LDA MEASUREMENT NEAR CAVITATION CENTRE OF VORTEX

LDA MĚŘENÍ V OKOLÍ KAVITUJÍCÍHO JÁDRA VÍRU

P. Zubík*

Abstrakt: Technique and results of measurement of flow parameters in the piping model of circular cross section with generator rotation and following convergent-divergent nozzle are presented. The contact-less measuring technique, i.e. Laser Doppler Anemometry (LDA), were used for the measurement of mean and pulsation velocity components. The results of measurement were destined for subsequent calibration and verification of mathematical models of turbulent flow.

Úvod

V laboratoři Odboru fluidního inženýrství Victora Kaplana, Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně byl proveden experiment na objednávku Ing. Pavla Rudolfa – řešitele výzkumného projektu podporovaného Grantovou agenturou České republiky „Kavitující vírové struktury vyvolané rotací kapaliny“ reg. č.: 101/09/1715. Projekt se zabývá studiem kavitujících vírových struktur vznikajících jako následek nestability proudění rotující kapaliny. Cílem je nalezení matematického modelu pro pohyb a pulzace těchto struktur, zjištění podmínek pro jejich vznik a zpřesnění numerických modelů pro jejich simulace. Práce se opírá o teoretickou analýzu metodami mechaniky kontinua, výpočtové modelování vlastním i komerčním softwarem, experimentální výzkum a vizualizace proudění. Předpokládané výsledky přispějí k hlubšímu pochopení dvoufázového proudění s kavitací a vlivu okrajových podmínek na stabilitu proudění. Následující text stručně prezentuje průběh a výsledky experimentu. K měření byla použita bodová laserová anemometrie (Laser Doppler Anemometry (LDA)) – posloužila k měření rozložení podélné a obvodové složky rychlostí a jejich turbulence ve zvolených radiálách.

Zkušební trať, model

V prostorách Odboru fluidního inženýrství V. Kaplana byl pro daný účel vyroben hydraulický okruh s modelem předmětného kanálu včetně vstupního a výstupního úseku (obr. 1).

Vzhledem k záměru použít pro měření rychlostí LDA byla příslušná část modelu – konvergentně-divergentní tryska vyrobena z plexiskla. V oblasti zamýšleného měření – válcová část nejmenšího průměru mezi konfuzorovou a divizorovou oblastí trysky byla vnější válcová plocha obrobena tak, aby vzniklo rovinné rozhraní mezi materiálem modelu a okolním vzduchem. Na obr. 1 je měrný profil (MPF) označen přerušovanou čarou. Měřeno bylo v sadě bodů ležících na přímce kolmé na osu potrubí (dvou protilehlých radiálách). Celkový pohled na model je na obr. 2. Protiproudně před tryskou je umístěna pevná radiální lopatková mříž – generátor rotace, vytvářející silný centrální vír v trysce.

Použitá měřicí souprava pro LDA

Argonový laser výrobce Ion Laser Technology Model 5500A, max. výkon 300 mW, optická souprava pro dvousložkové měření dopřednou i zpětnou metodou, výrobce DISA typ 55X a procesor, výrobce Dantec typ BSA. V každém měrném bodě bylo zaznamenáváno 300 až 20 000 vzorků s nepravidelnou frekvencí v rozpětí 30 až 5000 Hz dle aktuálních optických

* Ing. Pavel Zubík, Ph.D.: Ústav vodních staveb, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně; Veveří 331/95, 602 00 Brno; tel.: 541 147 296, fax: 541 147 288; e-mail: Zubik.P@fce.vutbr.cz

podmínek. Dodatečné sycení nebylo prováděno – byly využívány přirozeně se vyskytující částice ve vodě z vodovodního řádu.

Problematika LDA měření přes válcové rozhraní

Tato problematika je podrobně popsána v [1]. Ve zde popisovaném případě je úloha výrazně zjednodušena tím, že osa měřicí optické soustavy a podélná osa potrubí ležely vždy v jedné rovině a byly na sebe kolmé. Dvojice laserových svazků sloužících k měření podélné složky rychlosti za této situace podléhá stejným zákonitostem jako při měření přes rovinnou plochu. Vztah mezi posunem optické soustavy ležící vně potrubí a posunem průsečíků svazků ležícího uvnitř potrubí je lineární a je dán pouze poměrem indexů lomu vnitřního a vnějšího prostředí. V případě obvodové složky rychlosti je tento vztah nelineární z důvodu měnícího se úhlu dopadu svazků na stěnu potrubí při posuvu směrem dovnitř potrubí (rovinná plocha na vnějším povrchu modelu tento efekt výrazně snižuje). Na obr. 4 je graf znázorňující rozdíl mezi skutečným posunem průsečíků laserových svazků ležících v rovině osy potrubí (sloužících k měření podélné složky rychlosti) a ležících v rovině kolmé na osu potrubí (sloužících k měření obvodové složky rychlosti). Z tohoto důvodu nebylo možno provádět synchronní měření obou složek rychlosti (ačkoli byla k dispozici kompletní dvousložková souprava LDA měřicí techniky). Měření bylo prováděno po jednotlivých složkách.

Problematika LDA měření přes kvitující jádro centrálního víru

Měřeno bylo při čtyřech různých průtocích – 4,6, 6,9, 8,1, 10 a 14,2 [l/s]. Při nejnižším průtoku nevznikalo viditelné kvitující jádro víru a měření podélné a obvodové složky rychlost bylo bez větších problémů možno provádět dopřednou i zpětnou metodou. S narůstajícím průtokem se v okolí osy trysky vytvářelo zvětšující se viditelné kavitační jádro (obr. 3). Oproti očekávání i za této situace (přijímané odražené světlo od částic nebo vstupní laserové svazky museli projít skrz kavitační oblast) vykázala dopředná metoda vždy lepší výsledky – větší datový tok. Samozřejmě, se zvětšujícím se průměrem kavitačního jádra se úspěšnost měření snižovala a měření při největším uváděném průtoku již bylo na hranici daných možností.

Vzhledem ke geometrickým podmínkám modelu bylo zřejmé, že rychlostní pole bude rotačně symetrické a že by v zásadě stačilo měřit pouze na jedné radiále. Pro kontrolu byla snaha měřit na dvou protilehlých radiálách.

Z průběhu provedených měření jednoznačně vyplynulo, že pro získání přijatelně kvalitních výsledků je podstatně menší překážkou průchod odraženého světla od unášených částic skrz kavitační jádro (velmi ztížené optické podmínky) než průchod vstupních laserových svazků skrz kavitační jádro. Jinak řečeno – i při použití dopředné metody je lépe umístit měrné body před opticky zhoršenou oblast než za ní.

Porovnání průtoku vypočteného ze změřených podélných složek rychlosti s průtokem měřeným indukčním průtokoměrem, zabudovaném v okruhu prokázalo pro tři menší průtoky rozdíly do dvou procent, pouze při největším průtoku byl rozdíl 4 %.

Výsledky měření

Na obr. 5 a 6 je průběh časově středních hodnot podélné a obvodové složky rychlosti od vnější stěny k ose trysky, případně až k protější stěně (osa kanálu je 15 mm od stěny). Na obr. 7 a 8 je průběh hodnot fluktuací podélné a obvodové složky rychlosti od vnější stěny k ose trysky.

Ze všech uvedených grafu je zřejmé, že měření při největším průtoku není možno brát za dostatečně spolehlivé (i když průtok vypočtený ze středních hodnot podélné složky vychází

dobře, jak je uvedeno výše). Evidentně nejvíce citlivou položkou, na optické podmínky měření, je střední hodnota obvodové složky (obr. 6) – hodnoty za osou trysky (na protilehlé radiále) nejsou při třech největších průtocích věrohodné.

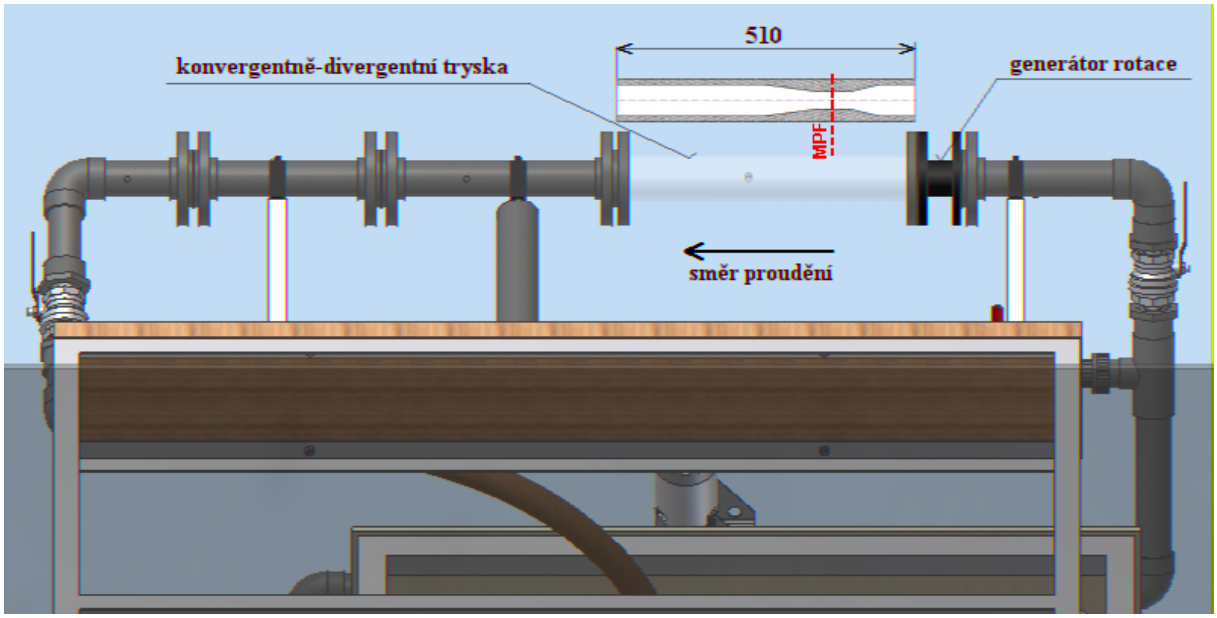
Závěr

Provedený experiment je nezbytný pro verifikaci výpočetního modelování.

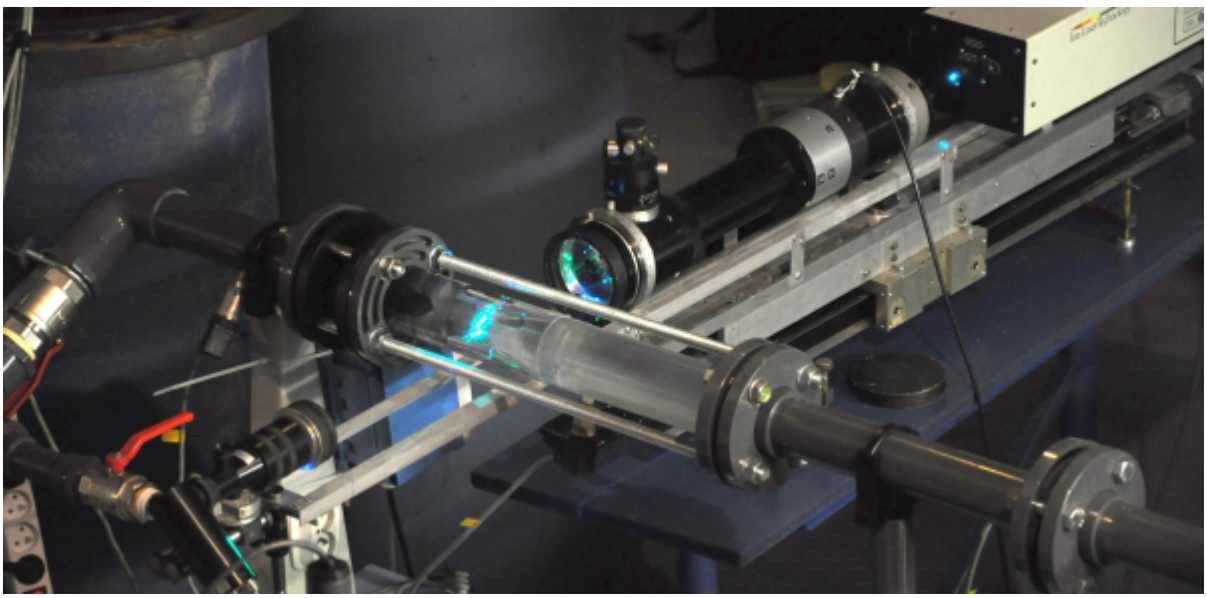
Grantové agentuře České republiky patří poděkování za financování tohoto výzkumného projektu.

Literatura

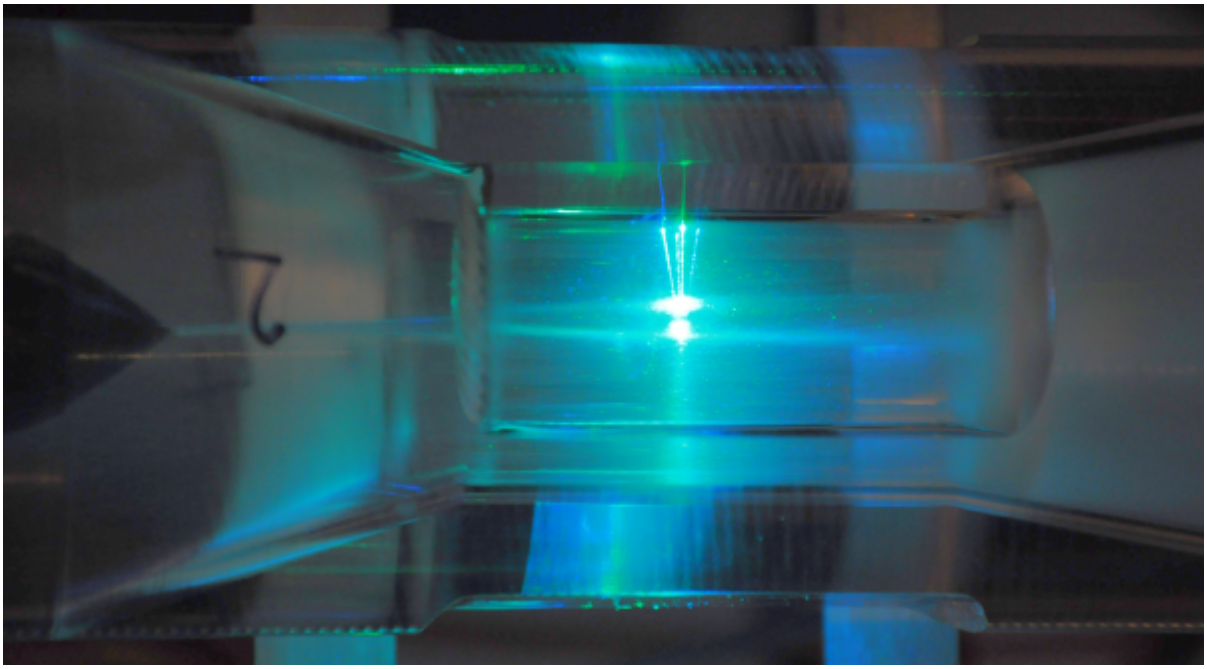
Severa M., Ditl P., Šedivý V. (2001) Korekce LDA dat při měření ve válcových nádobách. In.: 17. Sympozium o anemometrii. Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Úvaly u Prahy 2001, s. 75-84. ISBN 80-238-7138-2.



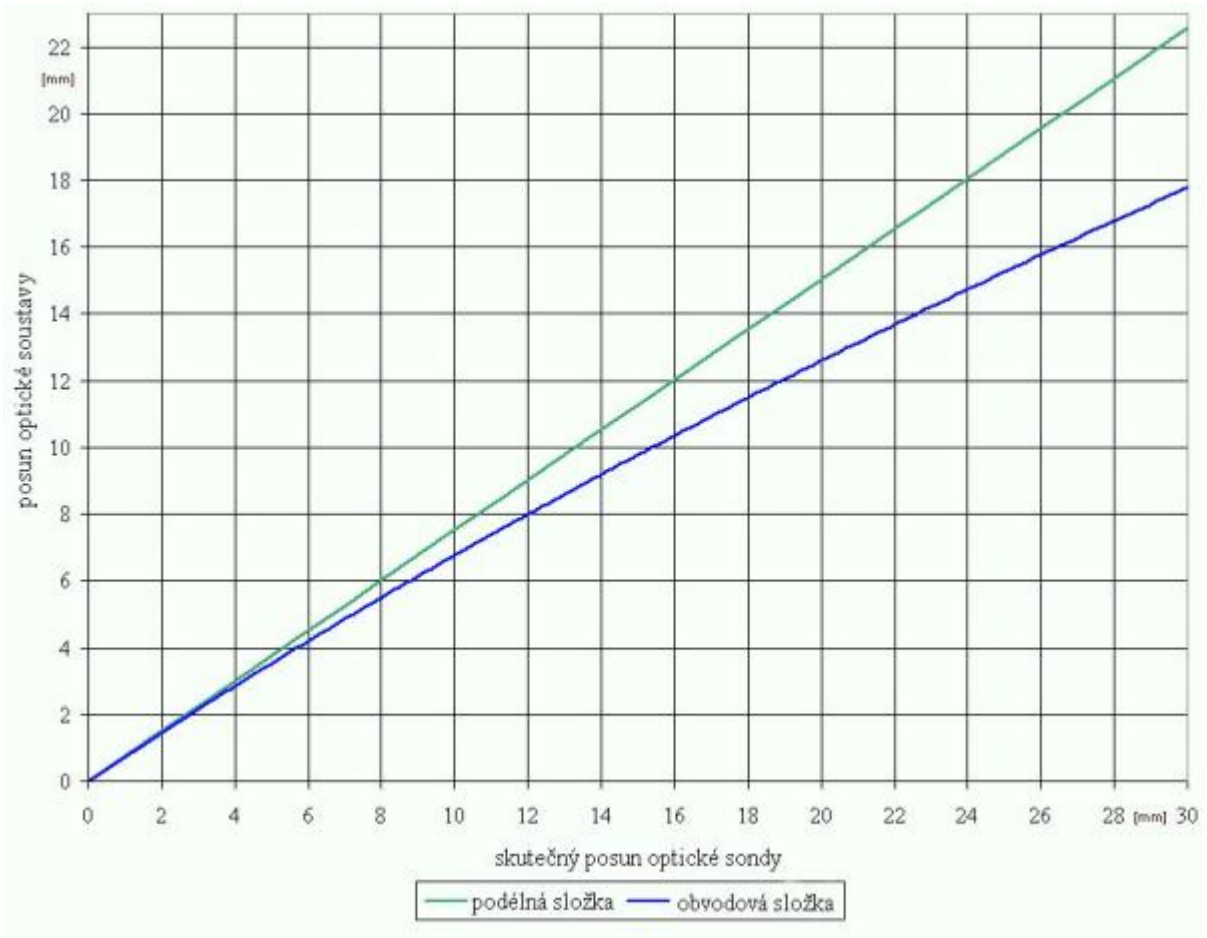
Obr.1 Schéma měrné trati a podélný řez tryskou



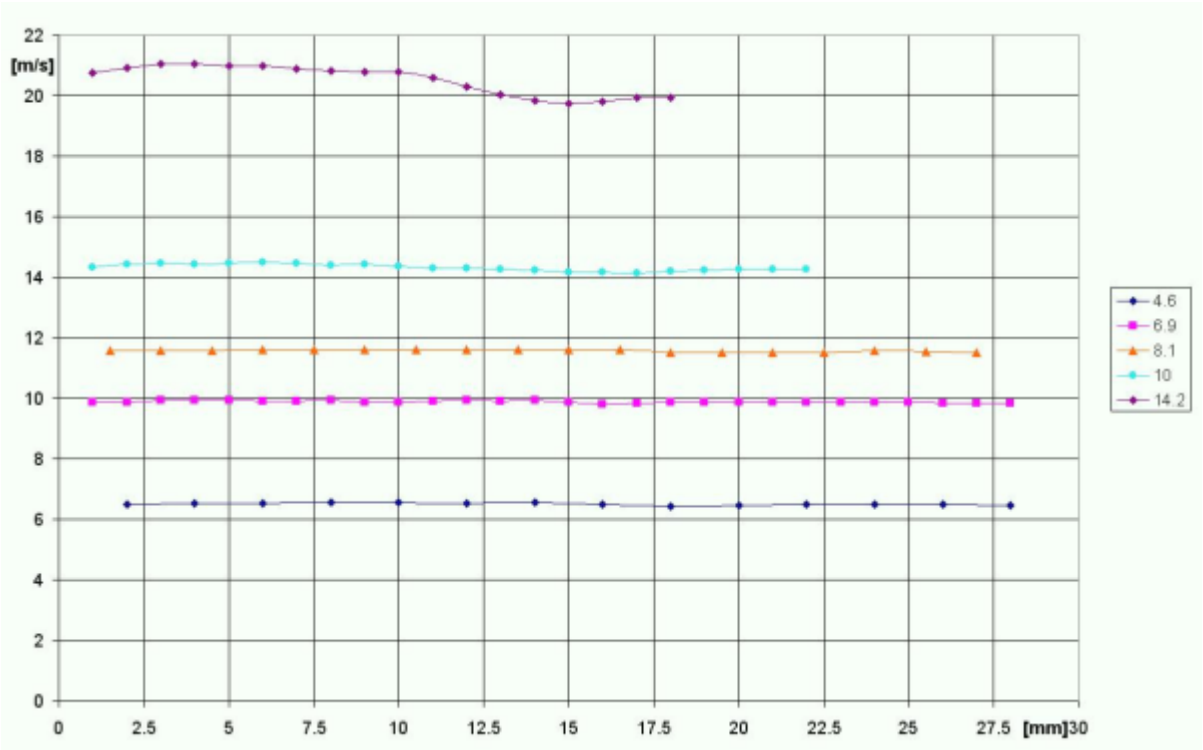
Obr.2 Celkový pohled na model



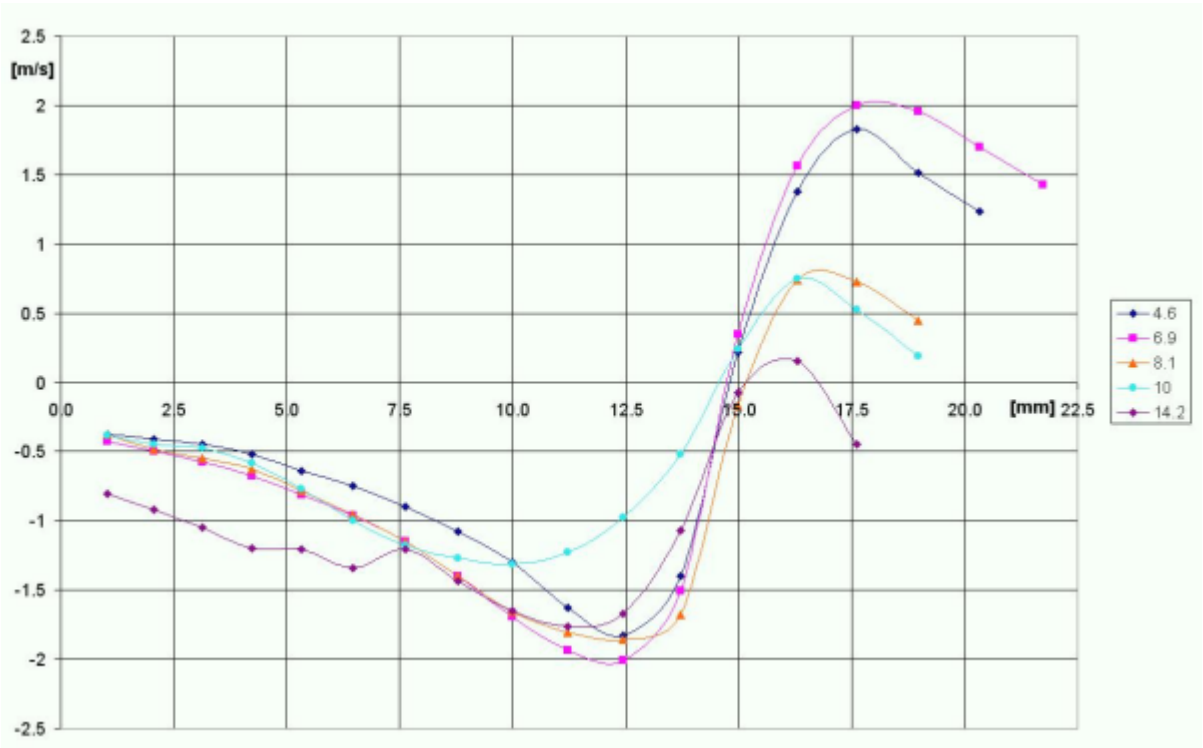
Obr.3 Detailní pohled na model s viditelným kavitačním jádrem centrálního víru



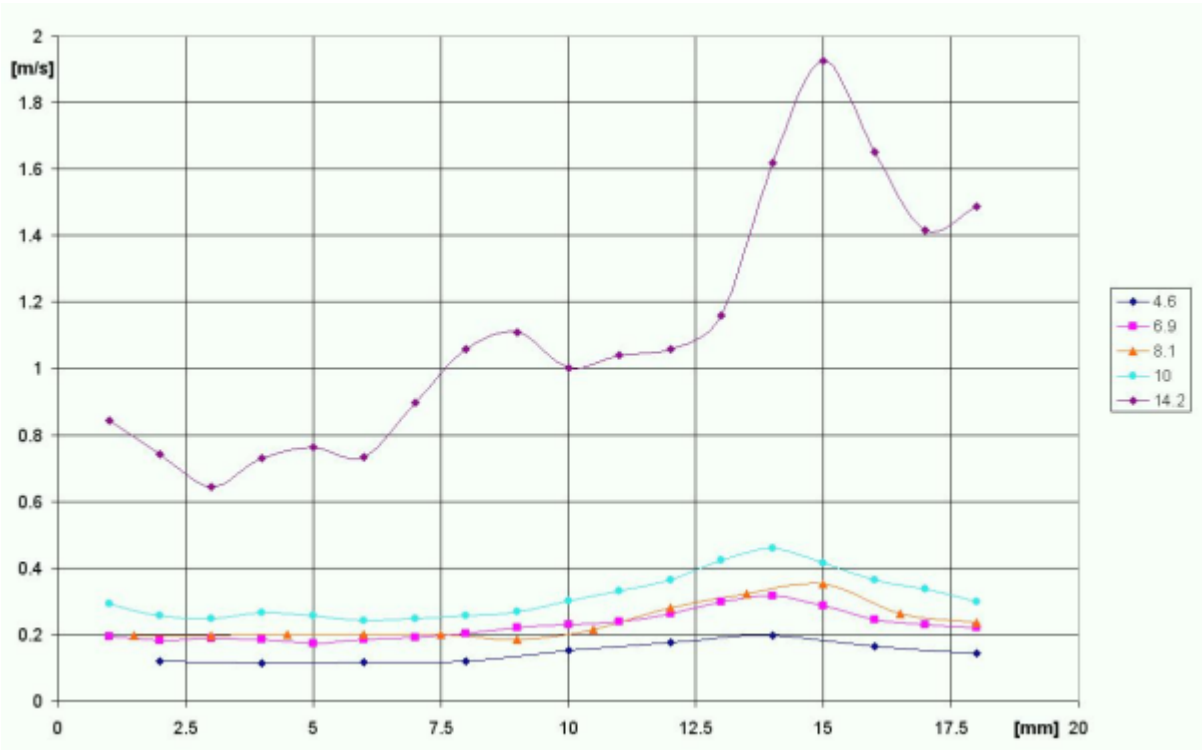
Obr.4 Vztah mezi posunem průsečíků laserových svazků a posunem optické soustavy ve válcové dutině o průměru 30 mm s rovinnými vnějšími plochami



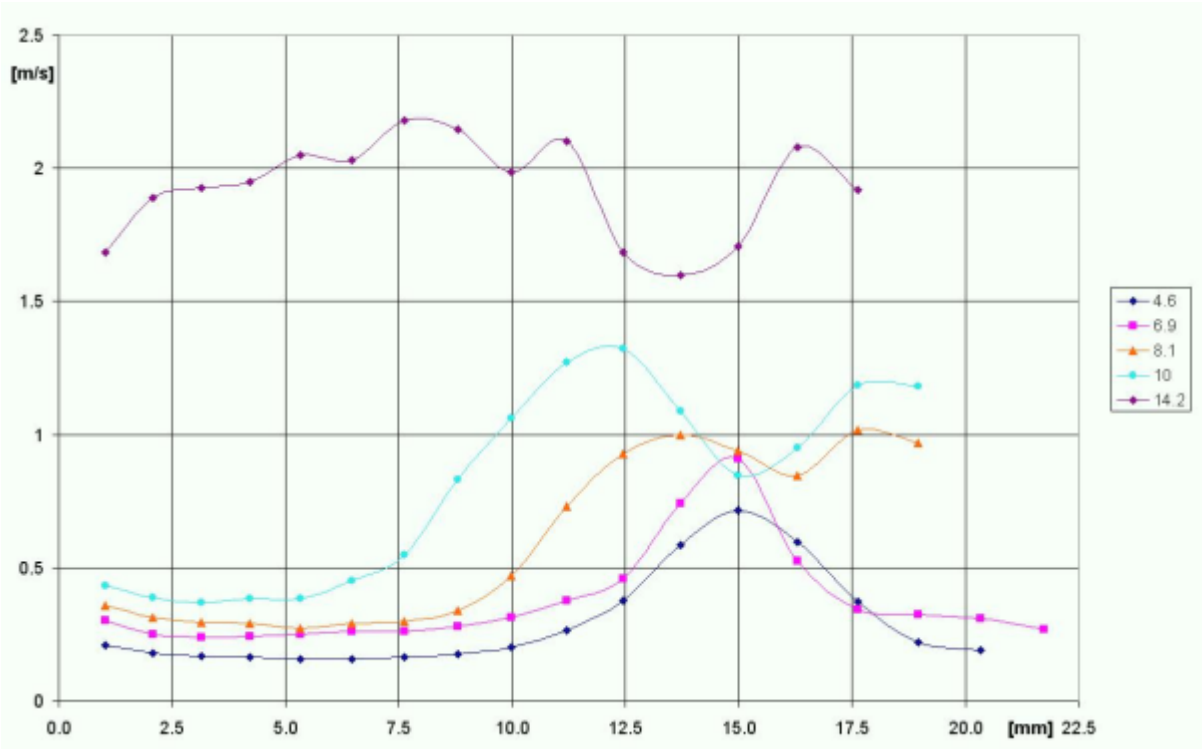
Obr.5 Průběh časově středních hodnot podélné složky rychlosti pro různé průtoky [l/s]



Obr.6 Průběh časově středních hodnot obvodové složky rychlosti pro různé průtoky [l/s]



Obr.7 Průběh hodnot střední kvadratické odchylky (fluktuací) podélné složky rychlosti pro různé průtoky [l/s]



Obr.8 Průběh hodnot střední kvadratické odchylky (fluktuací) obvodové složky rychlosti pro různé průtoky [l/s]