

## Měření proudění v rozvaděči rotočerpada

Pavel Zubík, Ústav vodohospodářského výzkumu.

Integrální laserová anemometrie - Particle Image Velocimetry (PIV) je metoda měření rychlostí současně v celém rovinném profilu proudového pole. Tato metoda vychází ze zaznamenávání poloh unášených částic. Průnik oblasti osvětlované laserem a prostoru, jenž je v zorném poli digitální kamery určuje měřenou oblast. K osvětlování se používá laserová světelná rovina - tenký světelný list.

**Ústav vodohospodářského výzkumu**, FAST VUT v Brně vlastní od konce roku 1995 měřicí systém FlowMap, pro měření metodou PIV, od firmy Dantec. Měřicí komplet sestává z vodou chlazeného argonového laseru o výkonu 5 W, optických prvků (elektrooptická závěrka, světlovodivý skleněný kabel a skener vytvářející laserovou světelnou stěnu), speciální digitální kamery pro vzájemnou korelaci, vyhodnocovacího procesoru a řídicího počítače.

V roce 1999 bylo provedeno rozsáhlé měření v rámci grantu PZ-HZ/11/99 „Měření prostorového proudění reálné tekutiny laserovými anemometry“. Největší objem prací si vyžádalo měření na rotočerpadle a pro tento úkol byly také využity finanční prostředky z grantu PZ-HZ/09/99 „Održené proudění v hydraulických zdrojích a jeho vliv na pracovní charakteristiky čerpadel pro energetická zařízení“ jehož nositelem je SIGMA výzkumný a vývojový ústav, Lutín.

Pro první etapu měření byl využit existující zkušební okruh rotočerpada v laboratoři Odboru hydraulických strojů Victora Kaplana, Energetického ústavu, Fakulty strojní, VUT v Brně. Rotočerpadlo bylo upraveno zhotovením optického vstupu pro laser v boční stěně spirály v dílnách SIGMA výzkumný a vývojový ústav, Lutín. Pro druhou a třetí etapu byl tento okruh pracovníky Odboru hydraulických strojů Victora Kaplana upraven aby bylo možno vyřadit zásobní tlakovou nádrž a co nejvíce zmenšit celkový objem trati.

Vlastní měření sestávalo z:

- Několikerého napuštění vody do zkušební okruhu, roztočení čerpada odvodu a vypuštění vody. Zkušební trať trpěla velkou nečistotou vyplývající z použití obyčejných a ne nerezových ocelových trub – voda v okruhu se stále zakalovala rží.
- Optická soustava vytvářející laserovou světelnou stěnu byla ustavena do roviny ležící v polovině vzdálenosti mezi dnem a vnějším průhledným krytem mezilopatkového kanálu. Zvolený kanál byl osvětlen beze zbytku od spirály až po okraj rotujícího kola.
- Do vody zkušební okruhu byly přidávány částice až do dosažení dostatečného pokrytí sledované osvětlené plochy stopami těchto částic.
- Postupně bylo vždy měřeno několik dlouhých sérii okamžitých stavů rychlostního pole pro sadu různých nastavení režimů chodu čerpada.

Neúspěch první etapy byl způsoben nemožností nasycit proudící medium (vodu) stopovacími částicemi. Jednak nebylo k dispozici dostatečně velké množství částic. Dále tyto částice mají mírnou snahu (zvláště z počátku než navlhnu) plavat na hladině a proto se shromažďovaly v zásobním kotli.

Do druhé etapy byl odstraněn zásobní kotel a zkrácením okruhu minimalizován objem měrné trati. V příloze č. 1 je fotografie zkráceného okruhu. Také díky tomu že bylo získáno dostatečné množství levných částic (odpad z výroby Krastenu a Koplenu z Kaučuku Kralupy) nebyl již problém dosáhnout potřebné koncentrace sycení částicemi. Nyní však vystoupil do popředí problém s rozptylem laserového paprsku po průchodu přes poměrně velkou vrstvu media (přibližně 40 cm). To se projevilo rozzářením celého objemu média na straně příchodu laseru k zájmové oblasti a nedostatečným osvětlením na straně protilehlé (viz. příloha č. 4).

Pro odstranění posledně zmíněného problému jsem si připravil do třetí etapy zvláštní kombinaci optických prvků umožňující osvětlování celého objemu mezilopatkového kanálu ze strany pohledu kamery - „ze předu“. V příloze č.3 je příklad obrazu získaného tímto způsobem osvětlování. Toto řešení je sice uplatnitelné pouze pro dvourozměrný charakter proudění ale laserové osvětlení je nuceno procházet přes vrstvu vody tlustou pouze přibližně jeden centimetr. Navíc, jak se později měřením prokázalo, proudění v daném mezilopatkovém kanále má skutečně dvourozměrný charakter.

Nakonec zůstalo neodstranitelné omezení maximální měřitelné rychlosti proudění (a z toho maximálních otáček oběžného kola) vyplývající z vlastností dané měřicí soupravy PIV (řešením je pouze zakoupení pulzního laseru) a né zcela zvládnutý problém s čistotou – nezakalením proudícího média. Po zpracování a vyhodnocení naměřených dat jsem nucen konstatovat malý rozdíl v osvětlení „ze předu“ a „z boku“ a nutnost pro oba případy dosáhnout co nejmenšího zákalu media při co největší koncentraci částic.

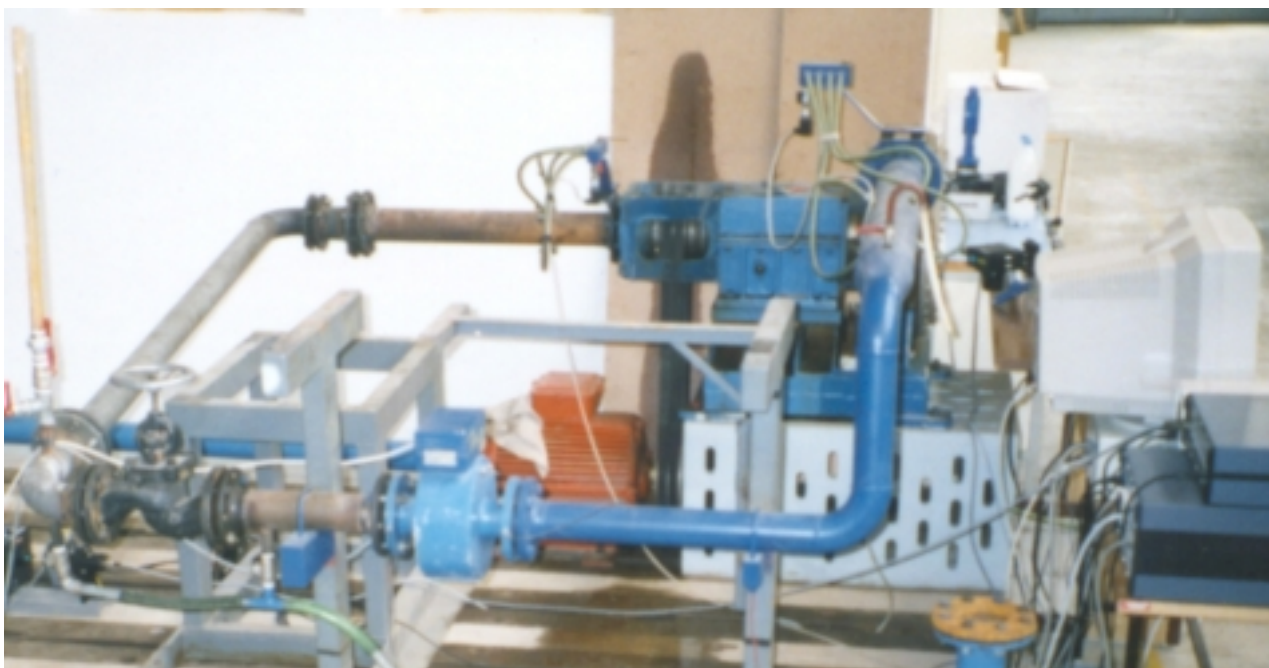
V přílohách číslo 3 a 4 jsou ukázky černobílých fotografií unášených částic jako prvotní vstupní informace pro následné vyhodnocení rozložení rychlostí v zájmové oblasti. Současně tyto fotografie ukazují rozměry a polohu měřených oblastí.

Informaci o vyhodnocených vektorových polích lze kvantifikovat formou tabelárních hodnot x-ové a y-ové souřadnice a velikosti x-ové a y-ové složky rychlosti pro každý vektor v poli.

Přílohy číslo 5 a 6 jsou příklady vektorových obrazů rychlostních polí vyhodnocených z již zmíněných obrazů unášených částic. Do těchto vektorových polí byly pro větší názornost dodatečně zakresleny hranice pevných překážek v proudovém poli.

Při posuzování vektorových polí je nutno vzít v úvahu principiální vlastnost měřicí metody PIV – potlačování extrémního gradientu mezi pevnou překážkou (tedy nulovou rychlostí) a proudem v poli. Důsledkem je vytváření malých vektorů v místech kde by měla být nulová hodnota (uvnitř překážky) a zmenšování velikosti vektorů v těsném sousedství stěny. Pro podrobnější studium těchto oblastí by bylo nutno přemístit kameru blíže k objektu a provést detailnější měření. Vektorová pole sice poskytují objektivní informaci ale, jak již bylo zmíněno, někdy ne zcela pravdivou. Naproti tomu fotografie unášených částic sice poskytují pouze subjektivní informaci ale umožňují studovat i velmi jemné detaily v sousedství pevných překážek. Nejlepší subjektivní dojem o charakteru daného proudění je potom možno získat opakovaným pozorováním animovaných sérii těchto snímků.

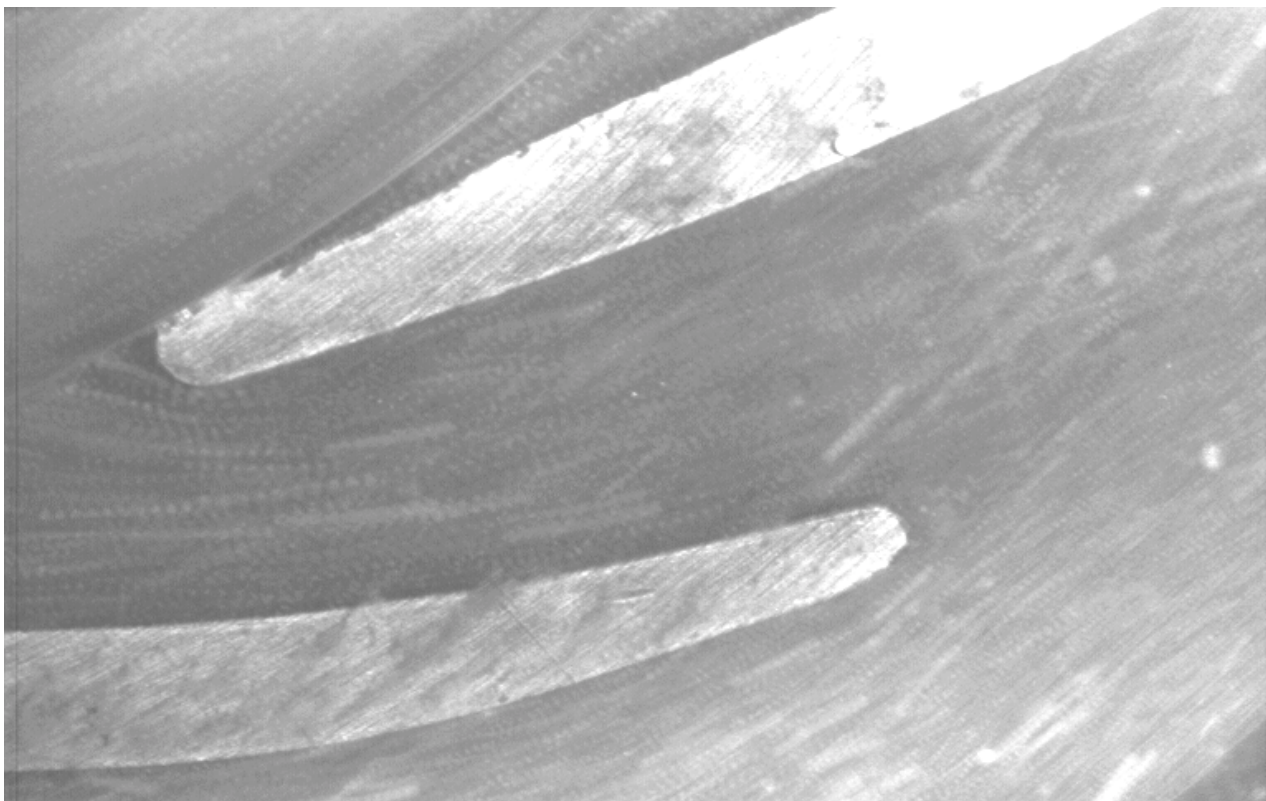
Kromě výše popsané problematiky měření poměrně rychlého proudění v obtížných podmínkách jsem také aplikoval PIV na proudění s nižšími rychlostmi v menších modelech a čistějším mediem a mohu konstatovat, že po přechodu na vyhodnocování vzájemnou korelací namísto autokorelace (podmíněno typem kamery) je tato měřicí metoda přímo ideální pro sledování nízkorychlostních nestacionárních dějů.



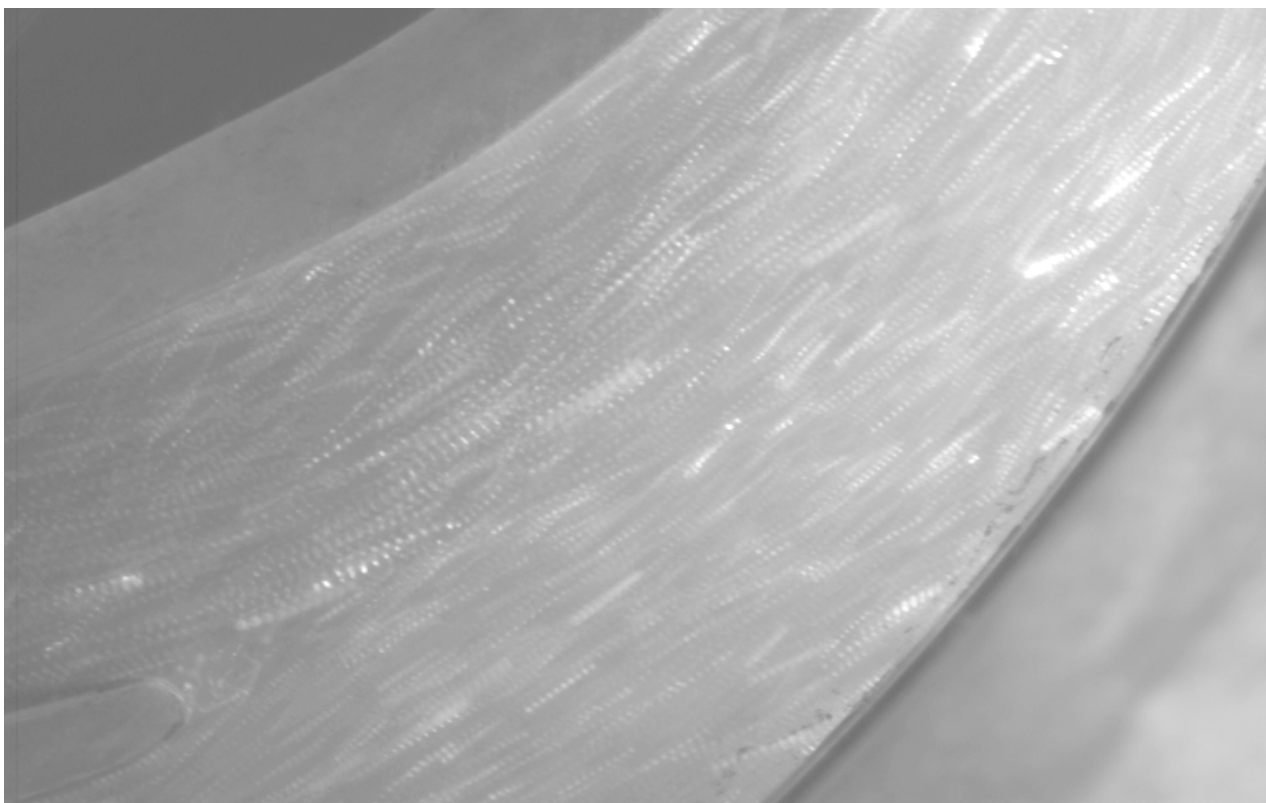
Příloha č.1 : celkový pohled na zkušební okruh.



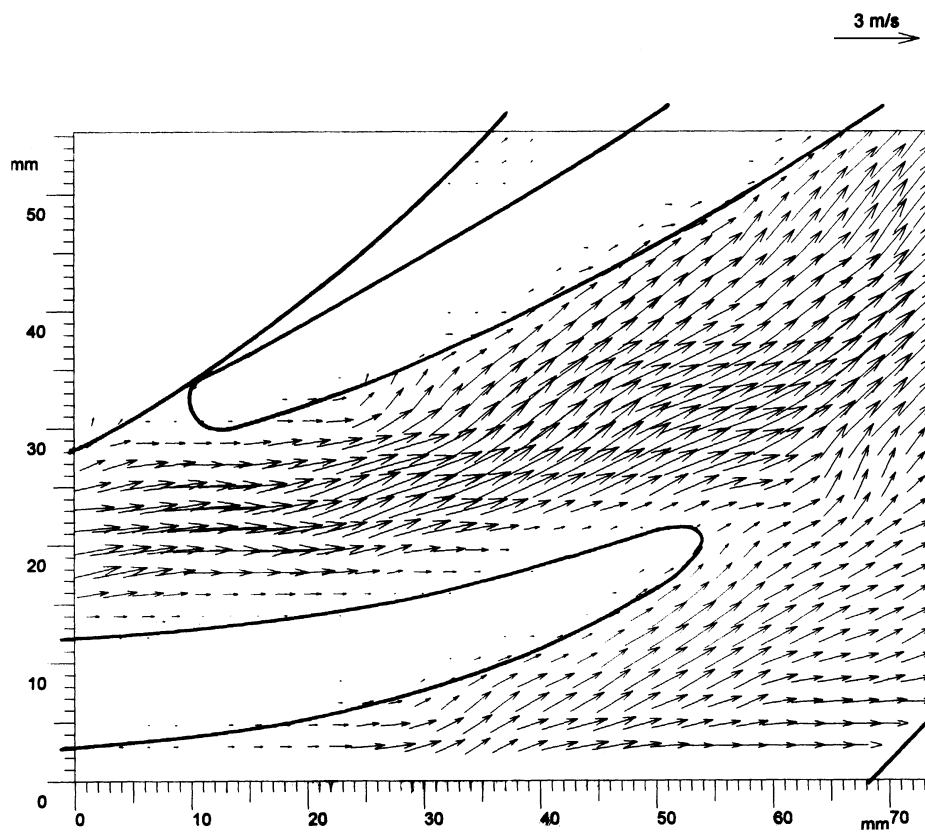
Příloha č.2 : měřicí komplet a rotočerpadlo.



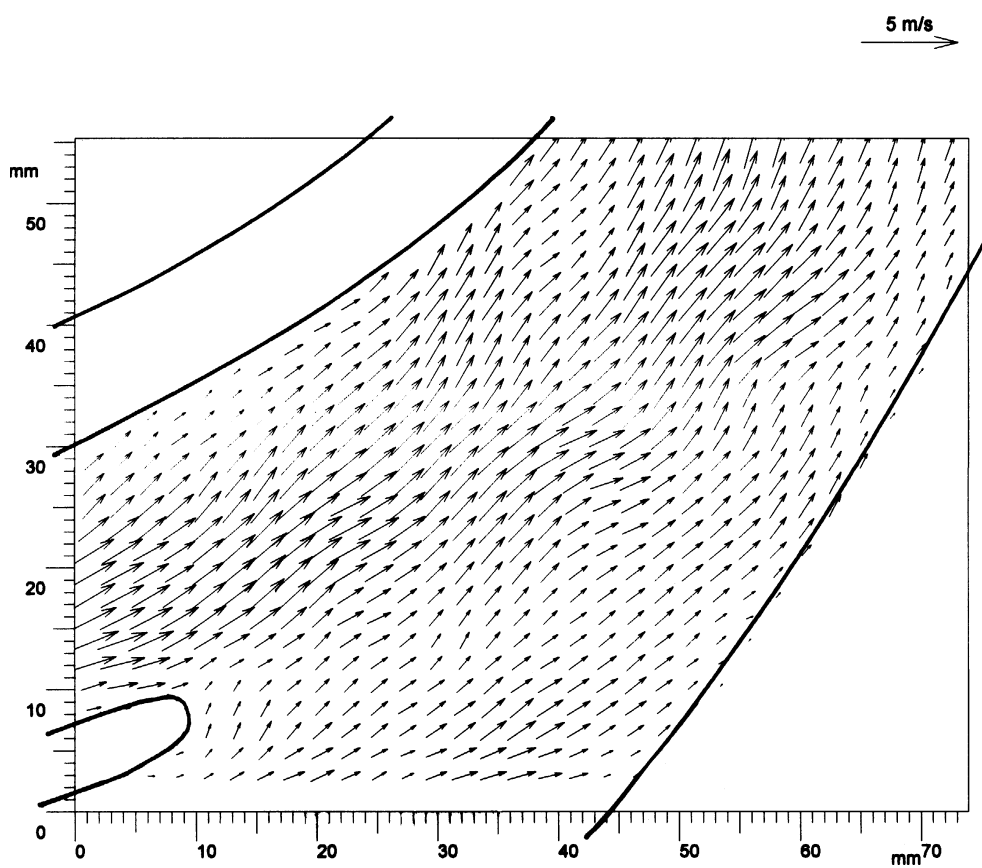
Příloha č.3 : fotografie unášených částic v mezilopatkovém kanále.



Příloha č.4 : fotografie unášených částic na výstupu z mezilopatkového kanálu do spirály.



Příloha č.5 : vektorový obraz rychlostního pole v mezilopatkovém kanále.



Příloha č.6 : vektorový obraz rychlostního pole na výstupu z mezilopatkového kanálu do spirály.