

KONSTRUKCE FÁZOVĚ DOPPLEROVSKÉHO ANEMOMETRU PRO URČOVÁNÍ VELIKOSTÍ BUBLIN V ŠIROKÉM MĚŘENÉM PROSTORU

Design of Phase Doppler Anemometer for Bubbles Dimension Determination in Large Volume

Jan Hošek

Abstract: This paper presents a design of phase Doppler anemometer applied for bubbles dimension distribution determination contained in the volume of 20 liters of super pure water. In other to inspect the all bubbles a phase Doppler technique has to be extended from local measurement volume to the large volume with cross section 1 cm^2 . This approach expects small number of bubbles in the measurement volume simultaneously to facilitate data processing.

Key words: Phase Doppler Anemometer, Bubble, Large Cross Section

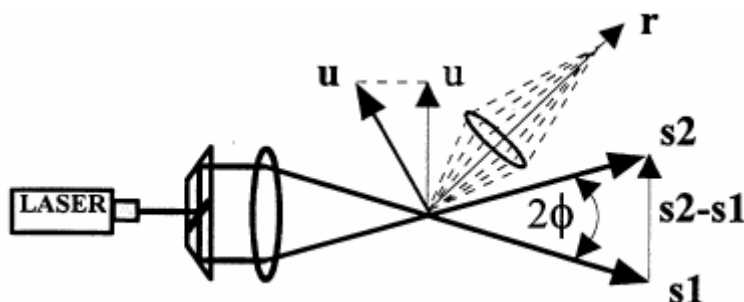
1. Úvod

Kavitační procesy vznikající v hydrodynamických strojích následky tlakových změn bublin obsažených v proudící tekutině hrají významnou úlohu na poškození a životnost všech jejich tuhých částí obtékaných tekutinami. Účinek kavitačního procesu závisí na řadě faktorů, jakými jsou například typ materiálu, rychlost a úhel dopadu a hlavně velikost a počet bublin nesených proudem. Zatímco první tři faktory jsou poměrně jasně dány hydraulickými a geometrickými parametry stroje, poslední dva faktory jsou obecně vlastností tekutiny a její historie [1]. Bubliny se do tekutiny mohou dostat turbulentním prouděním na rozhraní se vzduchem či obecně plyny, avšak mohou také vznikat lokálním varem uvnitř tekutiny v oblastech velkých smykových sil nebo záporných tlaků. Velikost takto vzniklých bublin se následně mění dle lokálních tlakových poměrů místa v tekutině, kde se daná bublina právě nachází. Z těchto důvodů může být rozdělení velikostí a počtu bublin v tekutině protékající hydrodynamickým strojem značně různorodé a obecně také časově proměnné. Pro určení aktuálního stavu rozdělení bublin v tekutině byla vyvinuta řada experimentálních metod shrnuté například v publikaci [2]. Tyto metody lze rozdělit na metody globální, sledující rozsáhlý měřený prostor – ultrazvukové metody, IPI – Interferometric Partical Imaging, holografické metody, Global Phase Doppler anemometrie a metody lokální sledující malý prostor metody, jako je měření rozptylu záření nebo Phase Doppler anemometrie, které však mohou mít kontinuální analogový výstup.

Zařízení popisované v tomto článku je vyvíjeno pro určení rozdělení velikostí a počtu všech zárodečných bublin v superčisté vodě o objemu 20 litrů. Aby bylo možné odhalit všechny bubliny od jisté kritické velikosti, musela být zvolena měřicí metoda s dostatečně vysokou vzorkovací frekvencí. Pro průtok tekutiny přes měřicí komoru o průřezu 1 cm² rychlostí 150 mm/s vychází čas kontinuálního měření cca 20 minut. Odtud při obvyklé tloušťce měřicího prostoru globálních metod 1 mm činí minimální vzorkovací frekvence měření globálními metodami, kde detektor je většinou CCD kamera s vysokým rozlišením, na 400 Hz. Pro dodržení této frekvence by bylo nutné použít rychlokameru. Běžné rychlokamery však nejsou schopné provádět kontinuální záznam po celou dobu experimentu a kameru s filmovým pásem nemáme k dispozici. Proto bylo nutné použít některou z lokálních metod s kontinuálním výstupem a rozšířit jejich měřicí prostor na rozměr průřezu měřicí komory.

2. Fázová Dopplerová anemometrie

Fázová Dopplerová anemometrie [3] je experimentální metoda pro určení rychlosti a velikosti částice procházející soustavou lokalizovaných interferenčních proužků dvou laserových svazků, jak je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1 Schéma měření rychlosti částice pomocí Laser Dopplerovského anemometru.

Vlivem pohybu částice přes soustavu interferenčních proužků dojde vlivem Dopplerova jevu k frekvenčnímu posunu rozptýleného záření od obou osvětľujících svazků. Ty pak ve vzdáleném poli interferují za vzniku optické zázněje, jejíž frekvence je úměrná velikosti složky rychlosti částice u v normále soustavy interferenčních proužků a lze ji určit ze vztahu:

$$f_d = f_1 - f_2 = f + \frac{\vec{u} \cdot (\vec{r} - \vec{s}_1)}{\lambda} - f - \frac{\vec{u} \cdot (\vec{r} - \vec{s}_2)}{\lambda} = \frac{2u \sin \phi}{\lambda} \quad (2.1)$$

Frekvence interferenčního zázněje částicí rozptýleného záření je do všech směrů stejná, avšak mění se čas jeho příchodu. Pro případ, kdy nebude použit pouze jeden snímač intenzity rozptýleného záření, ale dva nebo více snímačů vůči sobě úhlově posunutě, budou všechny snímače detektovat stejný zázněj, avšak fázově posunutý. Pro hodnotu fázového posunutí lze na základě geometrické optiky odvodit vztahy:

$$\Phi_{12} = C_2 d = \frac{2\pi d}{\lambda} \frac{\sin \phi \sin \psi}{\sqrt{2(1 + \cos \phi \cos \psi \cos \theta)}} \quad (2.2)$$

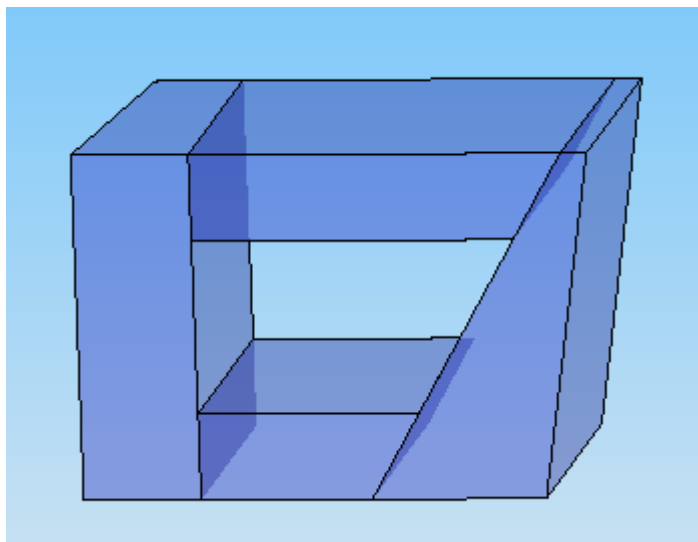
pro odražené paprsky a:

$$\Phi_{12} = -C_1 d = -\frac{2\pi d}{\lambda} \frac{n \sin \phi \sin \psi}{\sqrt{2(1 + \cos \phi \cos \psi \cos \theta) [1 + n^2 - n\sqrt{2(1 + \cos \phi \cos \psi \cos \theta)}]}} \quad (2.3)$$

pro lomené paprsky, kde d je průměr částice, λ je vlnová délka, n je relativní index lomu, ϕ je poloviční úhel mezi ozařujícími svazky, θ je úhel rozptylu a ψ je úhel snímačů nad a pod rovinu obou svazků. Protože tyto funkce jsou různé, dochází obecně ke zkreslení vyhodnocení měření velikosti částice. Nicméně je možné nalézt pro daný relativní index lomu částice n hodnotu rozptylného úhlu θ takovou, že hodnoty fází Φ obou závislostí jsou shodné [4]:

$$\theta = \arccos \left[\frac{1}{\cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \cos \psi} (2n^2 - 1) \right], \text{ pro } n < 1 \quad (2.4)$$

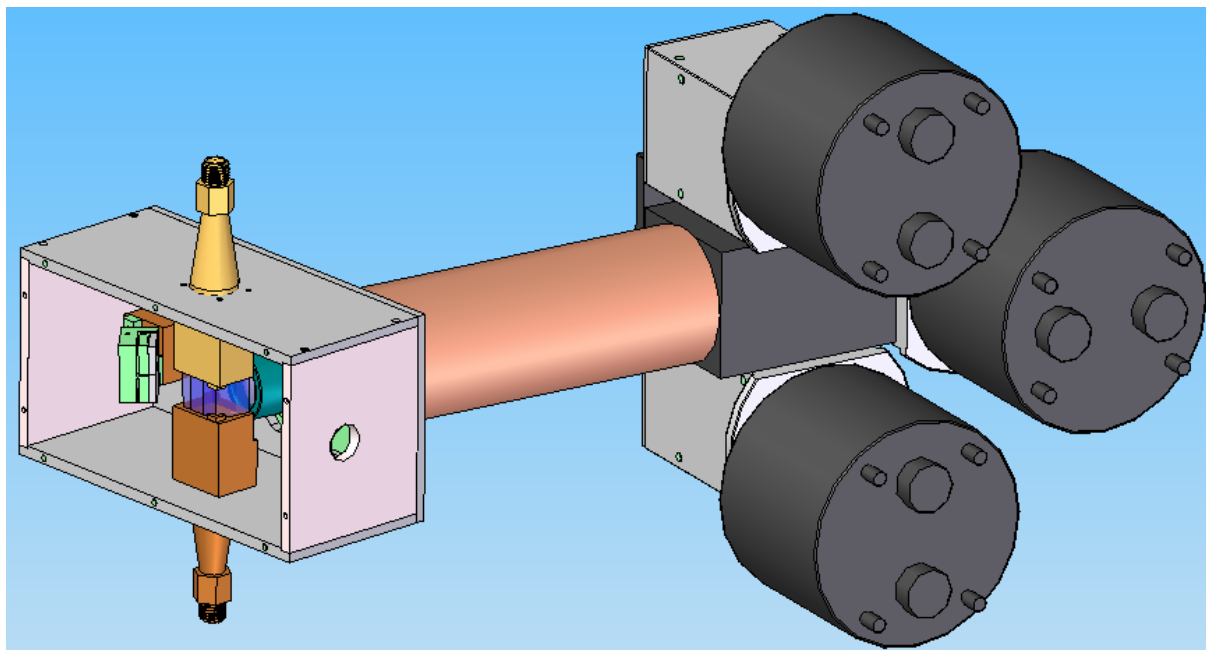
Pro vzduchovou bublinu ve vodě $n = 0,752$ a uvažované úhly $\phi = 3^\circ$ a $\psi = 4^\circ$ vychází jako optimální úhel pro měření hodnoty fázového posunutí $\theta = 82,47^\circ$. Nevýhodou tohoto úhlu měření rozptýleného světla je nízká účinnost rozptylu, takže bude nutné pro měření použít velmi citlivé fotodetektory – fotonásobiče a minimalizovat vliv nežádoucího rozptýleného světla. Aby bylo možné měřit pomocí fázově Dopplerovské anemometrie pod požadovaným úhlem θ celý průřez měřeného profilu, zkonstruoval jsem měřicí komoru tak, aby bylo možné měřit celý profil pod libovolným úhlem $\theta = 90^\circ - 60^\circ$ a přitom osvětlovací svazky vystupovaly z měřicí komory v horizontální rovině. Konstrukce navržené měřicí komory je zobrazena na obrázku 2:



Obr. 2 Konstrukce komůrky pro měření rozptýleného záření z celého profilu pod úhly $\theta = 90^\circ - 60^\circ$.

Na základě směrové citlivostní analýzy metody fázové Dopplerovské anemometrie pro zvolený úhel měření byl navržen a zkonstruován celý experimentální stand, na kterém bude měření probíhat. Pro minimalizaci vlivu rozptýleného záření je celé zařízení světlotěsně uzavřeno a nežádoucí záření je eliminováno soustavou clon a optických pastí. Přesto konstrukce umožňuje značnou variabilitu volby měřicího úhlu a předpokládá se její doplnění o možnost globálního měření difrakčních obrazců jednotlivých bublin pomocí externí

trigované CCD kamery pro detekci bublin velmi malých rozměrů. Ukázka konstrukce experimentálního zařízení je uvedena na obrázku 3:



Obr. 3 Konstrukce celého experimentálního zařízení pro měření rozdělení velikosti zárodečných bublin v superčisté vodě pomocí metody fázové Dopplerovské anemometrie.

3. Závěr

Bylo navrženo experimentální zařízení pro měření rozdělení velikosti zárodečných bublin v superčisté vodě pomocí metody fázové Dopplerovské anemometrie. Měřený prostor v tomto zařízení vyplňuje celý profil komůrky o rozměru 1 cm^2 . Nejistota určení fázového posunutí v důsledku přítomnosti záření pod jinými než návrhovými úhly θ , ϕ a ψ je omezena soustavou clon tak, dosahovala maximální odchylky 3%. Celé zařízení bude vyrobeno a uvedeno do experimentálního provozu v druhé polovině roku 2008.

Tento projekt je podporován grantem GA ČR č. 101/07/1612.

Literatura

- [1] C. E. Brennen, *Cavitation and Bubble Dynamics*, Oxford University Press, New York, 1995.
- [2] J.-P. Franc, J.-M. Michel, *Fundamentals of Cavitation*, Kluwer Academic Publisher, New York, 2004.
- [3] H.-E. Albrecht, N. Damaschke, M. Borys, C. Tropea, *Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques*, Springer, Berlin, New York, 2002.
- [4] H. Qiu, W. Jia, Ch.-T. Hsu, M. Sommerfeld, High accuracy optical particle sizing in phase-Doppler anemometry, *Meas. Sci. Technol.* **11**, 142-151, 2000.