

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

Praktikum1...

Úloha č. 3

Název: Studium proudění viskózní kapaliny trubicemi kruhového průřezu

Pracoval: Jiří Kratochvíl

stud.sk.: 15

dne: 1.4.2010

Odevzdal dne: -04- 2010

Pracovní úkol:

1. Pro tři vodorovné trubice s různými poloměry kruhového průřezu, které jsou opatřeny manometry, naměřte závislost objemového průtoku Q_v na úbytku statického tlaku Δp na vyšetřované délce trubice l ve směru proudění.
2. Sestrojte grafy závislosti $Q_v = Q_v(p)$. Do grafu také zakreslete teoretické křivky této závislosti plynoucí z Poiseuillovy rovnice.
3. Ze směrnice závislosti $Q_v = Q_v(p)$ v oblasti laminárního proudění určete poloměr trubice.
4. Upravený poloměr dosadte do vztahů pro výpočet Re a k .
5. Sestrojte graf závislosti $k = k(Re)$, kde k je součinitel odporu trubice a Re je Reynoldsovo číslo.

	možný počet bodů	udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	4 ₀
Teoretická část	0 - 1	1
Výsledky měření	0 - 8	7
Diskuse výsledků	0 - 4	3
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	17

Posuzoval:.....

dne:.....

20.4.2010

Prosim nemujte vice praznoski
gramatika jazyka ceskeho !

Teorie

Když se zvyšuje tlak vody, zvyšuje se v oblasti laminárního proudění přímo úměrně průtok, to je dáno Poiseuillovou rovnicí. Tlak je v této oblasti velice stabilní, toto odpovídá Reynoldsově číslu asi do 1000, při dalším zvyšování tlaku se dostaneme z oblasti laminárního proudění do oblasti přechodové, to odpovídá Reynoldsově číslu asi do 2000. V této oblasti tlak velmi kolísá. Při dalším zvýšení tlaku se dostaneme do oblasti turbulentního proudění, což odpovídá Reynoldsově číslu nad 2000. V této oblasti tlak méně kolísá.

Změna tlaku v manometru se změní dle rovnice (1), kde Δp je měřený rozdíl tlaků, h – výška vody v manometru, ρ – hustota vody, g – gravitační zrychlení. Reynoldsovo číslo se změní vztahem (2), kde r – je poloměr trubice, v – rychlost proudění vody, η – viskozita vody. Závislost průtoku na tlaku v oblasti laminárního proudění je dána Poiseuillovou rovnicí (3), kde Q_v – objemový průtok vody, l – délka části trubice od manometru k výtoku vody z trubice. Objemový průtok spočítáme dle vztahu (4). Dle vztahu (5) spočítáme součinitel odporu trubice, kde k – součinitel odporu trubice. Teoretická závislost k na Reynoldsově číslu v oblasti laminárního proudění (6). Teoretická závislost k na Reynoldsově číslu v oblasti turbulentního proudění (7).

$$(1) \Delta p = h \rho g \quad (2) R_e = \frac{r \rho v}{\eta} \quad (3) Q_v = \frac{\pi r^4}{8 \eta l} \Delta p \quad (4) Q_v = \pi v r^2 \quad (5) k = \frac{2 r \Delta p}{l \rho v^2} \quad (6) k = \frac{16}{R_e} \quad (7)$$

$$k = \frac{0.133}{R_e^{0.25}}$$

Rovnice na samotnou hodnotu a dr tečky

Pomůcky: 3 výtokové trubice s manometry, odpadní miska, stabilizátor tlaku vody, odměrné válce, kádinka, stopky, pásové měřítko, posuvné měřítko, teploměr

Aparatura: Trubice opatřené manometry jsou postaveny v držáku ve vodorovné poloze, do níž je pouštěna voda o regulovatelném průtoku, regulace je provedena kanálem v asi 1,5 metrové výši a kohoutem.

Postup měření: Reguluji průtok vody kohoutem, pro konstantní tlak změřím průtok tak, že jímám za určitý čas vodu do kádinky. Tento postup opakuji pro různé tlaky a pro všechny 3 trubice. Změřím délku každé trubice od manometru k výpusti, a poloměr každé trubice. Průměr trubice jsem vzhledem k malým fluktuacím změřil ve 3 místech, měření jsem opakoval 2x abych se nedopustil hrubé chyby. Délku každé trubice jsem měřil také dvakrát.

Výsledky měření

Statistické zpracování: Chyby počítány metodou přenosu chyb. Chyba lineární regrese spočítána programem gnuplot.

konstanty	hodnota	s
ρ [kg/m ³]	998,8	
η [1/Pa.s]*10 ⁻³	1,095	
g [N/m ²]	9,81	
r_1 [mm]	1,75	0,25
r_2 [mm]	2,63	0,25
r_3 [mm]	1,75	0,25
l_1 [m]	0,2025	0,001
l_2 [m]	0,2550	0,001
l_3 [m]	0,2500	0,001

odchyly	s
h_{1l} [mm]	1
h_{1t} [mm]	2
h_{2l} [mm]	1
h_{2t} [mm]	2
h_{3l} [mm]	2
h_{3t} [mm]	5
t [s]	1
V [ml]	2

dopočítané k.	hodnota	s
k_1 [ml/s.Pa]	0,01001	0,00059
k_2 [ml/s.Pa]	0,0655	0,0041
k_3 [ml/s.Pa]	0,005541	0,000092
r_1 [mm]	1,542	0,023
r_2 [mm]	2,612	0,041
r_3 [mm]	1,402	0,006

Tabulka konstanty: ρ – hustota vody při 17°C, η – viskozita vody při 17°C (interpolace metodou nejmenších čtverců mezi 15°C a 18°C z hodnot z intervalu 10°C až 25°C), g – gravitační zrychlení, r_1, r_2, r_3 – poloměry trubice, l_1, l_2, l_3 – délky trubice od manometru k výpusti.

Tabulka odchyly: h_{1l}, h_{2l}, h_{3l} – odchyly manometru při laminárním proudění pro trubice 1,2,3, h_{1t}, h_{2t}, h_{3t} – odchyly manometru při turbulentním proudění pro trubice 1,2,3, t – odchyly času, V – odchyly objemu.

Tabulka dopočítané konstanty: k_1, k_2, k_3 – dopočítané hodnoty směrnice závislosti objemového průtoku na tlaku, r_1, r_2, r_3 – dopočítané hodnoty poloměrů z Poiseuillovy rovnice

Tabulky 1,2,3..trubice laminární, turbulentní: h – výška vody v manometru, V – objem vody napuštěné za čas t , Q_v – objemový průtok, s – odchyly měření předcházející veličiny, Δp – rozdíl tlaků v trubici od atmosférického, v – rychlost proudění vody v trubici, R_e – Reynoldsovo číslo, k – součinitel odporu trubice.

1. trubice-laminární

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
20	30	78	2,6	0,11	196	9,8	0,35	0,02	490	27	0,0247	0,0028
25	30	99	3,3	0,13	245	9,8	0,44	0,02	621	32	0,0191	0,0020
30	30	110	3,67	0,14	294	9,8	0,49	0,02	690	35	0,0186	0,0019
35	30	137	4,57	0,17	343	9,8	0,61	0,03	860	43	0,0140	0,0014
40	30	142	4,73	0,17	392	9,8	0,63	0,03	891	44	0,0149	0,0015
45	30	156	5,2	0,19	441	9,8	0,7	0,03	979	49	0,0139	0,0013
50	30	170	5,67	0,2	490	9,8	0,76	0,03	1067	53	0,0130	0,0012
55	30	176	5,87	0,21	539	9,8	0,79	0,04	1105	54	0,0133	0,0013

1. trubice-turbulentní

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
160	20	188	9,4	0,48	1568	19,6	1,26	0,07	1770	109	0,0151	0,0018
170	20	195	9,75	0,5	1666	19,6	1,31	0,08	1836	113	0,0149	0,0018
180	15	151	10,07	0,68	1764	19,6	1,35	0,1	1896	144	0,0148	0,0022
190	15	157	10,47	0,71	1862	19,6	1,4	0,1	1971	150	0,0145	0,0022
200	15	160	10,67	0,72	1960	19,6	1,43	0,11	2009	153	0,0146	0,0022
210	15	165	11	0,75	2058	19,6	1,47	0,11	2071	157	0,0145	0,0022
220	15	170	11,33	0,77	2156	19,6	1,52	0,11	2134	162	0,0143	0,0021
230	15	172	11,47	0,78	2254	19,6	1,54	0,11	2159	164	0,0146	0,0022
240	15	175	11,67	0,79	2352	19,6	1,56	0,12	2197	167	0,0147	0,0022

2. trubice-laminární

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
7,5	30	63	2,1	0,1	73	9,8	0,1	0,01	233	14	0,1571	0,0274
10	30	98	3,27	0,13	98	9,8	0,15	0,01	365	19	0,0866	0,0123
12,5	30	162	5,4	0,19	122	9,8	0,25	0,01	603	31	0,0396	0,0049
15	30	228	7,6	0,26	147	9,8	0,35	0,02	849	42	0,0240	0,0028
17,5	30	257	8,57	0,29	171	9,8	0,4	0,02	957	48	0,0220	0,0024
20	20	196	9,8	0,5	196	9,8	0,46	0,03	1094	68	0,0192	0,0025
22,5	20	210	10,5	0,53	220	9,8	0,49	0,03	1173	73	0,0189	0,0024
25	15	166	11,07	0,75	245	9,8	0,52	0,04	1236	95	0,0189	0,0029

2. trubice-turbulentní

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
65	15	242	16,13	1,08	637	19,6	0,75	0,06	1793	137	0,0231	0,0035
67,5	15	245	16,33	1,1	661	19,6	0,76	0,06	1824	139	0,0234	0,0036
70	15	256	17,07	1,15	686	19,6	0,8	0,06	1906	145	0,0222	0,0034
72,5	15	262	17,47	1,17	710	19,6	0,81	0,06	1951	148	0,0220	0,0033
75	16	275	17,19	1,08	735	19,6	0,8	0,06	1920	139	0,0235	0,0034
77,5	10	178	17,8	1,79	759	19,6	0,83	0,09	1988	212	0,0226	0,0048
80	10	182	18,2	1,83	784	19,6	0,85	0,09	2033	216	0,0223	0,0047
82,5	10	190	19	1,91	808	19,6	0,89	0,09	2122	226	0,0211	0,0045

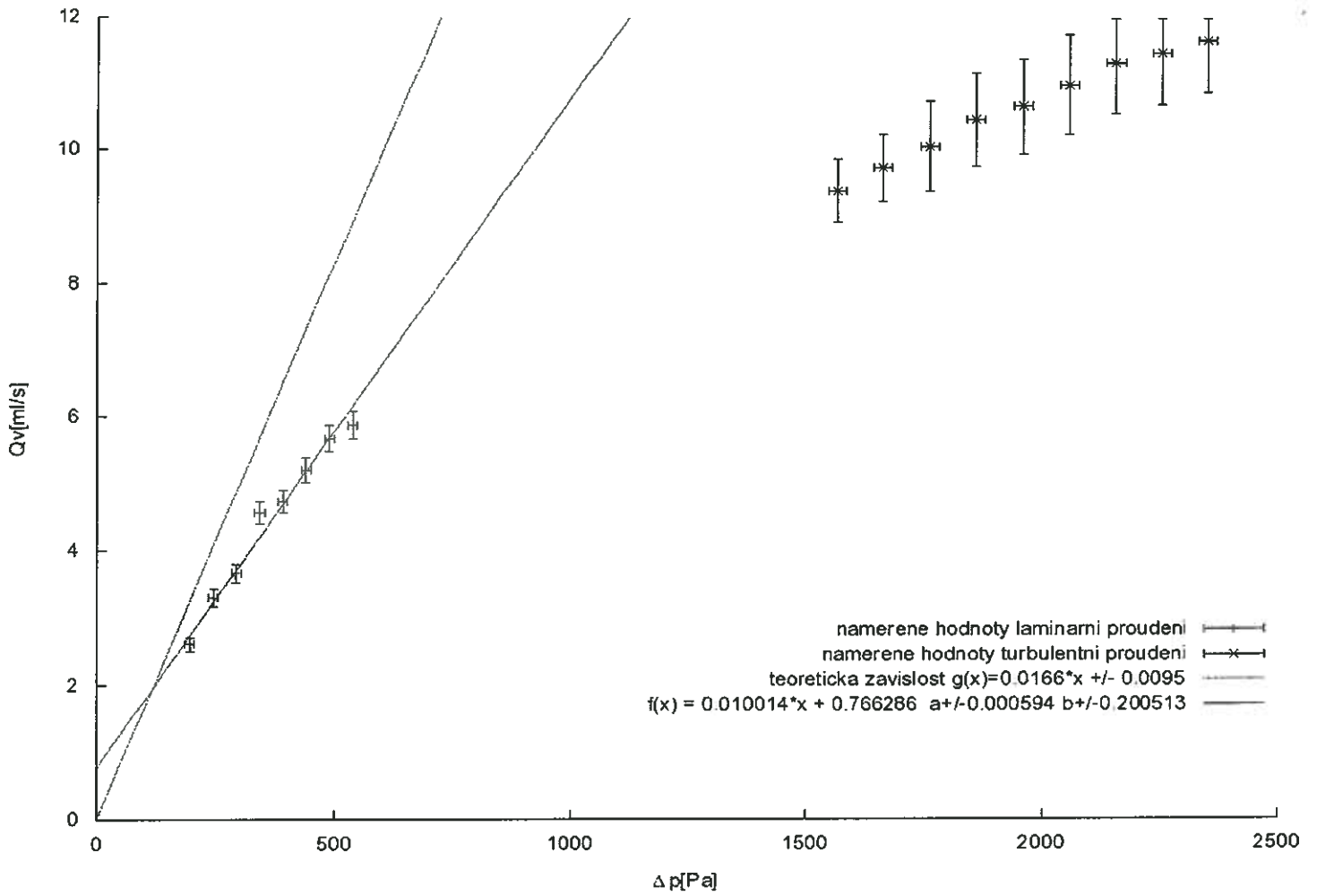
3. trubice-laminární

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
40	30	65	2,17	0,1	392	19,6	0,35	0,02	449	21	0,0357	0,0038
50	30	84	2,8	0,11	490	19,6	0,29	0,02	372	24	0,0650	0,0089
60	30	101	3,37	0,13	588	19,6	0,35	0,02	447	28	0,0539	0,0069
70	35	135	3,86	0,12	686	19,6	0,4	0,02	513	27	0,0479	0,0052
80	30	136	4,53	0,17	784	19,6	0,47	0,03	603	35	0,0396	0,0047
90	30	148	4,93	0,18	882	19,6	0,51	0,03	656	38	0,0377	0,0044
100	30	164	5,47	0,19	980	19,6	0,57	0,03	727	41	0,0341	0,0039
110	30	180	6	0,21	1078	19,6	0,62	0,04	797	45	0,0311	0,0035
120	30	194	6,47	0,23	1176	19,6	0,67	0,04	859	48	0,0292	0,0033

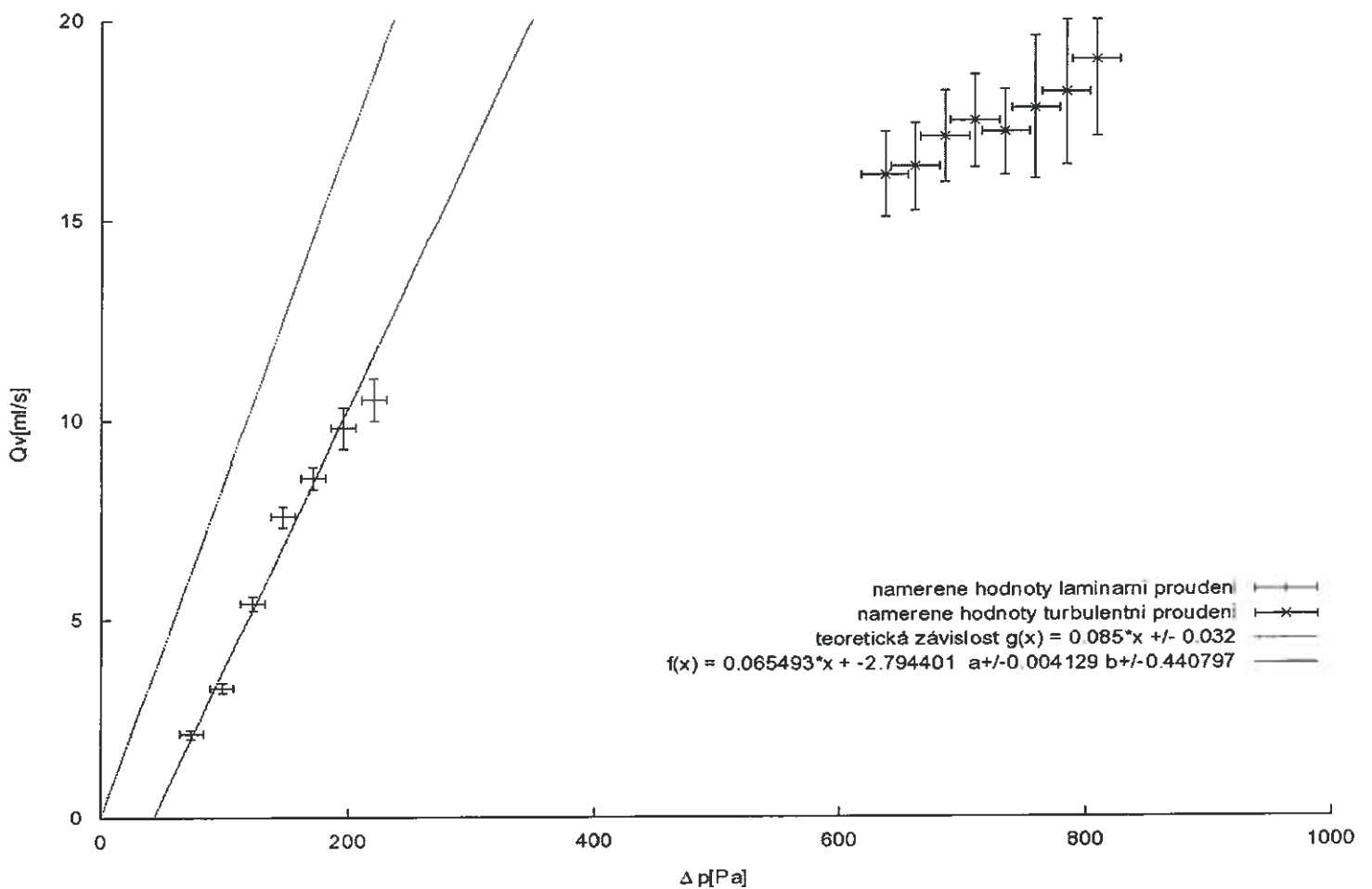
3. trubice-turbulentní

h[mm]	t[s]	V[ml]	QV[ml/s]	s[ml/s]	Δp [Pa]	s[Pa]	v[m/s]	s[m/s]	Re	s	k[N.s ² /m.Kg]	s[N.s ² /m.Kg]
230	27	226	8,37	0,32	2254	48,99	0,87	0,05	1113	68	0,0334	0,0041
240	20	168	8,4	0,43	2352	48,99	0,87	0,07	1116	91	0,0346	0,0057
250	25	208	8,32	0,34	2450	48,99	0,86	0,06	1106	73	0,0368	0,0049
260	20	173	8,65	0,44	2548	48,99	0,9	0,07	1150	93	0,0354	0,0058
270	20	173	8,65	0,44	2646	48,99	0,9	0,07	1150	93	0,0368	0,0060
280	20	174	8,7	0,45	2744	48,99	0,9	0,07	1156	94	0,0377	0,0061
290	25	216	8,64	0,35	2841	48,99	0,9	0,06	1148	75	0,0396	0,0052

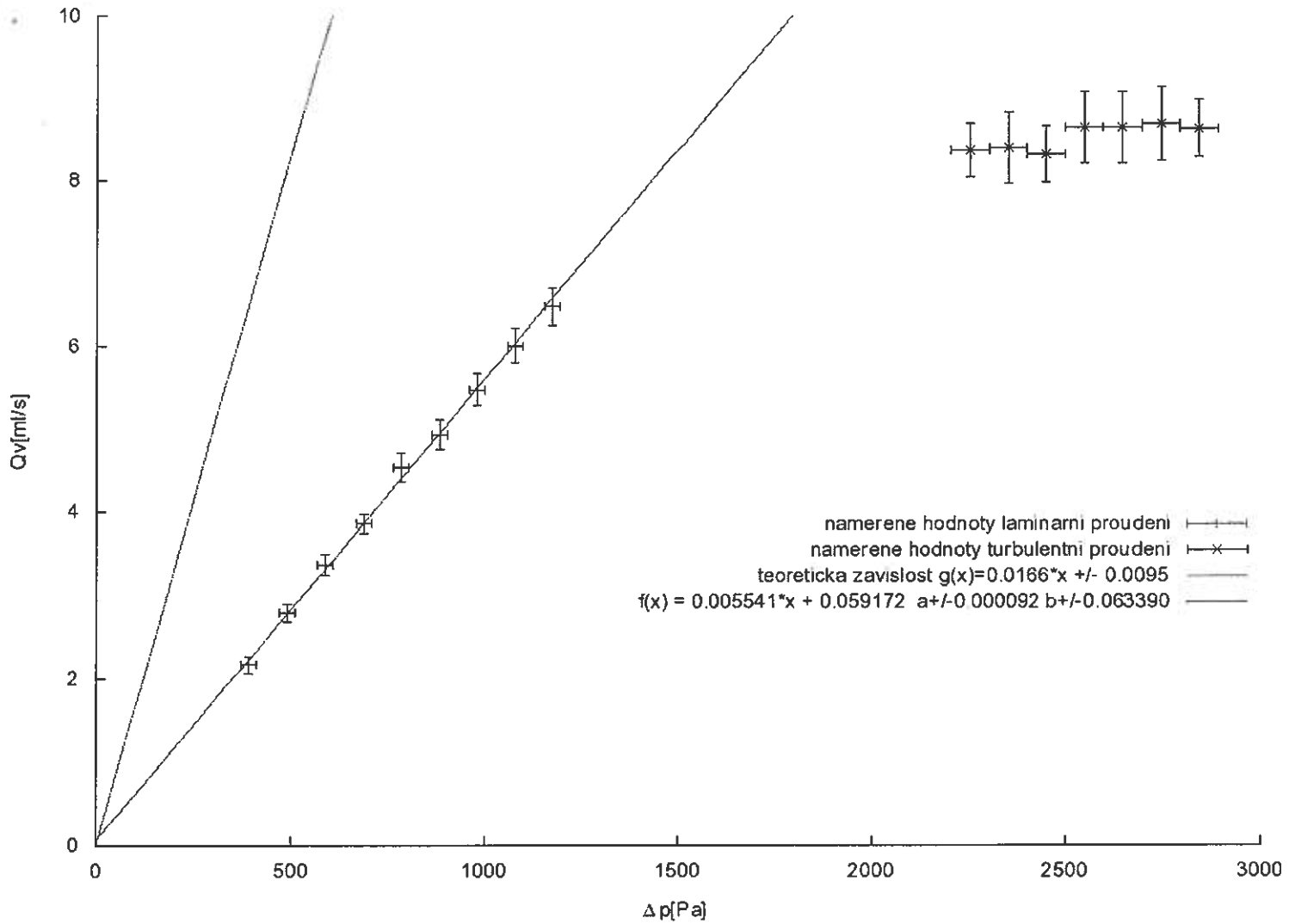
1.trubice: Zavislost prutoku na zmene tlaku



2.trubice: Zavislost prutoku na zmene tlaku

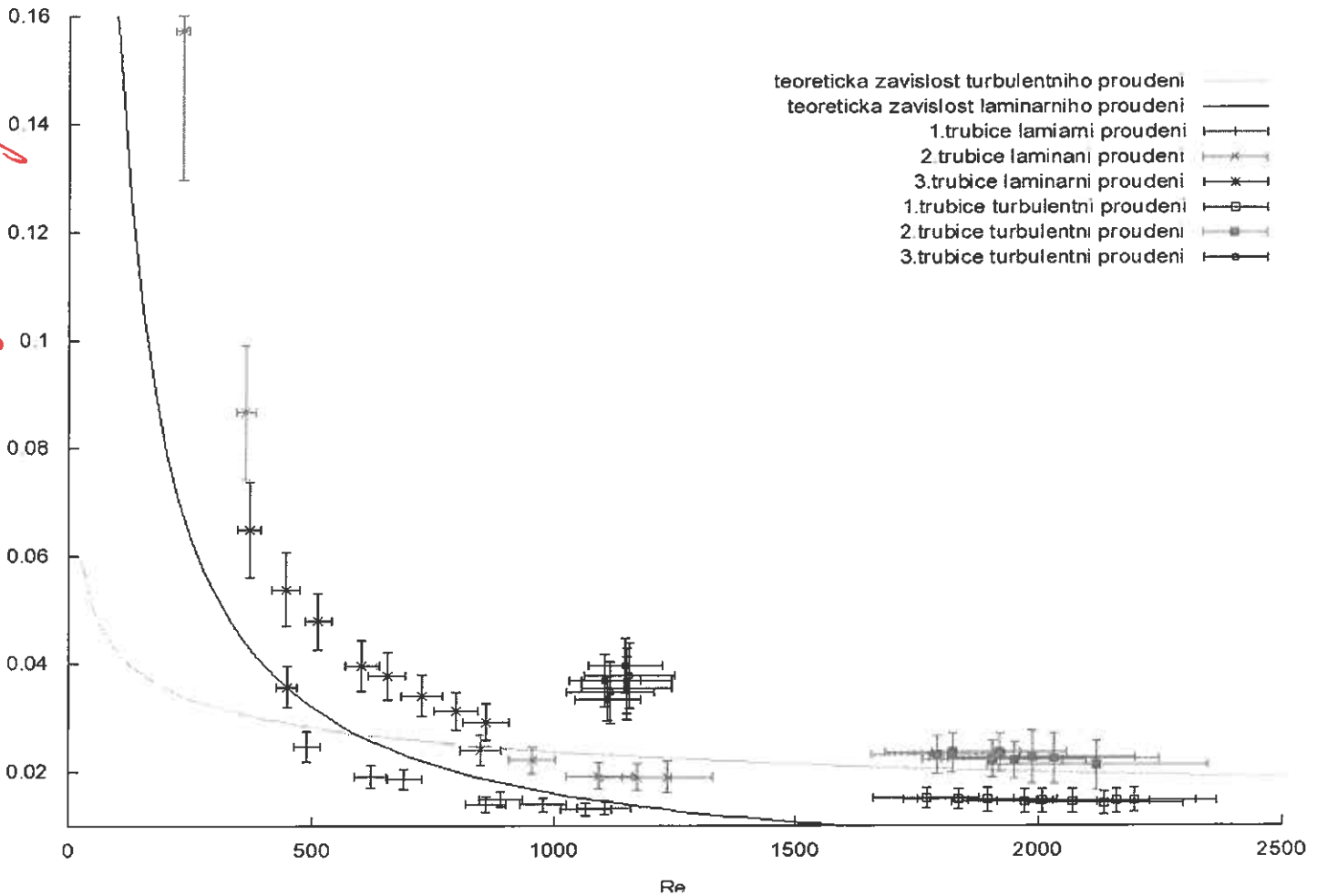


3.trubice: Zavislost prutoku na zmene tlaku



Zavislost k na Re

k jednotky



Diskuse

Měření tlaků bylo v přechodové oblasti téměř nemožné, neboť tlak kolísal u jedné z trubic až o 5cm, což považuji za téměř nichneřikající výsledek. Proto jsem se zaměřil na rozdíl mezi laminárním a turbulentním prouděním a pokusil jsem se tento rozdíl změřit co nejpřesněji. V přechodové oblasti bylo při měření zřetelně vidět, že chvíli proudění bylo laminární a chvíli turbulentní, při měření hodnot o stejném průtoku v přechodové fázi jsem naměřil velmi odlišné výsledky, poněvadž jsem měl ověřit vztahy mezi laminárním a turbulentním prouděním, měřil jsem v oblasti buď čistě laminární, nebo turbulentní. V oblasti přechodové není ani možné aproximovat závislost nějakým vztahem neboť kapalina libovolně střídá stav turbulentní a laminární.

Lineární závislost průtoku na změně tlaku u laminárního proudění se potvrdila. Odchytky od linearity jsou velmi malé asi 2% až 6%. Běžný člověk dokáže rozumně měřit s chybou 5%, tzn. závislost považuji za lineární. Rozdíl od teoretické křivky je dán tím, že jsem s velmi hrubě měřil průměr trubice, neboť měření jsem použil plastové posuvné měřidlo. Směrnice hodnot turbulentního proudění má daleko menší sklon než u laminárního proudění. To je dáno tím, že molekuly vody se pohybují kromě směru podél trubice také ve směru kolmém k trubici a tím zvyšují tlak. Toto je v grafech velice dobře čitelné.

Teoretická závislost součinitele odporu trubice na Reynoldsově čísla leží mezi naměřenými hodnotami různých trubic, což potvrzuje tuto teoretickou závislost pouze částečně. Tato systematická chyba je nejspíše způsobena nepřesně změřeným poloměrem. Dle Poiseuillovy rovnice jsem sice našel poloměr trubice, ale tento poloměr korigoval jiné systematické chyby, které se projeví v grafu závislosti k na Re . Příčinou systematické chyby mohl být různý průřez trubice u manometru, který mohl způsobovat vírové proudy, nebo víry vznikající u napojení trubice na hadičku, trubici v průběhu měření probíhaly bublinky, nebo proudění nebylo zcela laminární.

Lepšího měření bych docílil

1. místo plastové šuplery bych použil digitální šupleru s větší přesností.
2. abych mohl změřit přechodové stádium, pořídil bych si videozáznam, ze kterého bych odečetl aproximoval kolísající tlaky
3. zvýšil bych maximální možnou velikost tlaku abych mohl měřit ve větším rozsahu
4. manometrickou trubici bych nahnul na úhel 30° , abych mohl měřit tlak s větší přesností.
5. vodu bych jímával do větší kádinky, abych mohl měřit s větší přesností průtok.
6. Zlepšil bych vodní zdroj s regulovatelným průtokem (napojil bych kohout blíže trubici), abych omezil nežádoucí vlivy jako tvoření bublin a kolísání tlaku a aby měla regulace tlaku rychlejší odezvu (abych měl čas naměřit více hodnot).

Závěr

1. Změřil jsem závislost objemového průtoku Q_v na úbytku statického tlaku Δp na vyšetřované délce trubice l ve směru proudění pro tři vodorovné trubice s různými poloměry kruhového průřezu, které jsou opatřeny manometry viz. Tabulky 1., 2., 3. **tubice laminární, turbulentní.**
2. Sestrojil jsem grafy závislosti $Q_v = Q_v(p)$. Do grafu také zakreslil teoretické křivky této závislosti plynoucí z Poiseuillovy rovnice. Viz. Grafy 1., 2., 3. **trubice.**
3. Ze směrnice závislosti $Q_v = Q_v(p)$ v oblasti laminárního proudění jsem určil poloměr trubice. Upravený poloměr jsem dosadil do vztahů pro výpočet Re a k . Viz tabulka **dopočítané konstanty** a tabulky 1., 2., 3. **tubice laminární, turbulentní.**
4. Sestrojil jsem graf závislosti $k = k(Re)$, kde k je součinitel odporu trubice a Re je Reynoldsovo číslo. Viz Graf závislost k na Re .

Použitá literatura

1. **Studijní materiál ze stránek praktik matematicko-fyzikální fakulty**
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
2. **Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce** J. Mikulčák a kol. 2003
3. **Základy fyzikálních měření I**, Brož, J. a kol., SPN, Praha 1983

TRANSKUR 0.2

$\rho = 17^\circ\text{C}$

$V = 5,25 \text{ mm}^3$

$\pm 1 \text{ mm}$ ± 10 $\pm 2 \text{ ml}$

$e = 2,55 \text{ mm}$

mm	$M [g]$	$V [ml]$
10	30 30	98
12,5	30	162
15	30	228
17,5	30	242 + 15
20	20	196
22,5	20	210
25	15	166
27,5		
27,5	15	250 + 25
30	15	240 + 22
30	15	250 + 6
32,5	15	245
35	15	242
37,5	15	242
40	10	190
40	10	182
42,5	10	178

7,5	30	63
-----	----	----



JARÝ KRATONAK

31-03-2010

Dout
46

Matematicko-fyzikální fakulta KU
Fyzikální praktikum I.

TRUBTES 0.3

17°C

$n = 3,5 \text{ mm}$

mm	n [mm]	V [ml]	mm	mm
120	30	180 194	120	120
110	30	180		
100	30	163		
90	30	148		
80	30	136		
70	35	135		
60	30	101		
50	30	84		
40	30	65		
<hr/>				
290	25	216		
280	20	173		
270	20	143		
260	25	208		
260	20	173		
250	27	226		
240	20	168		

$l = 25 \text{ cm}$

Prüfung

$\pm 2 \text{ mm}$
~~mm~~

~~mm~~
 $\pm 0,5 \text{ mm}$

TRANSICION 0.1 | 17°C

$n = 3,5 \text{ mm}$

~~1975 cm~~

2925 cm

h mm	A [cm]	V [mm ³]
240	15	175
230	15	172
220	15	170
210	15	165
200	15 15	160
190	15	157
178	15	151
160	20	188
20	30	78
25	30	99
30	30	120
35	30	137
40	30	142
45	30	156
50	30	170
55	30	176

692

170 | 20 | 195

$$\rho = 998,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$\eta =$

15°C $73,5 \cdot 10^3$
20°C $71,75 \cdot 10^3$

PRO KATBOEN TRUBKI GRAF

