

#### 7.4.5 Měření čerpací rychlosti

V závěru se budeme ještě zabývat dvěma měřicími metodami, jež jsou zvláštními případy měření proudu ve vakuovém systému. Je to *měření čerpací rychlosti vývěv a lokalizace netěsností* vakuových systémů.

Měření čerpací rychlosti, veličiny charakterizující vývěvu, která je dle (145) určena jako velikost objemu  $V$  čerpaného plynu prošlého za jednotku času vstupním otvorem vývěvy, lze provádět dvěma způsoby, analogickými způsobem měření proudu plynu uvolňovaného povrchem látky. Čerpací rychlosť vývěvy, jak známo, závisí na tlaku plynu, který vývěva čerpá a je tedy nutné pro určitou vývěvu proměřit závislost  $S(p)$ , tj. tzv. *charakteristiku vývěvy*.

První způsob spočívá na principu měření čerpací rychlosti při stálém tlaku. Vývěva se připojuje k měřicí komoře (obr. 7-49a), do níž se přivádí plyn pomocí vpouštěcího ventilu. Proud plynu  $Q$  vpouštěného do komory se měří některou z metod měření proudu a manometrem se měří tlak  $p$  v komoře. Při změnách  $Q$  se mění i tlak  $p$ ; po určité době dojde k ustálenému stavu, kdy proud vpouštěného plynu  $Q$  je roven proudu plynu proudícího z komory do vývěvy  $Q'$ . Jelikož

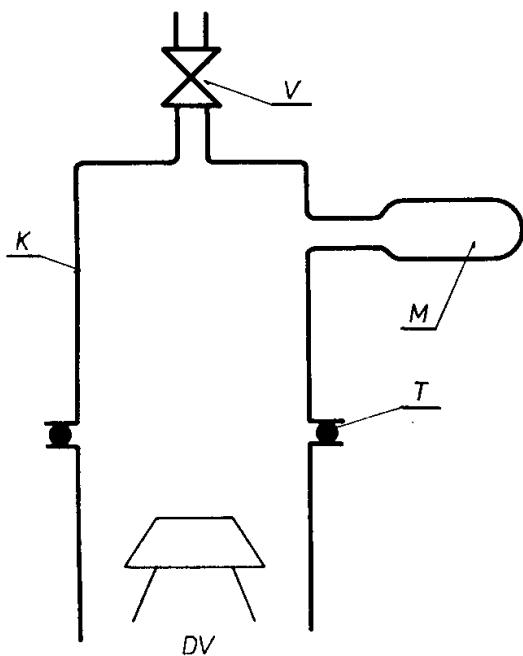
$$Q' = -p \frac{dV}{dt} = pS = Q, \quad (250)$$

je

$$S = \frac{Q}{p}. \quad (251)$$

Při měření je nezbytné, aby  $Q \gg Q_{us} + Q_l$ , jinými slovy, aby komora byla dostatečně těsná a odplyněná. Při správném měření je nutno splnit ještě další dva požadavky, a to:

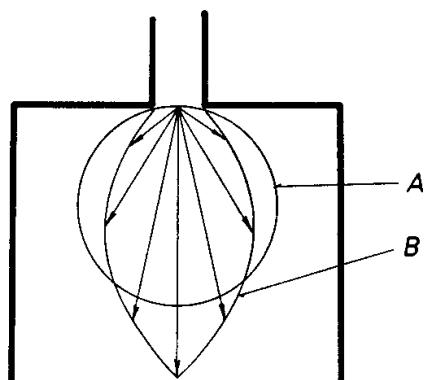
1. Vpouštěný plyn nesmí proudit přímo do vstupního otvoru vývěvy, nýbrž musí být dosaženo rozptýlení směrů rychlostí molekul.
2. Údaj tlaku musí odpovídat střední koncentraci molekul v komoře.



Obr. 7-49a. Měření čerpací rychlosti

- $V$  — vpouštěcí ventil
- $DV$  — difuzní vývěva
- $K$  — měřicí komora
- $M$  — manometr
- $T$  — těsnění spojovací přírub.

Experimentálně bylo ukázáno, že měření může být zatíženo chybou větší než 1000%, nejsou-li tyto podmínky splněny.



Obr. 7-49b. Rozdělení směrů rychlostí molekul plynu vpouštěného do měřicí komory

- $A$  — rozdělení dané kosinovým zákonem
- $B$  — rozdělení rychlostí molekul vpouštěného proudem plynu.

*Dayton* studoval rozdělení směrů rychlostí; zjistil, že se toto rozdělení podstatně liší od rozdělení rychlostí, k němuž dochází při difúzním odrazu na stěně (obr. 7-49b), daném kosinovým zákonem. V důsledku toho se dostává určitý počet molekul plynu do vývěvy; při normálním rozdělení směrů rychlostí molekul by se do ní za stejnou dobu nedostal. Je proto takto získaná hodnota  $S$  větší než skutečná. Dále při měření tlaku za těchto okolností je změřená hodnota nižší, než odpovídá střední koncentraci molekul v komoře.

Vyslovené požadavky lze splnit zvláštní úpravou měřicí komory. Jednak je možno rozptýlit proud vpouštěného plynu do komory tak, že se mu do cesty vloží několik rozptylujících ploch. Dále je možno omezit vnik molekul, proudících přímo do vstupního otvoru vývěvy, další plochou, umístěnou nad vstupním otvorem. Přitom je nutno ze změřené hodnoty  $S_{ef}$  určit skutečnou rychlosť  $S$  pomocí vztahu (167) tak, že  $1/S = 1/S_{ef} - 1/C$ , kde  $C$  je vodivost části komory s rozptylující plo-

chou. Při měření čerpací rychlosti difúzní vývěvy s lapačem plní lapač sám úlohu plochy rozptylující molekuly. Konečně je možno k měření tlaku užít vnořeného ionizačního manometru a tak vyloučit nesrovnalosti v měření tlaku.

Metodu zdokonalil Oatley v tom směru, že při měření tlaku není nutno užít kalibrovaného ionizačního manometru, takže se neuplatní vliv různé citlivosti pro různé plyny. Vodivost vstupního otvoru vývěvy se mění pomocí kotouče s otvary o různém průměru (obr. 7-50), kterým lze otáčet tak, že během celého měření se změří hodnoty tlaku  $p_1, p_2, \dots$  pro různé otvory o vodivostech  $C_1, C_2, \dots$ . Jelikož se přitom nemění proud vpouštěného plynu  $Q$ , je

$$Q = pS_{\text{ef}} \quad (252)$$

a dosazením do (167) je

$$\frac{p}{Q} = \frac{1}{S} + \frac{1}{C},$$

čili

$$p = \frac{Q}{S} + \frac{Q}{C}. \quad (253)$$

Vyneseme-li závislost  $p$  na  $1/C$ , obdržíme přímku, která na ose hodnot  $1/C$  vytíná úsek  $Q/S$ , z něhož můžeme odečíst hodnotu  $S$ . Sklon přímky závisí na citlivosti manometru, avšak sklon není nutno znát. Proto není nutno užít kalibrovaného manometru,

Obr. 7-50. Oatleyova měřicí metoda čerpací rychlosti

- $D$  — deska s otvory
- $DV$  — měřená difúzní vývěva
- $V$  — vpouštěcí ventil
- $IM$  — vnořený ionizační manometr
- $R$  — vložka s látkou rozptylující molekuly.

stačí měřit v lineární části kalibrační křivky manometru. Tlak plynu těsně pod deskou s otvory zůstává stálý při různých hodnotách  $C_1, C_2, \dots$ , protože čerpací rychlosť  $S$  i proud  $Q$  se během měření nemění (252). Je to tedy metoda měření za stálého tlaku, i když tlak v komoře se mění (nabývá hodnot  $p_1, p_2, \dots$ ).

V oboru ultravysokého vakua se s výhodou užívá k měření proudu vpouštěného plynu metody dle Trendelenburga a Hengevosse. Přitom je nutno dbát, aby nejen stěny měřicí komory neuvolňovaly plyn, ale též aby jej nevázaly ( $Q_{us} = 0$ ).

Druhý způsob zjišťování čerpací rychlosti je založen na měření změn tlaku v měřicí komoře o stálém objemu  $V$ . Vývěva pracuje při měnícím se tlaku. Za ustáleného stavu čerpá vývěva plyn o proudu

$$Q_{us} + Q_l = Sp_0, \quad (254a)$$

kde  $Q_{us} + Q_l$  je proud molekul uvolňovaných ze stěn a proud molekul proudících

netěsnostmi;  $p_0$  je mezní tlak systému. Proud  $Q_{us} + Q_l$  je možno změřit tak, že vývěvu oddělíme ventilem a stanovíme proud ze vzrůstu tlaku, tj. metodou užívající vztahu (249):

$$Q_{us} + Q_l = V \frac{dp}{dt} = Vp, \quad (254b)$$

kde  $p$  je hodnota tlaku v určité době  $t$ , která uplynula od oddělení vývěvy. Další krok spočívá v zapojení vývěvy k systému a pootevření vpouštěcího ventilu. Proud vpouštěného plynu označme  $Q$ ; tlak se v tomto případě ustálí na nové hodnotě mezního tlaku  $p'_0$  a platí

$$Q + Q_{us} + Q_l = Sp'_0.$$

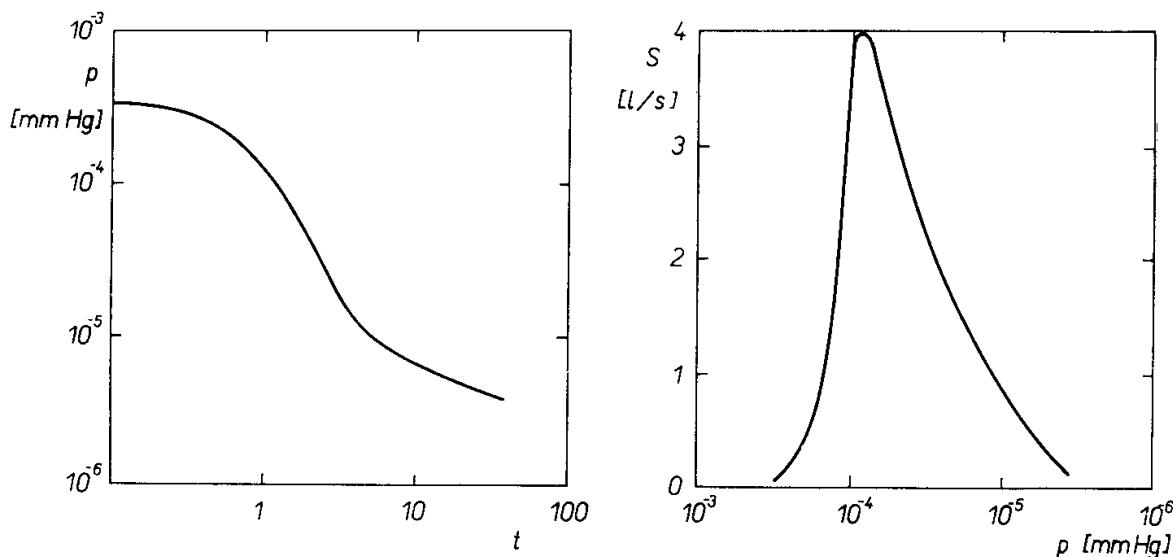
Znovu oddělíme vývěvu od systému a stanovíme  $Q + Q_{us} + Q_l$ :

$$Q + Q_{us} + Q_l = V \frac{dp}{dt} = Vp', \quad (254c)$$

kde  $p'$  je hodnota, na niž tlak vzrostl za týž časový interval  $t$  jako v případě stanovení  $Q_{us} + Q_l$ . Ze vztahů (254a) a (254c) lze vypočítat  $S$

$$S = V \frac{p' - p}{p'_0 - p_0}. \quad (255)$$

Ze vztahu je zřejmé, že k určení čerpací rychlosti vývěvy stačí znát objem  $V$  a čtyři hodnoty tlaku. Není nutno měřit proud plynu  $Q$  a podobně jako u Oatleyovy metody stačí použít manometru s lineární kalibrační křivkou, přičemž křivka sama nemusí být přesně známa. Též se u této metody neuplatní závislost citlivosti manometru pro různé plyny, pokud jsou všechny složky čerpaného proudu plynu ( $Q, Q_{us}, Q_l$ )



Obr. 7-51. Měření čerpací rychlosti z poklesu tlaku v systému.

proudem směsi téhož složení. Tento předpoklad však lze těžko splnit pro  $Q_{us}$ ; je-li  $Q_{us}$  zanedbatelné vzhledem ke  $Q$ , lze využít uvedené přednosti metody i když proud  $Q_{us}$  je jiného složení než  $Q_l$  a  $Q$ .

Čerpací rychlosť je možno stanovit z poklesu tlaku v systému o objemu  $V$  za předpokladu, že  $Q_{us} + Q_l$  je zanedbatelné vzhledem k  $pS$ . Registrujeme-li pokles tlaku v systému od okamžiku zapojení vývěvy až k okamžiku, kdy se dosáhne mezního tlaku systému, jenž je roven meznímu tlaku vývěvy (dle předpokladu je  $Q_{us} + Q_l$  zanedbatelné), získáme tak závislost  $p(t)$  tlaku na čase (obr. 7-51). Ze stavové rovnice obdržíme derivací podle času

$$p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} = 0 \quad (256a)$$

a z toho

$$-\frac{dV}{dt} = \frac{V}{p} \frac{dp}{dt} = S. \quad (256b)$$

Derivací funkce  $p(t)$  a násobením činitelem  $V/p$ , kde  $p$  je střední tlak během  $dt$ , dostaneme závislost čerpací rychlosti na tlaku  $S(p)$ . Metoda je výhodná k měření čerpací rychlosti malých vývěv např. sorpčních; není k ní zapotřebí žádného zařízení než vývěvy a manometru. Přesnost výsledků závisí na tom, do jaké míry je splněn předpoklad  $Q_{us} + Q_l \ll pS$ .