimentu, jelikož pro vybranou konstrukční variantu (3H5V s nastavením MM) je určen vliv široké škály hodnot Q_V na okrajové úhly a nejsou pozorovány žádné významné trendy (obr. 37).



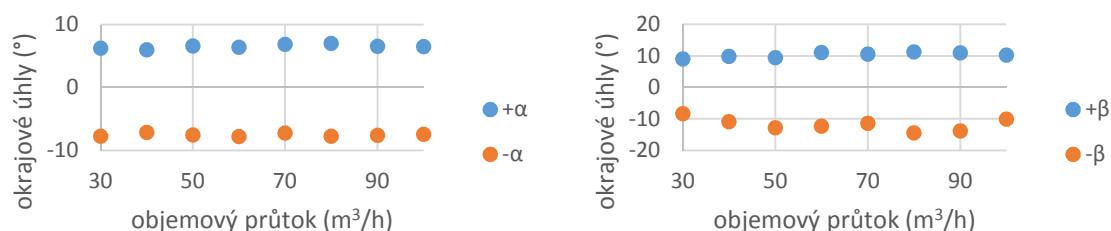
Obr. 36 – Převodníky tlaku

Tab. 1 – Ověření přesnosti převodníku tlaku měřící p_1

HODNOTY PŘETLAKU		
KAL84 (Pa)	PTSXR (Pa)	PŘESNOST (%)
103,3	102,9	0,09
199,3	198,6	0,14
300,3	300,1	0,04
400,7	401,3	0,12
499,6	500,0	0,07

Tab. 2 – Ověření přesnosti převodníku tlaku měřící Δp

HODNOTY PŘETLAKU			HODNOTY PODTLAKU		
KAL84 (Pa)	PTSXR (Pa)	PŘESNOST (%)	KAL84 (Pa)	PTSXR (Pa)	PŘESNOST (%)
98,9	99,5	0,12	-26,9	-27,0	0,01
200,2	201,4	0,26	-51,8	-52,0	0,05
300,9	304,1	0,63	-76,2	-76,8	0,12
402,7	405,6	0,59	-100,0	-100,4	0,08
499,4	502,3	0,58			

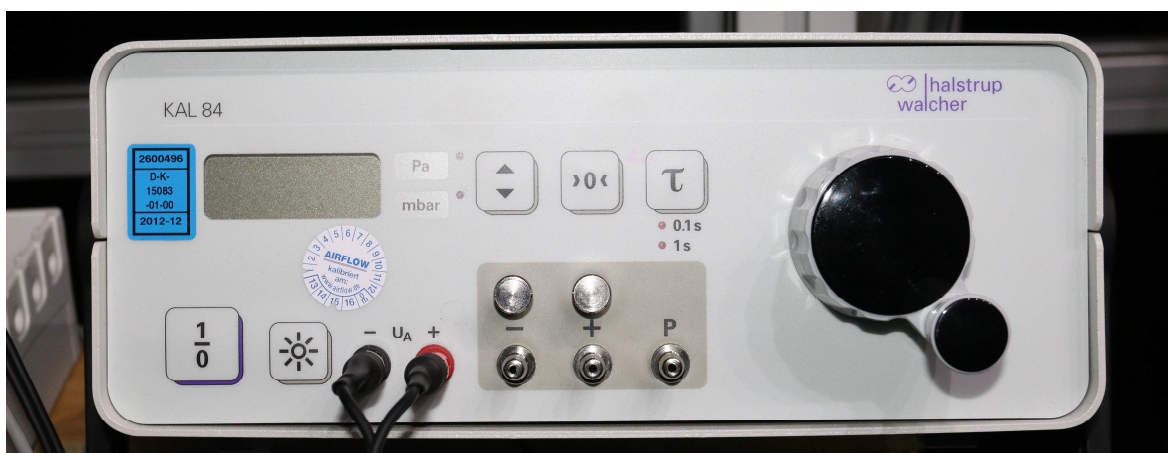


Obr. 37 – Závislost okrajových úhlů v obou rovinách na objemovém průtoku (nastavení MM)

Mikromanometr a kalibrátor Halstrup Walcher KAL 84 (obr. 38)

Jednoduchý odběr statického tlaku je umístěn v přírodním vzduchovodu (viz obr. 33). Hodnota tohoto statického tlaku je zároveň tlakovou ztrátou benchmarkové vyústky Δp_z . Jako mikromanometr je využíván tlakový kalibrátor KAL 84 od firmy Halstrup Walcher.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 16, odběr statického tlaku je na pozici 12. Měřicí rozsah mikromanometru je od 0 Pa do 1000 Pa a jeho přesnost činí $\pm 0,2 \%$ z tohoto rozsahu (viz typový štítek). Tato přesnost je ověřena na základě kalibrace, jež byla provedena firmou Airflow (viz protokol o kalibraci č. 1501037/0099).

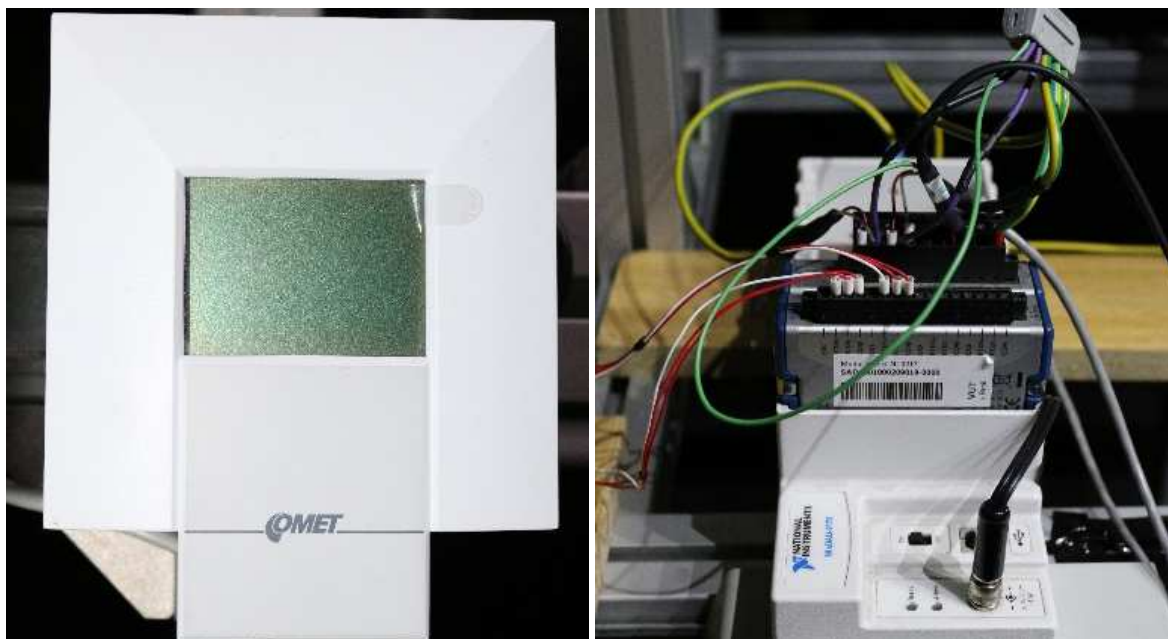


Obr. 38 – Mikroanemometr (kalibrátor)

Snímač teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku Comet T7418 (obr. 39 – vlevo)

Okolní podmínky v laboratoři (teplota t_i , relativní vlhkost φ_i a atmosférický tlak p_b) jsou měřeny snímačem Comet T7418.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 17. Měřicí rozsah teploměru je od $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+50 \text{ }^\circ\text{C}$ a jeho přesnost činí $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Měřicí rozsah vlhkoměru je od 5 % do 95 % a jeho přesnost činí $\pm 2,5 \%$. Měřicí rozsah barometru je od 600 hPa do 1100 hPa a jeho přesnost činí $\pm 1,5 \text{ hPa}$ (viz návod k použití). Tyto přesnosti jsou ověřeny na základě kalibrace, jež byla provedena firmou COMET SYSTEM, s.r.o. (viz protokol o kalibraci č. 13960952/001).



Obr. 39 – Snímač teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku (vlevo); základna slotů NI cDAQ-9172 s měřicími moduly (vpravo)

Základna slotů NI cDAQ-9172 a měřicí moduly NI 9217, NI 9215 (viz obr. 39 – vpravo)

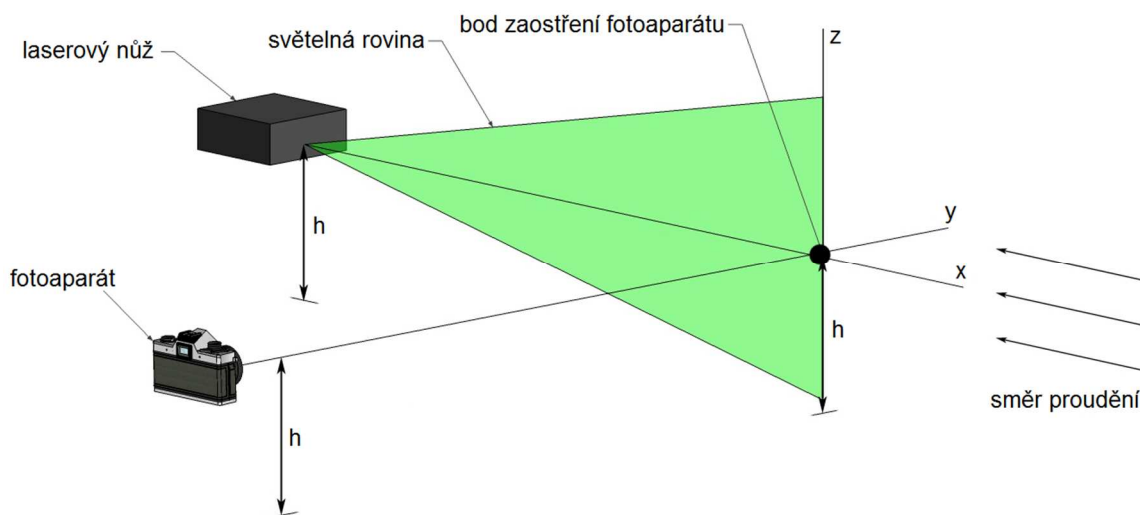
Měřicí moduly převádějí analogový signál jdoucí z příslušných čidel na signál digitální. Připojení modulů do základny slotů umožňuje jednak zobrazení příslušných veličin v reálném čase na PC, a také jejich ukládání (prostřednictvím programu LabVIEW).

Čidla teploty jsou připojena k modulu NI 9217, tlakové převodníky a mikromanometr k modulu NI 9215. Základna slotů NI cDAQ-9172 je připojena k PC pomocí USB.

3.2 Vizualizační řetězec

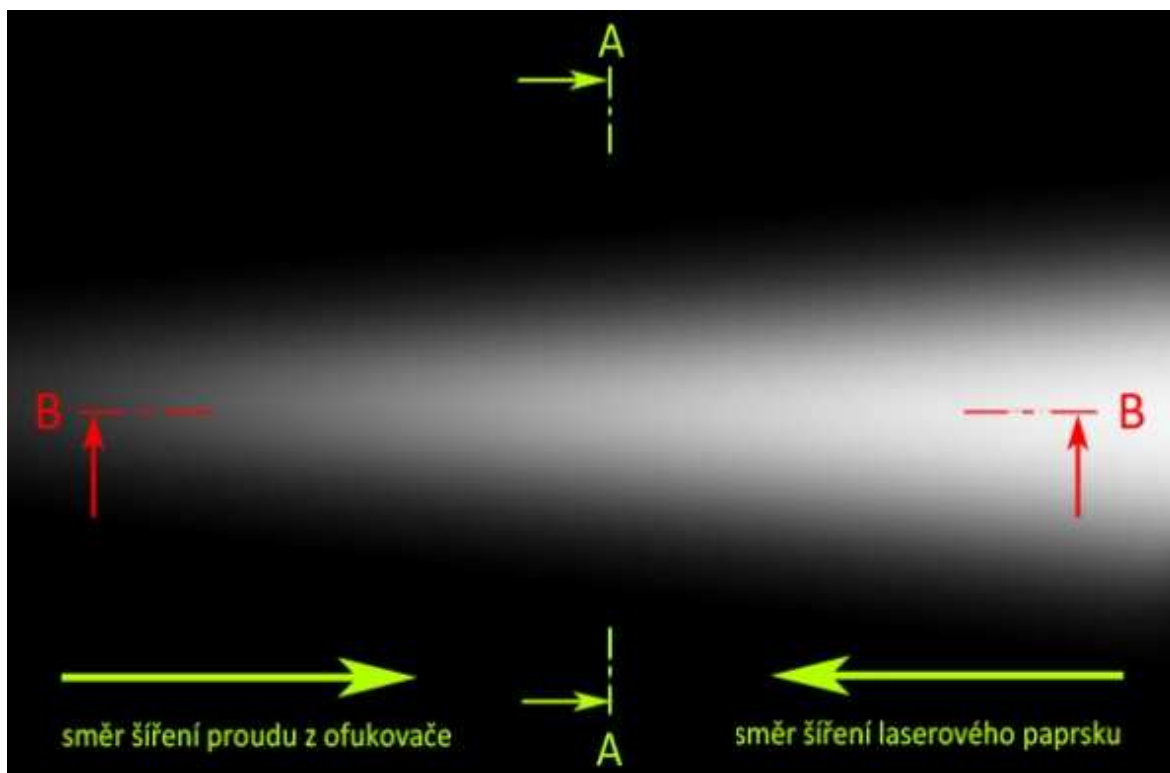
Vizualizační řetězec je v případě tohoto experimentu soubor čtyř zařízení (generátor kouře, homogenizační box, světelný nůž a fotoaparát), jehož požadovaným výstupem jsou SVV snímky s takovou orientací a expozicí, které jsou vhodné k obrazové analýze (dále jen „zdrojové SVV snímky“).

Vhodnost orientace zdrojových SVV snímků je posuzována podle míry dodržení požadovaného prostorového rozmístění jednotlivých zařízení vizualizačního řetězce při pořizování snímků. Zásadní pro vhodnou orientaci každého zdrojového SVV snímku je zejména to, aby osa objektivu fotoaparátu byla ve stejné výšce h jako střed čočky laserového nože a zároveň tvořila normálu světelné roviny (obr. 40)



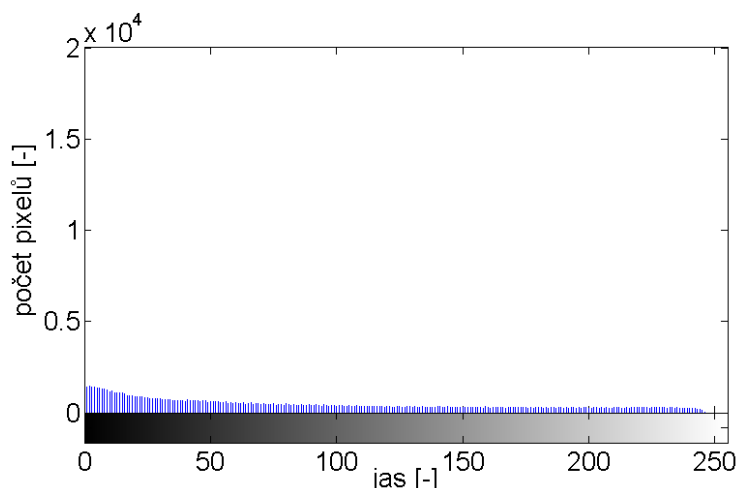
Obr. 40 – Prostorové uspořádání fotoaparátu a laserového nože [51]

Vhodnost expozice zdrojových SVV snímků je posuzována podle jasových vlastností jejich zprůměrovaného obrazu (dále jen „zprůměrovaný SVV snímek“). Jasové vlastnosti zprůměrovaného SVV snímku (histogram, průběhy jasu v referenčních řezech A-A a B-B) by měly mít stejný charakter jako v případě idealizovaného jasového modelu (obr. 41).



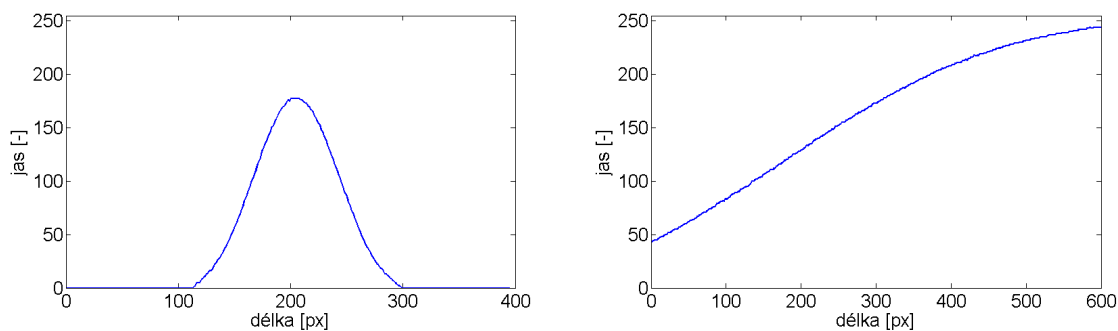
Obr. 41 – Idealizovaný jasový model zprůměrovaného SVV snímku, přepracováno z [51]

Tvar histogramu idealizovaného jasového modelu je patrný z obr. 42.



Obr. 42 – Histogram idealizovaného jasového modelu [25]

Průběhy jasu v referenčních řezech A-A a B-B idealizovaného jasového modelu jsou patrné z obr. 43.



Obr. 43 - Průběhy jasu v referenčních řezech idealizovaného jasového modelu: A-A (vlevo), B-B (vpravo) [25]

Posouzení vhodnosti expozice zdrojových SVV snímků k obrazové analýze je i s ukázkovými příklady podrobněji uvedeno v [25].

3.2.1 Komponenty vizualizačního řetězce

Vizualizační řetězec se skládá z následujících komponent a vychází z dokumentu [51]:

- Generátor kouře Safex Nebelgerät 195 SG
- Homogenizační box
- Laserový nůž
- Fotoaparát Canon EOS 300D

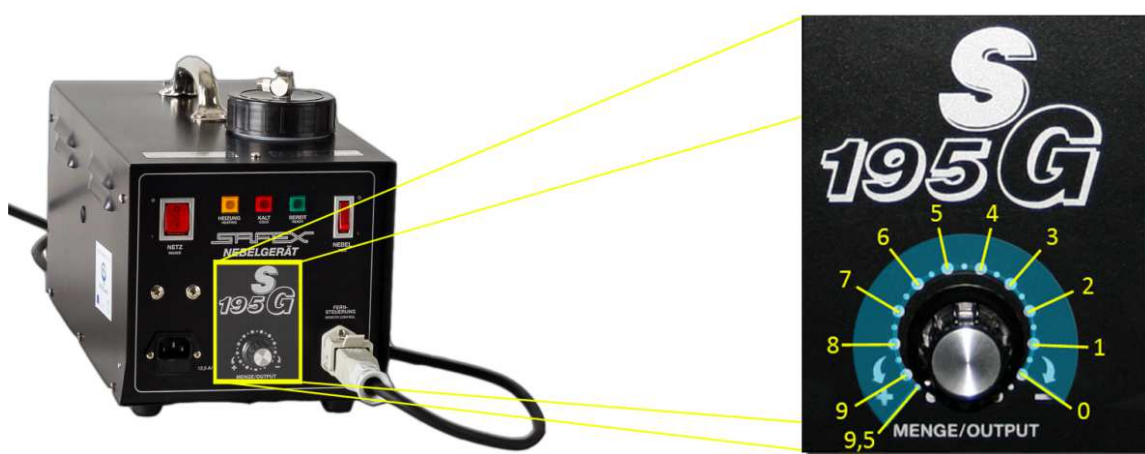
Generátor kouře Safex Nebelgerät 195 SG (obr. 44)

Generátor kouře vytváří souvislé množství kouře, jenž vzniká odpařováním kapaliny na olejové bázi. Výstupní tryska generátoru směřuje do homogenizačního boxu (viz dále), ze kterého ventilátor nasává vzduch do vzduchové trasy. Konkrétní množství kouře lze nastavit kombinací základního (ZRS) a ovládacího regulačního stupně (ORS). ZRS lze regulovat otočným tlačítkem umístěným přímo na přístroji (obr. 45, mezi hodnotami 0 až 9,5), ORS lze regulovat také otočným tlačítkem, umístěným však na dálkovém ovladači (obr. 46, mezi hodnotami 1 až 10)

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici **19**.



Obr. 44 – Generátor kouře Safex Nebelgerät 195 SG s dálkovým ovladačem [51]



Obr. 45 – Otočné tlačítko ZRS umístěné přímo na přístroji



Obr. 46 – Otočné tlačítko ORS umístěné na dálkovém ovladači

Homogenizační box (obr. 47)

Homogenizační box je zařazen ještě před sací nástavec s hadicí, a to hlavně z důvodu, že kouř vycházející z výstupní trysky generátoru pulzuje. Dále (viz podkapitola 3.2.2) je prokázáno, že tyto pulzace nežádoucím způsobem ovlivňují proudění z benchmarkové vyústky.

Dalším přínosem homogenizačního boxu je kondenzace nadbytečného množství kouřové kapaliny na jeho stěnách, tudíž na vnitřních plochách samotné vzduchové trasy již kondenzuje pouze minimální množství.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 20.

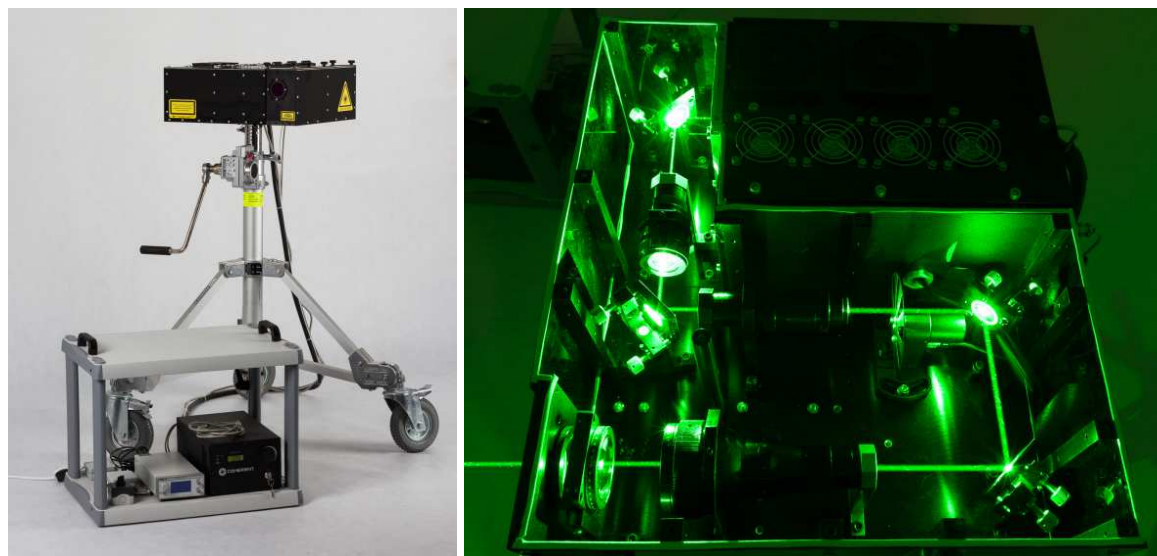


Obr. 47 – Homogenizační box

Laserový nůž (obr. 48)

Laserový nůž je tvořen 2W kontinuálním laserem s vlnovou délkou 532 nm a optickou dráhou, jíž laserový paprsek prochází. Optická dráha je složena z několika zrcátek, beam expandérů, π shaperem a válcovou čočkou. Po průchodu válcovou čočkou je paprsek rozšířen na světelnou rovinu, která při samotném experimentu reprezentuje konkrétní řez proudem a zároveň je světelným zdrojem.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 21.



Obr. 48 – Laserový nůž a příslušenství (vlevo); optická dráha laserového paprsku (vpravo) [51]

Fotoaparát Canon EOS 300D (obr. 49)

SVV snímky jsou pořizovány digitální zrcadlovkou Canon EOS 300D s objektivem Canon EF 17 – 40 mm f/4L USM. Na fotoaparátu je pro potřeby experimentu nastaven manuální režim, protože je nutné jeho nastavitelné parametry nastavovat nezávisle na sobě.

Na schématu (viz obr. 29) je tento přístroj na pozici 22.



Obr. 49 – Fotoaparát Canon EOS 300D [57]

3.2.2 Optimalizace nastavení vizualizačního řetězce

V úvodu kapitoly 3 je zčásti uveden postup posouzení tzv. „vhodnosti expozice“ zdrojových SVV snímků. Aby bylo možné takové „vhodné expozice“ vůbec dosáhnout, je třeba před pořízením těchto snímků optimálně nastavit všechny komponenty vizualizačního řetězce, a to prostřednictvím příslušných nastavitelných parametrů.

Postup optimalizace nastavení vizualizačního řetězce následuje v této podkapitole.

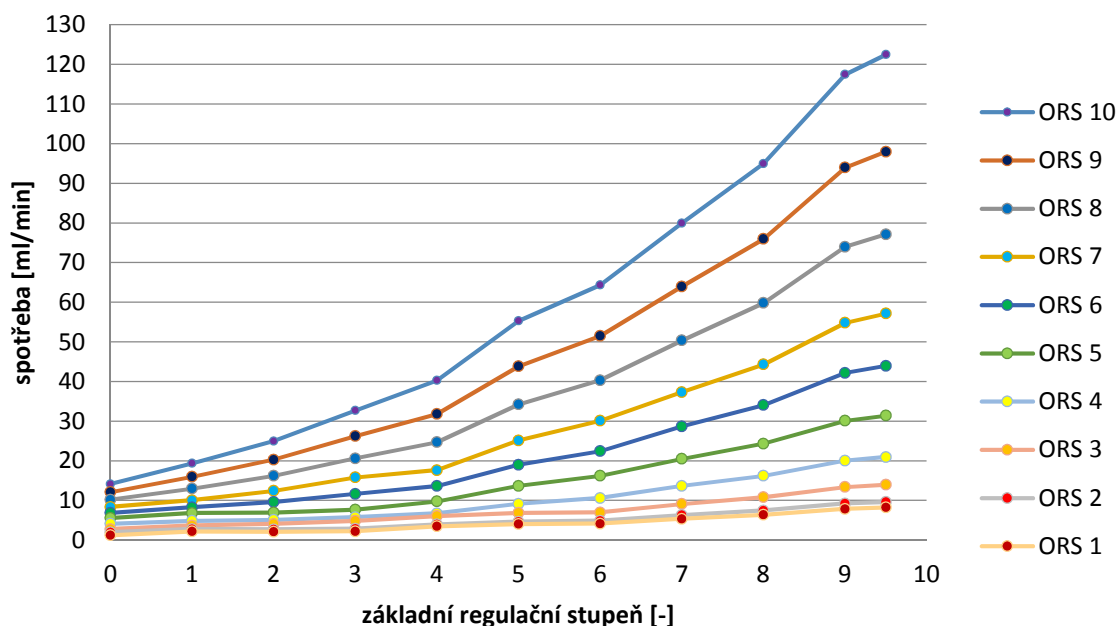
Laserový nůž

Stěžejním nastavitelným parametrem laserového nože je jeho výkon. Výkon laseru je možné regulovat v rozsahu 0,01 W – 2 W.

Při optimalizaci je hodnota tohoto výkonu zvolena jako fixní, a to maximální možná, tj. 2 W.

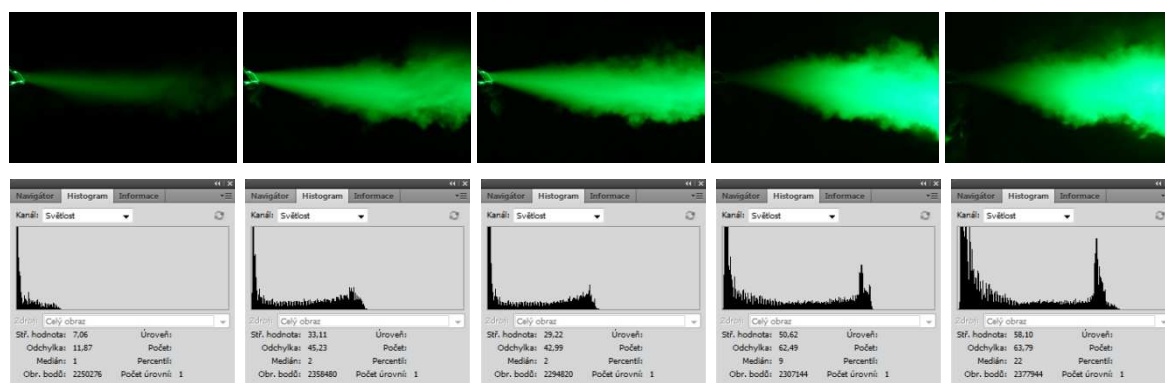
Generátor kouře

Množství generovaného kouře přímo koreluje se spotřebou kouřové kapaliny. Jelikož je kvantifikace spotřeby jednoznačně jednodušší než kvantifikace množství kouře (např. jeho objemového či hmotnostního průtoku), je právě tato spotřeba uvažována jako nastavitelný parametr, který lze měnit kombinací ZRS a ORS (obr. 50).



Obr. 50 – Spotřeba kouřové kapaliny v závislosti na kombinaci ZRS a ORS

Vliv spotřeby kouřové kapaliny na výslednou expozici konkrétního SVV snímku lze hodnotit porovnáním jeho histogramu s histogramem idealizovaného modelu. V rámci optimalizace byla nastavena fixní hodnota ZRS = 4, přičemž hodnota ORS byla měněna mezi hodnotami 3 – 7 (obr. 51).



Obr. 51 – Zdrojové SVV snímky a jejich jasové histogramy v závislosti na spotřebě kouřové kapaliny: nastavení ORS = 3 – 4 – 5 – 6 – 7 (zleva); nastavení ZRS = 4 (pro všechny snímky)

Z analýzy histogramů na obr. 51 vyplývá, že optimální spotřeba kouřové kapaliny pro pořízení vhodně exponovaných zdrojových SVV snímků je cca mezi 7 ml/min (ORS = 4) až 10 ml/min (ORS = 5).

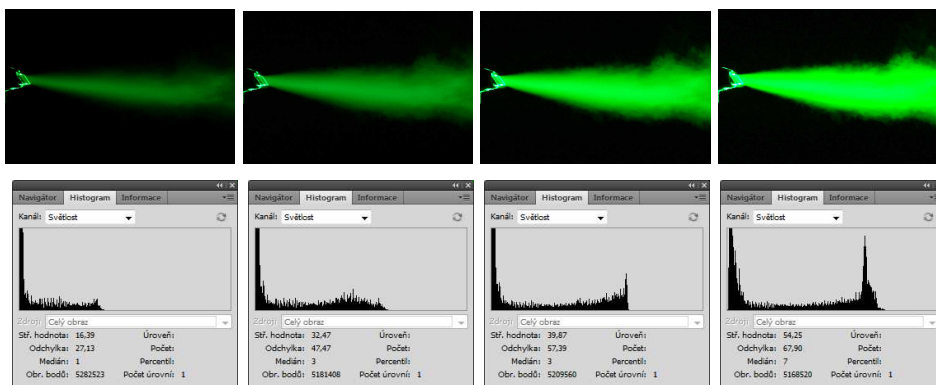
Fotoaparát

Nastavitelné parametry fotoaparátu jsou t , ISO a F , přičemž každý jednotlivý přispívá k celkové expozici zdrojového SVV snímku. Tato expozice je reprezentována expoziční hodnotou EV , která lze vyjádřit ze vztahu:

$$EV = 2 \log_2 F - \log_2 t - \log_2 \left(\frac{ISO}{100} \right) \quad (1)$$

Expozice zdrojových SVV snímků závisí na světelných podmínkách v prostoru proudění, které jsou v tomto případě tvořeny světelnou rovinou (o výkonu 2 W, viz

podkapitola 3.2.2 – „Laserový nůž“) a konkrétním množstvím kouře (ZRS/ORS = 4/4, viz podkapitola 3.2.2 – „Generátor kouře“). Vliv EV hodnoty na snímek je zřejmý z histogramů na obr. 52.



Obr. 52 – Jasové histogramy SVV snímků s $EV = 5,3 - 4,3 - 3,3 - 2,3$ (zleva)

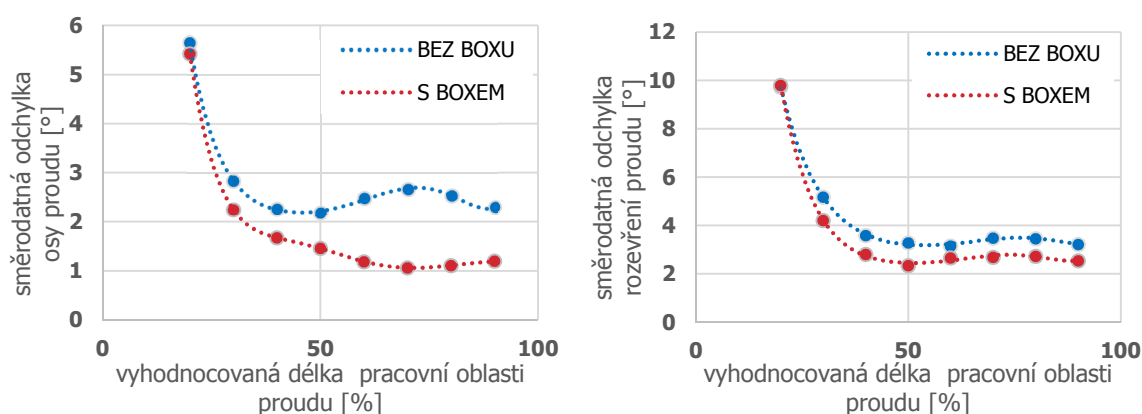
Z analýzy histogramů na obr. 52 vyplývá, že optimální EV hodnota pro pořízení vhodně exponovaných zdrojových SVV snímků je 4,3.

Jako optimální kombinace nastavitelných faktorů $t/ISO/F$ byly určeny následující hodnoty:

- $t = 0,1$ s – krátký čas závěrky byl zvolen s prioritou na prvním místě, a to z důvodu možnosti zachycení fluktuací na okrajích proudu
- $ISO = 800$ – tato hodnota světelné citlivosti CCD čipu byla zvolena s prioritou na druhém místě, a to z důvodu ještě přijatelného zašumění zdrojových SVV snímků
- $F = 4$ – tato hodnota byla dopočítána na základě optimální EV hodnoty dle vztahu (1)

Homogenizační box

Homogenizační box snižuje fluktuace proudění způsobené nerovnoměrným dávkováním kouře (pulzacemi). Tyto fluktuace nejsou přirozenou vlastností proudění, a proto jsou pro výsledky experimentu nežádoucí. Fluktuace se projevují na hodnotách směrodatných odchylek úhlu osy a rozvěření proudu (obr. 53).



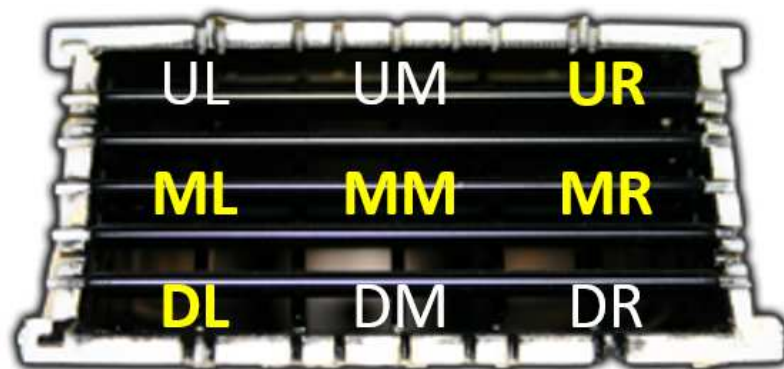
Obr. 53 – Vliv homogenizačního boxu na nepřirozené fluktuace proudění

Z grafů na obr. 53 vyplývá, že používání homogenizačního boxu snižuje nepřirozené fluktuace proudění, a proto je vhodné.

4 EXPERIMENT

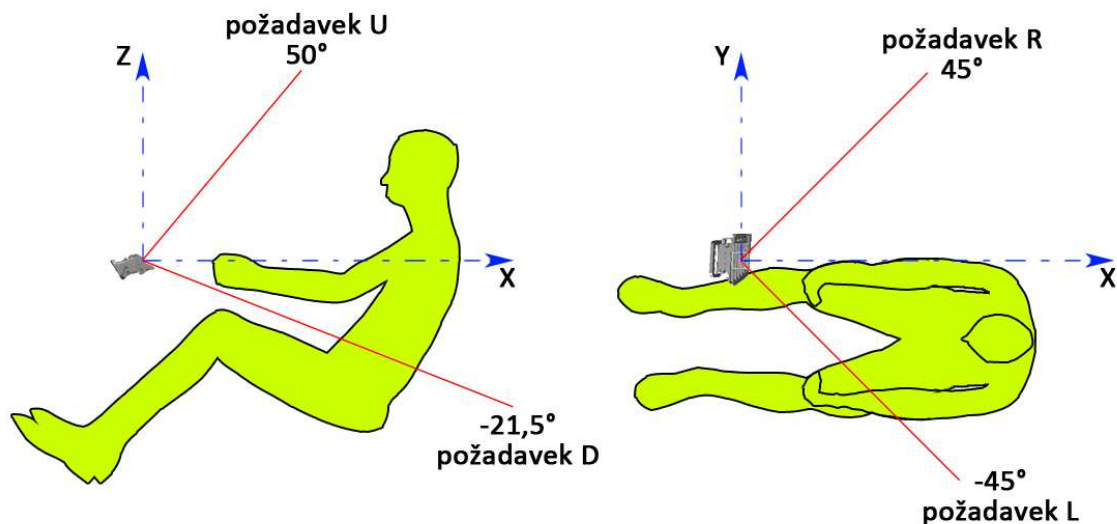
Jednotlivé fáze samotného experimentu kouřové vizualizace (nastavení měřicí tratě a vizualizačního řetězce, pořízení a vyhodnocení SVV snímků) jsou v principu stejné jako v bakalářské práci [51], resp. technické zprávě [25].

V této diplomové práci je fokusováno zejména na vliv počtu a umístění příslušných směrovacích lamel na výsledné směřování proudu z vyústky (pravé přední na palubní desce – před spolujezdcem). Úkolem experimentu je porovnat proudění mezi těmito konstrukčními variantami do volného prostoru. Průtok vyústkou Q_V je vždy při nastavení směřování MM nastaven na 33,5 m³/h (nejběžnější uživatelské nastavení) a dále jsou také proměřena ostatní, uživatelsky nejčastější, nastavení směřování (obr. 54).



Obr. 54 – Nejčastěji používaná nastavení směřování u pravé přední vyústky na palubní desce – čelní pohled (vyznačena žlutě)

Společnost ŠKODA AUTO a.s. vydala požadavky na směřování proudu z pravé přední vyústky na palubní desce. Tyto požadavky jsou zřejmé z obrázku (obr. 55) a týkají se modelu Škoda Octavia (3. generace).



Obr. 55 – Požadavky na směřování ve vertikální rovině (vlevo) a v horizontální rovině (vpravo)

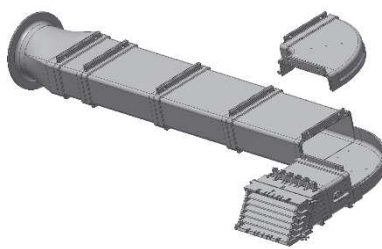
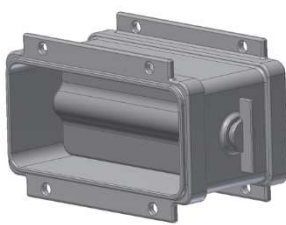
Jedním z cílů experimentu je ověření, zda je vůbec některá ze zkoumaných variant schopna dosáhnout požadavků ŠKODA AUTO a.s. Je zřejmé, že hodnocení splnitelnosti požadavku je účelné u nastavení směřování UR a DL (kvůli požadavku ve vertikální i horizontální rovině), příp. u nastavení směřování MR a ML (kvůli požadavku v horizontální rovině).

Dalším z cílů experimentu je ověření závislosti směřování proudu na konkrétním počtu a umístění směrovacích lamel, nezávisle na splnění požadavku.

4.1 Konstrukční varianty – složení

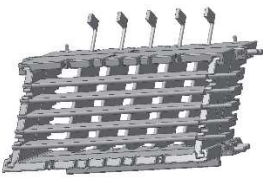
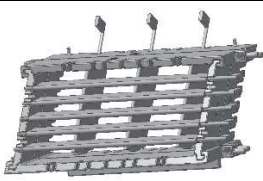
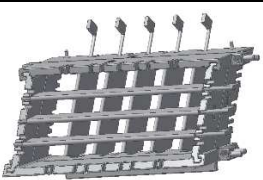
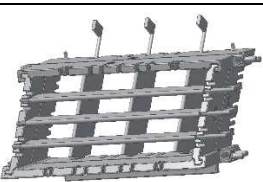
Všechny konstrukční varianty zkoumané v této diplomové práci mají společný přívodní vzduchovod i uzavírací klapku – viz schémata a obrázky v tab. 3, různé jsou pouze modifikace lamelové mříže, kterých je celkem 8 – viz schémata a obrázky v tab. 4.

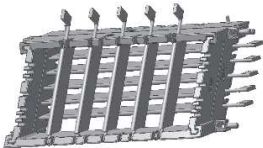
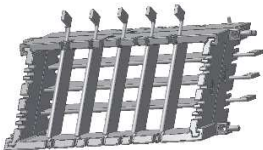
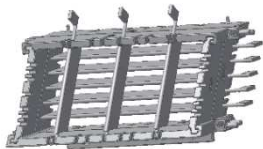
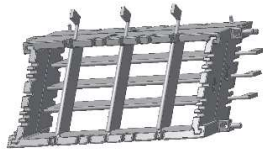
Tab. 3 – Použitý přívodní vzduchovod a uzavírací klapka

Schematická značka	Obrázek	Popis	Zkratka
		Přívodní vzduchovod s kolenem (90°)	BD
		Uzavírací klapka – jednoduchá, základní tvar náběžná i odtoková hrana se zaoblením	1BV

Pozn.: Varianty s dalšími různými typy přívodního kanálu i uzavíracích klapek jsou podrobně uvedeny v [25].

Tab. 4 – Zkoumané modifikace lamelové mříže

Schematická značka	Obrázek	Popis	Zkratka
		Směrovací lamely v pořadí 5× horizontální a 5× vertikální ve směru z kabiny	5H5V
		Směrovací lamely v pořadí 5× horizontální a 3× vertikální ve směru z kabiny	5H3V
		Směrovací lamely v pořadí 3× horizontální a 5× vertikální ve směru z kabiny	3H5V
		Směrovací lamely v pořadí 3× horizontální a 3× vertikální ve směru z kabiny	3H3V

		Směrovací lamely v pořadí 5× vertikální a 5× horizontální ve směru z kabiny	5V5H
		Směrovací lamely v pořadí 5× vertikální a 3× horizontální ve směru z kabiny	5V3H
		Směrovací lamely v pořadí 3× vertikální a 5× horizontální ve směru z kabiny	3V5H
		Směrovací lamely v pořadí 3× vertikální a 3× horizontální ve směru z kabiny	3V3H

Označení příslušné konstrukční varianty

Konečná podoba označení příslušné konstrukční varianty se skládá ze **zkratky** a pro názornost i příslušného **schématu**.

Např. konstrukční variantu obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí horizontální (5 ks) a vertikální (5 ks)**, jednoduchou **motýlkovou uzavírací klapku** a **přívodní vzduchovod s kolenem (90°)** lze označit:

- zkratkou¹:

BM_5H5V_1BV_BD

- schématem²:



4.2 Konstrukční varianty – výsledky

Celkem 10 vybraných SVV snímků je analyzováno podle metodiky vyhodnocování použité v [25], a to detekční metodou dle paty s nastavitelným parametrem p_P o přednostní hodnotě $p_P = 30$.

Výstupem analýzy každé konstrukční varianty jsou průměrné hodnoty úhlů okrajů ($\pm\alpha$, $\pm\beta$), osy (ω , φ) i rozevření (δ , γ) proudu v rovinách XY a XZ (viz podkapitola 2.2). Tyto průměrné hodnoty (AVG) je možné i s hodnotami směrodatných odchylek (STD), zpracovat do tabulky. AVG hodnoty jsou rovněž přímo vykresleny v příslušném referenčním snímku a v komplexním grafu jsou navíc doplněny i o STD hodnoty.

Pro detekci všech zmíněných hodnot i jejich vykreslení do referenčního snímku je využíván program Interfer. Tabulky a grafy jsou zpracovávány v tabulkovém editoru Microsoft Excel.

Výsledky zde publikované jsou uveřejněny rovněž v technické zprávě [25]

¹ Jednotlivé části konstrukční varianty jsou mezi sebou odděleny podtržítkem, část „BM“ označuje benchmarkovou vyústku.

² Směr šipky znázorňuje směr proudění vzduchu skrz části konstrukční varianty.

4.2.1 BM_5H5V_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí horizontální (5 ks) a vertikální (5 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 56 – Schéma BM_5H5V_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 5 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_5H5V_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	17,9	2,0	6,8	1,9	12,3	1,4	11,1	2,9	47,7	1,1	30,9	2,1	39,3	1,0	16,8	2,9
MR	27,3	1,8	3,9	1,3	15,6	1,1	23,4	2,3	1,4	3,7	-8,3	4,5	-3,5	3,0	9,7	6,2
MM	1,1	1,2	-6,9	1,1	-2,9	1,0	8,0	1,2	1,6	1,7	-9,7	2,7	-4,0	2,0	11,3	2,7
ML	-13,4	2,6	-28,2	2,9	-20,8	1,9	14,8	4,2	4,2	2,3	-8,1	2,1	-2,0	1,7	12,3	3,2
DL	4,3	1,7	-13,2	1,5	-4,4	1,5	17,5	1,3	-4,0	1,6	-22,9	1,9	-13,4	0,8	18,9	3,3

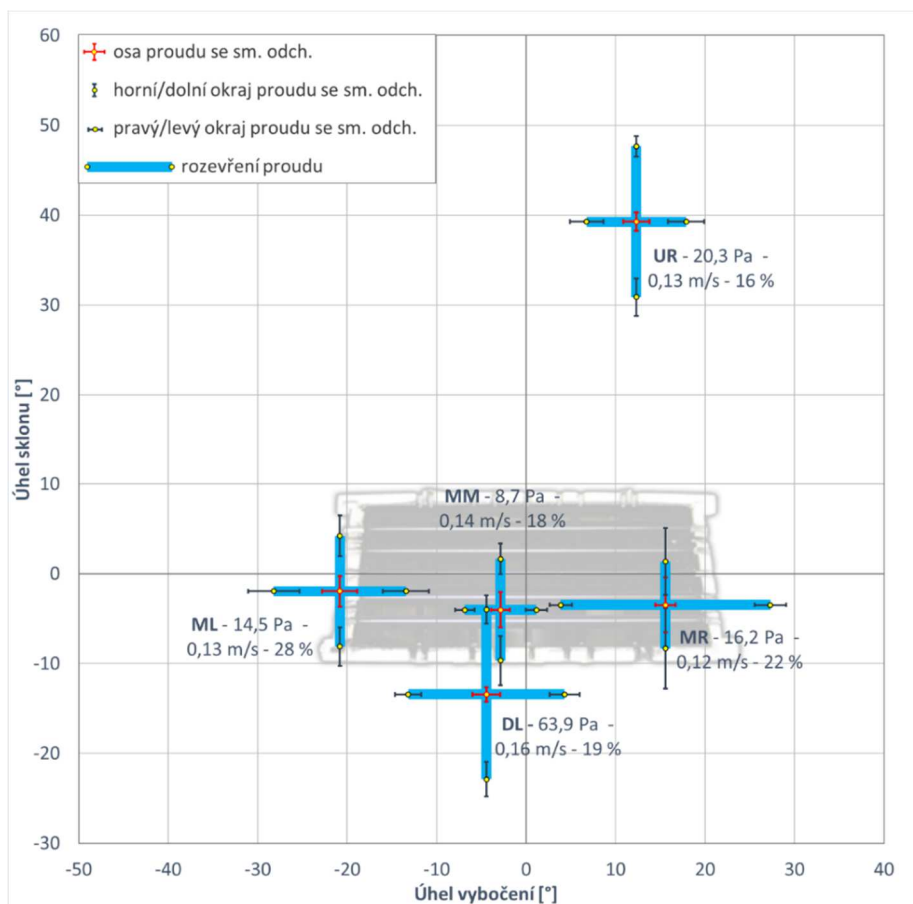
Okolní podmínky

$$t_i = (21,2 \div 24,7) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (28,1 \div 40,6) \%$$

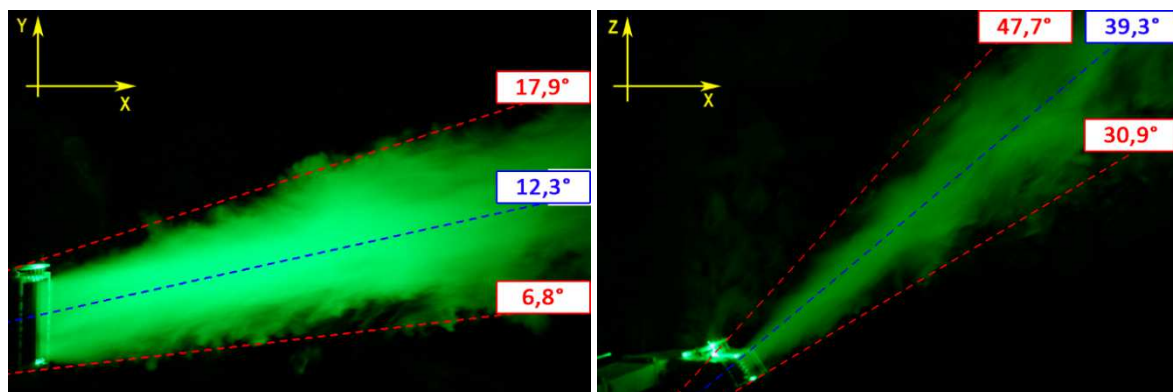
$$p_b = (978,1 \div 987,1) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

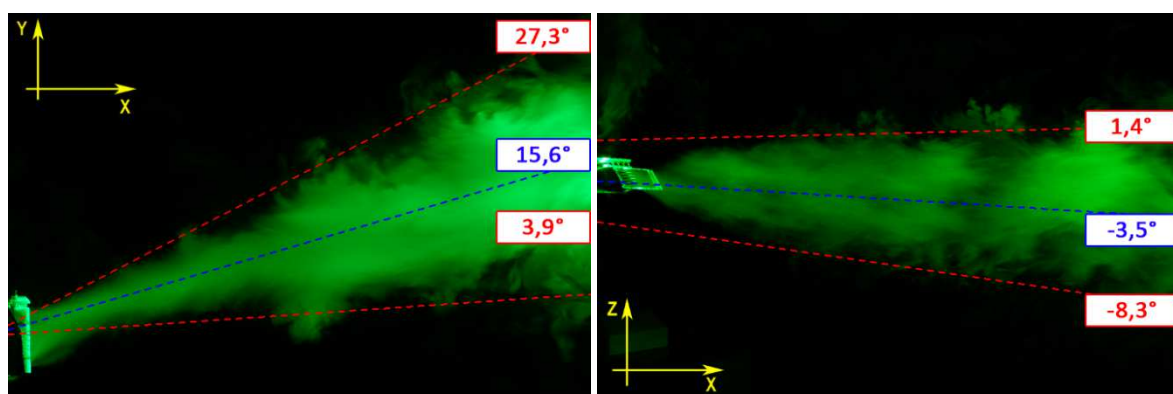


Obr. 57 – Komplexní graf BM_5H5V_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličejce spolujezdce

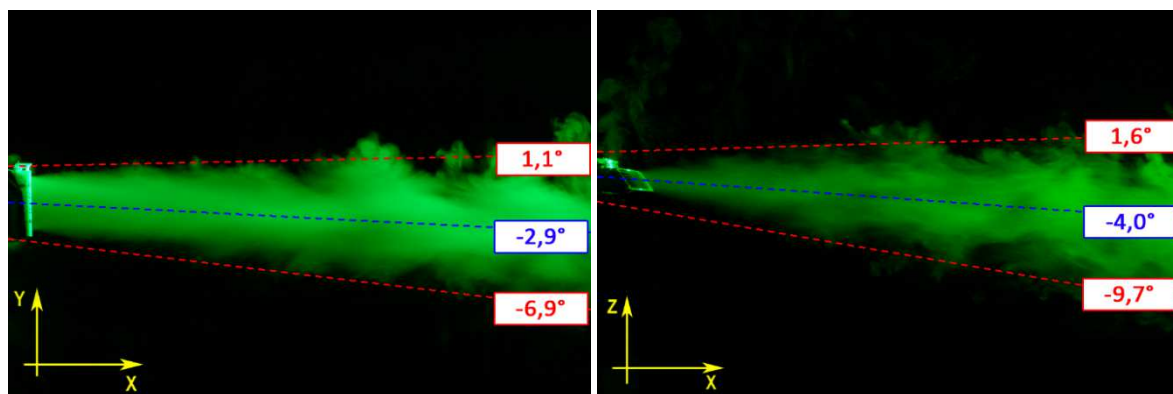
Referenční SVV snímky



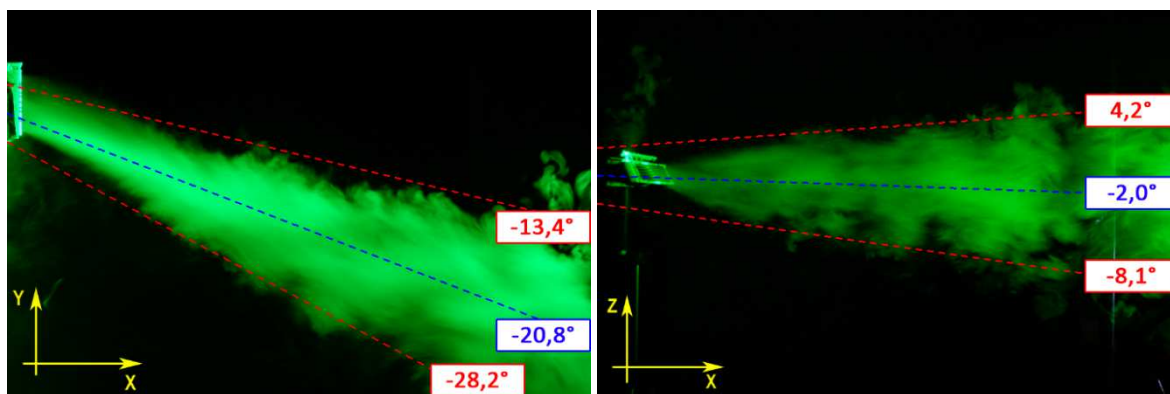
Obr. 58 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



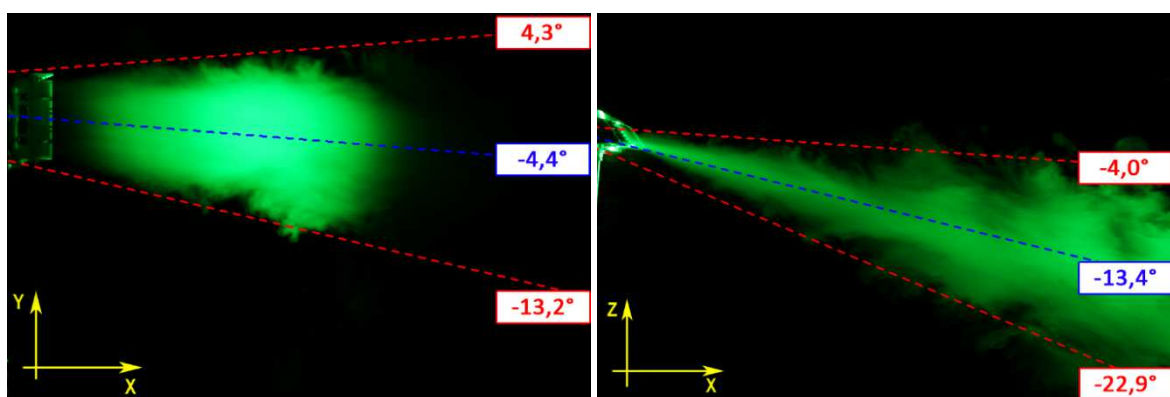
Obr. 59 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 60 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 61 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 62 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.2 BM_3H5V_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí horizontální (3 ks) a vertikální (5 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 63 – Schéma BM_3H5V_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 6 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_3H5V_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	23,5	2,1	6,8	1,6	15,2	1,5	16,6	2,7	41,1	0,8	21,9	2,9	31,5	1,5	19,2	3,2
MR	25,8	1,7	5,1	2,0	15,5	1,6	20,7	2,2	9,3	1,9	-7,4	1,6	1,0	0,9	16,7	3,2
MM	5,9	1,2	-9,5	1,2	-1,8	0,9	15,4	1,9	6,7	1,7	-8,2	1,5	-0,8	1,4	14,9	1,7
ML	-14,1	1,1	-31,4	1,7	-22,8	1,2	17,3	1,9	6,8	1,8	-8,2	2,6	-0,7	1,9	15,0	2,8
DL	-5,2	1,3	-24,4	1,1	-14,8	0,9	19,2	1,9	-7,8	1,5	-21,2	1,1	-14,5	0,7	13,4	2,3

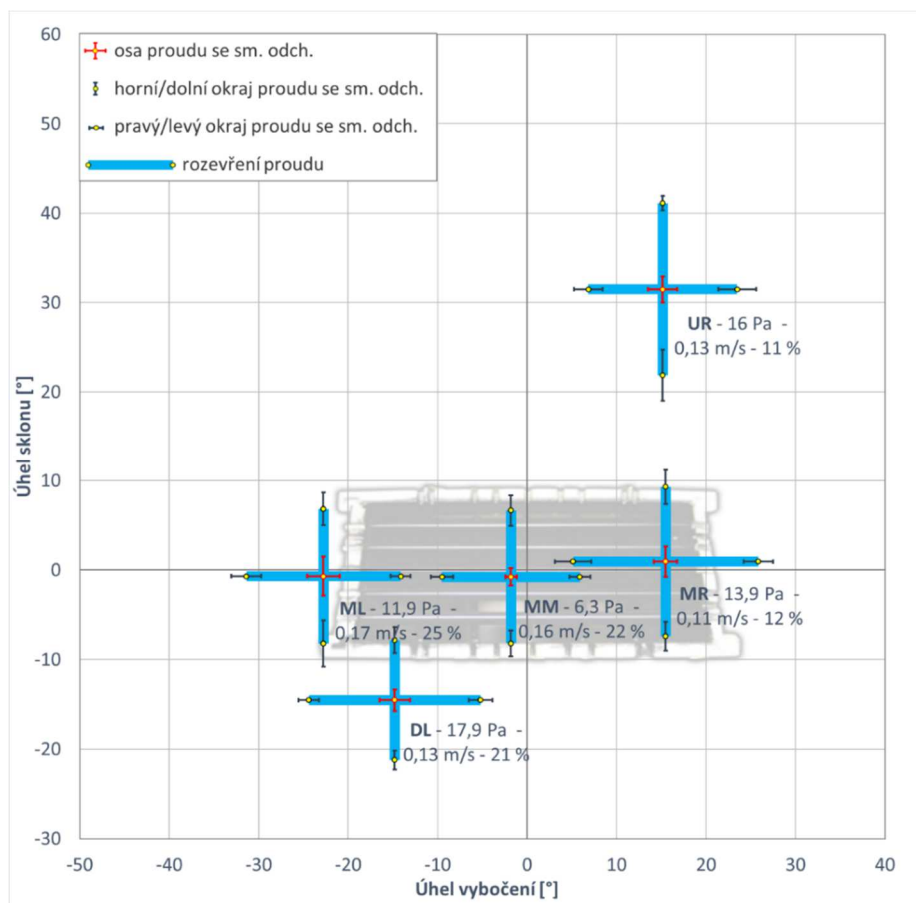
Okolní podmínky

$$t_i = (22,1 \div 25,1) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (39,5 \div 50,9) \%$$

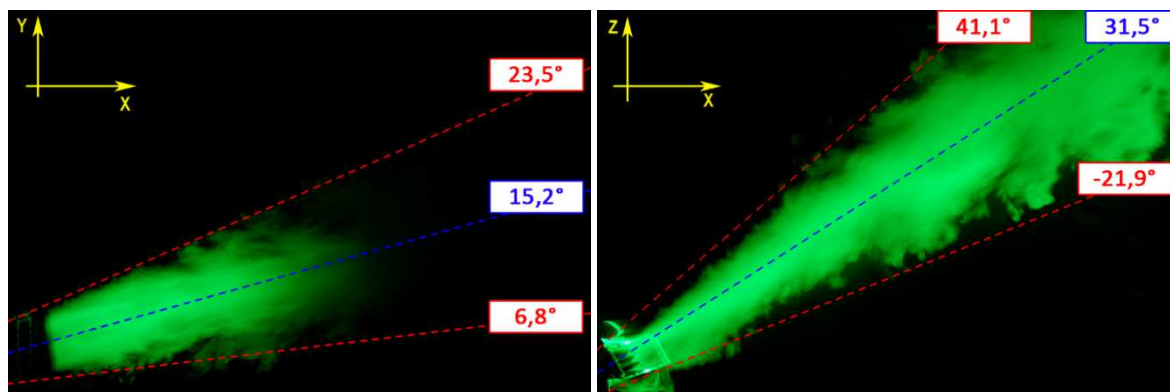
$$p_b = (980,5 \div 991,6) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

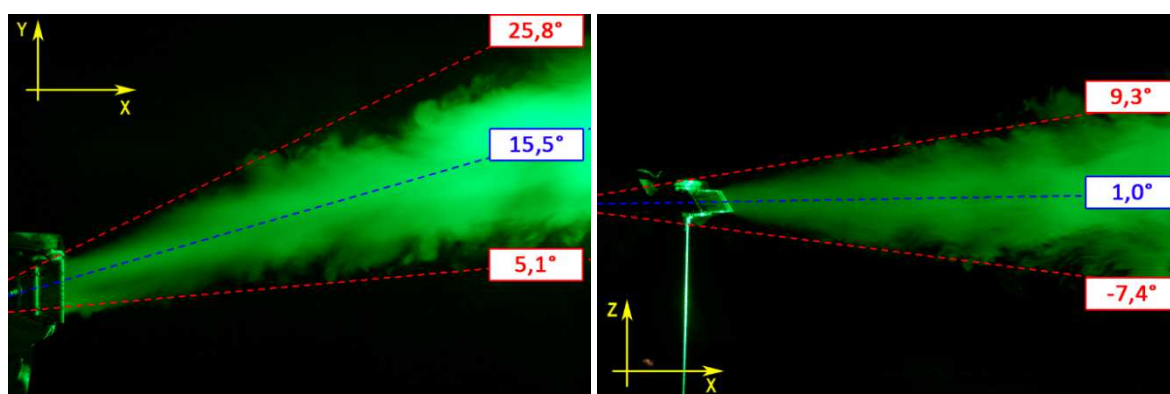


Obr. 64 – Komplexní graf BM_3H5V_1BV_BD: směrování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spolejezdce

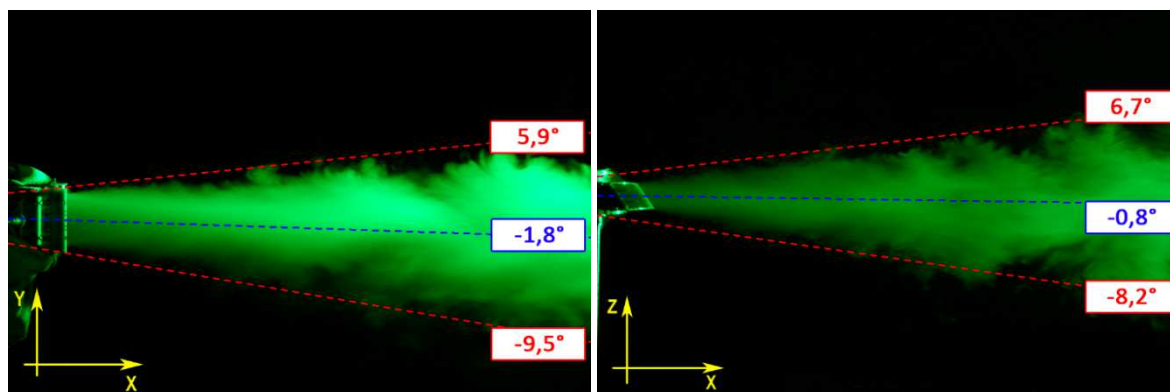
Referenční SVV snímky



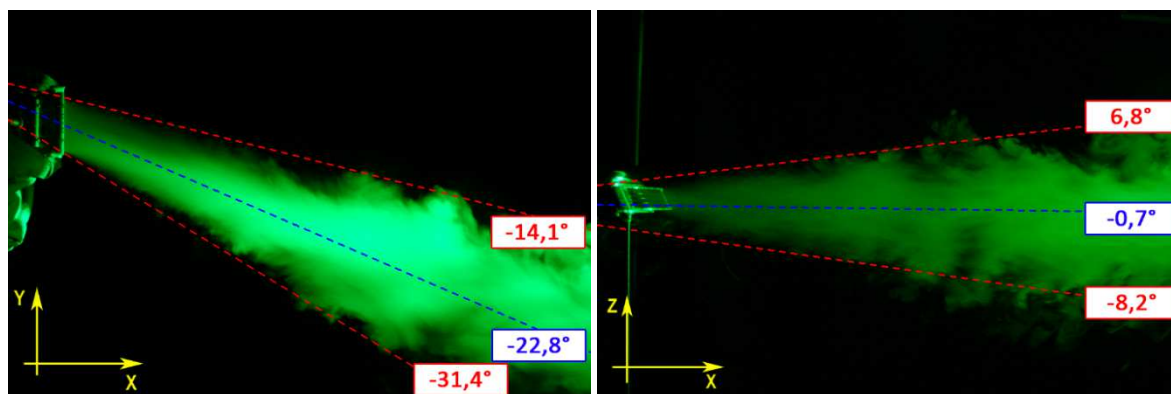
Obr. 65 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



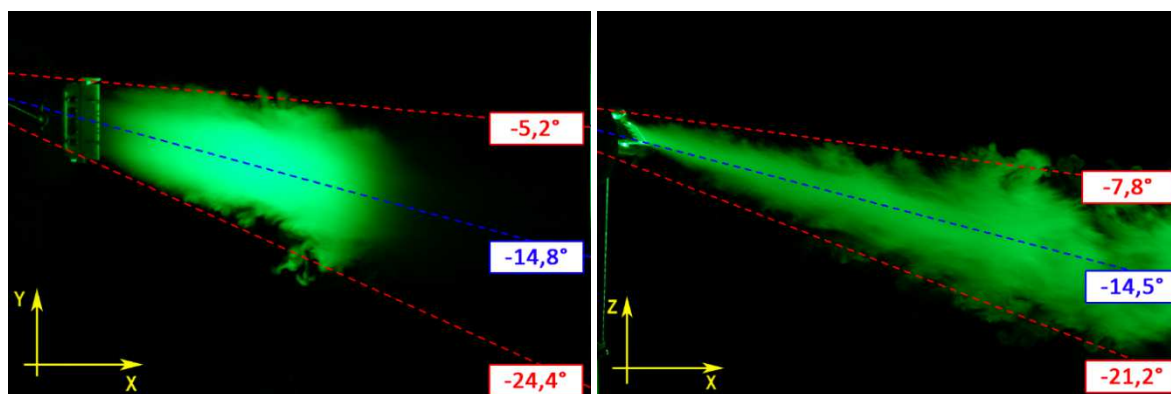
Obr. 66 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 67 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 68 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 69 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.3 BM_5H3V_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí horizontální (5 ks) a vertikální (3 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 70 – Schéma BM_5H3V_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 7 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_5H3V_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	17,8	1,4	-3,5	2,4	7,1	1,6	21,3	2,6	52,6	1,9	35,7	1,8	44,1	1,5	16,9	2,5
MR	15,3	0,8	-1,1	2,1	7,1	1,3	16,4	2,0	8,3	2,0	-8,7	1,6	-0,2	1,7	17,1	1,8
MM	3,6	1,2	-8,5	1,1	-2,4	0,6	12,1	2,1	6,1	1,4	-7,3	2,1	-0,6	1,0	13,4	3,3
ML	-8,3	2,9	-22,9	1,4	-15,6	1,8	14,6	3,1	7,7	2,3	-10,3	2,5	-1,3	2,2	18,1	2,7
DL	4,9	1,6	-14,9	3,1	-5,0	1,7	19,8	3,9	-6,9	1,0	-24,1	1,8	-15,5	1,2	17,2	1,9

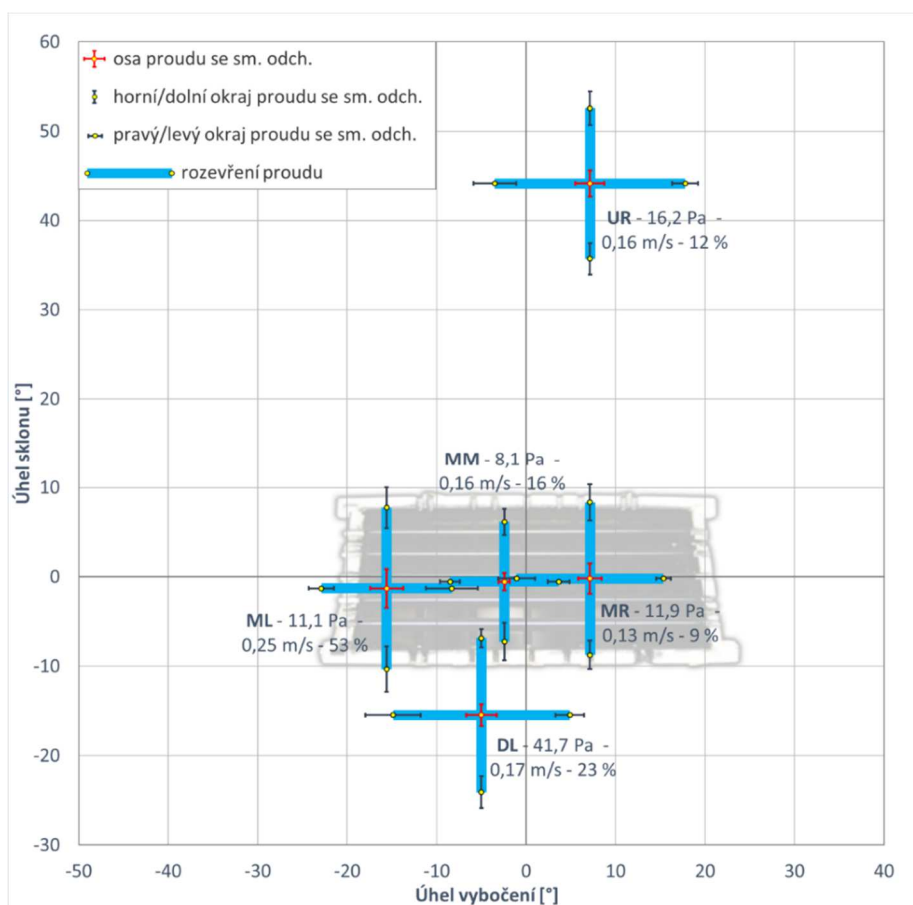
Okolní podmínky

$$t_i = (24,4 \div 25,2) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (32,5 \div 54,2) \%$$

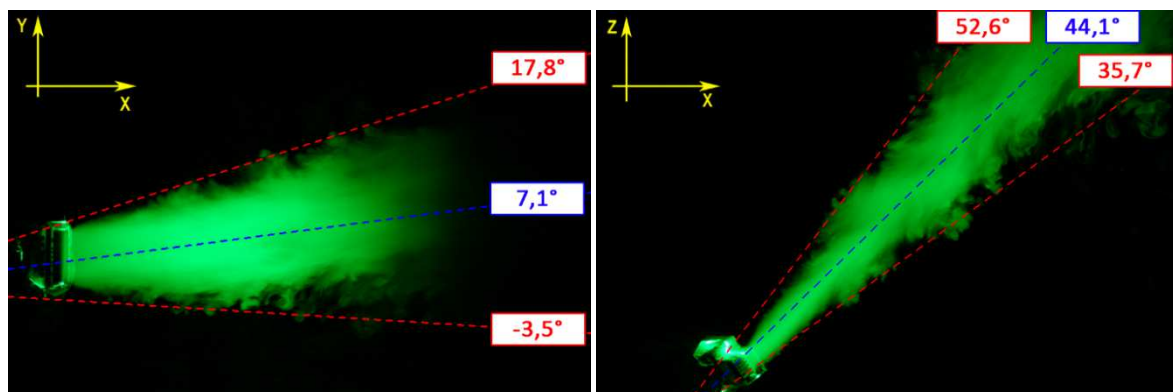
$$p_b = (979,3 \div 987,9) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

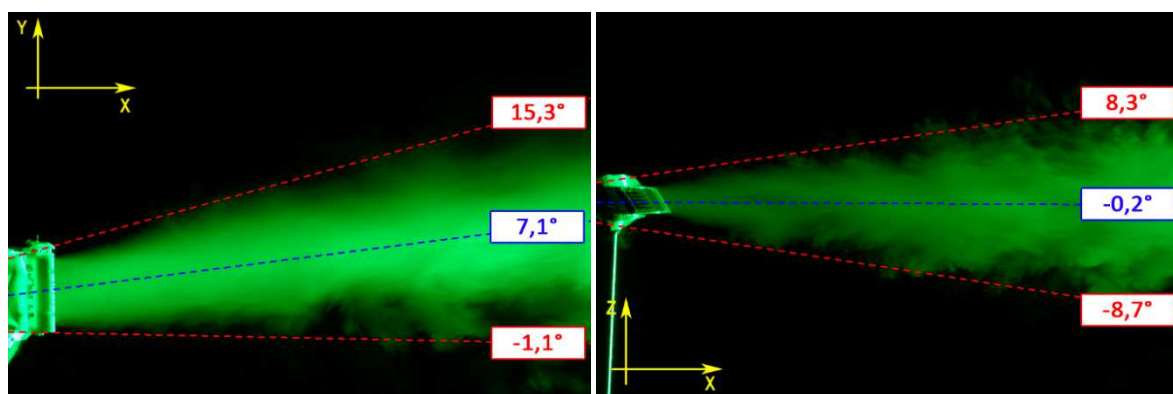


Obr. 71 – Komplexní graf BM_5H3V_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spojujizdce

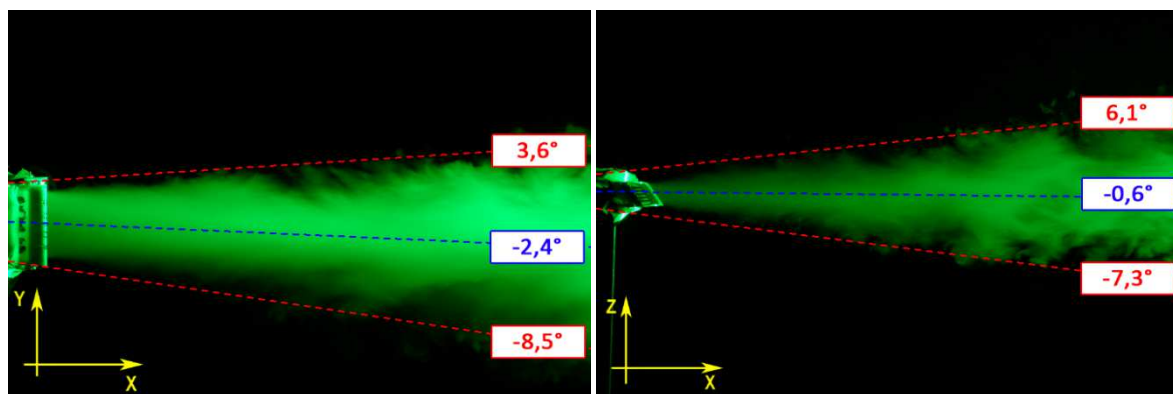
Referenční SVV snímky



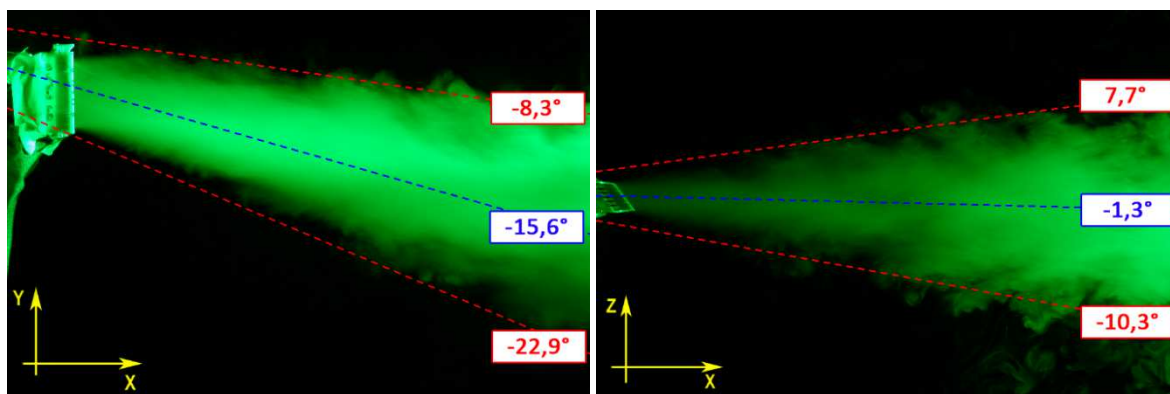
Obr. 72 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



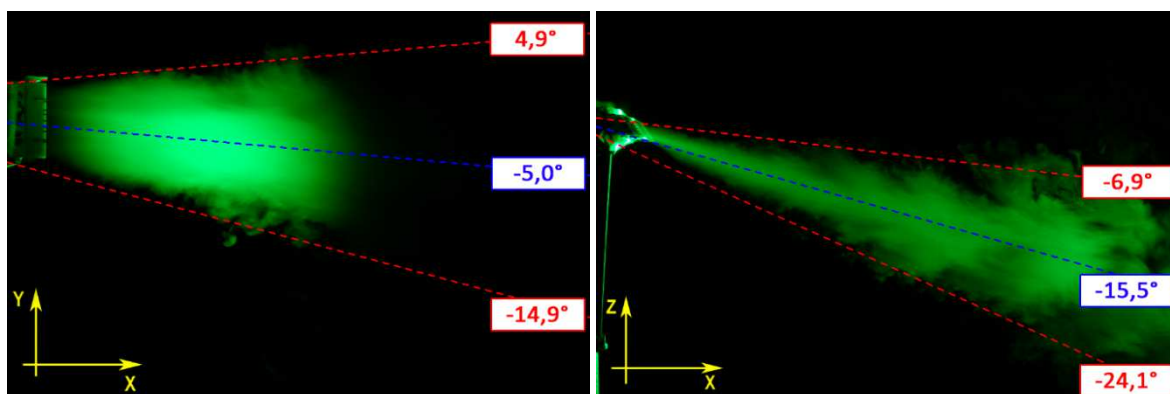
Obr. 73 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 74 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 75 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 76 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.4 BM_3H3V_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí horizontální (3 ks) a vertikální (3 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 77 – Schéma BM_3H3V_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 8 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_3H3V_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	20,9	2,2	-2,7	2,0	9,1	1,6	23,6	3,1	39,2	1,8	23,3	2,3	31,2	1,5	15,9	3,2
MR	19,0	2,2	3,2	2,0	11,1	1,4	15,8	3,3	8,2	1,1	-7,9	1,0	0,1	0,8	16,0	1,7
MM	3,6	0,8	-9,4	1,0	-2,9	0,7	13,0	1,3	8,2	1,8	-8,8	1,6	-0,3	1,3	17,0	2,5
ML	-8,6	1,3	-24,2	1,3	-16,4	1,1	15,6	1,8	9,4	1,9	-8,4	2,2	0,5	1,5	17,8	3,0
DL	-1,7	2,4	-22,6	2,1	-12,1	1,0	20,9	4,4	-7,1	1,6	-23,1	1,5	-15,1	0,8	16,0	2,8

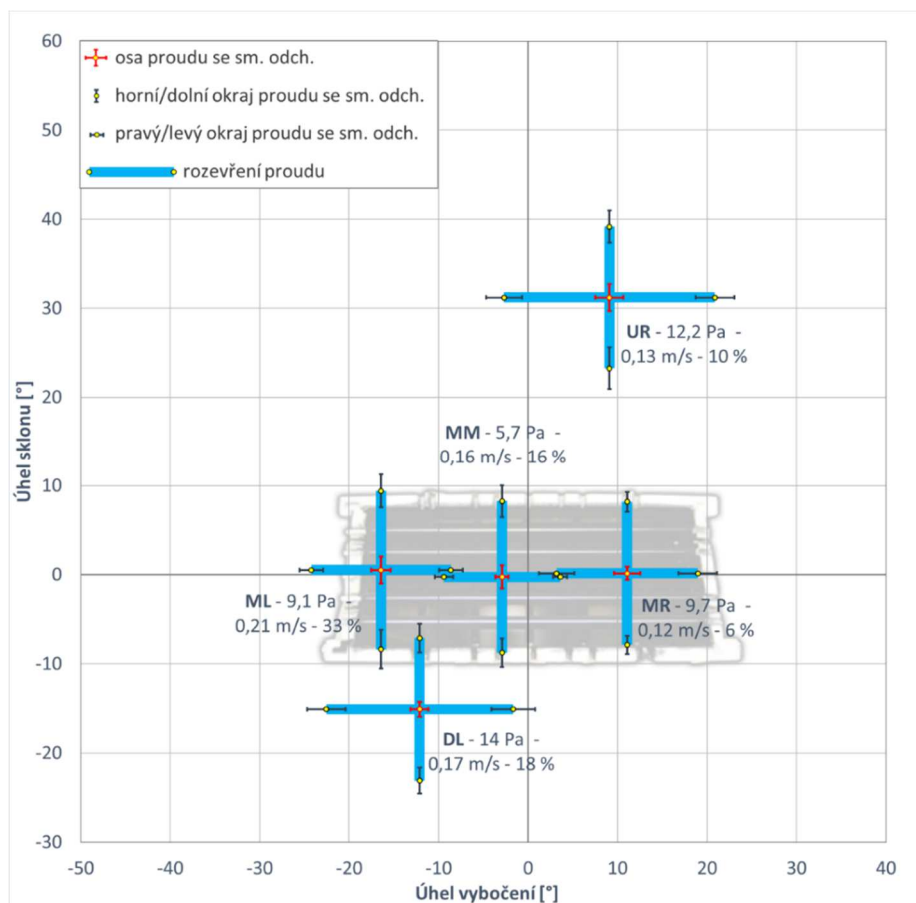
Okolní podmínky

$$t_i = (23,3 \div 24,9) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (31,4 \div 44,3) \%$$

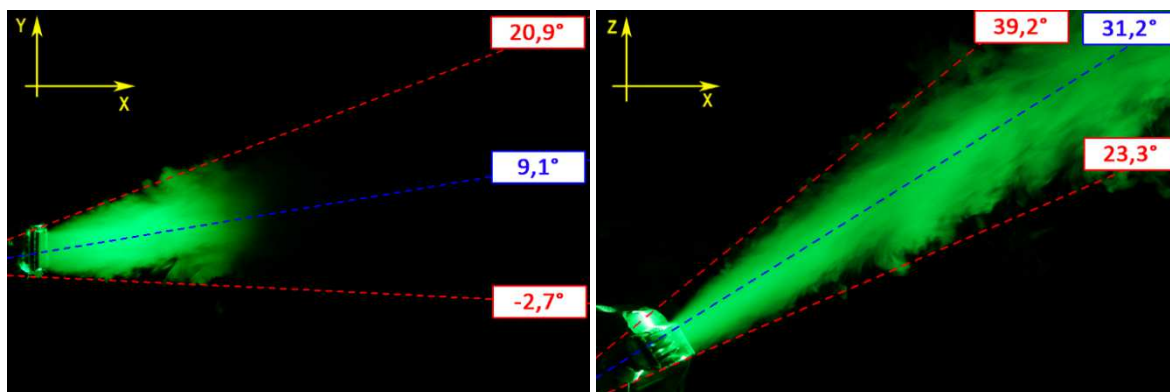
$$p_b = (978,2 \div 988,3) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

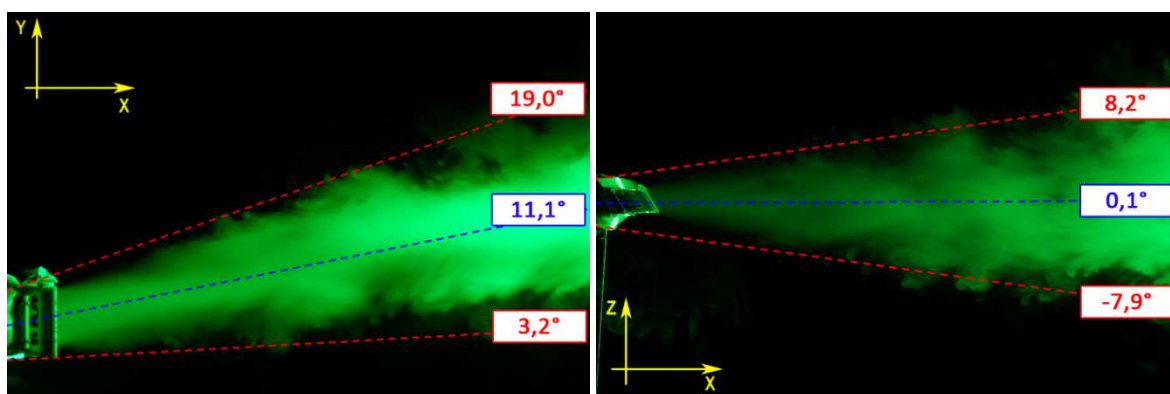


Obr. 78 – Komplexní graf BM_3H3V_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spolezjedce

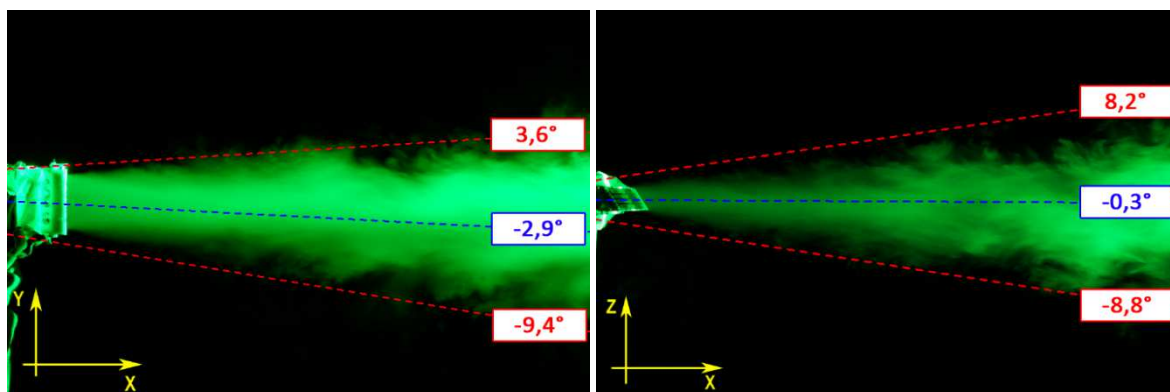
Referenční SVV snímky



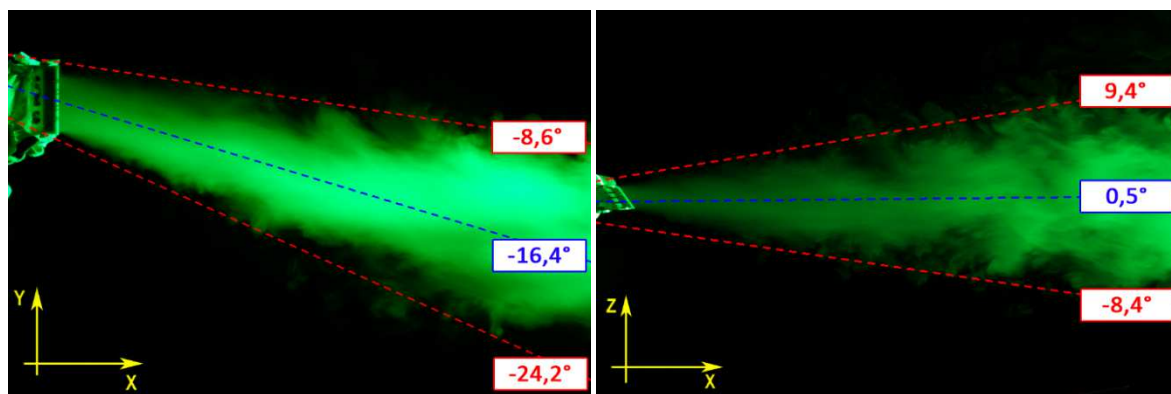
Obr. 79 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



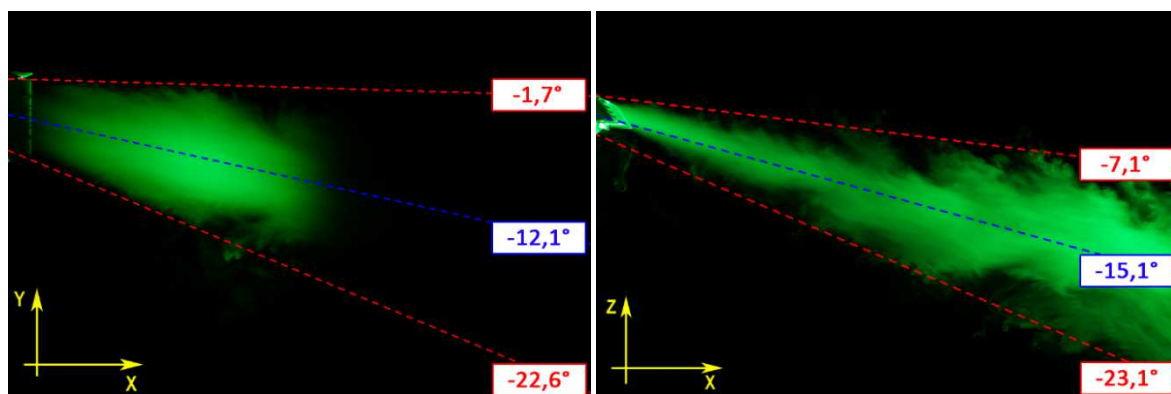
Obr. 80 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 81 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 82 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 83 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.5 BM_5V5H_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí vertikální (5 ks) a horizontální (5 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a** **přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 84 – Schéma BM_5V5H_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 9 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_5V5H_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	22,1	0,7	8,2	1,8	15,1	1,0	13,9	2,1	13,1	2,0	-6,5	2,1	3,3	1,4	19,5	3,3
MR	24,8	2,4	-0,2	3,2	12,3	2,8	25,0	2,0	11,3	1,4	-7,0	1,3	2,1	0,7	18,3	2,5
MM	6,0	1,2	-10,6	0,8	-2,3	0,8	16,6	1,4	11,0	4,8	-13,1	3,4	-1,1	3,7	24,1	4,6
ML	-9,9	1,5	-31,0	1,9	-20,5	1,7	21,1	1,2	6,3	2,5	-9,8	1,6	-1,8	1,7	16,1	2,8
DL	-9,1	1,5	-27,2	1,7	-18,1	1,5	18,1	1,7	10,9	1,5	-8,5	1,7	1,2	1,1	19,5	2,7

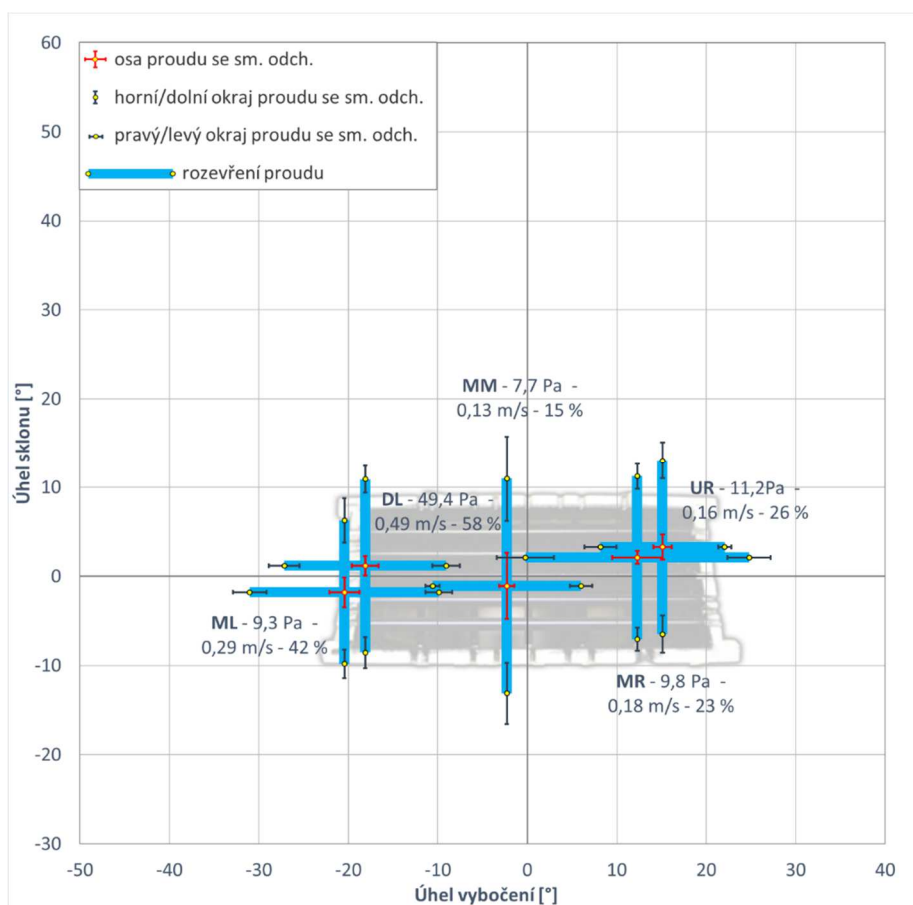
Okolní podmínky

$$t_i = (24,1 \div 25,5) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (44 \div 47,3) \%$$

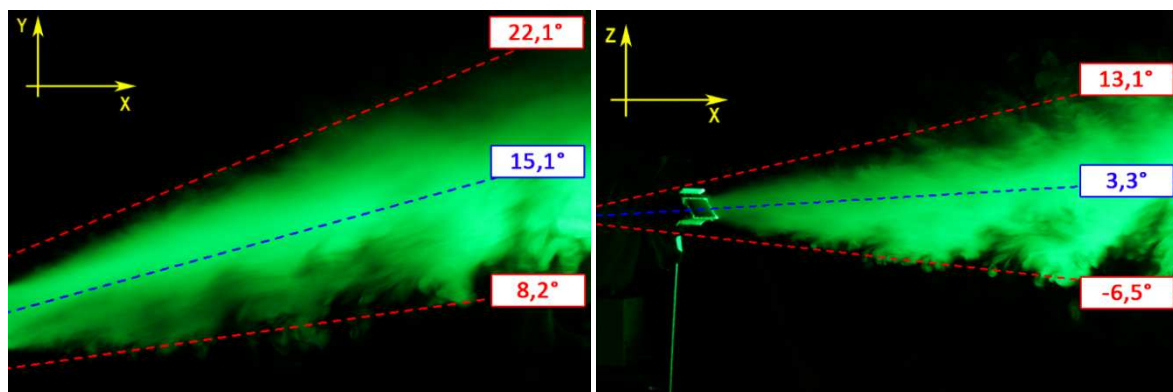
$$p_b = (987,8 \div 990,6) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

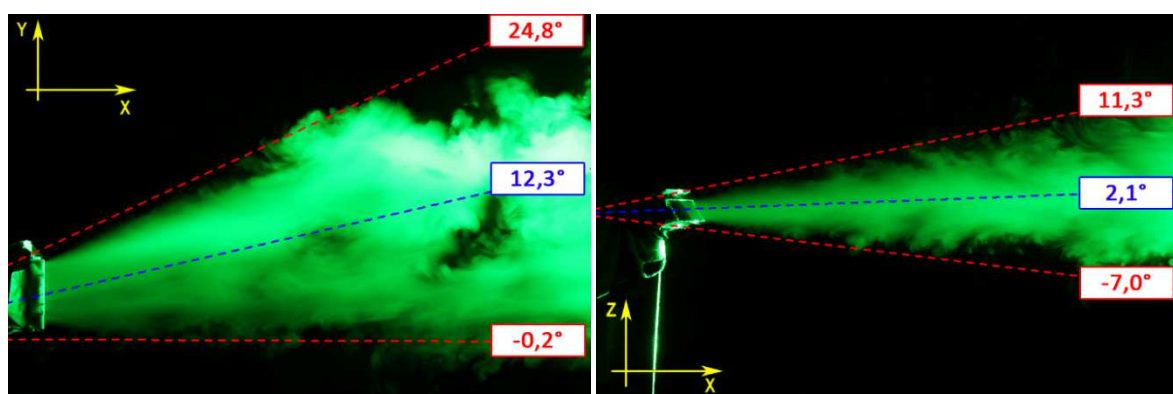


Obr. 85 – Komplexní graf BM_5V5H_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spojuzdce

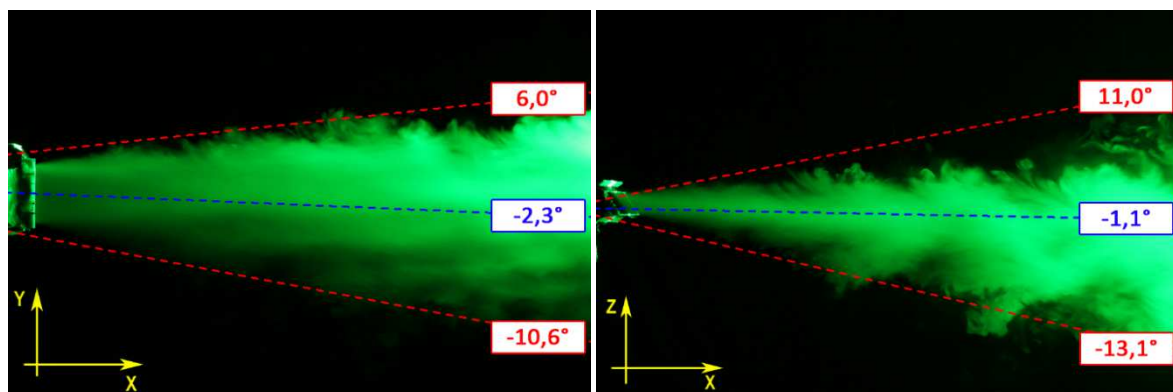
Referenční SVV snímky



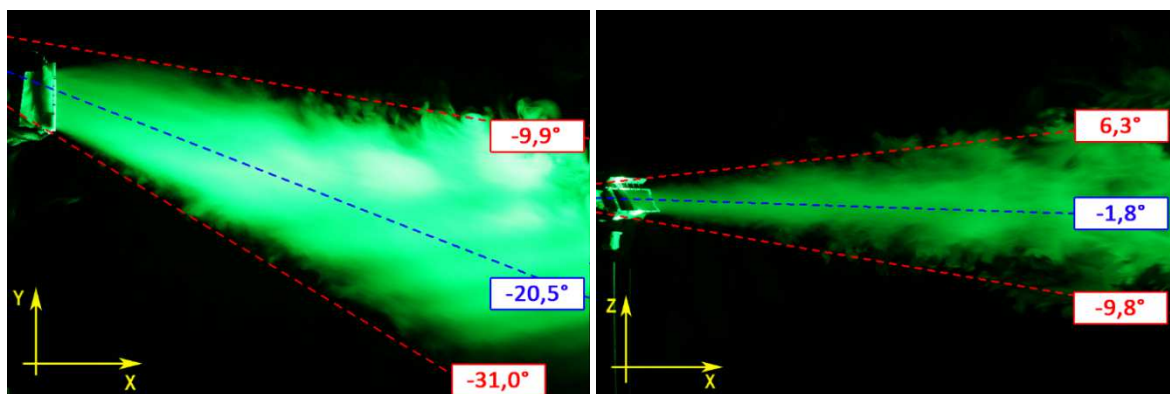
Obr. 86 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



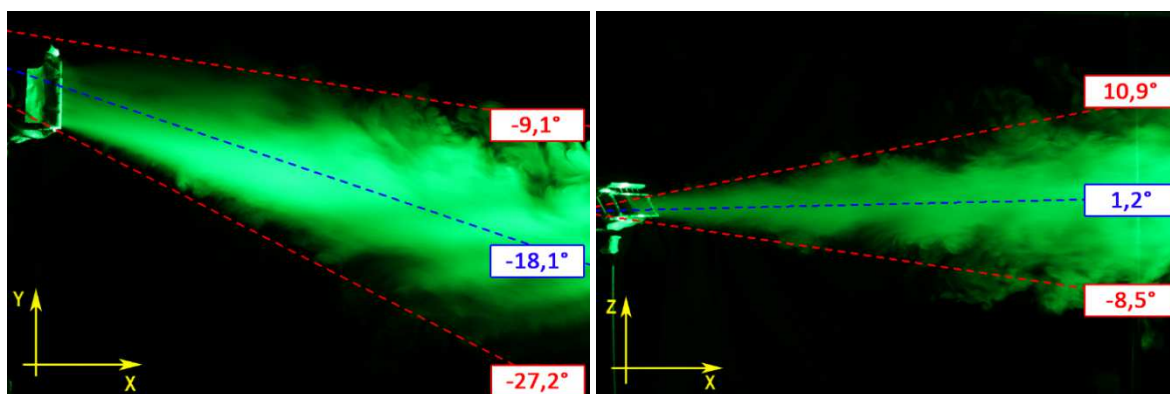
Obr. 87 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 88 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 89 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 90 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.6 BM_3V5H_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí vertikální (3 ks) a horizontální (5 ks)**, jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a **přívodní vzduchovod s kolenem (90°)**.



Obr. 91 – Schéma BM_3V5H_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 10 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_3V5H_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	22,1	0,7	8,2	1,8	15,1	1,0	13,9	2,1	13,1	2,0	-6,5	2,1	3,3	1,4	19,5	3,3
MR	24,8	2,4	-0,2	3,2	12,3	2,8	25,0	2,0	11,3	1,4	-7,0	1,3	2,1	0,7	18,3	2,5
MM	6,0	1,2	-10,6	0,8	-2,3	0,8	16,6	1,4	11,0	4,8	-13,1	3,4	-1,1	3,7	24,1	4,6
ML	-9,9	1,5	-31,0	1,9	-20,5	1,7	21,1	1,2	6,3	2,5	-9,8	1,6	-1,8	1,7	16,1	2,8
DL	-9,1	1,5	-27,2	1,7	-18,1	1,5	18,1	1,7	10,9	1,5	-8,5	1,7	1,2	1,1	19,5	2,7

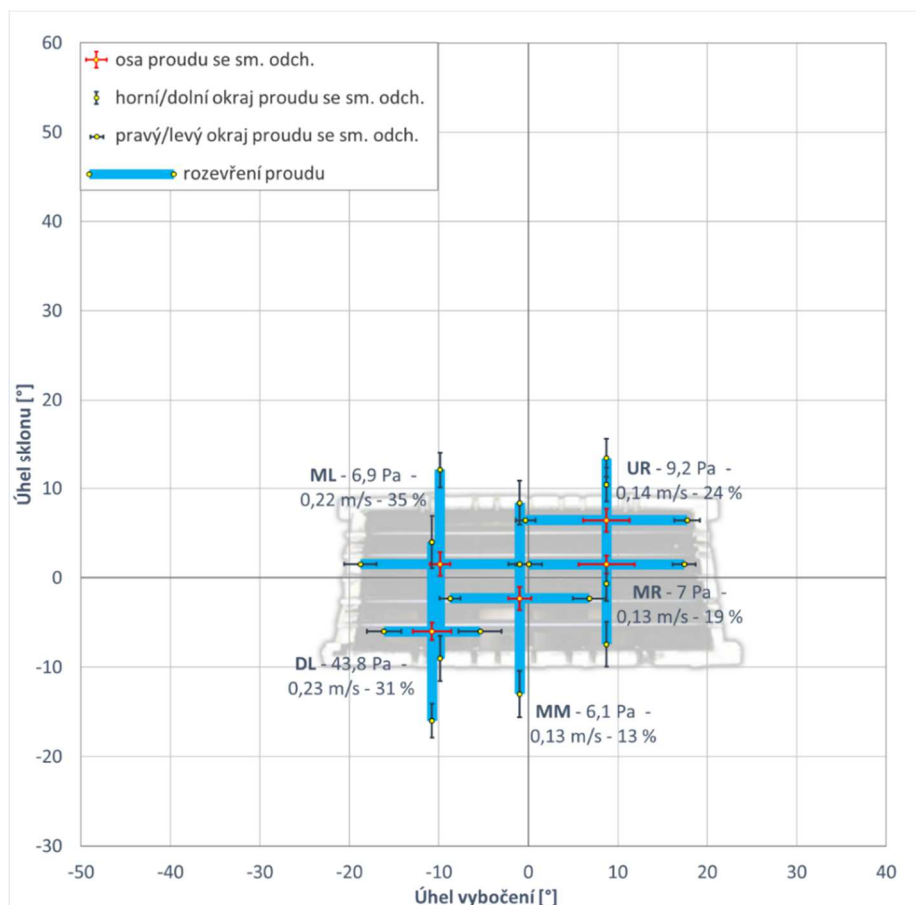
Okolní podmínky

$$t_i = (25,9 \div 26,7) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (45 \div 49,2) \%$$

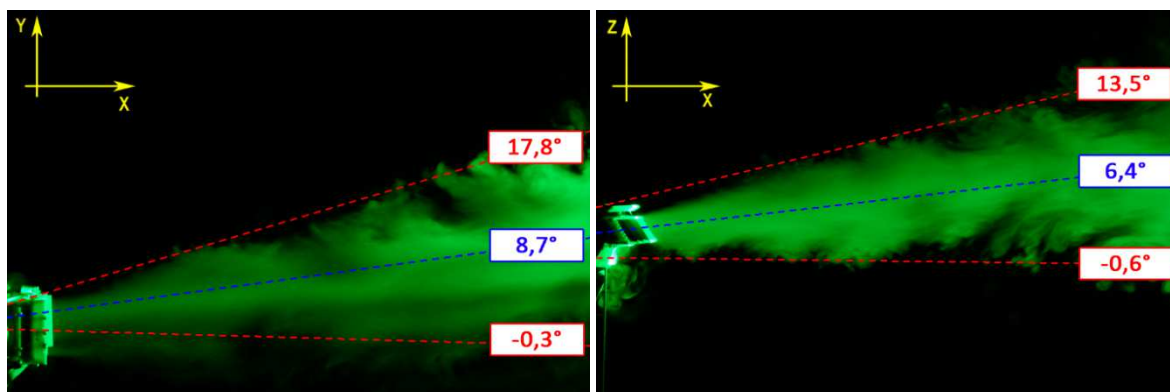
$$p_b = (980,5 \div 982,4) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

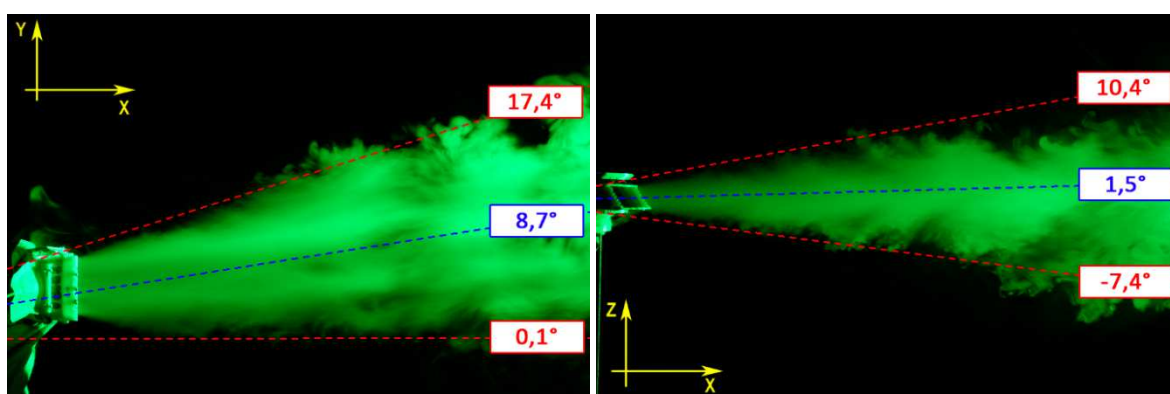


Obr. 92 – Komplexní graf BM_3V5H_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spolejezdce

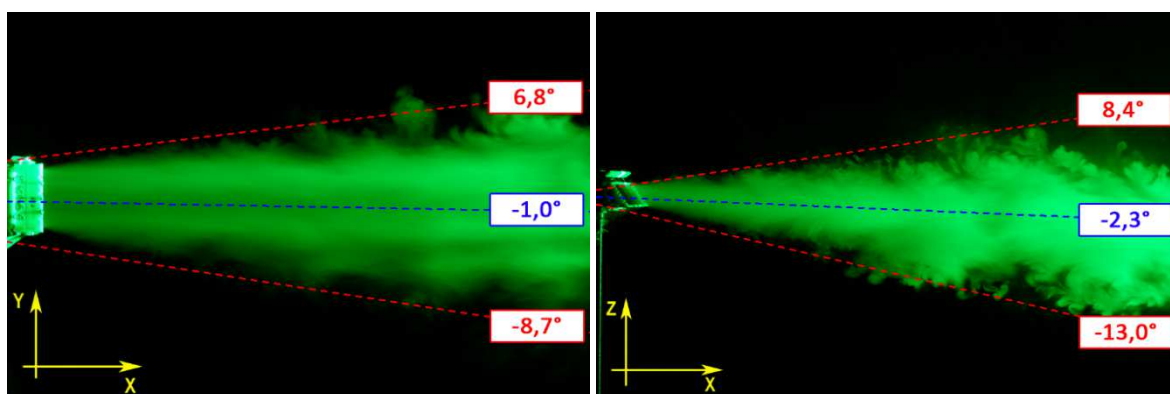
Referenční SVV snímky



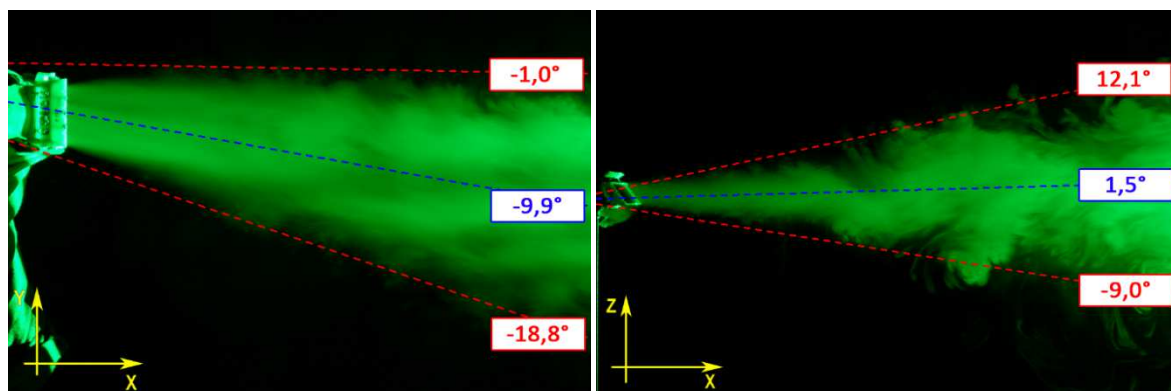
Obr. 93 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



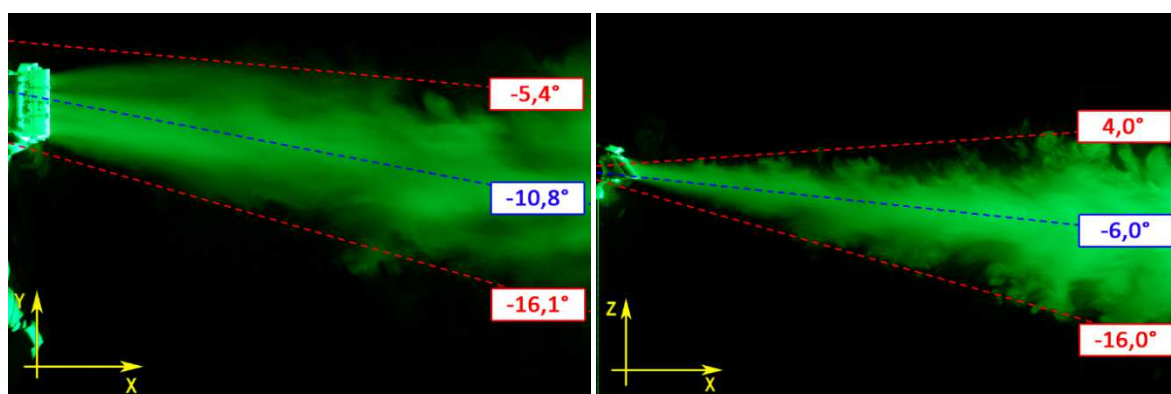
Obr. 94 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 95 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 96 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 97 – Směřování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.7 BM_5V3H_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí vertikální (5 ks) a horizontální (3 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 98 – Schéma BM_5V3H_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 11 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_5V3H_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+ α [°]		- α [°]		ω [°]		δ [°]		+ β [°]		- β [°]		ϕ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	26,8	3,4	9,7	2,5	18,2	2,6	17,1	3,7	8,9	1,7	-5,3	2,0	1,8	1,3	14,2	2,9
MR	23,3	5,1	5,7	3,6	14,5	3,1	17,6	7,0	11,3	1,3	-2,6	1,1	4,3	1,0	13,9	1,5
MM	4,6	1,3	-6,1	2,1	-0,8	1,3	10,7	2,7	6,8	1,9	-8,2	1,9	-0,7	1,3	15,0	3,1
ML	-11,4	1,9	-26,1	1,3	-18,8	1,2	14,7	2,5	9,3	2,6	-6,0	1,3	1,6	1,3	15,3	3,4
DL	-10,4	3,0	-27,2	1,4	-18,8	2,2	16,8	2,4	9,1	1,7	-7,9	1,4	0,6	1,0	17,0	2,7

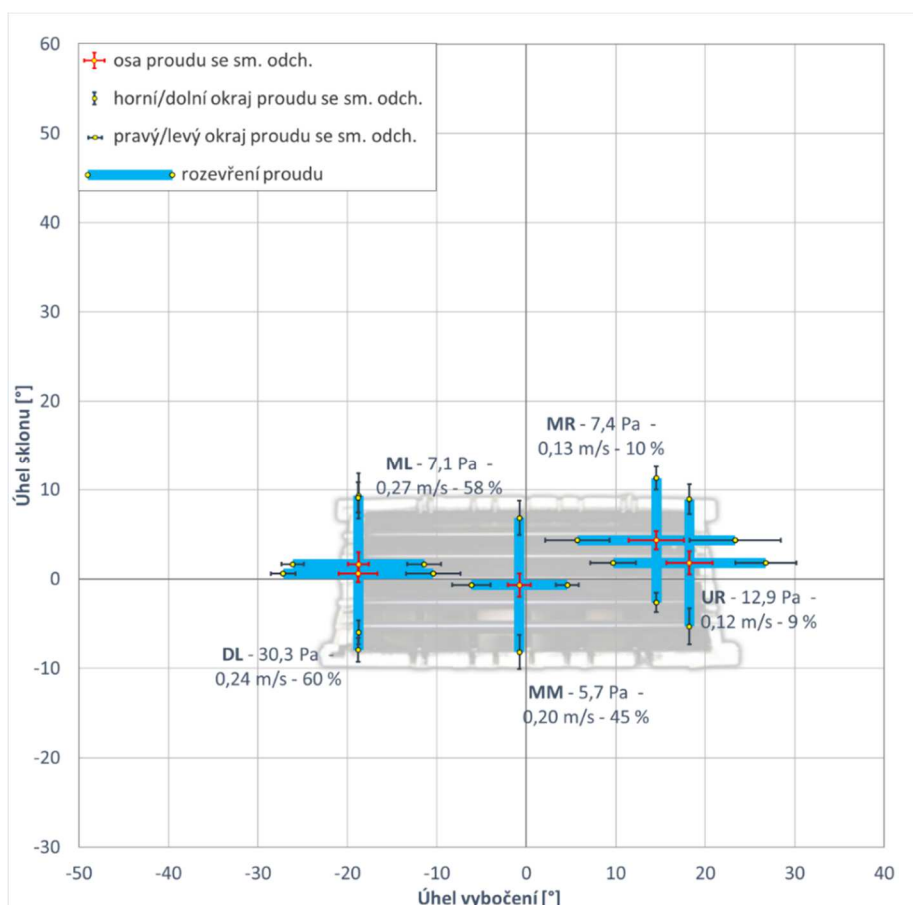
Okolní podmínky

$$t_i = (26,6 \div 28) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (45,5 \div 57,6) \%$$

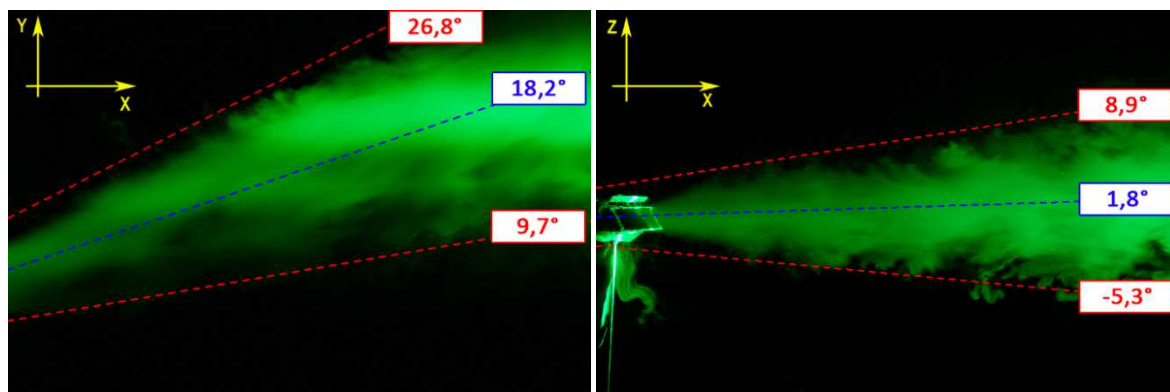
$$p_b = (978,6 \div 980,8) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

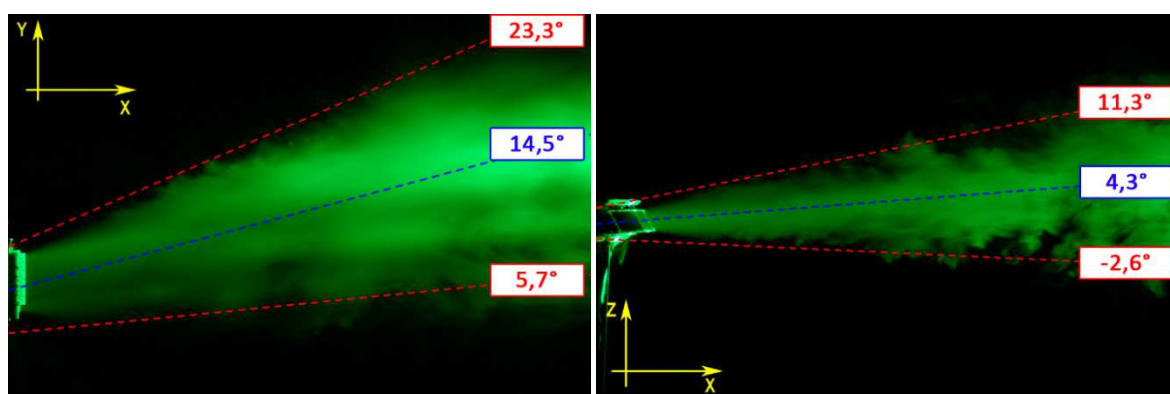


Obr. 99 – Komplexní graf BM_5V3H_1BV_BD: směrování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spojujzdce

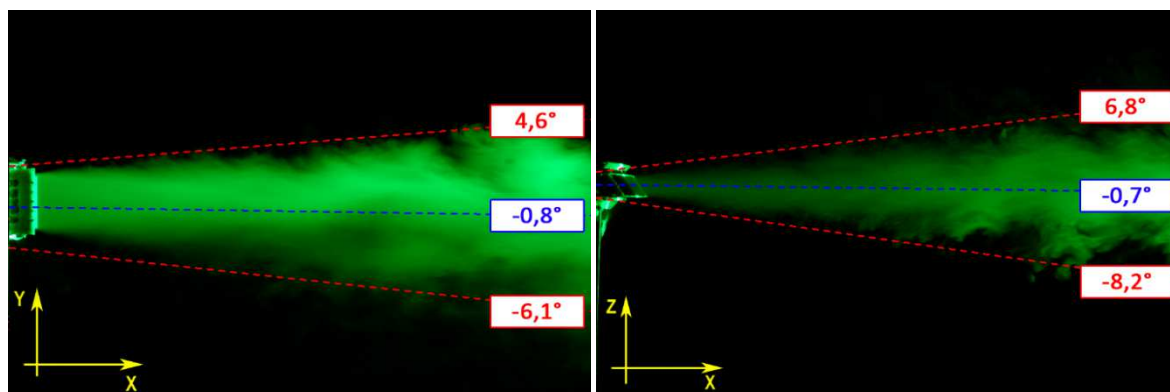
Referenční SVV snímky



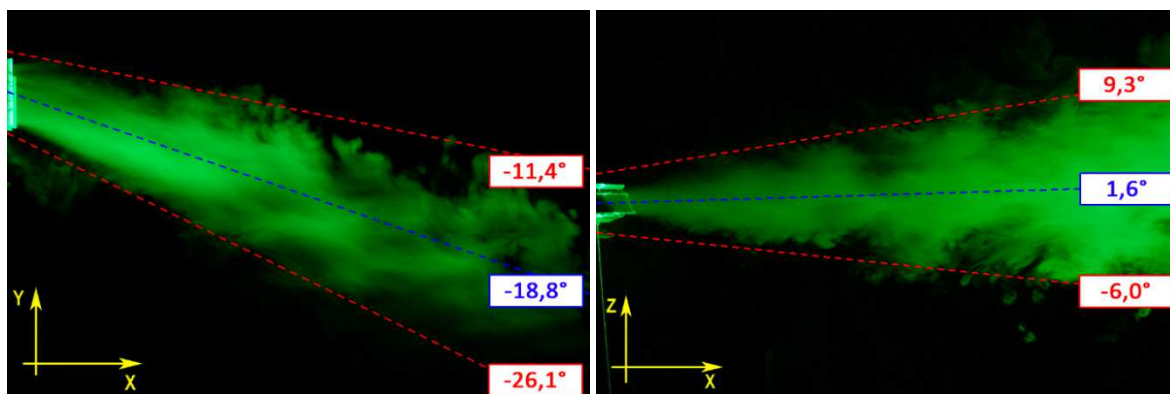
Obr. 100 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



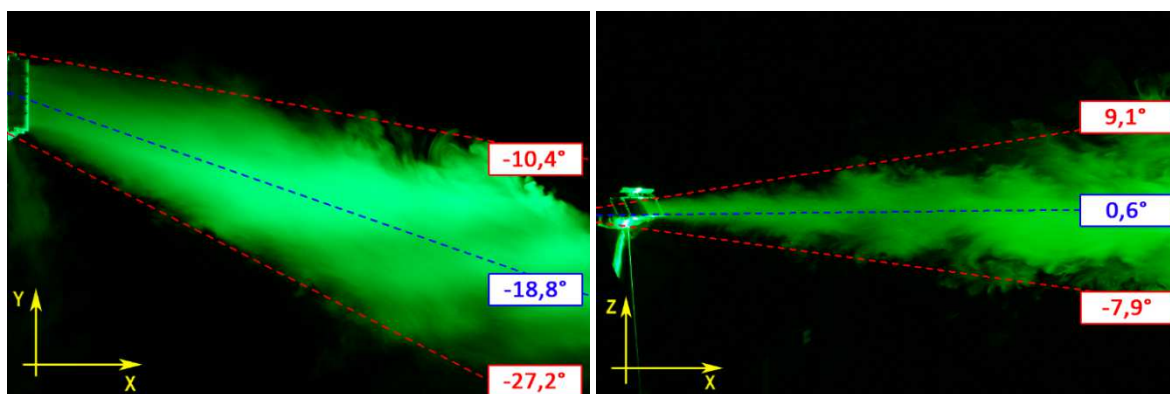
Obr. 101 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 102 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 103 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 104 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.2.8 BM_3V3H_1BV_BD

Konstrukční varianta obsahující (ve směru z kabiny) **směrovací lamely v pořadí vertikální (3 ks) a horizontální (3 ks), jednoduchou motýlkovou uzavírací klapku a** **přívodní vzduchovod s kolenem (90°).**



Obr. 105 – Schéma BM_3V3H_1BV_BD

Detekované úhly

Tab. 12 – Tabulka úhlů okrajů, osy a rozevření proudu v příslušných rovinách BM_3V3H_1BV_BD

	Rovina XY								Rovina XZ							
	+α [°]		-α [°]		ω [°]		δ [°]		+β [°]		-β [°]		φ [°]		γ [°]	
	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD	AVG	STD
UR	16,2	1,9	1,1	1,5	8,6	1,3	15,1	2,4	16,2	0,8	-1,0	1,9	7,6	1,2	17,2	2,1
MR	16,5	4,6	0,7	1,4	8,6	1,4	15,8	2,3	11,0	1,8	-3,4	3,1	3,8	2,4	14,4	2,6
MM	5,1	1,6	-8,3	1,6	-1,6	1,2	13,4	2,2	7,9	2,1	-8,2	1,7	-0,2	1,8	16,1	2,0
ML	-3,4	1,4	-17,0	1,4	-10,2	0,8	13,6	2,4	11,1	2,4	-6,7	2,1	2,2	1,5	17,8	3,7
DL	-3,6	1,3	-16,8	1,0	-10,2	0,8	13,3	1,8	10,0	2,7	-12,5	1,8	-1,3	1,7	22,5	3,3

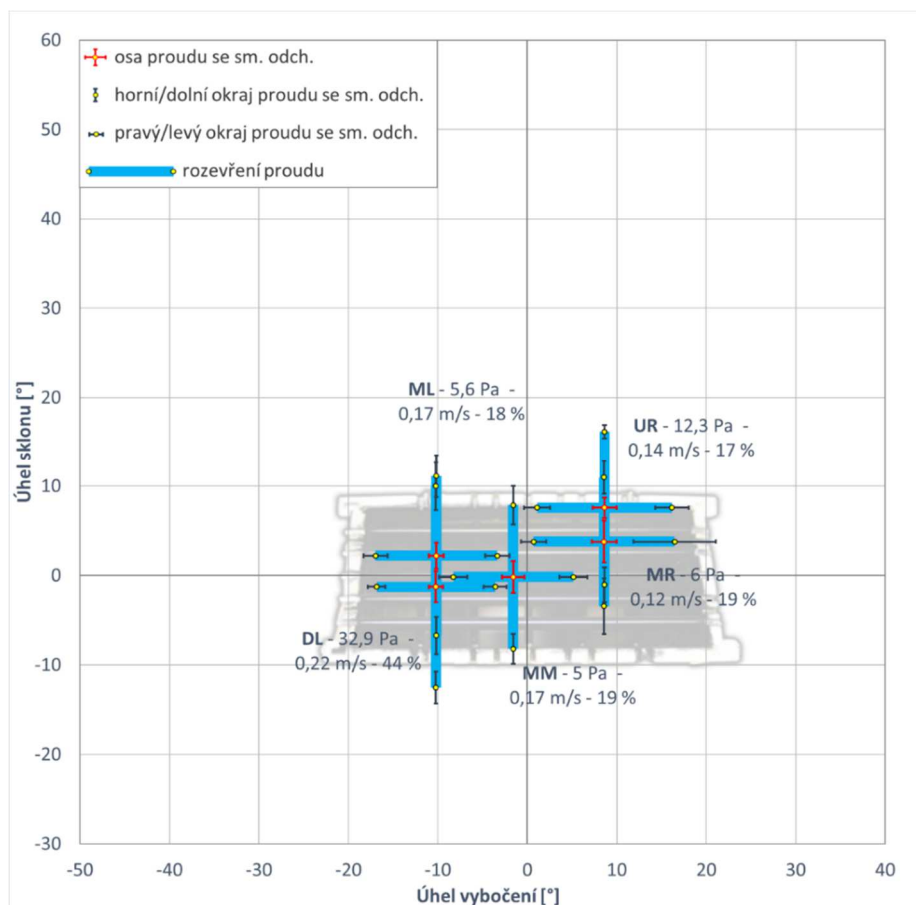
Okolní podmínky

$$t_i = (26,5 \div 27,2) ^\circ\text{C}$$

$$\varphi_i = (46,7 \div 52,2) \%$$

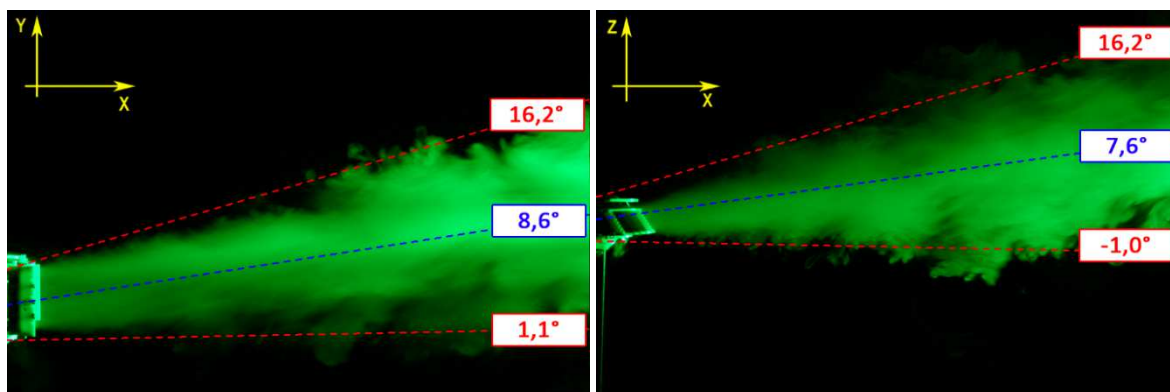
$$p_b = (980,3 \div 982,3) \text{ hPa}$$

Komplexní graf

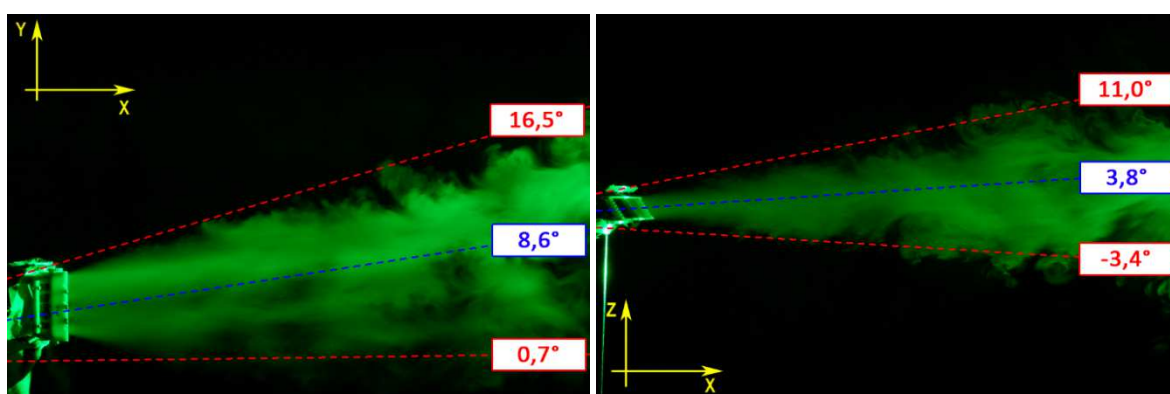


Obr. 106 – Komplexní graf BM_3V3H_1BV_BD: směřování proudění, tlaková ztráta, rychlost proudění a intenzita turbulence v místě obličeje spolejezdce

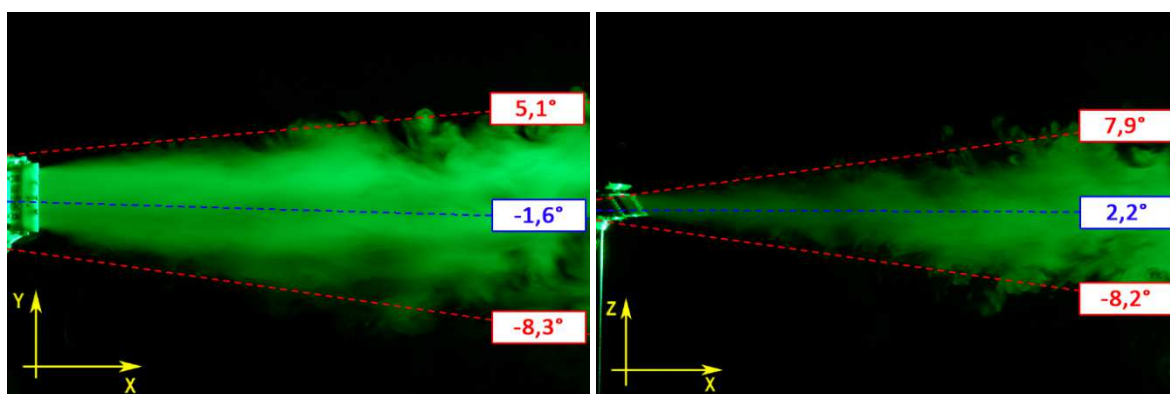
Referenční SVV snímky



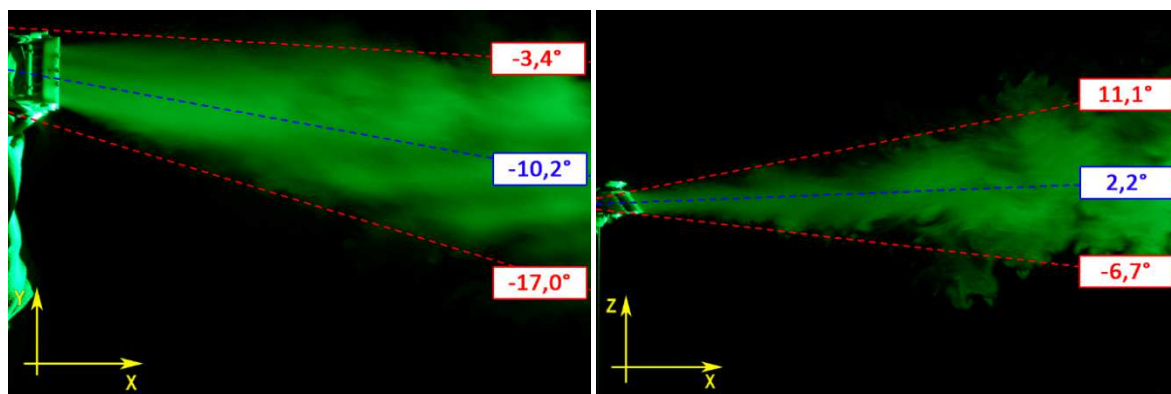
Obr. 107 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel UR



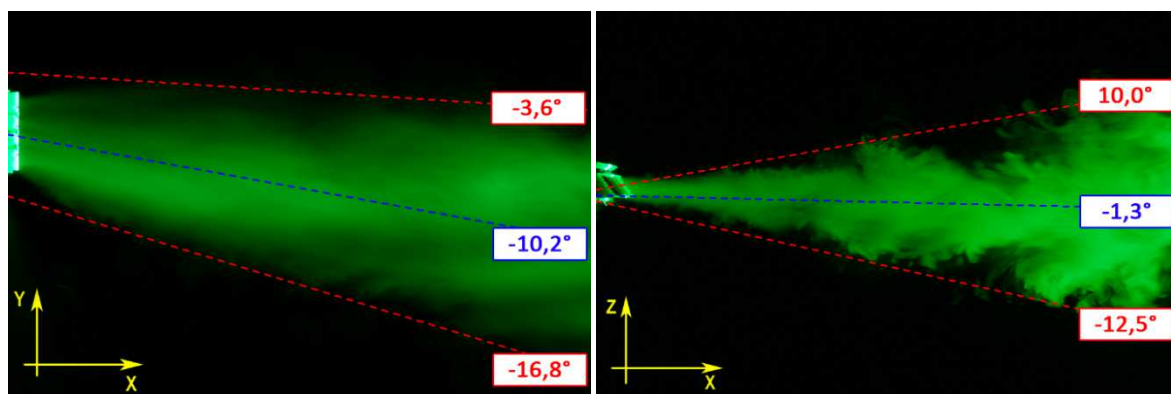
Obr. 108 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MR



Obr. 109 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel MM



Obr. 110 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel ML



Obr. 111 – Směrování proudu při nastavení směrovacích lamel DL

4.3 Nejistoty měření sledovaných veličin

V průběhu experimentu je sledováno několik veličin (viz podkapitola 3.1.2), každá z nich má určitou nejistotu měření. V této podkapitole je uveden postup určení rozšířené nejistoty U , každé z těchto veličin, která definuje interval hodnot kolem aritmetického průměru, do kterého spadá 95 % naměřených hodnot [58].

Rozšířená nejistota $U(y)$ obecné veličiny y se počítá dle vztahu:

$$U(y) = k_r u_c(y), \quad (2)$$

kde: k_r – koeficient rozšíření (pro 95% interval spolehlivosti: $k_r = 2$)

$u_c(y)$ – kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota $u_c(y)$ obecné veličiny y se počítá dle vztahu:

$$u_c(y) = \sqrt{u_A^2(y) + u_B^2(y)}, \quad (3)$$

kde: $u_A(y)$ – nejistota typu A

$u_B(y)$ – nejistota typu B

Nejistota typu A $u_A(y)$ obecné veličiny y má statistickou příčinu a počítá se jako směrodatná odchylka aritmetického průměru dle vztahu:

$$u_A(y) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (4)$$

kde: n – počet naměřených hodnot

y_i – aktuální naměřená hodnota

$\bar{y}$ – aritmetický průměr naměřených hodnot

Nejistota typu B $u_B(y)$ obecné (přímo měřené) veličiny y má příčinu v přesnosti měřicího přístroje a počítá se dle vztahu:

$$u_B(y) = \frac{z_{max}}{k}, \quad (5)$$

kde: z_{max} – maximální odchylka zdroje nejistoty (viz přesnost přístrojů – podkapitola 3.1.2)

k – koeficient příslušný předpokládanému zákonu rozdělení (standardně $k = 2$ pro normální rozdělení a $k = 1,73$ pro rovnoměrné pravouhlé rozdělení)

Je-li obecná veličina y měřena nepřímo, tzn., že je dopočítána z p přímo či nepřímo měřených veličin $a_1, a_2, \dots, a_p$, přičemž $y = f(a_1, a_2, \dots, a_p)$, $u_B(y)$ této veličiny se počítá dle vztahu:

$$u_B(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^p A_j^2 u_B^2(a_j)}, \quad (6)$$

kde: p – počet přímo či nepřímo měřených veličin

A_j – součinitel citlivosti $\left(A_j = \frac{\partial y}{\partial a_j}\right)$

$u_B(a_j)$ – nejistota typu B j-té přímo či nepřímo měřené veličiny

4.3.1 Rozšířené nejistoty přímo měřených veličin

Přímo měřené veličiny v tomto experimentu jsou $t_1, t_2, p_1, \Delta p, \Delta p_z, t_i, \varphi_i$ a p_b . Rozšířená nejistota každé z těchto veličin se určí dle vztahu (2). Aby bylo možné dosadit do vztahu (2), je nutné dle vztahu (3) určit kombinovanou standardní nejistotu. K tomu je nutné vypočítat příslušné nejistoty typu A i B.

Nejistota $u_A(y)$ každé přímo měřené veličiny se vypočítá dle vztahu (4) a její velikost vždy závisí na konkrétních naměřených hodnotách. Z opakovaně provedených měření vyplývá následující:

- nejistoty typu A veličin charakterizující okolní podmínky, tj. $u_A(t_i)$, $u_A(\varphi_i)$, $u_A(p_b)$ nabývají zanedbatelných hodnot (často čistě nulových)
- nejistoty typu A veličin charakterizující teplotu proudění, tj. $u_A(t_1)$, $u_A(t_2)$ nabývají hodnot v řádu setin K (max. 0,02 K)
- nejistoty typu A veličin charakterizující tlakové poměry proudění, tj. $u_A(p_1)$, $u_A(\Delta p)$ nabývají hodnot v řádu desetin Pa (max. 0,2 Pa)
- nejistota typu A veličiny charakterizující tlakové ztráty, tj. $u_A(\Delta p_z)$, nabývá hodnoty v řádu setin Pa (max. 0,05 Pa)

Nejistota $u_B(y)$ každé přímo měřené veličiny se vypočítá dle vztahu (5). Její velikost vždy závisí na třídě přesnosti příslušného měřicího přístroje a konkrétnímu rozdělení naměřených hodnot, z opakovaných měření vyplývá následující:

- nejistoty typu B veličin charakterizující okolní podmínky, tj. $u_B(t_i)$, $u_B(\varphi_i)$, $u_B(p_b)$ nabývají hodnot $u_B(t_i) = 0,3$ K, $u_B(\varphi_i) = 1,5$ %, $u_B(p_b) = 0,9$ hPa, rozdělení naměřených hodnot je v těchto případech voleno jako pravoúhlé rovnoměrné
- nejistoty typu B veličin charakterizující teplotu proudění, tj. $u_B(t_1)$, $u_B(t_2)$ nabývají hodnot $u_B(t_1) = 0,2$ K, $u_B(t_2) = 0,2$ K, rozdělení naměřených hodnot je v těchto případech voleno jako normální
- nejistoty typu B veličin charakterizující tlakové poměry proudění, tj. $u_B(p_1)$, $u_B(\Delta p)$ nabývají hodnot $u_B(p_1) = 0,5$ Pa, $u_B(\Delta p) = 0,5$ Pa, rozdělení naměřených hodnot je v těchto případech voleno jako normální
- nejistota typu B veličiny charakterizující tlakové ztráty, tj. $u_B(\Delta p_z)$, nabývá hodnoty $u_B(\Delta p_z) = 1$ Pa, rozdělení naměřených hodnot je v těchto případech voleno jako normální

Ze vzájemného porovnání nejistot $u_A(y)$ a $u_B(y)$ vyplývá, že hodnoty $u_A(y)$ jsou oproti $u_B(y)$ řádově menší, a proto je možné uvažovat, že $u_C(y) \approx u_B(y)$.

Hodnoty rozšířených nejistot přímo měřených veličin

Po provedení uvedeného postupu jsou určeny konkrétní hodnoty rozšířených nejistot přímo měřených veličin:

$U(t_i) = 0,6$ K	$U(t_1) = 0,4$ K	$U(p_1) = 1$ Pa
$U(\varphi_i) = 3$ %	$U(t_2) = 0,4$ K	$U(\Delta p) = 1$ Pa
$U(p_b) = 1,8$ hPa		$U(\Delta p_z) = 2$ Pa

4.3.2 Rozšířené nejistoty nepřímo měřených veličin

Jedinou relevantní nepřímo měřenou veličinou v tomto experimentu je objemový průtok Q_V , který je pro všechny konstrukční varianty (při nastavení směrování MM) nastaven na 33,5 m³/h. Rozšířená nejistota objemového průtoku se určí dle vztahu (2). Aby bylo možné dosadit do vztahu (2), je nutné dle vztahu (3) určit kombinovanou standardní nejistotu. K tomu je nutné vypočítat nejistotu typu A i B.

Nejistota $u_A(Q_V)$ lze vypočítat dle vztahu (4) a její velikost vždy závisí na konkrétních naměřených hodnotách. Z opakovaně provedených měření vyplývá následující:

- nejistota typu A objemového průtoku $u_A(Q_V)$ nabývá hodnoty v řádu setin m³/h (max. 0,02 m³/h)

Nejistota $u_B(Q_V)$ lze vypočítat dle postupu uvedeného v normě [56]. Vztah pro výpočet $u_B(Q_V)$, jenž je v této normě uveden, vychází ze zákona šíření nejistot – viz rovnice (6), z opakovaných měření vyplývá následující:

- nejistota typu B objemového průtoku $u_B(Q_V)$ nabývá hodnoty $u_B(Q_V) = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$

Ze vzájemného porovnání nejistot $u_A(Q_V)$ a $u_B(Q_V)$ vyplývá, že hodnoty $u_A(Q_V)$ jsou oproti $u_B(Q_V)$ řádově menší, a proto je možné uvažovat, že $u_C(Q_V) \approx u_B(Q_V)$.

Hodnota rozšířené nejistoty objemového průtoku

Po provedení uvedeného postupu je určena konkrétní hodnota rozšířené nejistoty objemového průtoku:

$$U(Q_V) = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

5 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

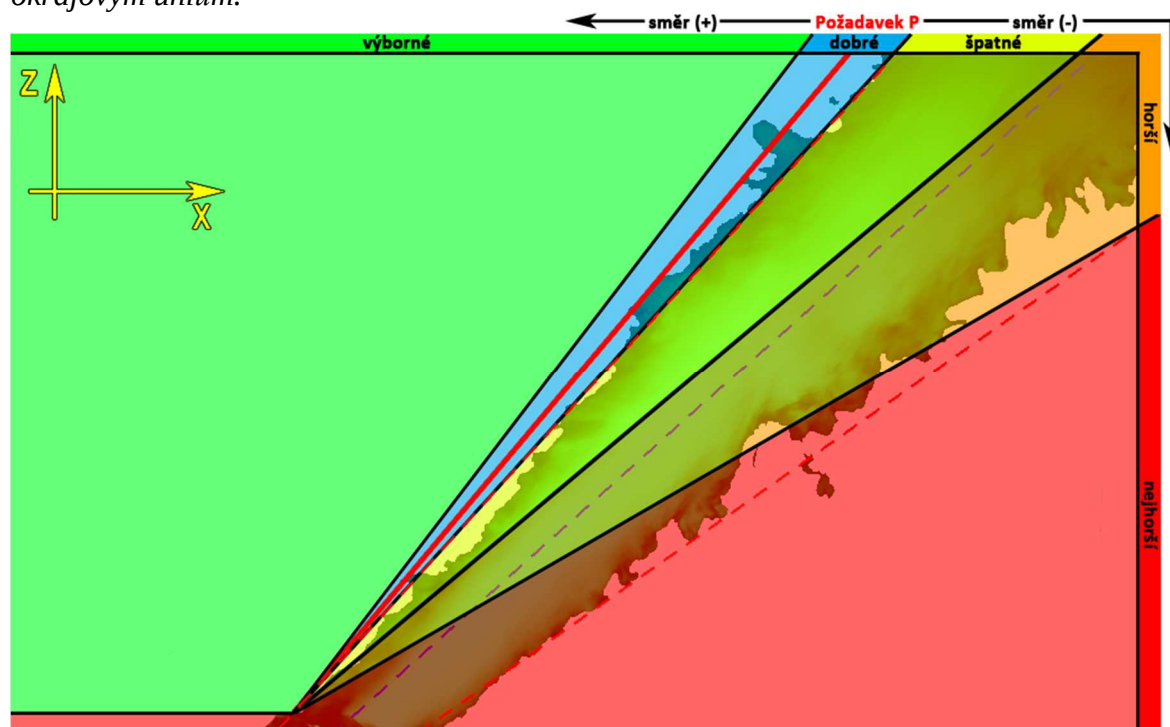
Získané výsledky, v této diplomové práci konkr. okrajové úhly ($\pm\alpha, \pm\beta$), jsou porovnávány s příslušnými požadavky na směřování (viz obr. 55).

5.1 Zařazení výsledků do intervalů směřování

Na základě konkrétních hodnot okrajových úhlů, resp. jejich doplňku do příslušného požadavku (obecně P), jsou zařazeny do následujících hodnoticích intervalů směřování (obr. 112):

- výborné směřování: $\pm\alpha, \pm\beta \in [P + (2,5^\circ; \infty)]$
- dobré směřování: $\pm\alpha, \pm\beta \in [P \pm 2,5^\circ]$
- špatné směřování: $\pm\alpha, \pm\beta \in [P - (2,5^\circ; 10^\circ)]$
- horší směřování: $\pm\alpha, \pm\beta \in [P - (10^\circ; 20^\circ)]$
- nejhorší směřování: $\pm\alpha, \pm\beta \in [P - (20^\circ; \infty)]$

Pozn.: Splnění požadavku je zde posuzováno i s přičtením směrodatných odchylek k okrajovým úhlům.



Obr. 112 – Příklad hodnoticích intervalů v rovině XZ vycházejících z požadavku P (zde jde konkr. o požadavek U na úhel horního okraje proudu $+\beta$, u nastavení lamel UR)

V následující tabulce (tab. 13) jsou zaznamenány doplňky příslušných okrajů proudu u jednotlivých konstrukčních variant do příslušných požadavků na směřování. Hodnoty v tabulce jsou podbarvené barvou intervalu, do kterého jsou zařazeny.

Tab. 13 – Doplňky příslušných okrajů proudu do příslušných požadavků

	5H5V	3H5V	5H3V	3H3V	5V5H	3V5H	5V3H	3V3H
1UR	-1,2	-8,1	4,5	-9,0	-34,9	-34,3	-39,4	-33,1
1DL	3,3	0,8	4,4	3,1	-11,2	-3,6	-12,2	-7,2
2UR	-25,1	-19,4	-25,8	-22,0	-22,2	-25,8	-14,8	-27,0
2MR	-16,0	-17,5	-28,9	-23,9	-17,8	-26,3	-16,6	-23,9
2ML	-13,9	-11,9	-20,7	-19,4	-12,1	-24,4	-17,7	-26,7
2DL	-30,3	-19,5	-27,0	-20,3	-16,1	-26,9	-16,5	-27,2

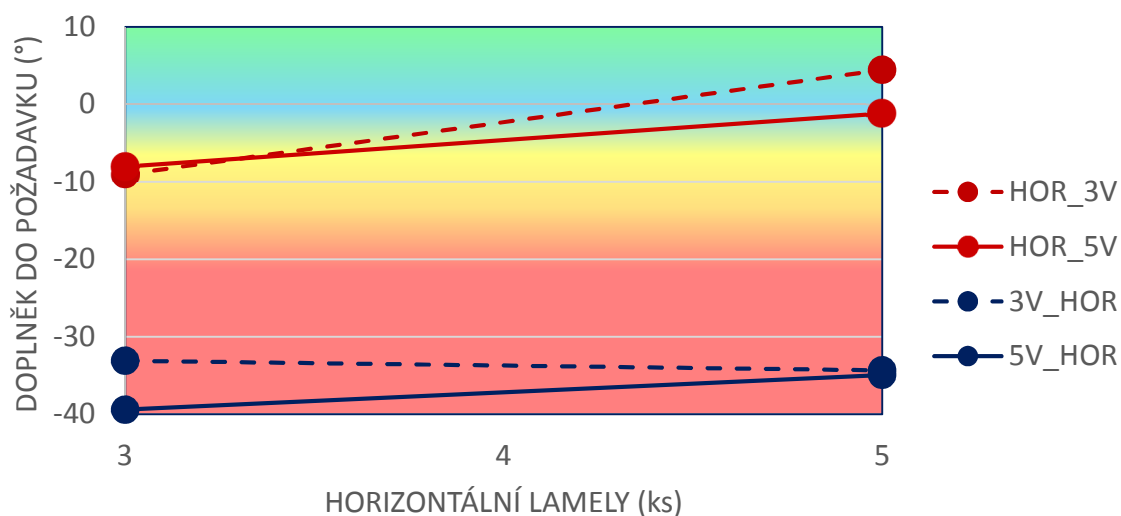
Pozn.: Číslo před nastavením směřování (v prvním sloupci) označuje rovinu: 1 – XZ; 2 – XY.

5.2 Posouzení směrovatelnosti lamelových mříží

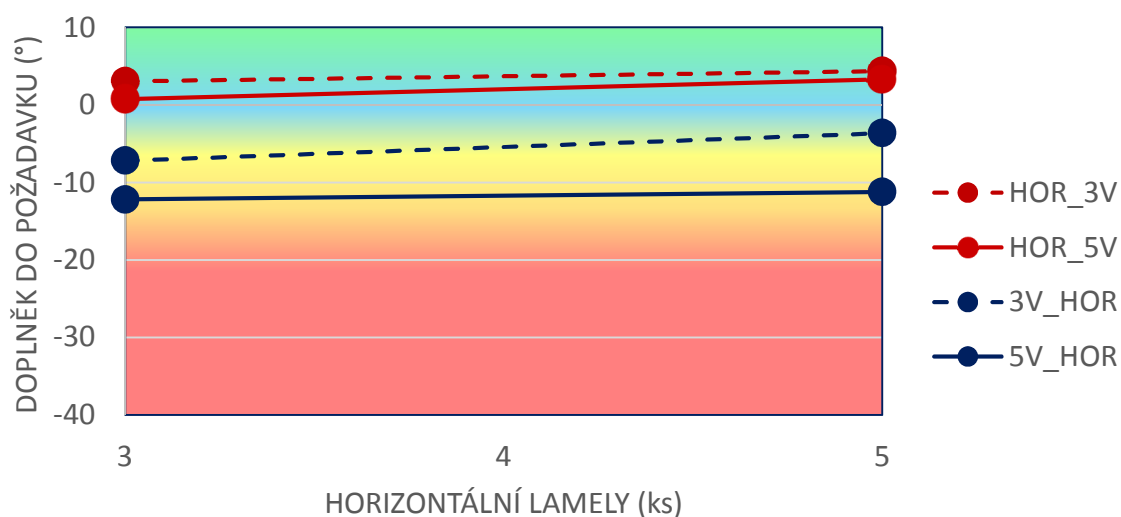
Již z intervalů směřování zřejmých z tab. 13 lze vyčíst určitá závislost směřování proudu na konkrétní použité modifikaci lamelové mříže. V této podkapitole je tato závislost zobrazena pro větší názornost v grafické podobě.

V následujících grafech představuje každý bod jinou modifikaci lamelové mříže. Červené varianty mají blíže výstupnímu otvoru umístěné horizontální lamely (typ HV), modré varianty naopak vertikální lamely (typ VH). Počet horizontálních lamel je uveden na ose X, počet vertikálních lamel je zřejmý z typu spojnice (3 ks – přerušovaná; 5 ks – plná). Na ose Y je uveden doplněk do příslušného požadavku – směrovatelnost lamelové mříže³, z barevné škály v pozadí grafu navíc orientačně vyplývají intervaly směřování.

5.2.1 Doplněk do požadavků v rovině XZ



Obr. 113 – Nastavení UR: závislost doplňku okrajového úhlu $+\beta$ do požadavku U na typu lamelové mříže

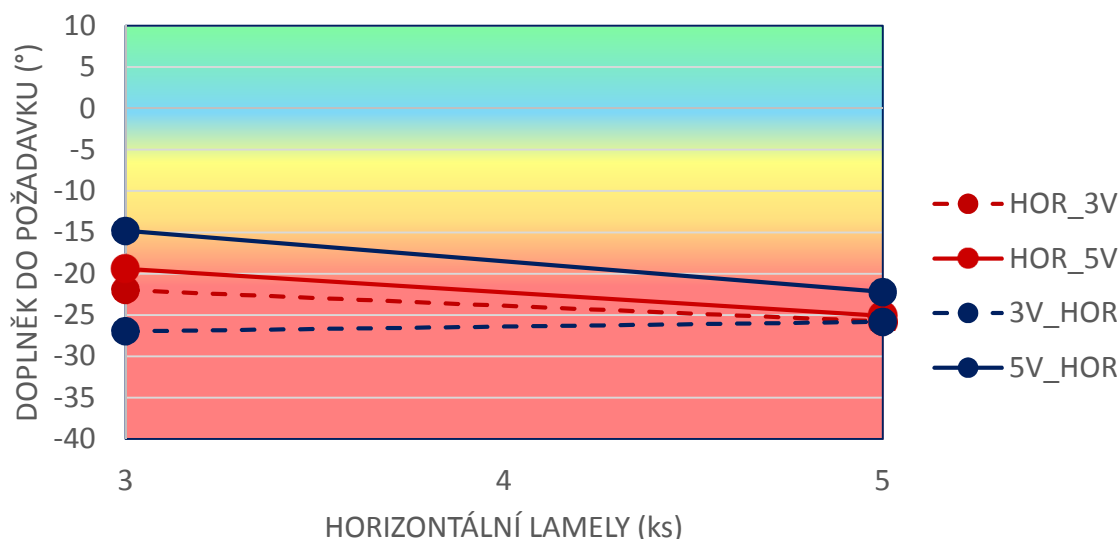


Obr. 114 – Nastavení DL: závislost doplňku okrajového úhlu $-\beta$ do požadavku D na typu lamelové mříže

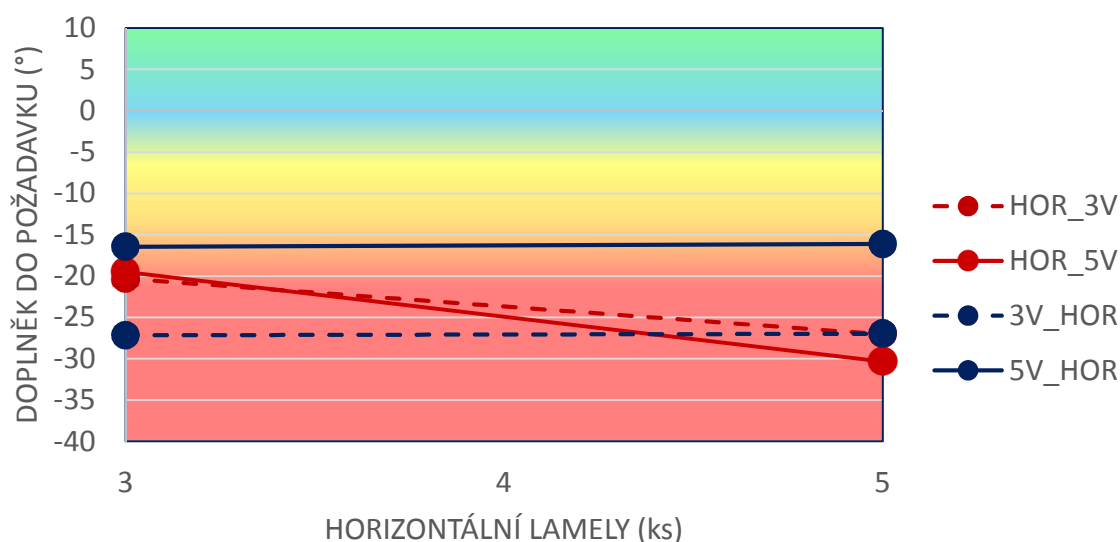
³ Schopnost lamelové mříže nasměrovat příslušný okraj proudu pod úhlem blízcím se požadavku.

Z grafů na obrázcích (viz obr. 113, obr. 114) vyplývá, že požadavky na směřování (U , D) při nastaveních UR a DL obecně lépe splňují lamelové mříže typu HV oproti typu VH. Nejlepších výsledků dosahuje varianta 5H3V, a to v případě obou požadavků. Z grafů je rovněž zřejmý převažující nepatrný trend, že se zvyšujícím se počtem horizontálních lamel se směřování v rovině XZ zlepšuje. Naopak, se zvyšujícím se počtem vertikálních lamel se směřování v rovině XZ zhoršuje.

5.2.2 Doplnky do požadavků v rovině XY



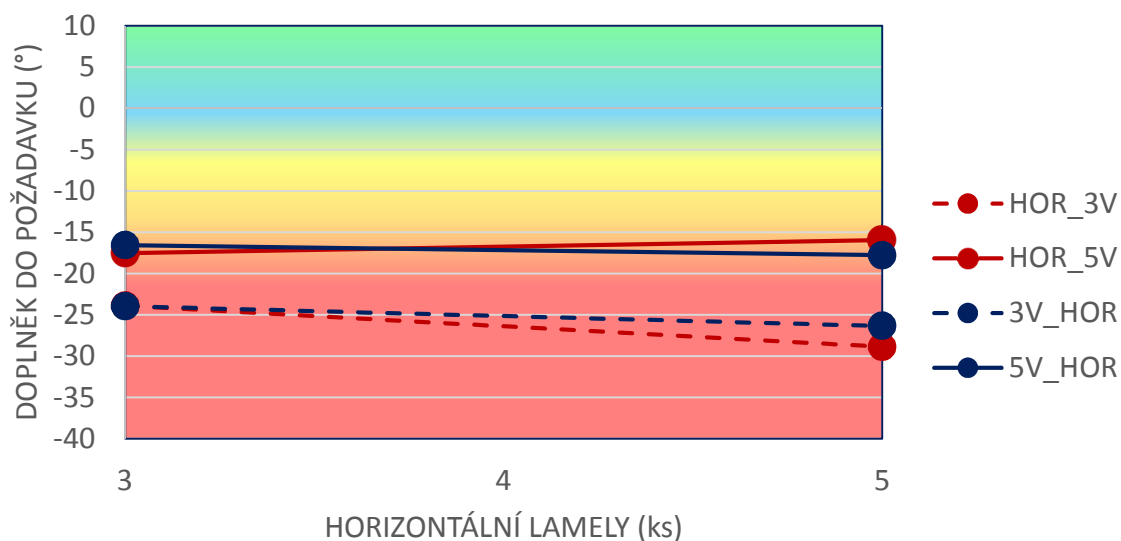
Obr. 115 – Nastavení UR: závislost doplňku okrajového úhlu $+\alpha$ do požadavku R na typu lamelové mříže



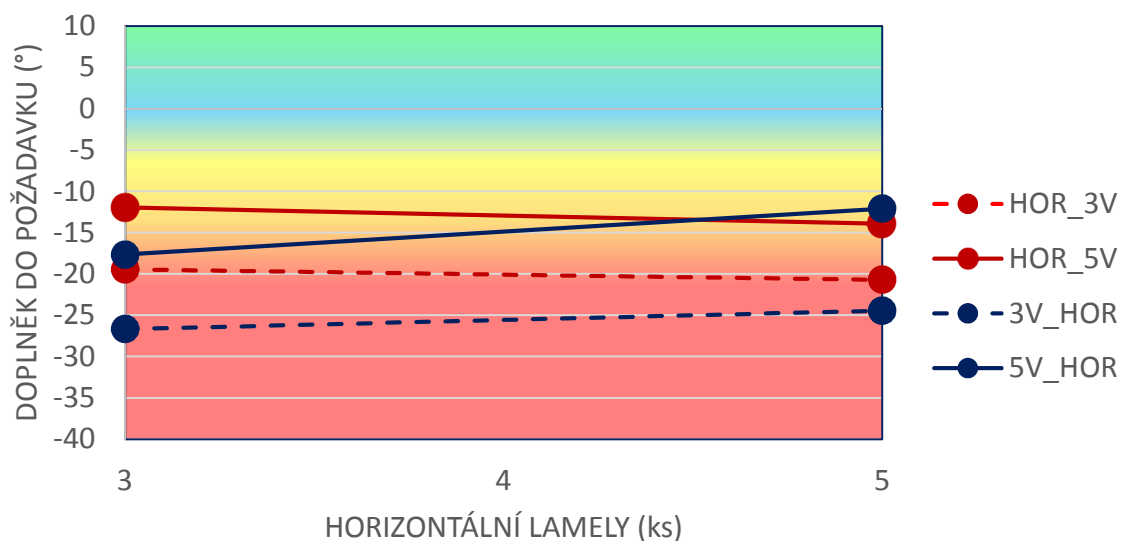
Obr. 116 – Nastavení DL: závislost doplňku okrajového úhlu $-\alpha$ do požadavku L na typu lamelové mříže

Z grafů na obrázcích (viz obr. 115, obr. 116) vyplývá, že požadavky na směřování (R , L) při nastaveních UR a DL nesplňuje žádná lamelová mříž. Obecně lépe si však vedou lamelové mříže obsahující vyšší počet vertikálních lamel (nezávisle na typu HV či VH). Nejlepších výsledků dosahuje varianta 5V3H, a to v případě obou požadavků. Z grafů je rovněž zřejmý převažující nepatrný trend, že se zvyšujícím se počtem horizontálních lamel

se směřování v rovině XY spíše zhoršuje. Naopak, se zvyšujícím se počtem vertikálních lamel se směřování v rovině XY zlepšuje.



Obr. 117 – Nastavení MR: závislost doplňku okrajového úhlu $+\alpha$ do požadavku R na typu lamelové mříže



Obr. 118 – Nastavení ML: závislost doplňku okrajového úhlu $-\alpha$ do požadavku L na typu lamelové mříže

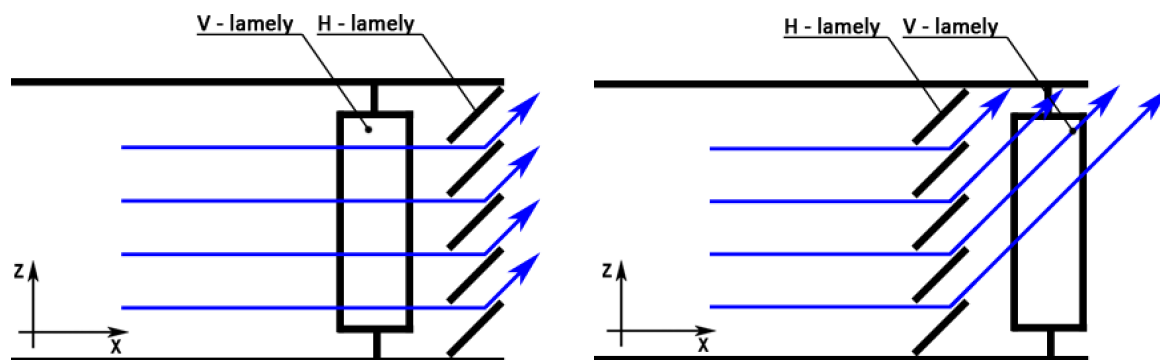
Z grafů na obrázcích (viz obr. 117, obr. 118,) vyplývá, že požadavky na směřování (R, L) při nastaveních MR a ML nesplňuje žádná lamelová mříž. Obecně lépe si však vedou lamelové mříže obsahující vyšší počet vertikálních lamel (nezávisle na typu HV či VH). Nejlepších výsledků dosahuje varianta 5V3H v případě požadavku R a varianta 5H3V v případě požadavku L. Z grafů je rovněž zřejmý převažující nepatrný trend, že se zvyšujícím se počtem horizontálních lamel se směřování v rovině XY spíše zhoršuje. Naopak, se zvyšujícím se počtem vertikálních lamel se směřování v rovině XY zlepšuje.

5.3 Příčiny rozdílů ve směrovatelnosti lamelových mříží

Z výsledků experimentu vyplývá, že určité typy lamelových mříží směřují proudění z vyústky v příslušných rovinách lépe a jiné hůře. Fyzikální příčiny těchto rozdílů jsou popsány v této podkapitole.

Umístění příslušných lamel v lamelové mříži

Zde platí, že směřování proudu v rovině XZ bývá lepší při použití lamelové mříže typu HV, oproti lamelové mříži typu VH (obr. 119).



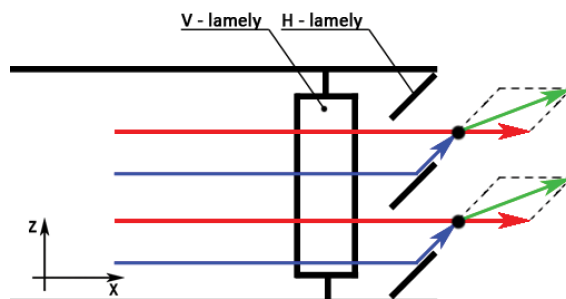
Obr. 119 – Schémata proudění skrz lamelové mříže typu HV (vlevo) a VH (vpravo) v rovině XZ

Obrázek (viz obr. 119 – vlevo) ukazuje, že pokud jsou horizontální lamely umístěny bezprostředně před výstupním otvorem (typ HV), jimi usměrněný proud (znázorněn modrými šipkami) má k dispozici volný prostor, a proto nevznikají parazitní tlakové ztráty v důsledku kontaktu proudu s horní (příp. dolní) stěnou vzduchovodu. Tyto parazitní tlakové ztráty se však vyskytují u lamelové mříže typu VH. V tomto případě jsou horizontální lamely umístěny až za řadou vertikálních lamel, dále od výstupního otvoru, a z obrázku (viz obr. 119 – vpravo) je patrné, že počet funkčních horizontálních lamel je jen zlomek z jejich celkového počtu.

Dále analogicky platí, že směřování proudu v rovině XY bývá lepší při použití lamelové mříže typu VH, oproti lamelové mříži typu HV. Na rozdíl od směřování v rovině XZ však umístění vertikálních lamel dále od výstupního otvoru (typ HV) úplně neznemožňuje směřování v rovině XY, a to díky tomu, že boční plochy vzduchovodu, jsou od sebe více vzdáleny, než plochy horní a spodní, a tak proud usměrněný vertikálními lamelami má i při použití typu HV dostatek volného prostoru, tudíž nevzniká takové množství parazitních tlakových ztrát v důsledku kontaktu proudu s pravou (příp. levou) stěnou vzduchovodu.

Počty příslušných lamel v lamelové mříži

Zde platí, že směřování proudu v rovině XZ bývá lepší při použití lamelové mříže obsahující více horizontálních lamel, oproti lamelové mříži obsahující méně horizontálních lamel, a to nezávisle na jejich umístění (viz obr. 119 – vlevo, obr. 120).



Obr. 120 – Schéma proudění skrz lamelovou mříž typu HV, se třemi horizontálními lamelami

Obrázek (viz obr. 120) ukazuje, že pokud jsou před výstupním otvorem umístěny 3 ks horizontálních lamel, jimi usměrněný proud (znázorněn modrými šipkami) se míchá s proudem neusměrněným (znázorněn červenými šipkami) a vzniká výsledné směřování proudu (znázorněno zelenými šipkami). Pokud je před výstupním otvorem umístěno 5 ks horizontálních lamel, z obrázku (viz obr. 119 – vlevo) je zřejmé, že proudění je těmito lamelami usměrňováno v celém příčném průřezu, tzn. neexistuje neusměrněný proud.

Dále analogicky platí, že směřování proudu v rovině XY bývá lepší při použití lamelové mříže obsahující více vertikálních lamel, oproti lamelové mříži obsahující méně vertikálních lamel, a to nezávisle na jejich umístění.

Konečně také platí, že směřování proudu v rovině XZ bývá lepší při použití lamelové mříže obsahující méně vertikálních lamel, oproti lamelové mříži obsahující více vertikálních lamel, a to nezávisle na jejich umístění. To je způsobeno koeficientem odporu, jehož hodnota je mj. závislá na průtočném průřezu. V případě nižšího počtu vertikálních lamel je průtočný průřez větší, koeficient odporu menší, tím pádem i směřování proudu v rovině XZ lepší.

Analogicky také platí, že směřování proudu v rovině XY bývá lepší při použití lamelové mříže obsahující méně horizontálních lamel, oproti lamelové mříži obsahující více horizontálních lamel, a to nezávisle na jejich umístění.

6 DALŠÍ PUBLIKACE AUTORA

Autor této diplomové práce je mj. prvním autorem i spoluautorem několika odborných článků, které souvisejí s tematikou větrání kabiny osobního vozu i kouřovou vizualizací. Výčet článků i s abstrakty následuje v této kapitole.

Visualization of the Air Flow Behind the Automotive Benchmark Vent

Konferenční článek [59] publikovaný ve sborníku konference Experimental Fluid Mechanics 2014 (Český Krumlov). Autor diplomové práce zde figuroval jako spoluautor.

Abstrakt:

Passenger comfort in cars depends on appropriate function of the cabin HVAC system. A great attention is therefore paid to the effective function of automotive vents and proper formation of the flow behind the ventilation outlet. The article deals with the visualization of air flow from the automotive benchmark vent. The visualization was made for two different shapes of the inlet channel connected to the benchmark vent. The smoke visualization with the laser knife was used. The influence of the shape of the inlet channel to the airflow direction, its enlargement and position of air flow axis were investigated.

Comparison of Methods for Determination of Borders of Stream Visualized by Smoke Method

Konferenční článek [60] publikovaný ve sborníku rozšířených abstraktů konference Setkání kateder Mechaniky tekutin a Termomechaniky 2015 (Litoměřice). Autor diplomové práce zde figuroval jako první autor.

Abstrakt:

Smoke visualization is the method which aims to obtain primary, especially qualitative information about the flow field. One of the visualization outputs is a plane cut of the flow (image). It is necessary to separate the flow region from the background with image segmentation because of information about its geometry. After this operation, the flow border points are detected.

Comparison of Methods for Flow Border Detection in Images of Smoke Visualization

Konferenční článek [53] publikovaný ve sborníku konference Experimental Fluid Mechanics 2015 (Praha). Autor diplomové práce zde figuroval jako první autor.

Abstrakt:

A separation of the flow region from the surroundings is an essential step in the analysis of smoke visualization images. The separation can be performed using several detection methods from the image segmentation group. This paper deals with the border detection of the air flow downstream of a benchmark automotive vent using different threshold-based detection methods. An assessment of the methods on the basis of the resulting image quality is also addressed. The quality level depends on the quantity and brightness of disturbances in the background area. The disturbance is usually an isolated region of smoke, which naturally cannot be a part of the flow. Three representative images of different quality levels were selected for the detection, and three methods were used for the evaluation. Each of the methods was used to determine the threshold differently (by the level, by the ratio, and by the change of brightness). It is demonstrated that the change-based method with an appropriately selected parameter is the most convenient for images with the worst quality level while level- and ratio-based methods are only applicable for images of good quality.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá posouzením funkčnosti několika konstrukčních variant benchmarkové vyústky (pravé přední na palubní desce), konkr. se zaměřuje na směrovatelnost různých lamelových mříží, které se mezi sebou liší počtem i umístěním směrovacích lamel. Počet konstrukčních variant (lamelových mříží) zkoumaných v této práci je celkem 8, zbývající varianty (různé přívodní vzduchovody a uzavírací klapky) jsou podrobně uvedeny v technické zprávě [25].

Výsledky experimentu ukazují, že ve vertikální rovině nemají lamelové mříže typu HV (nejlepší 5H5V a 5H3V, při nastaveních UR i DL) potíže s dosažením požadavků (U , D). Dosažení požadavků (R , L) v horizontální rovině je naopak problematické pro všechny zkoumané lamelové mříže, ani jedna požadavky nesplňuje. Nejvíce se k požadavku R však blíží lamelová mříž typu HV – 5H5V (při nastavení MR) a typu VH – 5V3V (při nastavení UR). Co se týká požadavku L , nejvíce se k němu blíží lamelová mříž typu HV – 3H5V (při nastavení ML) a typu VH – 5V3V (při nastavení UR).

Lze konstatovat, že pro lepší směrovatelnost proudu v horizontální rovině je důležitější vyšší počet vertikálních lamel než jejich umístění, nezanedbatelnou roli také hraje počet horizontálních lamel, jejichž nižší počet rovněž napomáhá lepší směrovatelnosti proudu v horizontální rovině. Směrovatelnost proudu ve vertikální rovině závisí zejména na umístění směrovacích lamel. Jsou-li umístěny horizontální lamely blíže výstupnímu otvoru, je směrovatelnost proudu ve vertikální rovině lepší, jsou-li však horizontální lamely umístěny dále od výstupního otvoru (za řadou lamel vertikálních), prakticky to znemožňuje směrovatelnost proudu ve vertikální rovině.

Výsledky experimentu lze pro názornost shrnout do následujících bodů:

- Pokud je zvyšován počet vertikálních lamel (bez ohledu na umístění), zlepšuje se směřování v horizontální rovině.
- Pokud je zvyšován počet vertikálních lamel (bez ohledu na umístění), zhoršuje se směřování ve vertikální rovině.
- Pokud je zvyšován počet horizontálních lamel (bez ohledu na umístění), zpravidla se zlepšuje směřování ve vertikální rovině.
- Pokud je zvyšován počet horizontálních lamel (typ lamelové mříže VH), zlepšuje se směřování doleva v horizontální rovině (u nastavení ML a DL).
- Pokud je zvyšován počet horizontálních lamel (typ lamelové mříže VH), u většiny nastavení se zhoršuje směřování doprava.
- Pokud je zvyšován počet horizontálních lamel (typ lamelové mříže HV), zpravidla se zhoršuje směřování v horizontální rovině.
- Umístění směrovacích lamel (HV nebo VH) má vliv na směřování ve vertikální rovině, použití HV směřuje lépe než VH.
- Umístění směrovacích lamel (HV nebo VH) má malý vliv na směřování v horizontální rovině, důležitější roli hraje počet V-lamel.

Z práce vyplývá, že nejuniverzálnější směřující konstrukční variantou je typ lamelové mříže 3H5V, který sice nevykazuje nejlepší výsledky ve vertikální rovině, ale v horizontální rovině směřuje oproti ostatním variantám velmi dobře. Pokud je tedy vzato v potaz směřování v obou rovinách komplexně, je tento kompromis přijatelný.

Na výsledky této práce navazuje integrace této nejuniverzálnější konstrukční varianty přímo do vozidla, kde bude opět zkoumána prostřednictvím kouřové vizualizace. Je tedy pravděpodobné, že směřování proudu v omezeném prostoru bude ovlivněno oproti volnému prostoru v laboratoři. Experimenty ve vozidle jsou nyní (v době odevzdání závěrečné práce) ve fázi pre-testů.

V laboratorní práci tohoto typu lze pokračovat i dále např. přezkoumáním horizontálních řezů při nastaveních UR a DL, kde nebylo z technických důvodů vždy možné vizualizovat prostor delší než 0,5 m za vyústkou (při vertikálních řezech standardně 1 m). Nyní (v době odevzdání závěrečné práce) už je však k dispozici v laserovém noži válcová čočka s takovou ohniskovou vzdáleností, že to možné je.

Další možností návaznosti na tento experiment je vizualizovat proudění z upravené univerzální konstrukční varianty 3H5V. Jako relevantní úprava této varianty se jeví prodloužení horizontálních lamel, jelikož v původní verzi sice směřuje lépe v horizontální rovině, ale ve vertikální rovině tomu už tak není, protože část vzduchu projde mezi lamelami bez usměrnění.

Z výsledků mj. vyplývá, že lamelové mříže typu VH s pěti vertikálními lamelami směřují velmi dobře v horizontální rovině. Horizontální lamely umístěné vzadu však na směrování ve vertikální rovině mají velmi malý vliv. Z těchto důvodů se nabízí jako relevantní úprava taková, že obě řady směřovacích lamel jsou umístěny těsně před výstupním otvorem. Konstrukční řešení je možné provést vykrojením lamel takovým způsobem, aby do sebe pasovaly.

Kromě kouřové vizualizace byly na benchmarkové vyústce provedeny také testy hlučnosti a detailní CTA měření vybraných rovin a konstrukčních variant.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DOHNAL, Martin. *Testování ventilačních výústek pro kabinu osobního vozu*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.
- [2] LIBŘICKÝ, Stanislav. *Posouzení hlučnosti vzduchotechnické výústky pro kabinu osobního vozu*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jedelský, Ph.D.
- [3] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 8080760373.
- [4] RUŽIĆ, Dragan a Ferenc ČASNJI. *Thermal Interaction Between a Human Body and a Vehicle Cabin*. INTECH Open Access Publisher, 2012. ISBN 9535108158.
- [5] MUIR, Alex. How car heating and ventilation systems work. *How a car works* [online]. b.r. [cit. 2016-02-22]. Dostupné z: <http://www.howacarworks.com/basics/how-car-heating-and-ventilation-systems-work>
- [6] ČUMPERLÍK, J. *Praktická dílna: Systémy komfortní elektron*. AutoEXPERT, 2005, **2005**(3), 16 s.
- [7] SIMION, Mihaela, Lavinia SOCACIU a Paula UNGURESAN. Factors which Influence the Thermal Comfort Inside of Vehicles. *Energy Procedia*. 2016, **85**, 472-480. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.229>. ISSN 18766102. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215028945>
- [8] RIACHI, Youssef a Denis CLODIC. A numerical model for simulating thermal comfort prediction in public transportation buses. *International Journal of Environmental Protection and Policy*. 2014, **2**(1), 1-8.
- [9] MELIKOV, Arsen. Personalized ventilation. *Indoor Air*. Wiley Online Library, 2004, **14**(7), 157-167. ISSN 16000668.
- [10] DITTRICH, Lukáš a Jiří ČERVENKA. Megatest 11 kombi nižší střední třídy: Interiér, prostor, zavazadelník. In: *AutoRevue.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/megatest-11-kombi-nizsi-stredni-tridy-interier-prostor-zavazadelnik>
- [11] DITTRICH, Lukáš. Test Audi A3 Sedan 1.8 TFSI: připraveno pro Čínu. In: *AutoRevue.cz: Auta, testy, novinky, fotografie* [online]. 2013 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/test-audi-a3-sedan-18-tfsi-pripraveno-pro-cinu/ch-49316#articleStart>
- [12] EDMUNDS, Dan. 2014 Mercedes-Benz CLA250: Nice Air Vents. In: *Edmunds.com: New Cars, Used Cars, Car Reviews and Pricing* [online]. 2013 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.edmunds.com/mercedes-benz/cla-class/2014/long-term-road-test/2014-mercedes-benz-cla250-nice-air-vents.html>
- [13] ADAM, Jean-Luc, Denis RICOT, Flavien DUBIEF a Christine GUY. Aeroacoustic simulation of automotive ventilation outlets. *Journal of the Acoustical Society of America*. [New York: Acoustical Society of America],

- 2008, **123**(5), 3250-3250.
- [14] GUERIN, S, E THOMY a MCM WRIGHT. Aeroacoustics of automotive vents. *Journal of sound and vibration*. Elsevier, 2005, **285**(4), 859-875. ISSN 0022460x.
 - [15] ZMRHAL, Vladimír a Jan SCHWARZER. Numerical simulation of local loss coefficients of ventilation duct fittings. *Proceedings of building simulation, IBPSA, Glasgow*. 2009, **348**.
 - [16] HEINY, David. *Optimization of an Inlet Duct — CFD Analysis* [online]. 2014 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <https://blog.simscale.com/blog/2014/03/optimization-of-an-inlet-duct-cfd-analysis/>
 - [17] KUZNIK, Frédéric a Jean BRAU. Numerical and experimental investigation of a mechanically ventilated room: the impact of Inlet Boundary conditions on CFD modelling of the ventilation system: the impact of Inlet Boundary conditions on CFD modelling of the ventilation system. *International journal of ventilation*. Veetech, 2005, **4**(2), 113-122. ISSN 14733315.
 - [18] EOM, Kenny. Performance of butterfly valves as a flow controller. *Journal of fluids engineering*. American Society of Mechanical Engineers, 1988, **110**(1), 16-19. ISSN 00982202.
 - [19] DANBON, F a C SOLLIEC. Aerodynamic torque of a butterfly valve— influence of an elbow on the time-mean and instantaneous aerodynamic torque. *Journal of fluids engineering*. American Society of Mechanical Engineers, 2000, **122**(2), 337-344. ISSN 00982202.
 - [20] JANOTKOVÁ, Eva. *TECHNIKA PROSTŘEDÍ: 1. část* [online]. 2011 [cit. 2. 3. 2016].
 - [21] JANALÍK, Jaroslav. *Obtékání a odpor těles*. Ostrava: VŠB-TU. 2008.
 - [22] Ofukovač pravý černý OCTAVIA I, ORIGINAL. *Autodíly Štancl* [online]. b.r. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.autodily-stancl.cz/elektronika/ventilatory/ofukovac-pravy-cerny-octavia-i-original.html>
 - [23] ŠVUB, Oldřich. *Vzduchotechnika sportovní haly*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2012.
 - [24] Gallery - CWK, kratki wentylacyjne, anemostaty, nawiewniki, dysze dalekiego zasięgu. *CWK: Air diffusers* [online]. b.r. [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.cwk.com.pl/en/galeria>
 - [25] PECH, Ondřej a Petr CALETKA. *DATABÁZE KONSTRUKČNÍCH PARAMETRŮ VZDUCHOTECHNICKÝCH VÝUSTEK* [online]. 2016 [cit. 2. 3. 2016].
 - [26] NASTASE, Ilinca, Amina MESLEM, Iordache VLAD a Iolanda COLDA. Lobed grilles for high mixing ventilation—An experimental analysis in a full scale model room. *Building and Environment*. Elsevier, 2011, **46**(3), 547-555. ISSN 03601323.
 - [27] Lamborghini models. *Lamborghini - Official website* [online]. 2016 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.lamborghini.com/en/models/>
 - [28] TUTU, Andrei. LAMBORGHINI Huracan LP 610-4 Review. In: *Autoevolution*

- *automotive news & car reviews* [online]. 2014 [cit. 2016-03-07].
Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/reviews/lamborghini-huracan-lp-610-4-review-2014.html>
- [29] AHIRRAO, Amit, HK NARAHARI, S UMESH a Vivek KUMAR. *EFFECT OF VENT SHAPE ON THERMAL COMFORT OF PASSENGERS IN A CAR*. b.r..
- [30] Bentley Praha: Přehled Modelů. *Bentley Praha: Domů* [online]. 2016 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.praha.bentleymotors.com/modely/Current-Models/Current-Model-Overview/>
- [31] SUTCLIFFE, Steve. Lamborghini Gallardo review. In: *Autocar: First for Car News and Reviews* [online]. b.r. [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: <http://www.autocar.co.uk/car-review/lamborghini/gallardo>
- [32] VANDSBURGER, Uri a Yiqing YUAN. Turbulent jet mixing enhancement and control using self-excited nozzles. *Journal of fluids engineering*. American Society of Mechanical Engineers, 2007, **129**(7), 842-851. ISSN 00982202.
- [33] 2015 Aston Martin V8 Vantage Interior Photos. *Automotive.com: ...buying smart starts here* [online]. 2015 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://cars.automotive.com/aston-martin/v8-vantage/2015/photos/interior/airvents/t3-12-8/>
- [34] STEIGER, Jiří. Mercedes-Benz C 200 CDI AMG Style. In: *Autohit.cz: Novinky, Testy, Reportáže ze světa aut* [online]. 2011 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.autohit.cz/testy/25921-mercedes-benz-c-200-cdi-amg-style>
- [35] OEM Audi A3/S3 8V dashboard fresh air vent. In: *BKS: Genuie AUDI/VW parts* [online]. b.r. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <https://www.bks-tuning.com/oem-audi-a3-s3-8v-dashboard-fresh-air-vent.html>
- [36] De color rojo accesorios Interior salida de aire ajuste de la cubierta 5 unids Mercedes Benz clase W176 B clase W246 2012 2013 2014. *Es.AliExpress.com* [online]. b.r. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://es.aliexpress.com/store/product/red-Interior-Accessories-Air-Outlet-Cover-Trim-5pcs-For-Mercedes-Benz-A-Class-W176-B-Class/1114735_32506634002.html?spm=2114.04010208.3.109.gDVMtY&ws_ab_test=searchweb201556_7,searchweb201602_5_505_506_503_504_1002_0_502_10001_10002_10017_10005_10006_10021_10003_10004_10022_10018_10019,searchweb201603_8&btsid=602b3be1-dd63-4c79-b4d6-6aae5beb7c30
- [37] RUŽIĆ, Dragan. *COMPARISON OF DIFFERENT AIR VENTS ARRANGEMENTS IN A TRACTOR CAB USING THE CFD TECHNIQUES* [online]. 2014 [cit. 2016-02-19]. DOI: 978-86-7892-615-0. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/263851108_Comparison_of_Different_Air_Vents_Arrangements_in_a_Tractor_Cab_Using_the_CFD_Techniques
- [38] ALEXANDROV, Alex, Vladimir KUDRIAVTSEV a Marcelo REGGIO. Analysis of flow patterns and heat transfer in generic passenger car mini-environment. In: *9th Annual Conference of CFD Society of Canada*. Citeseer, 2001, s. 27-29.
- [39] LIN, CH, T HAN a CA KOROMILAS. *Effects of HVAC design parameters on*

- passenger thermal comfort*. SAE Technical Paper, 1992. ISSN 01487191.
- [40] PHAM, Linh. Short Term Test Drive and Comparison: Audi A3 1.8T and 2.0T quattro. In: *Audi For Life: Audi Evangelism. Pure and Simple* [online]. 2014 [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://audiforlife.com/2014/05/short-term-test-drive-and-comparison-audi-a3-1-8t-and-2-0t-quattro/>
 - [41] PAVELEK, Milan, Eva JANOTKOVÁ a Josef ŠTĚTINA. Vizualizační a optické měřicí metody. *Vysoké učení technické v Brně*. 2. 2007.
 - [42] Gallery. *UK Fluids Lab* [online]. 2005 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.engr.uky.edu/~fml/gallery.html>
 - [43] TRÁVNÍČEK, Zdeněk. Příklady použití kouřové vizualizace proudění v experimentální mechanice tekutin. *Vytápění, větrání, instalace*. 2002, **11**(5). ISSN 1210-1389.
 - [44] KEANE, Angela. GM Recalls 413,418 Chevrolet Cruzes on Engine Fires. In: *Bloomberg Business: European Edition* [online]. 2012 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-06-22/gm-recalls-413-418-chevrolet-cruzes-in-u-s-on-engine-fires-1->
 - [45] LÍZAL, František. *Větrání kabiny vozidla–rychlostní pole v okolí vyústek přístrojové desky* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006 [cit. 21.3.2016].
 - [46] KOŠNER, Jan, LÍZAL a Jan JEDELSKÝ. *ANALÝZA SMĚROVÁNÍ A HOMOGENITY PROUDU VZDUCHU Z BOČNÍHO OFUKOVACÍ PALUBNÍ DESKY: TECHNICKÁ ZPRÁVA* [online]. 2008 [cit. 21.3.2016].
 - [47] KRŠKA, Lukáš. *Experimentální analýza proudu vzduchu z vyústky přístrojové desky osobního vozu s využitím kouřové metody a návrh hodnocení kvality vyústky*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
 - [48] BEČICA, Radek. *Vizualizace proudu z větrací vyústky pro přístrojovou desku osobního vozu* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013, 79 s. [cit. 21.3.2016].
 - [49] LEŽOVIČ, Tomáš, František LÍZAL, Jan JEDELSKÝ a Miroslav JÍCHA. Measurement of the velocity field behind the automotive vent. In: *EPJ Web of Conferences*. EDP Sciences, 2012, **25**, s. 01049. ISSN 2100014x.
 - [50] LEŽOVIČ, Tomáš, František LÍZAL, Jan JEDELSKÝ a Miroslav JÍCHA. HVAC automotive vents evaluation and their performance. *HVAC&R Research*. 2013, **19**(8), 1073-1082.
 - [51] CALETKA, Petr. *Hodnocení funkčnosti větrací vyústky pro kabinu osobního vozu* [online]. Brno, 2014, 66 s. [cit. 24.3.2016].
 - [52] RICHTER, J a J ŠŤASTNÝ. Fog Border Detection in the Airflow Image. In: *Advances in Computer Science. Proceedings of the 6th WSEAS European Computing Conference ECC'12*. 2012, s. 134-139.
 - [53] CALETKA, Petr, Ondřej PECH, Jan JEDELSKÝ, František LÍZAL a Miroslav JÍCHA. Comparison of methods for flow border detection in images of smoke visualization. In: *EPJ Web of Conferences*. EDP Sciences. Prague, 2015. ISSN 2100014X.
 - [54] PAVELEK, Milan a Eva JANOTKOVA. Evaluation of records of flow

- visualization obtained during research on ventilation. In: *Proceedings of 7th Int. Symp. Ventilation for Contaminant Control*. 2003, s. 61-66.
- [55] KOŠNER, Jan, František LÍZAL, Jan JEDELSKÝ a Miroslav JÍCHA. *POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ A METODIKY MĚŘENÍ* [online]. 2008 [cit. 24.3.2016].
 - [56] ČSN EN ISO 5167-2. *Měření průtoku tekutin pomocí snímačů diferenčního tlaku vložených do zcela zaplněného potrubí kruhového průřezu - Část 2: Clony*. 1.11.2003. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.
 - [57] CANON EOS 300D. In: *ProRecenze.cz* [online]. b.r. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://prorecenze.cz/foto/p/canon-eos-300d>
 - [58] VDOLEČEK, František. *Automatizace a regulace (-IAR-) - přednáška č. 3: Měření a nejistoty měření*. Brno, 2016.
 - [59] PECH, Ondřej, Jan JEDELSKÝ, Petr CALETKA a Miroslav JÍCHA. Visualization of the air flow behind the automotive benchmark vent. In: *EPJ Web of Conferences*. EDP Sciences, 2015, **92**, s. 02062. ISSN 2100014x.
 - [60] CALETKA, Petr, Ondřej PECH, Jan JEDELSKÝ, Miroslav JÍCHA a Jan RICHTER. Comparison of Methods for Determination of Borders of Stream Visualized by Smoke Method. In: *SKOČILASOVÁ, B. a J. SOUKUP Proceedings of Extended Abstracts*. Ústí nad Labem: UJEP Ústí nad Labem, 2015, s. 11-12. ISBN 978-80-7414-912-2.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
$+\alpha$	[°]	úhel pravého okraje proudu (v rovině XY)
$-\alpha$	[°]	úhel levého okraje proudu (v rovině XY)
$+\beta$	[°]	úhel horního okraje proudu (v rovině XZ)
$-\beta$	[°]	úhel dolního okraje proudu (v rovině XZ)
γ	[°]	úhel rozevření proudu (v rovině XZ)
δ	[°]	úhel rozevření proudu (v rovině XY)
φ	[°]	sklon osy proudu (v rovině XZ)
φ_i	[%]	relativní vlhkost v laboratoři
ω	[°]	vybočení osy proudu (v rovině XY)
A_j	[-]	součinitel citlivosti
F	[-]	clonové číslo
h	[m]	optimalizovaná výška osy objektivu fotoaparátu a osy čočky laserového nože
k	[-]	koeficient příslušný předpokládanému zákonu rozdělení
ISO	[-]	světelná citlivost CCD čipu fotoaparátu
k_r	[-]	koeficient rozšíření
n	[-]	počet naměřených hodnot
P	[°]	požadavek na směřování proudu (U, D, R, L)
p_1	[Pa]	tlak před clonou
Δp	[Pa]	tlaková difference na cloně
Δp_z	[Pa]	tlaková ztráta benchmarkové vyústky
p_b	[hPa]	barometrický tlak v laboratoři
p_{CH}	[-]	parametr detekční metody podle změny
p_L	[-]	parametr detekční metody podle úrovně
p_P	[-]	parametr detekční metody podle paty
p_R	[-]	parametr detekční metody podle poměru
Q_V	[m ³ /h]	objemový průtok vzduchovou trasou
T	[-]	práh okrajového bodu proudu
t	[s]	čas závěrky
t_1	[°C]	teplota na sání do vzduchové trasy
t_2	[°C]	teplota na výtlaku ventilátoru
t_i	[°C]	teplota v laboratoři
$u_A(y)$	[rozměr veličiny y]	nejistota typu A veličiny y
$u_B(y)$	[rozměr veličiny y]	nejistota typu B veličiny y
$u_C(y)$	[rozměr veličiny y]	kombinovaná standardní nejistota veličiny y
$U(y)$	[rozměr veličiny y]	rozšířená nejistota veličiny y
y	[rozměr veličiny y]	obecná veličina
y_i	[rozměr veličiny y]	aktuální naměřená hodnota veličiny y
$\bar{y}$	[rozměr veličiny y]	aritmetický průměr naměřených hodnot veličiny y
z_{max}	[rozměr veličiny y]	maximální odchylka zdroje nejistoty

Zkratka	Popis
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied (procento nespokojených lidí s tepelným komfortem)
SWV	Smoke-Wire Visualization (kouřová vizualizace s přívodem kouře ve formě vláken)
SVV	Smoke-Volume Visualization (kouřová vizualizace s přívodem kouře ve formě souvislého objemu kouře)
MHNV	označení lamelové mříže s M horizontálními lamelami a N vertikálními lamelami, horizontální lamely jsou umístěny blíže výstupnímu otvoru (typ lamelové mříže HV)
MVNH	označení lamelové mříže s M vertikálními lamelami a N horizontálními lamelami, horizontální lamely jsou umístěny blíže výstupnímu otvoru (typ lamelové mříže HV)
UR	nastavení směrovacích lamel „nahoru-vpravo“ (upper-right)
MR	nastavení směrovacích lamel „střed-vpravo“ (middle-right)
MM	nastavení směrovacích lamel „střed-střed“ (middle-middle)
ML	nastavení směrovacích lamel „střed-vlevo“ (middle-left)
DL	nastavení směrovacích lamel „dolů-vlevo“ (down-left)
ORS	ovládací regulační stupeň spotřeby generátoru kouře
ZRS	základní regulační stupeň spotřeby generátoru kouře
BD	přívodní vzduchovod s kolenem
1BV	jednoduchá motýlková uzavírací klapka
AVG	průměrná hodnota
STD	hodnota směrodatné odchylky

