

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum III

Úloha č. 18

Název: Doplerovská anemometrie

Pracoval: Jiří Kratochvíl stud.sk.: 11 dne: 15.4.2010

Odevzdal dne 16. 4. 2011.....

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	5
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	7
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	19

Posuzoval: *Pavlaš*.....

dne: 27.4.2011.....

Pracovní úkol:

1. Proveďte kalibraci „optické sondy anemometru“. Použijte uspořádání navržené na obr. 4.6 – 5 v [1]. 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 vymezte 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.

1 Teoretická část

1.1 Statistické zpracování

Chyby nepřímého měření sčítány metodou přenosu chyb dle vzorce

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 (\sigma_i)^2} \quad (s1)$$

σ - výsledná chyba měření, f - fyzikální vztah, x_i - jednotlivé veličiny ze vztahu f ,
 σ_i - chyby jednotlivých veličin ze vztahu f

Chyba statistická a chyba měřidla sečtena vzorcem

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_m^2 + \sigma_s^2)} \quad (s2)$$

σ - výsledná chyba měření, σ_m - chyba měřidla, σ_s - statistická chyba

Chyba aritmetického průměru počítána dle vztahu

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - x)^2}{n^2}} \quad (s3)$$

σ - výsledná chyba měření, x_i - hodnota jednotlivých měření, x - průměrná hodnota,
 n - počet měření

Teorii chyb jsme čerpali z [1]

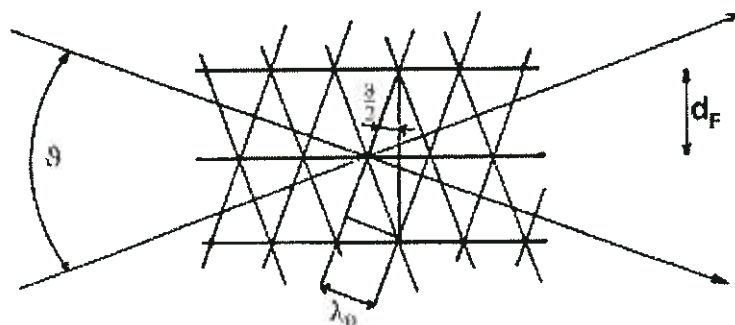
Regrese počítána v programu gnuplot, asymptotická chyba fitu sečtena ve čtverci s chybou měření.

Značení: Pokud není u hodnoty uvedena chyba, je chyba brána jako číslo jedna na posledním desetinném čísle hodnoty.

1.2 Doplerovská anemometrie

Rozdělíme-li lineárně polarizovaný paprsek laseru na dva sbíhavé paprsky, které se sbíhají pod úhlem θ , tak aby se tyto paprsky zkřížily, dostaneme v místě průsečíku svazků interferenční obrazec. Schéma interferovaných paprsků znázorňuje **obrázek č.1**.

Obrázek č.1: Interference svazků



Zkoumaná částice se pohybuje napříč tímto polem a je osvětlována maximy interferenčního obrazce. Osvětlená částice se chová jako zdroj světla. Toto rozptýlené světlo měříme pomocí objektivu a fotodiod.

Interferenční plošky jsou od sebe vzdáleny o d_F , tuto hodnotu vypočteme z obrázku

$$d_F = \frac{\lambda_0}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

kde λ_0 je vlnová délka laseru a θ je úhel mezi interferujícími svazky..

Frekvence f se spočte dle vztahu

$$f = \frac{N}{t} \quad (2)$$

kde N je počet peaků, t je čas expozice těchto N peaků.

Složka rychlosti kolmá na interferenční plošky v se spočítá dle vztahu

$$v = d_F f \quad (3)$$

Normální rozdělení je rozdělení s hustotou pravděpodobnosti

$$\rho = k \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

kde μ je střední hodnota a σ je standardní odchylka, k je amplitudový koeficient
Zdroj [2].

2 Výsledky měření

2.1 Kalibrace optické sondy - metoda projekce

S optiku pro získání sbíhavých svazků jsme nehýbali. Do průsečíku svazků jsme vložili mikrometrický šroub, který se sféricky dotýkal stopy svazku. Za tímto šroubem byla optika pro projekci průsečíku těchto svazků na stínítku. Průsečík svazků tvoří interferenční pole znázorněné na **obrázku č.1**. Tyto prvky jsme nastavili tak, abychom měli na stínítku kruhovou stopu.

Nastavili jsme šroub do polohy, aby se dotýkal prvního maxima interferenčního pole, poté jsme spočítali interferenční proužky, které jsme poté šroubem zakryli. Rozdíl poloh na šroubu D , počet **proužků** a vzdálenost jednotlivých proužků d_F jsou zaznamenány v **tabulce č.1**. Chybu odečítání proužků odhaduji na $\pm 0,5$ proužku. Chyba mikrometrického šroubu je $\pm 0,005$ mm, tato chyba je zanedbatelná.

Tabulka č.1: Kalibrace sondy - projekce

proužků	D[mm]	d[μ m]
14	0,42	30
14	0,44	31,07
14	0,46	32,86
14	0,45	32,14
14	0,41	29,29

Aritmetickým průměrem zjistíme, že vzdálenost interferujících plošek je

$$d_F = (31,1 \pm 1,3) \mu\text{m}$$

2.2 Kalibrace optické sondy - z geometrie

Nejdříve jsme změřili vzdálenost svazků u optiky zajišťující sbíhavost svazků pomocí milimetrového papírku - veličina r . Poté jsme nastavili milimetrový papír tak, aby na něm byl vidět průsečík svazků. Vzdálenost polohy, kde jsme měřili vzdálenost svazků, a polohy průsečíku svazků označím p . Z této geometrie určíme úhel sbíhavosti svazků θ pomocí pravouhlého trojúhelníka s odvěsnami r a p .

Chyba r je dána milimetrovým papírkem $\pm 0,5\text{mm}$. Pro měření vzdálenosti p jsme použili pravítko s přesností $0,5\text{mm}$. Chybu vzdálenosti polohy p jsme odhadli jako $\pm 1\text{cm}$. Polohu průsečíku svazků jsme určili aritmetickým průměrem poloh, při nichž jsme měli stejnou vzdálenost svazků. Naměřené hodnoty jsou v *tabulce č.2*. Vzdálenost interferenčních plošek d_F jsme určili ze vzorce (1), kam jsme dosadili vlnovou délku He-Ne laseru, který jsme používali pro měření $\lambda_0 = 632,8\text{nm}$. Chybu vlnové délky laseru můžeme zanedbat.

Tabulka č.2: Kalibrace sondy - geometrie

r[mm]	p[cm]	θ [rad]	$\sigma(\theta)$ [rad]	d[μ m]	$\sigma(d)$ [μ m]
3,5	15,1	0,0232	0,0036	27,31	4,3
3	15	0,0200	0,0036	31,64	5,68
3	14,9	0,0201	0,0036	31,43	5,65

Váženým aritmetickým průměrem získáme vzdálenost mezi interferujícími ploškami

$$d_F = (29,9 \pm 6,6) \mu\text{m}$$

2.3 Měření rychlosti částic

Nalili jsme do kyvety vodu z kohoutku, jelikož ta obsahuje mikroskopické částičky rzi, prachu a dalších nečistot. Kyvetu jsme umístili tak, aby její střed byl zhruba v průsečíku svazků. Tuto vodu jsme vířili pomocí vrtulky. Pro měření jsme měli k dispozici PC napojené na fotocitlivý snímač. Software je popsán v [2].

Nastavili jsme trigger na hodnotu 112 jednotek, započítali jsme jen ty částice, které přešly svým signálem tuto hodnotu. Dalším parametrem pro výběr částic byl tvar obáلكové funkce signálu, ta musela být symetrická (vybíráme částice letící kolmo na interferenční plošky), musela mít zhruba gausovský průběh (vybíráme částice, které letí centrální rovinou optické sondy). Dále se signály částic nesměly prolínat a nesměly mít malou hloubku modulace signálu (vybíráme pouze malé částice).

Odečítali jsme vzdálenost mezi dvěma nějakými minimi a spočítali jsme počet maxim mezi nimi. Chyba počtu maxim je 100% korelovaná s chybou vzdálenosti minim, proto uvažujeme jen chybu odečítání časového intervalu, která činí $\pm 0,1\text{ms}$. Frekvenci jsme počítali dle vzorce (2), kterou jsme převedli na rychlost dle vzorce (3), kde jsme hodnotu d_F použili z metody projekce, jelikož je téměř řádově přesnější. Výsledky jsou v *tabulce č.3*, která je řezena dle rychlosti částic, naměřili jsme 72 hodnot, poslední hodnotu díky velké odlehlosti vyškrtáme.

Tabulka č.3: Rychlosti částic

t	N	f	$\sigma(f)$	v	$\sigma(v)$	t	N	f	$\sigma(f)$	v	$\sigma(v)$
[ms]	[peaků]	[hz]	[hz]	[mm/s]	[mm/s]	[ms]	[peaků]	[hz]	[hz]	[mm/s]	[mm/s]
20,37	3	147	1	4,6	0,2	9,25	6	649	7	20,2	0,9
23,5	4	170	1	5,3	0,2	16,34	11	673	4	20,9	0,9
27,61	6	217	1	6,8	0,3	12,68	9	710	6	22,1	0,9
22,09	5	226	1	7,0	0,3	12,67	9	710	6	22,1	0,9
25,22	6	238	1	7,4	0,3	9,61	7	728	8	22,7	1,0
28,38	7	247	1	7,7	0,3	6,83	5	732	11	22,8	1,0
12,16	3	247	2	7,7	0,3	13,56	10	737	5	22,9	1,0
19,49	5	257	1	8,0	0,3	10,78	8	742	7	23,1	1,0
26,54	7	264	1	8,2	0,3	6,73	5	743	11	23,1	1,0
34,01	9	265	1	8,2	0,3	7,99	6	751	9	23,4	1,0
18,79	5	266	1	8,3	0,3	10,55	8	758	7	23,6	1,0
33,03	9	272	1	8,5	0,4	11,77	9	765	6	23,8	1,0
7,24	2	276	4	8,6	0,4	14,32	11	768	5	23,9	1,0
15,89	5	315	2	9,8	0,4	12,91	10	775	6	24,1	1,0
15,7	5	318	2	9,9	0,4	12,87	10	777	6	24,2	1,0
26,69	9	337	1	10,5	0,4	14,04	11	783	6	24,4	1,0
22,28	8	359	2	11,2	0,5	12,21	10	819	7	25,5	1,1
24	9	375	2	11,7	0,5	7,31	6	821	11	25,5	1,1
13,08	5	382	3	11,9	0,5	14,58	12	823	6	25,6	1,1
24,83	10	403	2	12,5	0,5	6,89	6	871	13	27,1	1,2
9,51	4	421	4	13,1	0,6	10,06	9	895	9	27,8	1,2
16,34	7	428	3	13,3	0,6	14,28	13	910	6	28,3	1,2
25,4	11	433	2	13,5	0,6	13,18	12	910	7	28,3	1,2
13,68	6	439	3	13,6	0,6	8,65	8	925	11	28,8	1,2
19,93	9	452	2	14,0	0,6	6,32	6	949	15	29,5	1,3
26,29	12	456	2	14,2	0,6	11,14	11	987	9	30,7	1,3
15,24	7	459	3	14,3	0,6	7,08	7	989	14	30,7	1,4
18,77	9	479	3	14,9	0,6	5,94	6	1010	17	31,4	1,4
21,96	11	501	2	15,6	0,7	4,77	5	1048	22	32,6	1,5
9,75	5	513	5	15,9	0,7	10,09	11	1090	11	33,9	1,5
7,48	4	535	7	16,6	0,7	6,35	7	1102	17	34,3	1,5
10,87	6	552	5	17,2	0,7	18,69	21	1124	6	34,9	1,5
28,16	16	568	2	17,7	0,7	9,66	11	1139	12	35,4	1,5
15,19	9	592	4	18,4	0,8	6,62	8	1208	18	37,6	1,7
7,9	5	633	8	19,7	0,9	7,9	11	1392	18	43,3	1,9
9,48	6	633	7	19,7	0,8	6,43	12	1866	29	58,0	2,6

2.4 Histogram

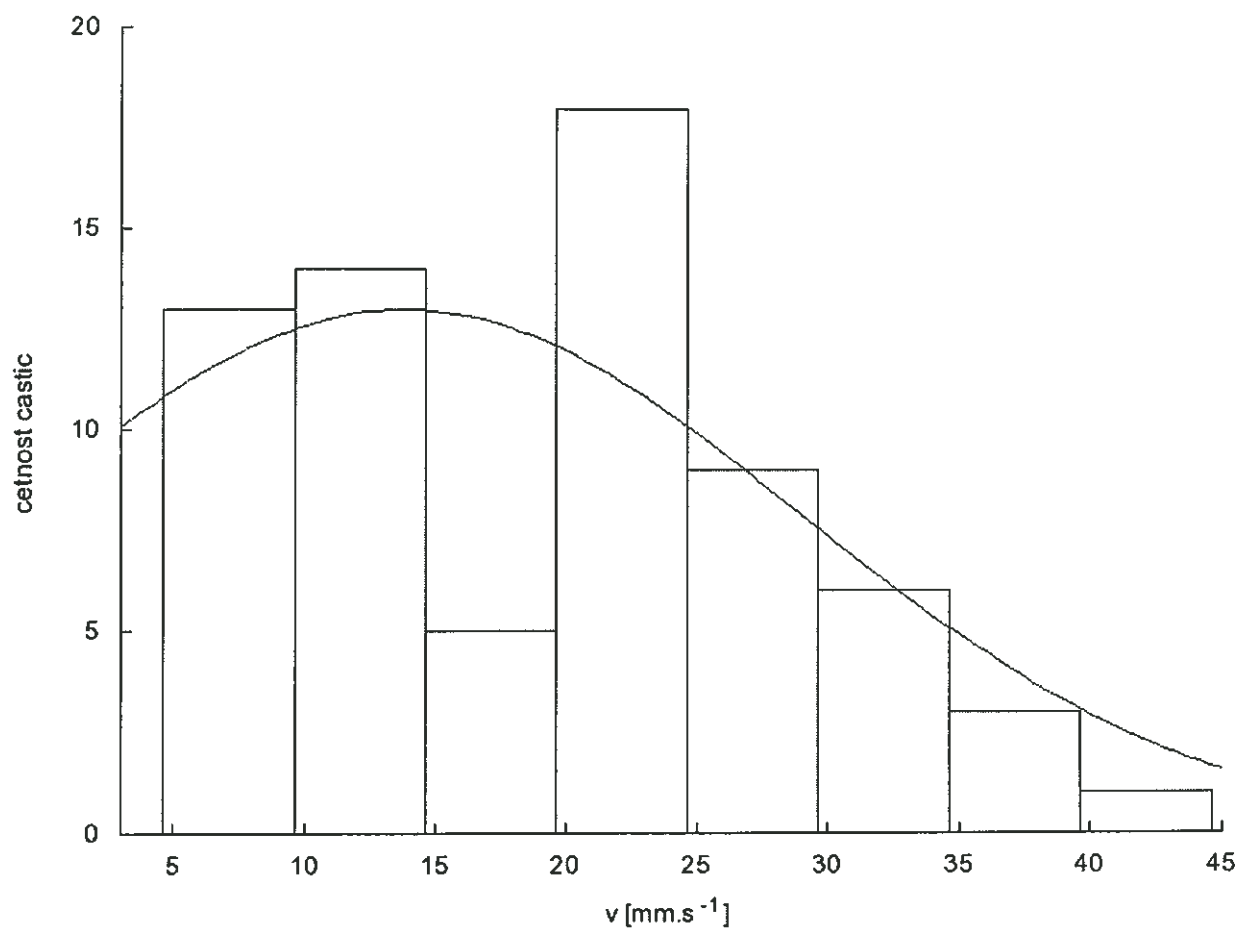
Intervaly histogramu jsou tvořeny dle vzorce ($v_l + k \Delta v$), kde k je celé číslo. Jako interval Δv jsme vzali 5 mm.s^{-1} , začali jsme na $v_l = 4,6 \text{ mm.s}^{-1}$. Vytvořený histogram jsme nafitovali normálním rozdělením (4) viz *graf č.1*. Tímto fitem jsme získali střední rychlost částic $v_s = \mu$ a standardní odchylku σ (amplitudový koeficient $k = (13,0 \pm 2,7)$)

$$v_s = (13,8 \pm 8,0) \text{ mm.s}^{-1}$$

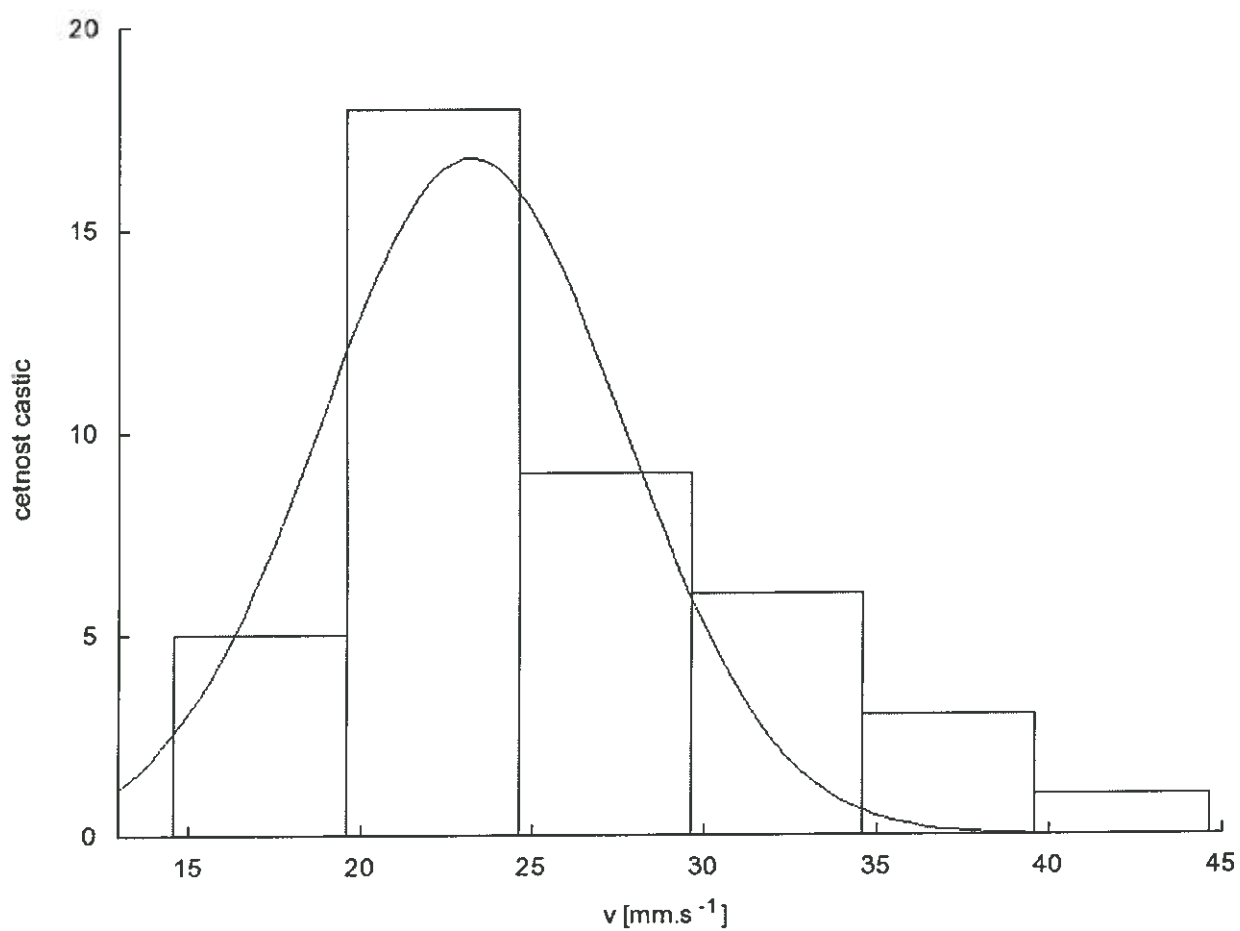
$$\sigma = (15,2 \pm 7,8) \text{ mm.s}^{-1}$$

Přesnost parametrů je nad 50% což je velice neuspokojivý výsledek. To je dáno tím, že náš histogram nesplňuje Gaussovo rozdělení. Proto zkusíme zavést předpoklady, abychom dostali histogram odpovídající Gaussovu rozdělení.

Graf č.1: Histogram celý



Graf č.2: histogram bez prvních dvou sloupců



Vezmeme v úvahu předpoklady, že částice s větší hustotou a velikostí nám dávají větší signál a tyto částice jsou pomalejší. Tyto předpoklady vysvětlujeme v bodě 3.3 kapitoly *diskuse* a částečně ověřujeme v odstavci 2.5.

Za těchto předpokladů z celého histogramu vyškrtáme první dva sloupce pomalých částic a proložíme rozdělním (4) viz *graf č.2*. Fit histogramu bez prvních dvou sloupců pomalých částic nám dává parametry ($k = (16,8 \pm 3,3)$)

$$\begin{aligned} v_s &= (23,2 \pm 1,0) \text{ mm.s}^{-1} \\ \sigma &= (4,4 \pm 1,0) \text{ mm.s}^{-1} \end{aligned}$$

Toto už je použitelný výsledek, ale neplatí pro větší a hustší částice.

V případě, kdy započítáme všechny částice, bude mít největší vypovídající hodnotu aritmetický průměr rychlostí částic, který nám dává hodnoty

$$v_{\text{prum}} = (19,5 \pm 9,1) \text{ mm.s}^{-1}$$

*exp. ověřen
sepsání z grafu*

Medián našeho souboru je $19,9 \text{ mm.s}^{-1}$.

2.5 Částečné ověření předpokladů větších hustších a tím pomalejších částic

Vezmeme v úvahu, že větší a hustší částice se na dno usadí rychleji. Vytvoříme tabulku rychlostí, kde seřadíme hodnoty podle toho kdy byly po sobě naměřeny. A rozdělíme ji do 4. sloupců. Hodnoty jsou po sobě takto 1.sada, hodnoty ve sloupci směrem dolů. 2.sada atd.

Vypočítáme aritmetický průměr těchto sloupců a_v . A vidíme, že postupem času přibývá rychlejších částic, to je způsobeno tím, že hustší a větší částice se snadněji usazují na dno. Toto je částečný důkaz toho, že větší a hustší částice jsou pomalejší.

Tabluka č.4: rychlosti seřazené podle doby měření

1.sada	2.sada	3.sada	4.sada
v[mm/s]	v[mm/s]	v[mm/s]	v[mm/s]
8,47	23,08	8,23	28,32
25,6	9,79	14,2	15,58
13,47	7,98	58,04	24,37
9,9	19,68	25,53	23,35
30,71	32,6	20,17	23,89
17,67	27,08	35,41	4,58
28,31	22,77	24,16	13,08
30,75	11,89	8,28	7,04
23,78	25,47	28,76	16,63
13,32	34,94	7,67	22,65
27,82	11,66	14,28	20,94
22,07	7,4	15,95	43,3
22,94	33,9	19,68	34,28
12,53	24,09	31,41	23,11
8,2	7,67	14,04	18,43
23,58	8,59	17,17	37,58
6,76	29,53	13,64	10,49
11,17	5,29	22,09	14,91
a_v [mm/s]	a_v [mm/s]	a_v [mm/s]	a_v [mm/s]
18,73	19,08	21,04	21,25

3 Diskuse

3.1 Kalibrace optické sondy

Kalibrace optické sondy metodou projekce (metoda přímá) nám dává výsledek $d_F = (31,1 \pm 1,3)\mu\text{m}$, tento výsledek se shoduje s výsledkem, který jsme obdrželi geometrickou metodou (nepřímé měření) $d_F = (29,9 \pm 6,6)\mu\text{m}$. V našem případě bylo měření metodou projekce o půl řádu přesnější než metodou z geometrie.

S naší aparaturou by se dala metoda měření z geometrie značně vylepšit. Kdybychom vzdali zrcátko a odrazili paprsek ještě před protnutím, změřili místo protnutí a nějaké vzdálené místo (v našem uspořádání 1m od průsečíku) dostali bychom se na stejnou přesnost jako při měření pomocí šroubu)

3.2 Měření rychlosti částic

Postupem času se nám detekovalo stále méně částic, což je dle našeho názoru způsobeno jejich přilnutím ke stěnám nádoby a jejich usazováním na dno.

3.3a Histogram bez prvních dvou sloupečků

Na histogramu je vidět, že rychlosti bez prvních dvou sloupečků splňují gausovo rozdělení viz *graf č.2*. Z parametrů, které jsme získali z proložení gausovou křivkou nám vyjde, že střední hodnota rychlosti částic ve vodě je $v_s = (23,2 \pm 4,4) \text{mm.s}^{-1}$.

3.3b Histogram celý

Jelikož náš celý histogram nespĺňuje žádné rozdělení použili jsme aritmetický průměr k charakterizování rychlosti $v_{prum} = (19,5 \pm 9,1) \text{mm.s}^{-1}$, který se shoduje i s mediánem $19,9 \text{mm.s}^{-1}$.

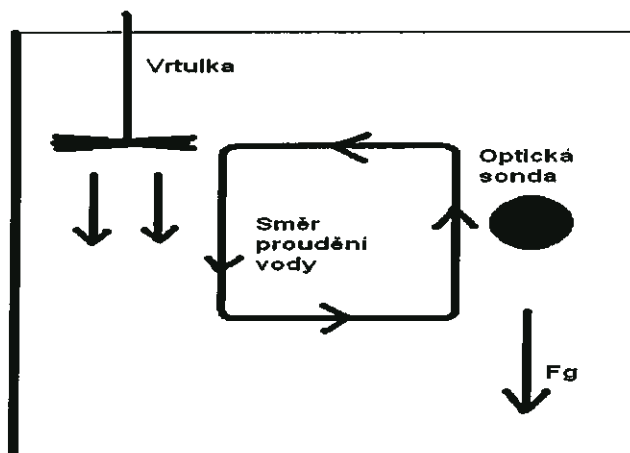
První dva sloupečky nám vyšly takto, protože je zde korelace mezi velikostí a hustotou částic, jejich rychlostí a obdrženým signálem. Nějaký z efektů níže se projeví méně a jiný více, nevíme, zdali není nějaký tento efekt zanedbatelný.

Hustší částice

Hustší částice mají v sobě víc atomů, či větších atomů, proto více rozptylují světlo, obdržíme tedy větší signál. (Rozptyl na částicích je do velké míry ovlivněn vlnovou délkou světla také záleží na složení částic, ale hustota by měla korelovat).

My jsme měli proudění v kapalině zařízeno způsobem, který je na *obrázku č.2*. Na částice, které prolítávají optickou sondou působí proud vody směrem vzhůru. Hustší částice ale rychleji padají ke dnu než částice lehčí, proto se hodnoty těžších částic posunují k menším rychlostem.

Obrázek č.2:



Větší částice

Větší částice dávají větší signál, protože se na nich rozptýlí větší část interferenčního proužku sondy.

Čím je větší částice, tím ji hůře urychluje proud vody. To je dáno tím, že velká částice má menší poměr povrch/objem. S vodou tedy interaguje menší část této velké částice než částice malé. Velká částice má tedy daleko menší odporovou sílu vztaženou na hmotnost než částice malá¹. Proti této síle působí síla gravitační viz **obrázek č.2**. Velké částice jsou vlivem gravitační síly pomalejší.

Větší a hustší částice jsou pomalejší

Jak jsme psali výše, na hustší a větší částice působí gravitační síla, která u nich více převažuje nad silou proudění vody. Větší a hustší částice se dříve usadí na dno nádoby. To, že jsou tyto částice pomalejší dokazuje odstavec 2.5.

Vzhledem k tomu, že jsme započítávali signál jen z částic, které svým signálem přešly určitou mez, napočítali jsme více větších a hustších částic, které jsou pomalejší.

Lepší způsob měření

Měli jsme jasně definované částice, které jsme si zaznamenávali, větší signál než hodnota triggeru, tvar symetrický, jasná modulace signálu, proto vylučujeme chybu subjektivního měření.

Kdybychom ale zaznamenávali téměř všechny částice bez ohledu na sílu signálu, dostali bychom daleko lepší výsledek.

Úplně nejlepší by bylo, kdybychom místo vody do kádinky napustili destilovanou vodu a do ní nasypali prášek o nějaké definované velikosti a hustotě. Poté bychom mohli vybírat částice s určitou silou signálu.

3.4 Parametry optické sondy voda vs. vzduch

Díky lomu světla se v kádince (ve tvaru kvádrů) s vodou zvětší úhel θ dle Snellova zákona pro rozhraní dvou prostředí vzduch voda (Lom světla na tenkých stěnách kádinky zanedbáváme). $\sin \theta = n_V \sin \alpha$ (index lomu vzduchu bereme jako 1). Vzhledem k tomu, že úhel θ je zhruba $1,2^\circ$ můžeme tento vztah aproximovat snellovým zákonem pro malé úhly $\theta = n_V \alpha$. Dále upravíme vztah (1) pro malé úhly na vztah $d_F = \lambda_V / \alpha$. Pro vlnovou délku laseru ve vodě platí $\lambda_V = \lambda_0 / n_V$. Pro vzdálenost interferenčních plošek ve vodě dostaneme vztah $d_F = (\lambda_0 / n_V) / (\theta / n_V)$. Po vykrácení máme $d_F = \lambda_0 / \theta$ což je aproximovaný původní vztah (1) pro výpočet vzdálenosti d_F z toho vyplývá, že detekované frekvence se téměř nezmění. Tato malá aproximace změní náš výsledek maximálně o 0,01%, což je zanedbatelná chyba.

4 Závěr

Provedli jsme kalibraci „optické sondy anemometru“ metodou projekce $d_F = (31,1 \pm 1,3) \mu\text{m}$ a geometrickou metodou $d_F = (29,9 \pm 6,6) \mu\text{m}$.

Změřili jsme frekvence dopplerovského signálu na souboru 72 částic. Převedli jsme hodnoty frekvence na hodnoty rychlostí viz **tabulka č.3**. Graficky jsme zpracovali rozložení rychlostí ve vodě formou histogramu viz **graf č.1**. Histogram bez prvních dvou sloupečků jsme fitovali funkcí normálního rozdělení a z ní jsme určili střední hodnotu rychlosti částic $v_s = (23,2 \pm 1,0) \text{mm.s}^{-1}$ a standardní odchylku nalezeného rozdělení $\sigma = (4,4 \pm 1,0) \text{mm.s}^{-1}$ viz **graf č.2**.

Pro celý statistický soubor jsme použili k charakterizování rychlosti aritmetický průměr s výsledkem $v_{prum} = (19,5 \pm 9,1) \text{mm.s}^{-1}$.

Diskutovali jsme, jaký vliv na výsledek má to, že parametry optické sondy jsou měřeny ve vzduchu, zatímco měření rychlostí částic probíhá ve vodě v odstavci 3.4.

5 Seznam použité literatury

- [1] Brož, J. a kol., *Základy fyzikálních měření I*, SPN, Praha 1983
- [2] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>, Studijní texty k Fyzikálnímu praktiku

¹ Toto jsme změřili v praktiku I v úloze viskozita

VÍDŮ KRATKAHŮ

15.4

v minimect mezi minimy		
cas	peaku	err cas
33.03	9	
14.58	12	
25.4	11	
15.7	5	
11.14	11	
28.16	16	
14.28	13	
7.08	7	
11.77	9	
16.34	7	
10.06	9	
12.68	9	
13.56	10	0.1
24.83	10	
26.54	7	
10.55	8	0.1
27.61	6	
22.28	8	
10.78	8	
15.89	5	
19.49	5	
7.9	5	
4.77	5	
6.89	6	
6.83	5	
13.08	5	
12.21	10	
18.69	21	
24	9	
25.22	6	
10.09	11	
12.91	10	
12.16	3	
7.24	2	
6.32	6	
23.5	4	
34.01	9	
26.29	12	
6.43	12	
7.31	6	
9.25	6	
9.66	11	
12.87	10	
18.79	5	
8.65	8	
28.38	7	
15.24	7	
9.75	5	
9.48	6	
5.94	6	
19.93	9	
10.87	6	
13.68	6	
12.67	9	

15.4. 2011

Václav Pávek

13.18	12
21.96	11
14.04	11
7.99	6
14.32	11
20.37	3
9.51	4
22.09	5
7.48	4
9.61	7
16.34	11
7.9	11
6.35	7
6.73	5
15.19	9
6.62	8
26.69	9
18.77	9

VIPY KAA Teknik
15.5

Selva Purnama

2,47 2,89	3,150	3,120	3,110	3,28
1,99	2,715	2,66	2,66	1,85
	<u>14P</u>	<u>14P</u>	<u>14P</u>	<u>14P</u>

[mm]

5KRB

3,1	3,0	3,0	3,0	0	15
0	0	0	0	15	

[mm]

15 = 3

33,3 KRB
Kuknerova odstav

U101 KRATKOHAUZ

32

TRIGGER

112

5 bodu

15.4.2011

Delo Numa

534
6,675

6

53

7933