

Využití integrální laserové anemometrie pro verifikační experiment v impaktním proudění

Pavel Zubík

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav vodních staveb - Laboratoř vodohospodářského výzkumu

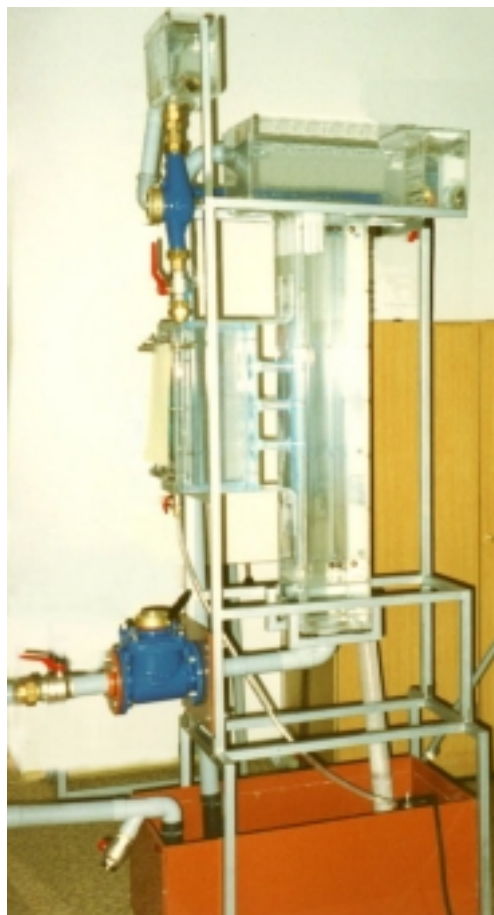
Abstrakt

Měření rozložení rychlostí v prostoru střetu paprsku s příčným proudem a protilehlou stěnou pomocí Integrální laserové anemometrie - Particle Image Velocimetry - PIV.

Úvod

V roce 2000 prováděli pracovníci Ústavu termomechaniky AVČR v Praze třetí závěrečný rok výzkumu, podporovaného Grantovou agenturou České republiky „Aerodynamika impaktních proudů z hlediska využití ve strojírenství“ 101/98/1041. Problematika narážejících proudových paprsků se vyskytuje v mnoha technických aplikacích, například při vnitřním chlazení lopatek spalovacích turbín nebo při sušících procesech v textilním a papírenském průmyslu. Ke studiu tohoto typu proudění bylo použito hlavně numerické modelování softwarem FLUENT. Pro nezbytný ověřovací experiment byl na pracovišti autora postaven fyzikální model a byla provedena rozsáhlá sada měření rychlostních polí metodou PIV.

Fyzikální model



Obr.1: Fyzikální model.

Zájemová část modelu sestává ze svislého hlavního kanálu šířky 200 mm, nastavitelné hloubky 60 až 160 mm a délky 920 mm, do kterého byly s roztečí 100mm zaústěny kolmo v řadě za sebou tři kruhové dýzy o průměru $d = 19\text{mm}$ (první 370 mm od počátku hlavního kanálu). Model byl postaven tak, aby umožňoval měnit vzdálenost stěny kanálu proti dýzám. Z důvodů časové náročnosti zpracování a vyhodnocení velkého množství naměřených dat však byla uplatněna zatím pouze hloubka kanálu 60 mm. Součástí modelu je také dolní zásobní nádrž s čerpadlem, dvě horní nádrže s přepady stabilizujícími nastavené průtokové poměry, síta a další úpravy vtoků pro dosažení vyrovnaných rychlostních profilů na vstupech do měřicího prostoru a dva průtokoměry. Na obr. 1 je celkový pohled na model.

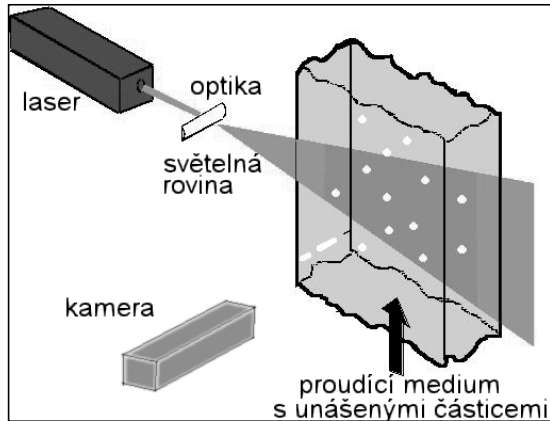
Nastavované proudové poměry byly dány střetem jednoho, dvou nebo tří paprsků z dýz s průřezovými rychlostmi v rozpětí $0,17$ až $0,45\text{ ms}^{-1}$, s proudem v hlavním kanálu s rozpětím průřezové rychlosti $0,017$ až $0,26\text{ ms}^{-1}$.

Základní princip měřicí metody

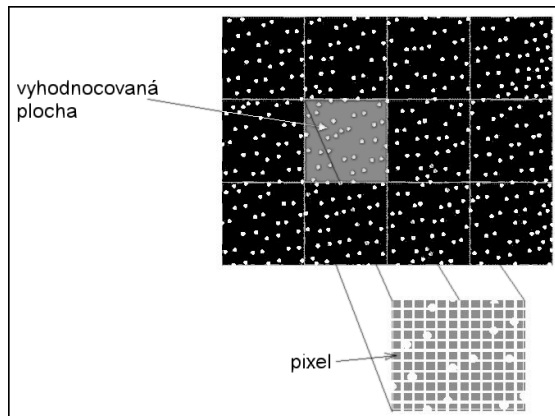
Integrální laserová anemometrie – Particle Image Velocimetry (PIV) je bezkontaktní měřicí metoda, umožňující získat informace o okamžitém rozložení rychlostí v dvourozměrném poli v proudící tekutině.

Rychlosti se určují z měřené vzdálenosti, kterou urazí unášené částice v toku, a z času, který

částice k překonání této vzdálenosti potřebují. Částice jsou buď součástí proudícího média (zcela výjimečně), nebo se jimi toto médium sytí (ve většině případů). Systém analyzuje obrazy částic, které jsou v proudícím médiu vybrány rovinným světelným řezem. Vhodně umístěná světelná rovina je vytvářena výkonovým laserem a systémem optických prvků. Aby docházelo ke stroboskopickému jevu umožňujícímu „zmrazení“ pohybu částic, je buzení světelné roviny pulzní. Doba mezi impulzy je tím časem, který slouží k výpočtu rychlosti.



Obr.2: Základní uspořádání PIV



Obr. 3: Vyhodnocované plochy

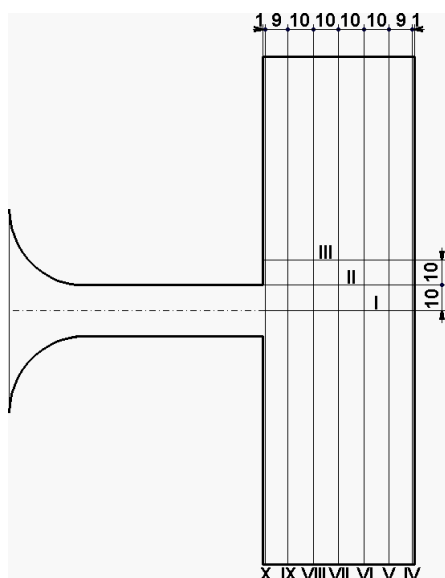
Záznamový systém, nejčastěji CCD kamera, umístěný optickou osou kolmo ke světelné rovině (schéma rozmístění jednotlivých prvků měřicí soupravy je na obr. 2), zobrazí každou částici jako světlé zrno na tmavém pozadí. Používané kamery jsou speciální konstrukce, tak aby byly schopny pořídit dva snímky unášených částic velmi rychle za sebou.

Obrazy kamery jsou rozděleny na pravoúhlé oblasti (obr. 3). Pro každou z těchto vyhodnocovaných ploch je korelačními metodami stanoven jeden vektor, reprezentující průměrný posun všech částic uvnitř vyhodnocované plochy. Dělením tohoto posunutí známou dobou mezi dvěma záznamy obrazů jsou vektory posunu konvertovány do mapy nezpracovaných rychlostních vektorů. (K urychlení výpočtu korelací se používá zpracování pomocí rychlé Fourierovy transformace - FFT). Přitom je nutné mít na mysli, že vždy bude existovat určitý výsledek a teprve následné kontrolní postupy ukáží, zda platný, nebo nikoliv.

V další etapě se aplikují kontrolní algoritmy které detekují a odstraňují chybné vektory. Výstupem je vektorová mapa, ze které je možno další analýzou vytvářet proudnice, pole vířivosti atd.

Měřicí zařízení

K měření byl použit komplet FlowMap od firmy Dantec sestávající z kontinuálního argonového vodou chlazeného laseru s výkonem 5 W, optické soustavy pro vytváření světelné roviny a světelných impulsů (skenovací metodou), digitální kamery pro rychlý záznam dvojic samostatných obrazů, řídicí elektroniky a softwaru.



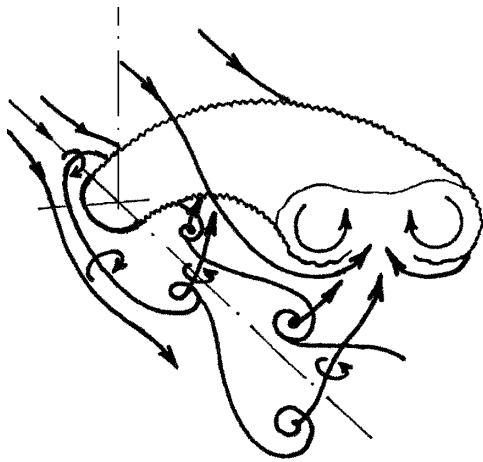
Obr. 4: Rozmístění měrných rovin

Výsledky měření

V zájmovém prostoru modelu byly polohováním světelné roviny definovány měrné řezy. Na obr. 4 je řez modelem (napříč toku hlavním kanálem) s naznačeným rozmístěním zvolených poloh měrných rovin. První tři rovnoběžně s osami dýz a dalších sedm rovnoběžně s protilehlou stěnou, tedy kolmo na osy dýz. Byly zaznamenávány série okamžitých stavů rozložení průmětu rychlosti do měrné roviny. Interval mezi jednotlivými měřeními byl 0.15 sekundy a počet opakování měření 40, to znamená, že vlastní měření každé varianty probíhalo souvisle po dobu 6 sekund. Vzhledem k charakteru daného proudění tato doba s dostatečnou rezervou

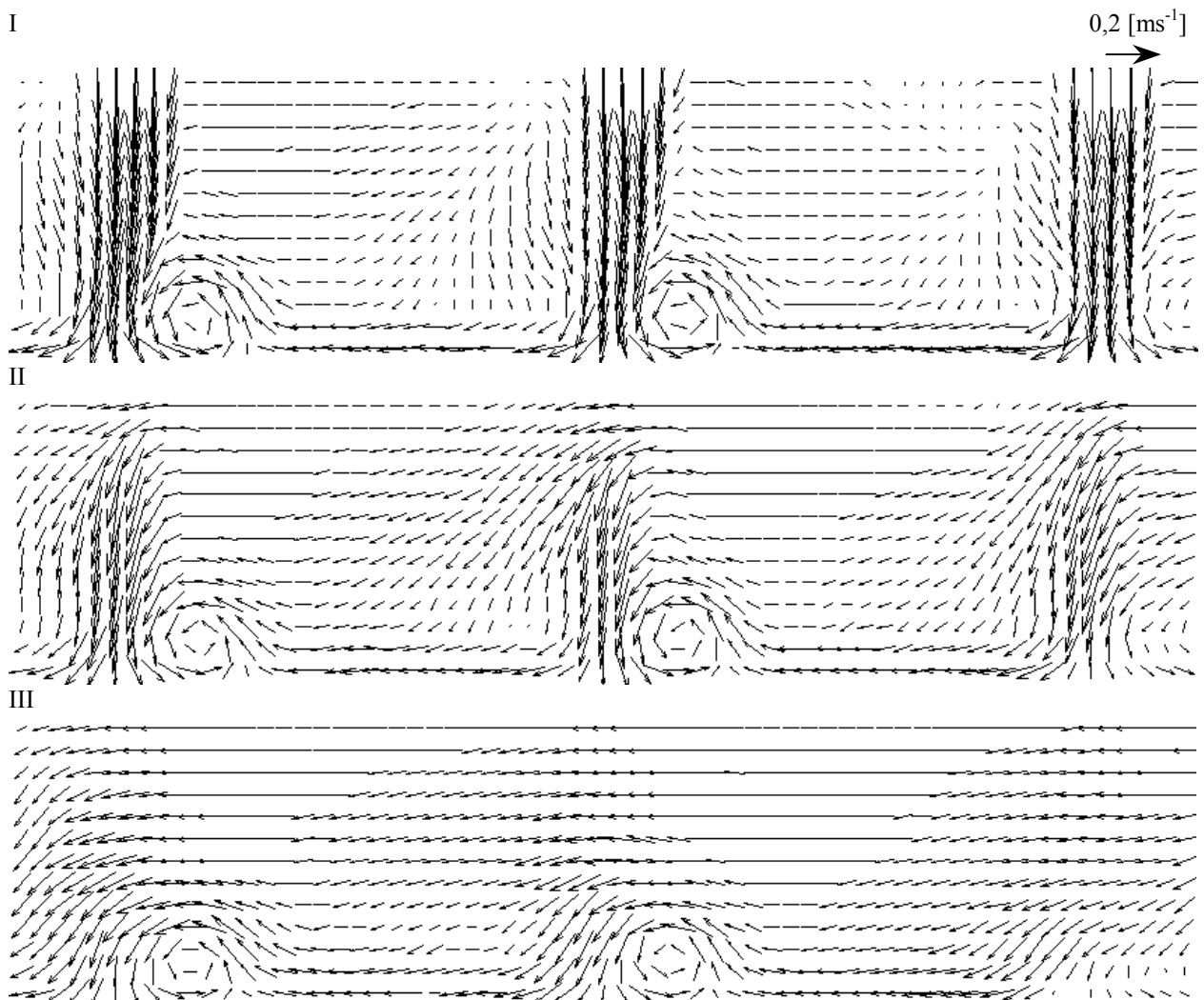
pokryla úplnou škálu časového vývoje sledovaného rychlostního pole. Při všech kombinacích nastavovaných parametrů proudění a měrných rovin byl zaznamenáván úplný pohled (od stěny ke stěně) na rychlostní pole, v několika případech bylo navíc ještě provedeno měření vybraných detailů.

Výsledky měření byly pracovníkům Ústavu termomechaniky AVČR předány ve formě animovaných sérií okamžitých stavů vyhodnocených vektorových polí, animovaných sérií výchozích černobílých fotografií unášených částic (umožňují, byť pouze subjektivně, sledovat i ty nejjemnější koherentní struktury) a časově středovaných vektorových polí (získaných statistickým zpracováním 40-ti okamžitých stavů). Dále byl ke každé sérii měření pořízen krátký videozáznam pro prohloubení subjektivního dojmu. Všechny tyto podklady velmi významně posloužily k dotvoření celkové představy o charakteru daného proudění a výběru nejvhodnějšího matematického modelu. Na obr. 5 je schematický náčrt obtékání paprsku kolmo vstupujícího do hlavního proudu tak jak jej s dalším podrobným rozbohem uvádí Ing. Rudolf Dvořák, DrSc. z Ústavu termomechaniky AVČR v odevzdaném příspěvku pro konferenci Advanced Engineering Design v Glasgowě.

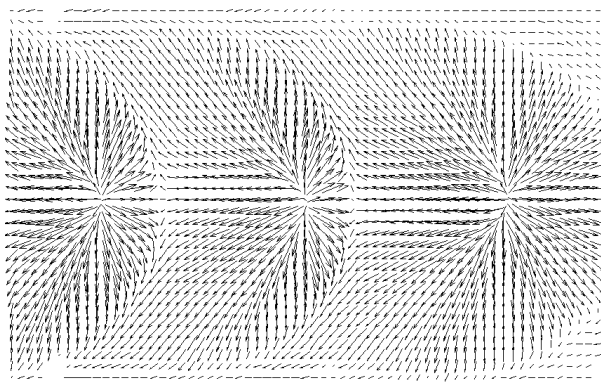


Obr. 5: Schéma obtékání paprsku v nříčném nroudu

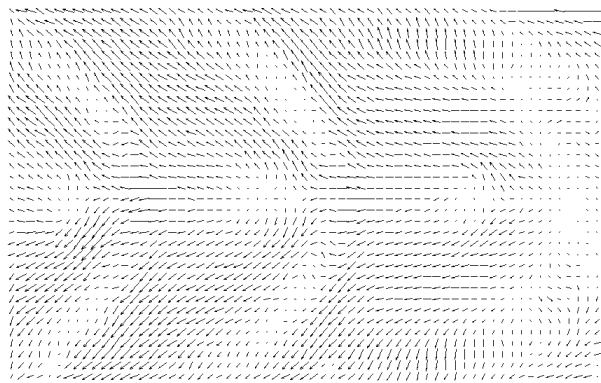
Následujících deset obrázků je ukázka časově středovaných obrazů změřených rychlostních polí při jednom proudovém režimu (střední průřezová rychlost v dýzách $0,446 \text{ ms}^{-1}$ a v hlavním kanálu $0,082 \text{ ms}^{-1}$) v měrných řezech 1 až 10, tak jak jsou označeny v obr. 4.



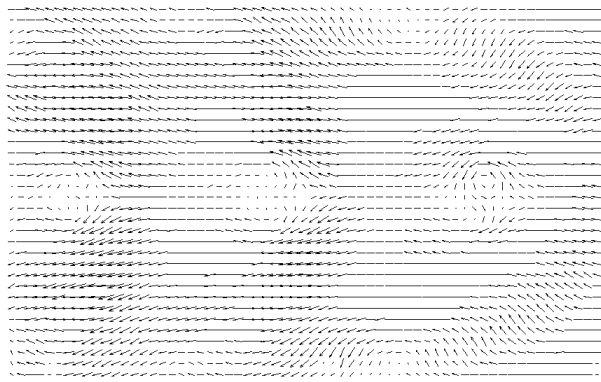
IV



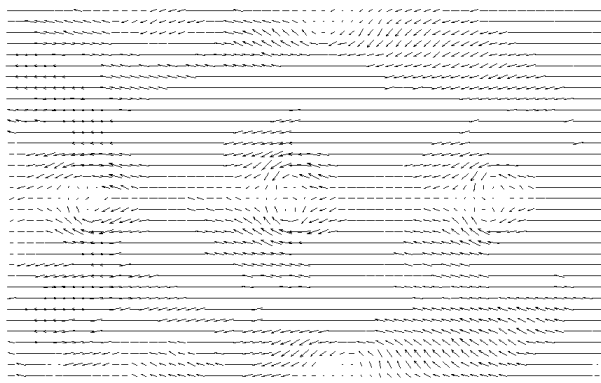
V



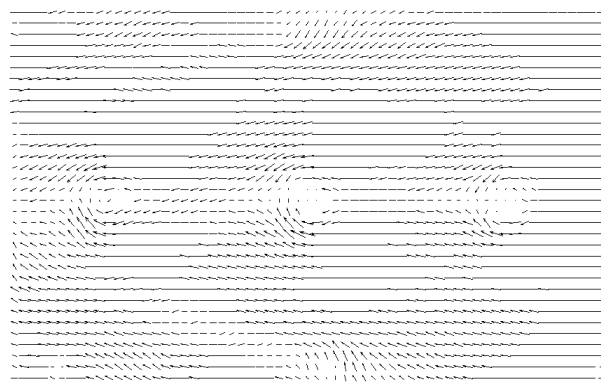
VI



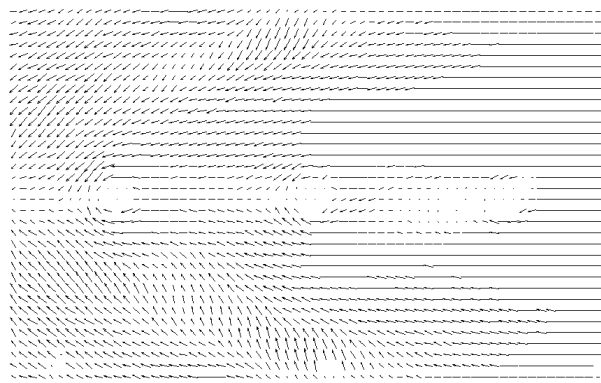
VII



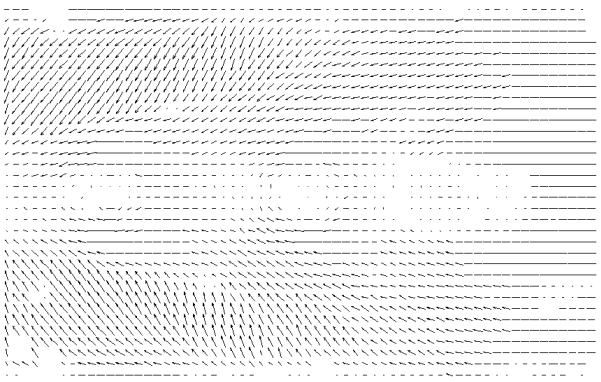
VIII



IX



X

0,2 [ms⁻¹]

Závěr

Uskutečněná měření v součinnosti s numerickými výpočty umožnila provést rozbor proudění s vícenásobnými stísněnými paprsky, uspořádanými v řadě za sebou ve směru příčného proudu, a získat podklady pro porovnání vlastností úplavů za jednotlivými paprsky při vícenásobném uspořádání s vlastnostmi případu s jediným neovlivněným vytékajícím paprskem.