

2 Měření s difuzní olejovou vývěvou

21. listopadu 2010

Vakuová fyzika a technika	
Jméno: Vojtěch Horný	Datum měření: 12. listopadu 2010
Pracovní skupina: 2	Ročník a kroužek: 3. ročník, pátek 11:45
Spolupracovali: Jaroslav Zeman, Jiří Slabý	Hodnocení:

1 Úvod

V technice vysokého vakua se uplatňují velice často difuzní vývěvy. Jsou schopny pracovat řádově od desítek Pa, proto je nutné předčerpání. V našem případě byla k tomu účelu užitá rotační vývěva, která je schopna čerpat z atmosféry. Difuzní vývěva funguje podobně jako kapalinová vývěva, při vyšším vakuu působí pouze strhávání molekul plynu rychle proudících olejových par. Difuzní vývěva sestává z varné části, kde se elektrickým proudem zahřívá olej, a ze samotné pracovní části. Pro správnou funkci je nutno plášť vývěvy dostatečně chladit, v našem případě vodou.

Mezní tlak difuzních olejových vývěv se pohybuje v rozmezí 10^{-2} až 10^{-7} Pa. Čerpací rychlost těchto vývěv je relativně malá, k dosažení mezního tlaku je třeba čerpat hodiny.

2 Pracovní úkoly

1. Sledujte čerpání uzavřeného objemu difuzní olejovou vývěvou od atmosférického až po dosažení přibližně ustáleného tlaku (≥ 1 hod.).
2. Ocejchujte výbojový manometr (Penning) podle ionizačního triodového manometru (po delším čerpání ≈ 1 hod. pro odplynění).
3. Změřte pro několik hodnot tlaku tlakový spád na cloně (Φ 5 mm, l 1mm).
4. Z tlakového spádu na cloně určete efektivní čerpací rychlost difuzní olejové vývěvy nad ventilem.
5. Určete maximální výstupní tlak difuzní olejové vývěvy (tlak, při němž se hroutil čerpací proces).

3 Základní pojmy a vztahy

Střední volná dráha, tedy dráha, kterou proletí molekula mezi dvěma po sobě jdoucími srážkami, se pro vzduch při 20°C vypočítá ze vzorce:

$$l_s = 6,6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{p} \quad [m; Pa] \quad (1)$$

Pro vodivost pro molekulární proudění vzduchu o teplotě 20°C otvorem o obsahu A v tenké stěně platí vzorec:

$$C_m = 11,6 \cdot A \quad [l/s; cm^2] \quad (2)$$

Mějme dva objemy spojené malým otvorem, v každém z nich je udržován určitý tlak. Nechtě se tlaky sobě nerovnaj. Potom bude proudit plyn z objemu o vyšším tlaku do objemu o nižším tlaku. Po čase nastane ekvilibrium. Otvorem bude protékat konstantní proud o velikosti

$$q = C\Delta p, \quad (3)$$

kde C je vodivost otvoru a Δp je tlakový rozdíl. Je-li S je objem plynu odsátý vývěvou při daném tlaku v hrdle vývěvy za 1 sekundu, pak pS je čerpané množství plynu. V případě dokonalého utěsnění můžeme psát rovnici

$$pS = p \cdot \frac{dV}{dt} = -V \cdot \frac{dp}{dt}.$$

Jsou-li ale v objemu zdroje plynu o hodnotě proudu q , potom

$$pS - q = -V \cdot \frac{dp}{dt}. \quad (4)$$

Udržíme-li tlaky stálé, pak člen s derivací $\frac{dp}{dt}$ je nulový. Pro čerpací rychlost získáváme po jednoduchém dosazení

$$S = \frac{q}{p} = C \frac{\Delta p}{p}. \quad (5)$$

Efektivní čerpací rychlost se počítá podle vztahu

$$S_{ef} = \frac{CS}{C+S}. \quad (6)$$

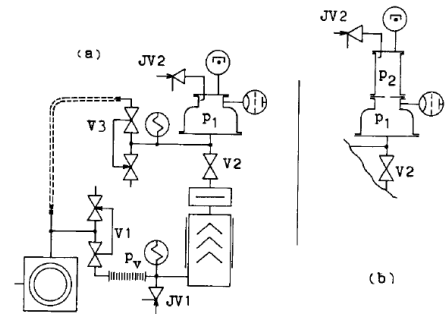
4 Pracovní postup a pozorované jevy

4.1 Čerpání uzavřeného objemu difuzní vývěvou

Pracovali jsme na aparatuře sestavené podle schématu na obrázku 1 a). Na počátku měření byla celá aparatura zaplněna vzduchem. Zapnuli jsme Piraniho manometr, uzavřeli jehlové ventily a otevřeli jsme deskový ventil V2 nad DOV. Uzavřeli jsme ventil V1 a spustili pomocnou rotační vývěvu. Poté jsme ventilem V1 spojili rotační vývěvu s výstupem DOV.

Jakmile tlak na výstupu DOV klesnul pod 10 Pa, tzn. cca po šesti minutách, jsme zapnuli DOV. Zpočátku jsme pozorovali mírný nárůst tlaku, po několika minutách již tlak opět klesal. Při dalším čerpání jsme pozorovali velké kmity ručičky Penningova vakuometru, proto jsme několikrát otevřeli jehlový ventil, abychom ji uklidnili. Ve 45. minutě měření jsme zjistili, že neměříme správné údaje. Penningův vakuometr byl přepnut na měření tlaku na výstupu DOV, nikoli na měření tlaku v čerpané oblasti. Chyba byla způsobena tím, že jsme si nevšimli tlačítka pro přepínání.

V 56. minutě, když tlak zřetelně klesl pod 10^{-1} Pa, jsme zapnuli triodový ionizační manometr. Pokles tlaku během čerpání je zaznamenán v grafu 1.



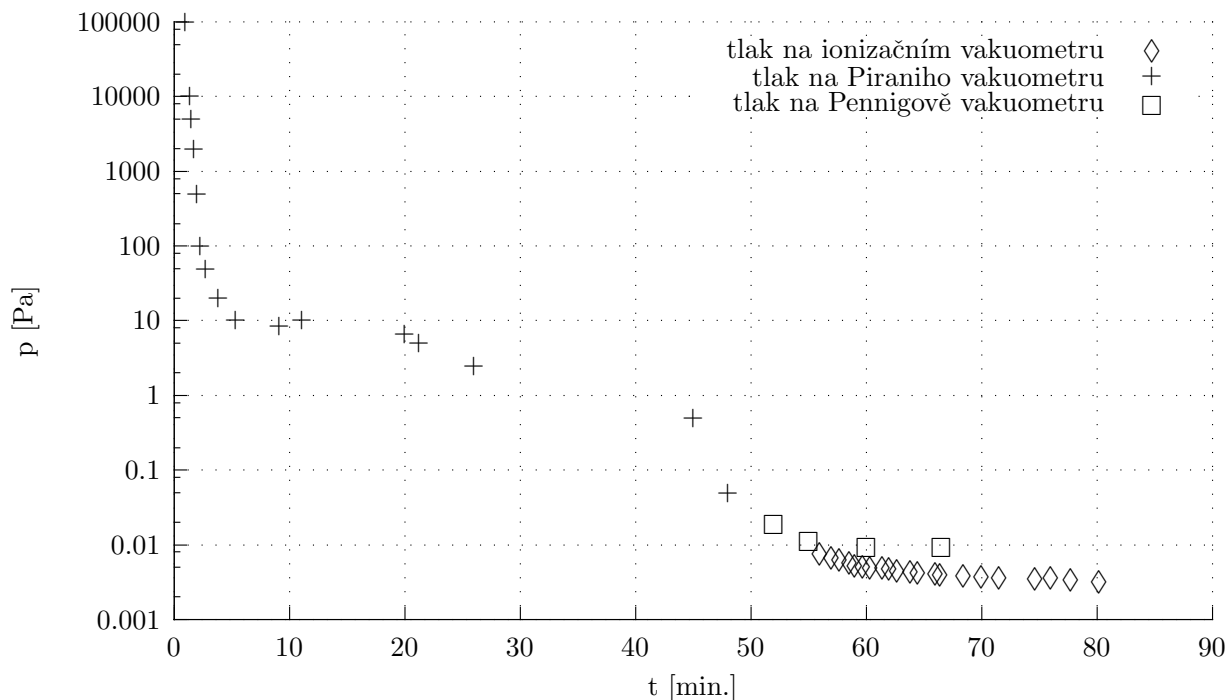
Obrázek 1: Schéma experimentální aparatury pro měření s difuzní vývěvou

4.2 Cejchování výbojového Penningova manometru podle ionizačního triodového manometru

Otáčením jehlového ventilu jsme nastavovali tlak v měřeném objemu tak, abychom byli schopni přesně odečíst hodnotu, kterou ukazuje výbojový vakuometr. Zároveň jsme pro každé nastavení odečetli hodnotu na ionizačním vakuometru. Údaje jsou uvedeny v tabulce 1 a vyneseny v grafu na obrázku 2.

$p_t [10^{-5} \text{ Torr}]$	$p_t [10^{-3} \text{ Pa}]$	$p_P [10^{-3} \text{ Pa}]$
5,5	7,3	20
12,5	16,7	50
16,5	22	100
31,3	41,7	200

Tabulka 1: Cejchování výbojového manometru podle triodového manometru - p_t - tlak naměřený triodovým ionizačním manometrem, p_P - tlak naměřený Penningovým výbojovým manometrem



Graf 1: Sledování poklesu tlaku během čerpání v závislosti na čase.

Hodnoty tlaků naměřených těmito vakuometry se velmi liší, ačkoli jsme měřili tu samou veličinu ve stejném místě. Ukazuje to na velkou nepřesnost Penningova manometru. Pro další úkol jsme se rozhodli získat kalibrační křivku, vzhledem k naměřeným bodům jsem se rozhodl pro lineární fit. Získaná závislost tlaku naměřeného výbojovým vakuometrem p_P na tlaku naměřeném ionizačním vakuometrem p_t má tvar

$$p_P = 5,4 \cdot p_t - 25; \quad [10^{-3} Pa, 10^{-3} Pa]. \quad (7)$$

4.3 Tlakový spád na cloně

Upravili jsme měřící aparaturu podle schématu a obrázku 1 b). Mezi tlaky p_1 , p_2 na obrázku 1 je kruhový otvor (Φ 5 mm, l 1mm). Penningovým vakuometrem jsme měřili tlak p_2 nad clonou, ionizačním tlak p_1 pod clonou. Pro tlak p_2 nad clonou jsme brali za výchozí cejchované hodnoty z předchozího úkolu.

Recipient jsme předčerpali rotační vývěvou. Tlak v recipientu jsme měřili Piraniově měrkou. Když tlak v recipientu poklesl pod 10 Pa, začali jsme čerpat difúzní olejovou vývěvou. Při tlaku menším než 10^{-1} jsme zapnuli ionizační i výbojový manometr a sledovali tlaky v obou objemech spojených otvorem. Počkali jsme na vyrovnání tlaků v obou objemech. Pootevřením jehlového ventilu jsme poté do horního objemu napustili vzduch tak, aby údaj Penningova vakuometru zůstal v ocejchovaných mezích. Po nastolení ekvilibría jsme odečetli tlaky p_1 a p_2 . Podařilo se nám odečíst čtyři různé hodnoty. Naměřené hodnoty naleznete v tabulce 2.

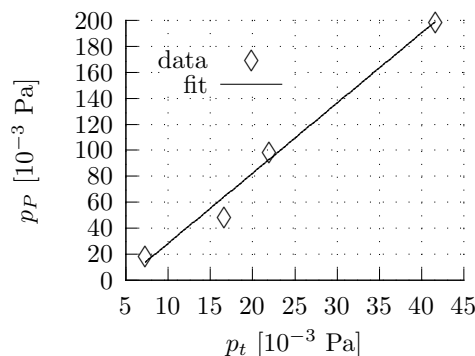
Předpokládáme molekulární proudění plynu otvorem. Dosazením do vzorce 1 zjišťujeme, že pro tlaky, ve kterých jsme měřili, je střední volná dráha výrazně větší než geometrické rozměry otvoru. Vodivost otvoru C tedy můžeme vypočítat ze vztahu 2.

$$C = 2,28 \text{ l/s}$$

Chybu záměrně neuvádím, netroufám si odhadovat chybu určení průměru otvoru a tato chyba ani nikde nebyla uvedena. Čerpací rychlosti S a efektivní čerpací rychlosti S_{ef} pro jednotlivé tlakové spády vypočtené ze vztahů 5 a 6 naleznete v tabulce 2.

4.4 Maximální výstupní tlak difúzní olejové vývěvy

Opatrně jsme zvyšovali tlak na výstupu DOV. Ke zhroucení došlo při tlaku (19 ± 1) Pa.



Obrázek 2: Cejchování manometrů, p_t , p_P -tlaky na triodovém ionizačním, Penningově vakuometru.

p_1 [10^{-3} Pa]	p'_2 [10^{-3} Pa]	p_2 [10^{-3} Pa]	S [l/s]	S_{ef} [l/s]
21,3	200	41,7	2,17	1,11
14,0	100	22,0	1,30	0,83
9,6	50	16,7	1,68	0,97
6,7	25	9,4	0,94	0,67

Tabulka 2: Měření čerpací rychlosti S a efektivní čerpací rychlosti S_{ef} - p_1 - tlak na ionizačním vakuometru pod clonou, p'_2 - hodnota tlaku na Penningově vakuometru v prostoru nad clonou, p_2 - kalibrovaný tlak nad clonou

5 Diskuse a závěr

5.1 Čerpání objemu difuzní vývěvou

Pozorovali jsme čerpání uzavřeného objemu difuzní olejovou vývěvou od atmosférického až po dosažení přibližně ustáleného tlaku. Čerpání trvalo 80 minut. Během měření jsme se dopustili chyby, Piraniho manometrem jsme prvních 45 minut sledovali prostor na výstupu DOV, nikoli v prostoru čerpaném DOV. Chyba byla způsobena neznalostí ovládání Piraniho manometru, nevěšili jsme si, že Piraniho manometr má přepínač. Z této chyby se pro další měření poučíme.

Pozorovali jsme po zapnutí DOV několikaminutový mírný nárůst tlaku v důsledku vypařování olejových par. Tento nárůst byl ale rychle vykompenzován rychlejším čerpáním pomocí DOV. Minimální tlak, jehož se nám podařilo dosáhnout, byl podle triodového ionizačního manometru $3,47 \cdot 10^{-3}$ Pa.

5.2 Cejchování výbojového manometru a měření efektivní čerpací rychlosti difuzní olejové vývěvy

Ocejchovali jsme pomocí čtyř hodnot Penningův výbojový manometr triodovým ionizačním manometrem. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1. Ukázalo se, že Penningův manometr pro nízké hodnoty tlaku nepoužitelný, protože ukazuje přibližně šestinásobnou hodnotu, než triodový manometr.

Rozdělili jsme čerpaný prostor na dva objemy propojené malým kruhovým objemem a měřili čerpací rychlost proudění z objemu o vyšším tlaku do části s nižším tlakem. Pro jednotlivé tlaky jsme vypočítali efektivní čerpací rychlosti. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 2. Efektivní čerpací rychlosti nabývaly řádů desetin až jednotek l/s.

5.3 Maximální výstupní tlak difuzní olejové vývěvy

Čerpací proces se zhroutil při tlaku (19 ± 1) Pa.

Reference

- [1] KRÁL, J.: *Cvičení z vakuové techniky*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1996
- [2] ERBEN, M.: *Vakuová technika, učební text* FCHT UP, Pardubice, 2008 [online], [cit. 17. listopadu 2010], webak.upce.cz/~koanch/DOWNLOAD/Ucebni%20texty/Skriptum_vacuum.pdf