

## Měření proudových poměrů na rotočerpadle v roce 2002

### 1 Popis použitého měřicího zařízení

Byl použit měřicí komplet FlowMap pro měření metodou PIV od dánské firmy Dantec Dynamics. Souprava sestává z dvojitého pulzního Nd:YAG laseru s maximální energií v jednom záblesku 15 mJ, optických prvků (válcová čočka s dalšími optickými členy) vytvářejících laserovou světelnou rovinu, speciální digitální kamery, vyhodnocovacího procesoru a řídicího počítače třídy PC.

### 2 Zkušební trať

Pro měření byl využit existující zkušební okruh rotočerpada v laboratoři Odboru hydraulických strojů Victora Kaplana, Energetického ústavu, Fakulty strojní, VUT v Brně. Okruh sestává z čerpadla poháněného elektromotorem řízeným frekvenčním měničem, zásobní tlakové nádrže, propojovacího potrubí a armatur, indukčního průtokoměru a tlakových čidel před a za čerpadlem. Rotočerpadlo bylo v dílnách Sigma VVÚ již dříve upraveno zhotovením optického vstupu pro laser v boční stěně spirály. Pro měření v tomto roce byl na tomtéž pracovišti navíc upraven rozvaděč, zkrácením dvou lopatek, pro umožnění realizace měření proudění v mezilopátkovém kanálu oběžného kola.

### 3 Postup měření

Počátkem dubna 2002 bylo provedeno měření s využitím nového pulzního laseru v rozvaděči rotočerpada. Čerpadlo bylo v původní konfiguraci, tak jak bylo upraveno pro měření v roce 1999. Účelem bylo prověřit očekávané zlepšení kvality měření a především rozšíření oblasti měřitelných rychlostí na celý provozní rozsah čerpadla (původní osvětlovací systém se vyznačoval omezením maximální měřitelné rychlosti na 2 m/s a vyvolával nutnost provádět měření při značně snížených otáčkách).

Kvalita provedených měření plně potvrdila očekávání a oprávněnost nákupu nového pulzního laseru.

Vlastní měření sestávalo z:

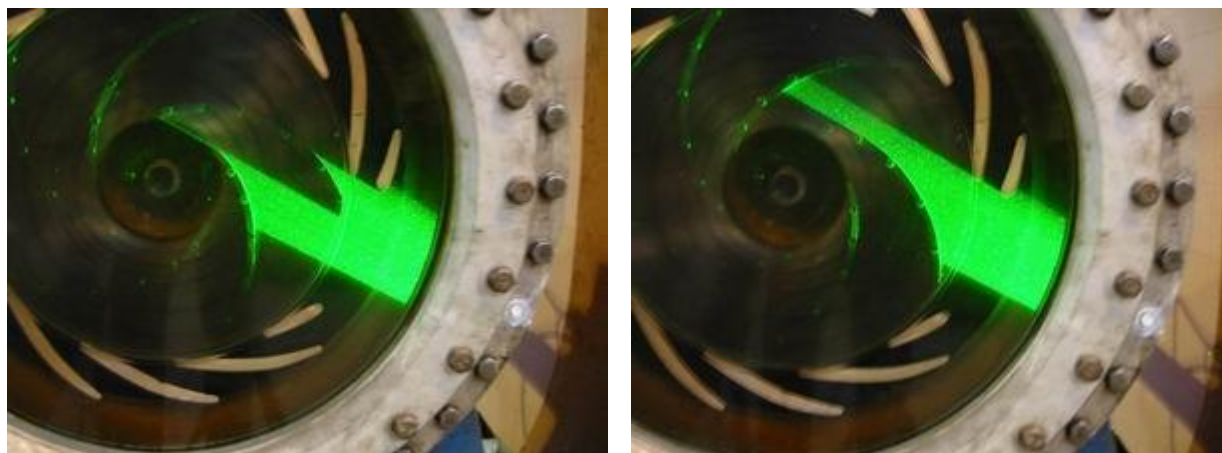
1. Několikerého napuštění vody do zkušební okruhu, rozběhnutí a zastavení čerpadla a vypuštění vody – zkušební trať trpí velkou „nectností“ vyplývající z použití obyčejných a ne nerezových ocelových trub – voda v okruhu se zakaluje rzí.
2. Optická soustava vytvářející laserovou světelnou stěnu byla ustavena do roviny ležící v polovině výšky mezilopátkového kanálu rozvaděče. Osvětleny byly dva sousedící kanály. Při průběžné snaze zahájit měření bylo zjištěno, že v zakalené vodě neumožní provádět PIV měření žádné zvyšování výkonu laseru.



**Obr. 1 Měření v rozvaděči rotočerpádlu**

3. Po vyčištění vody ve zkušebním okruhu bylo již možno provádět měření s využitím přirozeně se vyskytujících částic. Po přidání částic získaných z odpadu výroby polystyrénu (levné částice kterými je možno sytit větší objemy vody) však bylo dosaženo výrazně vyšší kvality měření.
4. Postupně bylo vždy měřeno několik dlouhých sérií okamžitých stavů rychlostního pole popisujících jeden konkrétní režim chodu čerpadla spolu s údaji o otáčkách, průtoku a tlacích na sání a na výtlaku z čerpadla.

Koncem dubna 2002 proběhlo jednání s pracovníky Sigma VVÚ. Na základě všech doposud získaných zkušeností a požadavků na následující experiment bylo rozhodnuto o provedení dalších konkrétních úprav na rotočerpádle (zmíněno již v kapitole 2) a byl stanoven předběžný plán následujícího měření v oběžném kole.



**Obr. 2 Osvětlování mezilopatkového kanálu v oběžném kole**

Po provedení všech potřebných úprav na modelu (včetně zhotovení a přešetření nového průhledného krycího disku kola a natření všech potřebných ploch uvnitř čerpadla speciální matnou černou barvou) bylo v polovině listopadu 2002 opět zahájeno měření. Následovala další konzultace s pracovníky Sigma VVÚ a byl stanoven následující plán měření v oběžném kole:

1. Provést měření pro 3 průtoky a to při otáčkách 1200/min ( $Q = 24 \text{ l/s}$ ,  $Q = 12 \text{ l/s}$ ,  $Q = 8 \text{ l/s}$ ).
2. Pro každý průtok získat sérii měření (po 30 vzorcích) pro 5 různých poloh lopatky oběžného kola vůči statoru.
3. Vyhodnotit okamžité i časově střední hodnoty složek rychlosti.
4. Provést pro vhodné otáčky vizualizaci počátku kavitace.

Dle postupu uvedeného výše bylo do konce listopadu 2002 měření provedeno. Následující tabulka obsahuje přehled provozních parametrů čerpadla tak, jak je změřili pracovníci Odboru hydraulických strojů Victora Kaplana, při kterých byla zatím poslední etapa měření metodou PIV na rotočerpadle provedena.

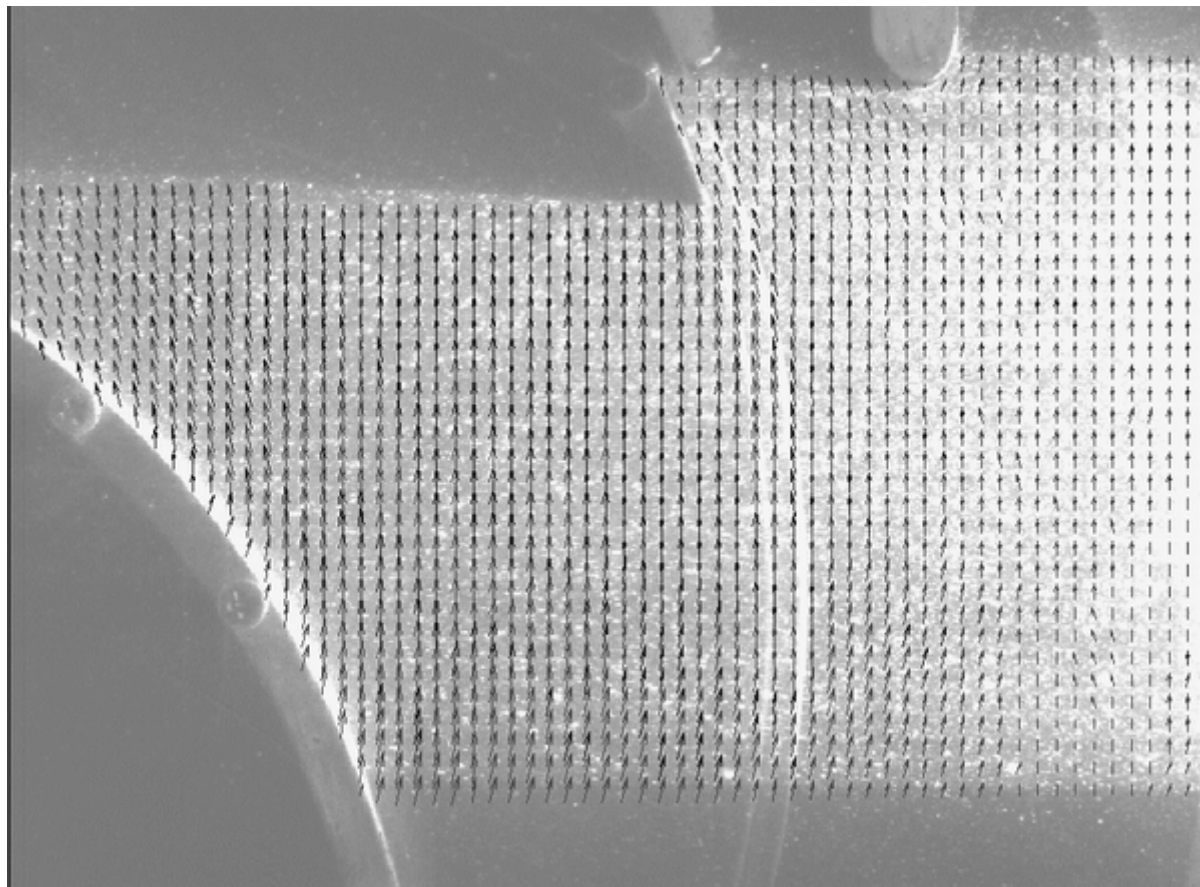
označení režimů	průtok [l/s]	tlak na sání čerpadla [kPa]	tlak na výstupu z čerpadla [kPa]	úloha
P3/S1÷S8	23,9	97,1	232,0	měření rychlostních polí
P4/S1÷S8	12,2	102,9	257,0	měření rychlostních polí
P5/S1÷S8	7,8	104,1	264,8	měření rychlostních polí
P6/S1	24,0	89,6	226,8	vizualizace kavitace
P6/S6	10,7	86,3	242,8	vizualizace kavitace
F3	24,3	80,0	210,0	vizualizace kavitace



Obr. 3 Kavitační jevy v oběžném kole a rozvaděči rotočerpadla

Obrázek číslo 4 je příkladem zobrazení vyhodnoceného rychlostního pole na pozadí vstupní obrazové informace.

Pro objektivní porovnání výsledků matematického modelu s výsledky experimentu lze informaci o vyhodnocených vektorových polích kvantifikovat formou tabelárních hodnot x-ové a y-ové souřadnice a velikosti x-ové a y-ové složky rychlosti pro každý vektor v poli.



**Obr. 4 Měření v oběžném kole rotočerpadla**

## **4. Závěr**

Komplikované geometrické protékané prostory hydraulických prvků nutně vyžadují realizaci upravených optických vstupů a případné využití synchronizace polohy osvětlovaného prostoru („světelného nože“) vzhledem k poloze pohybujícího se prvku – nejčastěji otáčejícího se oběžného kola. Tento způsob byl úspěšně již několikrát realizován při využití bezkontaktního způsobu měření (LDA nebo PIV). Použitím pulzního laserového zdroje se však pro tento způsob měření „otvírají“ širší možnosti detailnějšího a spolehlivějšího rozboru při vyšších rychlostech změn snímání.

Ing. Pavel Zubík, Ph.D.

Brno 12.12.2002