

## Pracovní úkoly

1. Proved'te kalibraci „optické sondy anemometru“. Použijte uspořádání navržené na obr. 4.6 – 5 v [2]. Parametry optické sondy získáte jednak měřením vzdálenosti interferenčních plošek v průsečíku laserových paprsků metodou projekce, jednak výpočtem z geometrie uspořádání. Oba výsledky porovnejte.
2. Připravte aparaturu k měření rychlosti částic. Zkontrolujte chod paprsků v detekční optice a vymejte prostorovou dírkovou clonu.
3. Na základě průběhu dopplerovských signálů optimalizujte dopplerovský signál na proudění vody v kyvetě.
4. Změřte frekvence dopplerovského signálu na souboru 60 – 80 částic. Převeďte hodnoty frekvence na hodnoty rychlostí. Graficky zpracujte rozložení rychlostí ve vodě formou histogramu. Histogram fitujte funkcí normálního rozdělení a z ní stanovte střední hodnotu rychlosti částic a standardní odchylku nalezeného rozdělení.
5. Diskutujte, jaký vliv na výsledek má to, že parametry optické sondy jsou měřeny ve vzduchu, zatímco měření rychlostí částic probíhá ve vodě.

## Teoretická část

Pro určení rychlosti částice detekované anemometrem platí následující vztah [1]:

$$v_x = \Delta v_D d_F \quad (1)$$

Kde  $v_x$  je příčná složka vektoru rychlosti částice,  $\Delta v_D$  je frekvence pulsů diferenciálního dopplerovského signálu a  $d_F$  je vzdálenost interferenčních plošek.

Parametr  $d_F$  lze zjistit dvěma způsoby. Při měření prvním způsobem necháme dopadat oba paprsky na stínítko. Na stínítku změříme jejich vzdálenost  $d_I$  a určíme také vzdálenost stínítka od bodu, kde se paprsky kříží. Poté můžeme vzdálenost  $d_F$  vypočítat podle následujícího vzorce [1]:

$$d_F = \frac{\lambda}{2 \sin \arctan \frac{d_1}{2d_2}} \quad (2)$$

Kde  $\lambda$  je vlnová délka použitého laseru (v našem případě He-Ne  $\lambda = 632,8$  nm [2]).

Při měření druhým způsobem změříme vzdálenost  $d_F$  přímo, za pomoci projekce na stínítko. Vzdálenost  $d_F$  poté můžeme spočítat podle:

$$d_F = \frac{N}{D} \quad (3)$$

Kde  $N$  je počet proužků na stínítku a  $D$  je celkový průměr pozorovaného obrazu.

Chyby nepřímě měřených veličin počítáme metodou přenosu chyby.

# Výsledky měření

Podmínky v laboratoři by neměly ovlivnit výsledky měření.

Tabulka 1: Vzdálenosti interferenčních plošek

	hodnota	chyba
$d_{F1}$ [μm]	33	2
$d_{F2}$ [μm]	31	2

Tabulka č. 1 obsahuje naměřené vzdálenosti  $d_F$  pomocí obou metod. Chybu v případě měření geometrickou metodou jsme odhadli na 5%. A chybu druhé metody jsme spočetli metodou přenosu chyby. Jelikož se obě hodnoty shodují v rámci chyby měření, v dalších výpočtech použijeme jejich aritmetický průměr  $d_F = (32 \pm 2) \mu\text{m}$ .

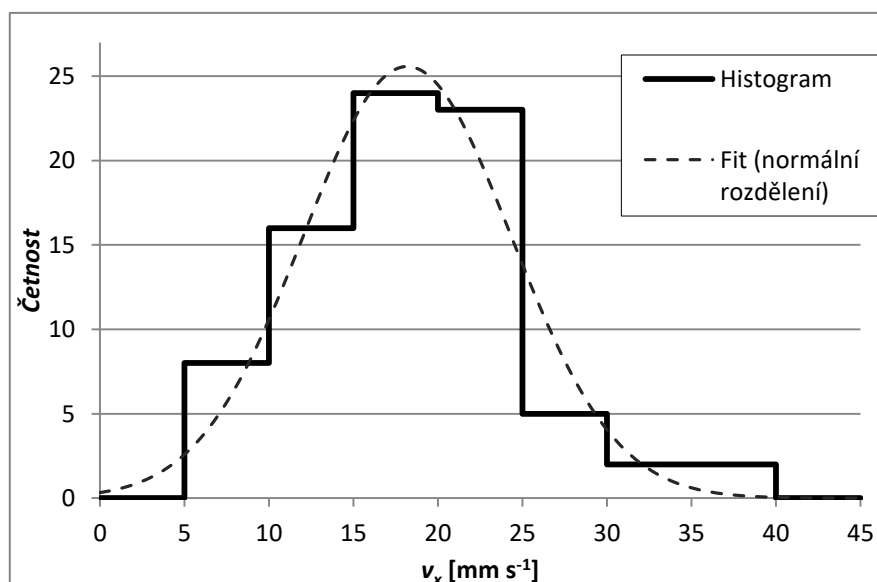
Graf č. 1 zobrazuje histogram rychlostí  $v_x$  spočtených dle vzorce (1). V grafu je také zobrazen fit naměřených hodnot. Jako fitovací funkci jsme použili normální rozdělení:

$$f(x) = A \cdot \exp \frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}$$

Parametry našeho fitu jsme určili pomocí webové aplikace [3]. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Parametry normálního rozdělení

	hodnota	chyba
$A$	26	2
$\mu$ [mms <sup>-1</sup> ]	18,2	0,5
$\sigma$ [mms <sup>-1</sup> ]	6,2	0,5



Graf 1: Histogram rychlostí

# Diskuse

Při kalibrování „optické sondy anemometru“ se obě metody určení parametru  $d_F$  ukázaly jako rovnocenně přesné. Nicméně první geometrická metoda se jeví jako přesnější a navíc je podstatně jednodušší k provedení.

Při samotném měření rychlosti částic se v detekovaném signálu objevovalo velké množství šumu. Původ tohoto šumu se nepodařilo odstranit. Šum byl natolik signifikantní, že se v něm ztrácely některé signály.

Z grafu č. 1 je patrné, že náš histogram je do značné míry nesymetrický a neodpovídá normálnímu rozdělení. Tuto skutečnost přisuzujeme velké míře šumu.

Jelikož se světlo šíří v prostředí s jiným indexem lomu různou rychlostí, mění se jeho vlnová délka. Zároveň se však změní i úhel sevřený dvěma paprsky. Obě tyto změny způsobí, že prostředí nemá na měření vliv, alespoň co se systematické chyby týče.

# Závěr

Z geometrie uspořádání jsme určili vzdálenost interferenčních plošek:

$$d_{F2} = (31 \pm 2) \mu\text{m}$$

Metodou projekce na stínítko jsme určili vzdálenost interferenčních plošek jako:

$$d_{F1} = (33 \pm 2) \mu\text{m}$$

Vzdálenost interferenčních plošek jsme určili jako průměr výše zmíněných hodnot:

$$d_F = (32 \pm 2) \mu\text{m}$$

Střední rychlost částic jsme určili jako:

$$\mu = (18,2 \pm 0,5) \text{ mm s}^{-1}$$

Standardní odchylka normálního rozdělení jsme určili jako:

$$\sigma = (6,2 \pm 0,5) \text{ mm s}^{-1}$$

# Literatura

- [1] Laserová dopplerovská anemometrie. *Fyzikální praktikum* [online]. [cit. 1.6.2016]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/texty/txt\\_318.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_318.pdf)
- [2] Pokyny k měření. *Fyzikální praktikum* [online]. [cit. 1.6.2016]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_318.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_318.pdf)
- [3] MyCurveFit – Online Curve Fitting. [online]. Dostupné z: <https://mycurvefit.com/>