

Čerpání rotační olejovou vývěvou

Jakub Kákona, kaklik@mlab.cz

19.11.2010

Abstrakt

1 Úvod

1. Sledujte čerpání uzavřeného objemu rotační olejovou vývěvou (ROV) s uzavřeným a otevřeným proplachováním, a to od atmosférického tlaku až po přibližný mezní tlak. Ze závislosti $\ln(p) = f(t)$ určete čerpací rychlost.
2. Určete čerpací rychlost z měření proudu plynu (mikrobyretou) při konstantním tlaku. Proveďte pro 3 hodnot tlaku od 5 do 20Pa.
3. Určete, jak ovlivňuje efektivní čerpací rychlost hadice mezi ROV a recipientem.
4. Ocejchujte termočlánekový vakuometr v rozsahu 6 až 30 dílků sklápěcím kompresním vakuometrem McLeod. (cca 10 bodů)
5. Měřením tlakového spádu (termočlánekovým vakuometrem a McLeodem) a proudu výduchu (Mikrobyretou) určete vodivost kovové trubice ($\phi = 8,5mm$, $l = 100cm$) pro vstupní tlaky od 5Pa do 50Pa. Určete vodivost trubice výpočtem a výsledky srovnajte.
6. Měření popište v protokolu, výsledky vynesete v tabulkách a grafech.

2 Postup měření

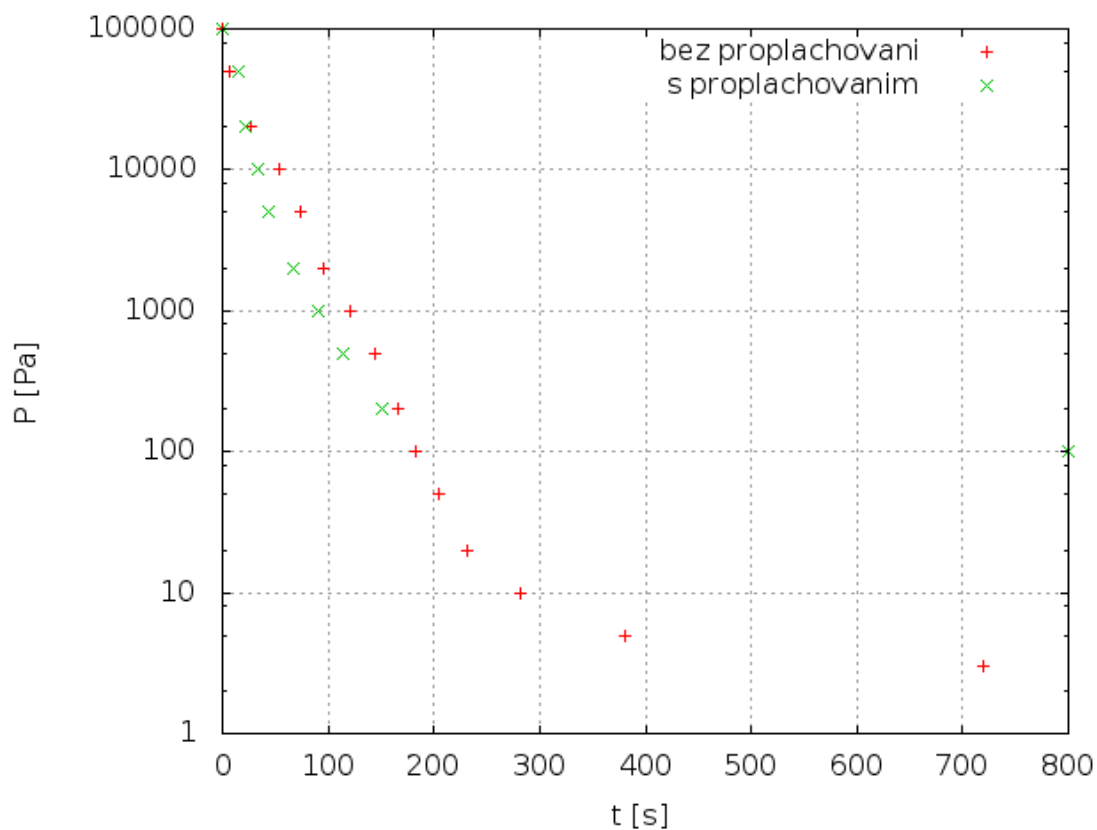
2.1 Čerpání uzavřeného objemu Rotační olejovou vývěvou

Objem skleněné baňky (asi 11,8 l) jsme čerpali rotační olejovou vývěvou přes hadici. Zároveň jsme měřili tlak a hodnoty zapisovali do tabulky.

Výsledná závislost po vynesení do grafu vykazuje typické znaky použití proplachování u rotační vývěvy. Tedy nižší mezní tlak a nižší efektivní čerpací rychlost.

Tabulka 1: Průběhy tlaku v recipientu při čerpání rotační olejovou vývěvou

	Bez proplachování	S proplachováním
[Pa]	[s]	[s]
1,00E+005	0	38
5,00E+004	6	53
2,00E+004	26	60
1,00E+004	53	71
5,00E+003	73	81
2,00E+003	96	105
1,00E+003	121	128
5,00E+002	145	152
2,00E+002	166	189
1,00E+002	182	300
5,00E+001	204	
2,00E+001	232	
10	282	
5	380	
3	720	



Obrázek 1: Průběhy tlaku v recipientu při čerpání rotační olejovou vývěvou

2.2 Efektivní čerpací rychlost

Pro odčerpané množství plynu při konstantním objemu platí vztah

$$S_p = -\frac{d(pV)}{dt} = -V\frac{dp}{dt},$$

ze kterého po separaci proměnných plyne

$$\ln p = \ln p_0 - \frac{S(t_2 - t_1)}{V},$$

Interpolací naměřených hodnot tímto výrazem dostáváme čerpací rychlosti.

$$S_1 = 0,42 \text{ l/s} \quad S_2 = 0,36 \text{ l/s},$$

kde S_1 je čerpací rychlost bez proplachování a S_2 je čerpací rychlost s proplachováním.

2.3 Měření čerpací rychlosti

Při čerpání rotační vývěvou jsme pootevřeli jehlový ventil oddělující mikrobyretu, tak aby se tlak v aparatuře ustálil na hodnotě mezi 5 a 20 Pa. Potom jsme měřili průtok plynu mikrobyretou. Měření jsme několikrát opakovali.

Proud plynu je stejný v mikrobyretě i v rotační vývěvě. Proto při konstantním tlaku platí

$$S_{EFP} = -\frac{d(pV)}{dt} = p_A \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

Pro efektivní čerpací rychlost tedy platí

$$S_{EF} = \frac{p_A}{p} \frac{\Delta V}{\Delta t}.$$

Ze vzorce uvedeného na mikrobyretě jsme vypočítali

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 4,75 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{l}{t} [\text{cm}; \text{s}; \text{cm}^3/\text{s}],$$

kde l je délka o kterou se posunula hladina oleje v mikrobyretě za čas t . Za p_A jsme dosadili 10^5 Pa. Výsledné hodnoty jsou uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2: Čerpací rychlost změřená pomocí mikrobyrerty

p [Pa]	l [cm]	t [s]	S_{EF} [l/s]
5	13	65	0,190
7	13	48,5	0,182
10	13	27,3	0,226
20	13	14,7	0,210

2.4 Vodivost hadice k ROV

Výpočtem jsme zjistili vodivost gumové hadice (průměru 19,51mm a délky 730mm)

Pro kruhový průřez a viskózně molekulární je pak vodivost dána Knudsenovým empirickým vztahem

$$C_{VM} = C_V + Z \cdot C_{M,DT},$$

kde pro vzduch při 20 °C platí

$$C_V = 1,365 \cdot \frac{D^4}{L} \cdot \frac{p_1 + p_2}{2} \text{ [l/s; cm; Pa]}, \quad C_{M,DT} = 12,1 \cdot \frac{D^3}{L} \text{ [l/s; cm]}, \quad Z = \frac{2 + 2,507 \cdot \frac{D}{l_S}}{2 + 3,095 \cdot \frac{D}{l_S}}$$

Efektivní čerpací rychlost vývěvy jsme spočítali ze vztahu

$$S_{EF} = \frac{C_{VM}S}{C_{VM} + S},$$

kam jsme za S dosadili čerpací rychlost $S_1 = 0,42$ l/s vývěvy bez proplachování vypočtenou v předchozí úloze. Výsledné vodivosti a efektivní čerpací rychlosti pro čtyři různé tlaky jsou uvedeny v tabulce 3 (za $p_1 + p_2$ jsme dosadili $2p$).

Tabulka 3: Vodivost hadice mezi ROV a recipientem

p [Pa]	l_S [mm]	C_{VM} [l/s]	S_{EF} [l/s]
5	1,3	2,4	0,36
7	0,94	2,9	0,37
10	0,66	3,7	0,38
20	0,33	6,4	0,39

Z této tabulky je patrné, že efektivní čerpací rychlost není za hadicí nijak výrazně závislá na tlaku a zároveň tato konkrétní hadice připojená k ROV snižuje čerpací rychlost o zhruba 20 %.

2.5 Termočlánekový vakuometr

Kalibraci termočlánekového vakuometru jsme prováděli po jeho přeshroubování na přírubu rozbočovače u skleněné baňky následně postupně měnili tlak. A hodnoty z obou vakuometrů McLeod i termočlánekový vakuometr zapisovali do tabulky.

Tlak z Mcleodova vakuometru jsme určili podle přiloženého vzorce

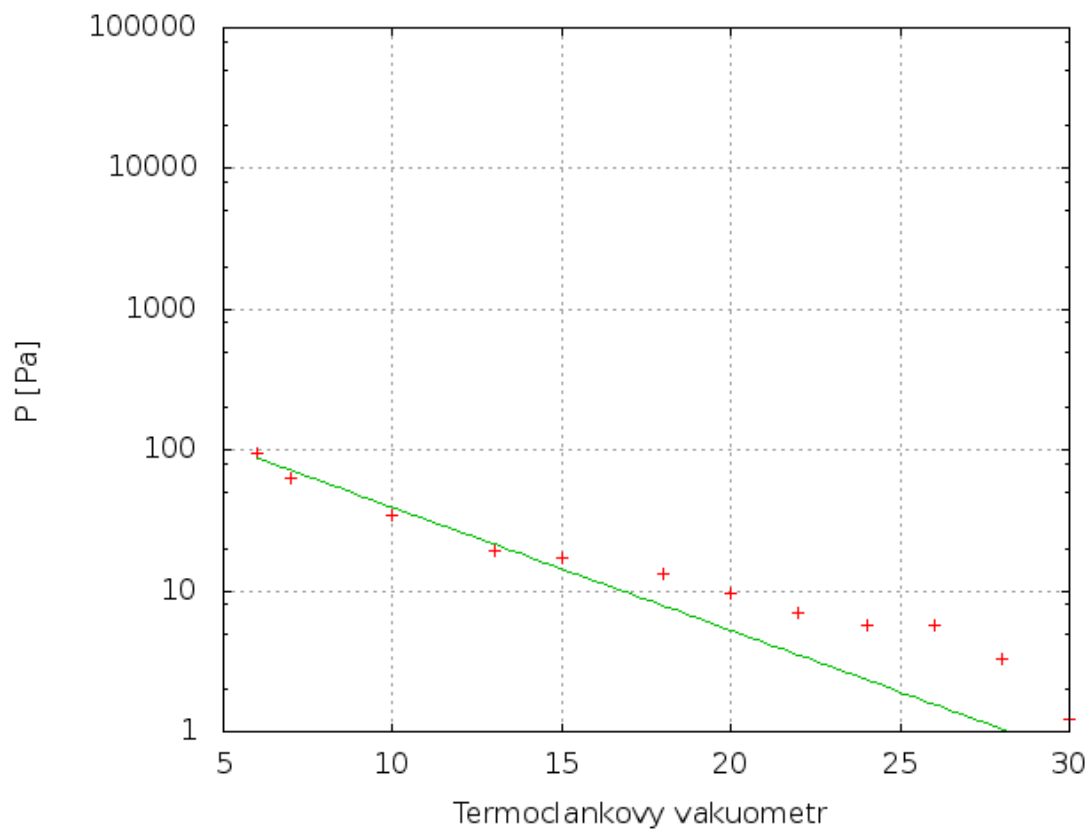
$$p = \frac{133,3 \cdot lh}{1100 - l} \text{ [Pa; mm]}.$$

Hodnoty jsou uvedené v tabulce 4 a grafu.

Výsledkem je graf, který by se dal považovat za kalibrační křivku termočlánekového vakuometru. Pro ilustraci je zde uvedena i ideální lineární odezva vakuometru.

Tabulka 4: Korekční hodnoty mezi McLeodovým a termočláňkovým vakuometrem

l [mm]	h [mm]	p [Pa]	Počet dílků
5,0	2,0	1,2	30
7,0	3,8	3,2	28
8,0	5,3	5,2	26
8,5	5,5	5,7	24
9,5	6,0	7,0	22
10,5	7,5	9,6	20
12,0	9,0	13,2	18
12,5	11,3	17,3	15
13,5	11,7	19,4	13
18,0	15,4	34,2	10
23,5	21,8	63,4	7
28,3	27,3	96,1	6



Obrázek 2: Korekce termočláňkového vakuometru na skutečný tlak

2.6 Vodivost kovové trubice

Mezi recipient a mikrobyretu byla ve skutečnosti umístěna kovová trubice o průměru $D = 8,5 \text{ mm}$ a délce $L = 100 \text{ cm}$. Mezi mikrobyretu a trubicí jsme ještě připojili již ocejkovaný termočláňkový vakuometr, který byl předtím umístěn na recipientu. Pomocí tohoto termočláňkového vakuometru a McLeodova vakuometru umístěného na recipientu, můžeme nyní měřit tlakový spád na trubicí. Nyní jsme nastavili jehlový ventil tak, aby tlak vzduchu v recipientu byl v mezi 5 a 50 Pa. Měření jsme opakovali pro 7 různých hodnot. Proud plynu je v každém místě stejný, proto bude platit

$$C(p_1 - p_2) = p_A \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

Odkud pro vodivost trubice platí (molekulární proudění)

$$C = \frac{p_A}{(p_1 - p_2)} \frac{\Delta V}{\Delta t},$$

Kde $p_A = 10^5 \text{ Pa}$ je atmosférický tlak, p_1 je tlak mezi mikrobyretou a kovovou trubicí měřený termočláňkovým vakuometrem, p_2 je tlak v recipientu měřený McLeodovým vakuometrem a podíl $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ jsme určili pomocí mikrobyrety. Hodnoty a výsledky jsou uvedeny v tabulce 5, kde N je počet dílků na termočláňkovém vakuometru a C je vodivost kovové trubice.

Tabulka 5: Vodivost kovové trubice určená pomocí mikrobyrety a rozdílu tlaků

N	p_1 [Pa]	p_2 [Pa]	$\frac{dV}{dt}$ [cm ³ /s]	C [l/s]
26	5,2	1,7	$2,72 \cdot 10^3$	0,078
21	8,3	3,4	$6,64 \cdot 10^3$	0,135
15	17,3	6,2	$1,93 \cdot 10^2$	0,173
13	19,4	8,6	$2,87 \cdot 10^2$	0,266
10	34,2	15,9	$4,94 \cdot 10^2$	0,271
8	53,7	31,3	$7,35 \cdot 10^2$	0,327
6	96,1	71,2	$1,47 \cdot 10^1$	0,590

Pro výpočet vodivosti trubice použijeme vzorec

$$C_{VM} = C_V + Z \cdot C_{M,DT},$$

kde pro vzduch při 20 °C platí

$$C_V = 1,365 \cdot \frac{D^4}{L} \cdot \frac{p_1 + p_2}{2} \text{ [l/s; cm; Pa]}, \quad C_{M,DT} = 12,1 \cdot \frac{D^3}{L} \text{ [l/s; cm]}, \quad Z = \frac{2 + 2,507 \cdot \frac{D}{l_S}}{2 + 3,095 \cdot \frac{D}{l_S}}.$$

Pro střední volnou dráhu částic vzduchu při 20 °C platí

$$l_S = 6,6 \cdot 10^{-3} \frac{2}{p_1 + p_2} \text{ [m; Pa]}.$$

Výsledky po dosazení hodnot pro příslušné tlaky jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6: Výpočet vodivosti kovové trubice

p_1 [Pa]	p_2 [Pa]	l_S [mm]	C_{VM} [l/s]
5,2	1,7	1,9	0,085
8,3	3,4	1,1	0,102
17,3	6,2	0,56	0,144
19,4	8,6	0,47	0,160
34,2	15,9	0,26	0,239
53,7	31,3	0,16	0,363
96,1	71,2	0,08	0,656

Tabulka 7: Srovnání vypočtených a naměřených hodnot

C [l/s]	C_{VM} [l/s]	Absolutní chyba [l/s]	Relativní chyba
0,078	0,085	-0,01	9 %
0,135	0,102	0,03	33 %
0,173	0,144	0,03	20 %
0,266	0,160	0,11	66 %
0,271	0,239	0,03	14 %
0,327	0,363	-0,04	10 %
0,590	0,656	-0,07	10 %

3 Závěr

V úloze byly dobře demonstrovány možnosti rotačních olejových vývěv a i nejjednodušší způsoby měření tlaků a průtoků ve vakuové technice. výpočty jsme pak ověřili že není snadné přesně vypočítat vodivost reálné trubice, jelikož rozdíly vypočítaných a naměřených hodnot dosahují desítek procent.