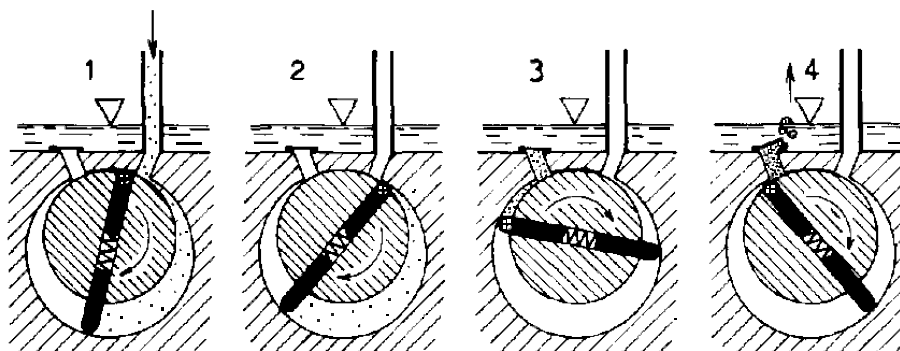


Vakuum s rotační olejovou vývěvou

Úloha č. 1

1. Teoretický úvod

Rotační olejová vývěva (ROV) je mechanická vytlačovací transportní vývěva, jejíž princip je zřejmý z Obrázku 1. Funkci pístu v ní zastávají lopatky, unášené rotorem, který se otáčí excentricky ve válcové dutině statoru. Lopatky jsou tlačeny na stěnu statoru pružinou a při otáčení rovněž i odstředivou silou. Vstup a výstup jsou odděleny jednak válcem rotoru, který mezi nimi klouže po povrchu dutiny statoru, jednak lopatkami. Rotor v dutině statoru uzavírají těsně přiléhající kryty čela dutiny. Na výstupu je zpětný ventil – klapka, která brání vstupu (vniku vzduchu) do komory statoru. Výstup nebo často celá komora nad výstupem je zalita olejem. Ten proniká, vzlíná do dutiny statoru, kde maže a těsní třecí plochy a současně je chladí.

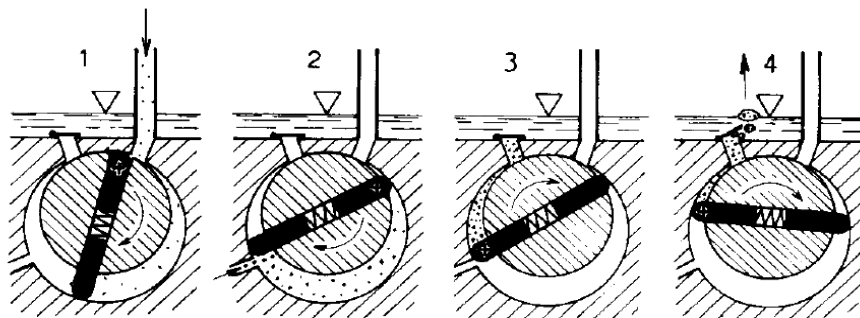


Obrázek 1: Fáze funkce rotační olejové vývěvy: 1 - končí sání, 2 - transport k výstupu, 3 - komprese, 4 - výtlač plynu.

Je důležité vědět, že výstupní ventil a dotyky po sobě klouzajících částí nejsou dokonale těsné a olej, který je těsní, jimi prolíná a přetlakem mezi vstupem a výstupem je neustále tlačěn směrem ke vstupu. Při provozu to nevádí, ale po zastavení vývěvy je nasáván směrem do vyčerpaného prostoru – do čerpané aparatury, kterou v tom případě znečistí. Aby se tomu zabránilo, připojuje se čerpaná aparatura k rotační vývěvě přes kombinaci ventilů, z nichž jeden uzavírá spojení k čerpané aparatuře a druhým se po zastavení rotační vývěvy napustí vzduch do jejího sacího hrdla. Pokud není funkce takové kombinace ventilů automatická (vázaná na chod rotační vývěvy), je třeba důrazně připomenout nutnost zavzdušnění rotační vývěvy ihned po jejím vypnutí.

V rotačních olejových vývěvách se dosahuje poměrně vysokého kompresního poměru. Pokud čerpaný plyn obsahuje páry látky s vysokou kritickou teplotou (např. vody), může při jejich velkém stlačení dojít k jejich kondenzaci a zamíchání do oleje, který se tím znehodnotí. S olejem se tato látka dostane do prostoru vstupního hrdla, kde se vypařuje a zvyšuje tlak v čerpaném prostoru. Aby se tomu zabránilo, používá se tzv. proplachování. Princip je patrný z Obrázku 2. Do prostoru, v němž dochází ke kompresi čerpaného plynu, se přivádí vzduch v takovém množství, že při kompresi otevírá výstupní ventil dříve, než by mohlo dojít ke kondenzaci par. Při proplachování se zvyšuje mezní tlak vývěvy o jeden až dva řády. Proto obvykle rotační olejové vývěvy mají ventil, jímž je možno proplachování připojit či odpojit pro normální režim čerpání.

Mezní tlak jednostupňové rotační olejové vývěvy bez proplachování je typicky řádu jednotek Pa. Nižšího tlaku lze dosáhnout dvoustupňovou rotační olejovou vývěvou, v níž jsou za sebou zapojeny dva jednoduché výše popsané stupně. Výfukový ventil je jen na výstupu z 2. stupně do atmosféry. Dosahovaný mezní tlak je kolem 0,1 Pa. Čerpací rychlost rotačních olejových vývěv se obvykle uvádí v m^3/hod a bývá běžně řádu jednotek až desítek m^3/hod .

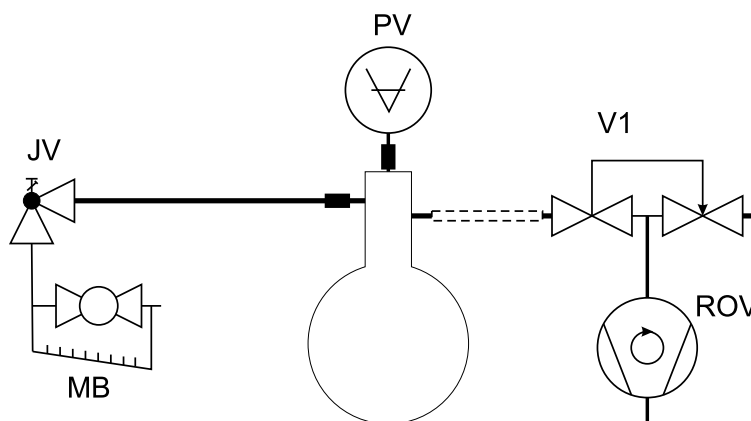


Obrázek 2: Fáze funkce rotační olejové vývěvy s proplachováním: 1 - končí sání z čerpaného prostoru; 2 - transport nasátého plynu plus přísávání vzduchu; 3 - komprese plynu s přísátým vzduchem; 4 - výtlaček plynu s přísátým vzduchem.

2. Čerpací proces rotační olejové vývěvy

Měření se provede na jednoduché aparatuře dle Obrázku 3, čerpané dvojestupňovou ROV, opatřenou Piraniho tepelným vakuometrem. Regulované napouštění plynu přes mikrobyretu zajistí jehlový ventil. Rotační vývěva nemá automatické zavzdušňování při vypnutí a čerpá přes dvojestupňovou kombinaci ventilů V1 se třemi polohami.

!!! Při zastavení ROV je nutno ji ihned zavzdušnit (tj. připojit k atmosféře) !!!



Obrázek 3: Schéma aparatury pro měření čerpacího procesu rotační olejové vývěvy a její čerpací rychlosti, JV – jehlový ventil, MB – mikrobyreta, PV – Piraniho vakuometr, ROV – rotační olejová vývěva.

2.1. Úkol 1: Čerpání uzavřeného objemu pomocí ROV

1. ROV je vypnutá a zavzdušněná (V1 v dolní poloze).
2. Aparaturu napusťte vzduchem na atmosférický tlak (pootvřením napouštěcího šroubu na slepé přírubě) a nechte chvíli ustálit tlakové poměry. Jehlový ventil je zavřený a V1 se nachází ve spodní poloze (zavzdušněno).
3. Zavřeme napouštěcí a jehlový ventil (jsou-li otevřené). Ujistíme se, že je vypnuté proplachování (černá gumová čepička na ROV).
4. Zapneme ROV a V1 přepneme do střední polohy (zavřeno). ROV běží, ale nečerpá aparaturu.
5. Po přepnutí V1 do horní polohy ($t = 0$) začne ROV čerpat aparaturu.
6. Sledujte čerpací proces $p = p(t)$ do dosažení mezního tlaku (cca 15 min).
7. Stejně měření proved'te při zapnutém proplachování – otočení černé gumové čepičky na ROV.

8. Z naměřených hodnot $p(t)$ vyneste závislosti tlaku (s a bez proplachování) na čase čerpání a určete čerpací rychlost S .

$$\ln(p) = \ln(p_0) - \frac{S}{V} \cdot (t - t_0) \quad (1)$$

9. Výsledky měření komentujte.

- Všimněte si rozdílů a podobností procesu čerpání s a bez proplachování.
- Jak se vyvíjí čerpací rychlost s tlakem a proč?

2.2. Úkol 2: Vliv desorpce na natékání

1. Aparatura je čerpána ROV (bez proplachování) v blízkosti mezního tlaku. Jehlový ventil je zavřený.
2. Vypneme čerpání (V1 do střední polohy).
3. Sledujte vývoj tlaku v závislosti na čase a zaznamenejte několik bodů $p = p(t)$ a vyhodnoťte velikost natékání aparatury.
4. Tento úkol opakujte 3x, výsledky porovnejte s úkolem 2 a vysvětlete.

2.3. Úkol 3: Vliv netěsnosti na čerpací proces

1. Aparatura je čerpána ROV (bez proplachování) v blízkosti mezního tlaku.
2. Jehlovým ventilem vytvořte umělou netěsnost aparatury. Ventil pootevřete a nastavte tlak o několik Pascalů vyšší.
 - Pro jednotlivá měření konstantní hodnoty přibližně 5, 10 a 15 Pa.
3. Napusťte aparaturu vzduchem a nechte chvíli ustálit.
4. S nastavenou netěsností opakujte měření z úkolu 1.
5. Po delším čerpání (max. 15 min) byste se měli dostat na hodnotu tlaku nastavenou na začátku měření.
6. Vypneme čerpání – stačí přepnout V1 do střední polohy.
7. Následně sledujte vývoj tlaku v závislosti na čase a zaznamenejte několik bodů $p = p(t)$, ze kterých učíte velikost netěsnosti (zdroj natékání q_z):

$$\frac{dp}{dt} = \frac{q_z}{V} \quad \text{nebo} \quad \frac{d \ln p}{dt} = \frac{q_z}{p \cdot V} \quad (2)$$

3. Čerpací rychlost při konstantním tlaku v aparatuře

Na téže aparatuře, podle schématu na Obrázku 3, provedete měření efektivní čerpací rychlosti metodou čerpání při konstantním tlaku¹. Tato metoda vychází z kontinuity proudění, tj. rovnosti proudu plynu napouštěného do aparatury a proudu plynu čerpaného vývěvou. Proud plynu q budete měřit na jeho vstupu do aparatury, při atmosférickém tlaku p_A , mikrobyretou předřazenou jehlovému ventilu. V místě (skleněný recipient), kde chcete určit S_{ef} , měříte tlak pomocí Piraniho vakuometru. Z kontinuity proudu plyne:

$$S_{ef} \cdot p = q = p_A \cdot \frac{dV}{dt} \quad \text{kde} \quad \frac{dV}{dt} = 4,75 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{l}{\tau} \quad (3)$$

kde dV je objem vzduchu odsátý z mikrobyrety za čas dt , l je délka olejového sloupce v mikrobyretě a τ doba potřebná vystoupaní oleje do určité vzdálenosti. Odtud se určí S_{ef} . Protože tlak p je měřen v aparatuře, odkud je čerpán rotační vývěvou přes hadici, není S_{ef} rovna čerpací rychlosti rotační vývěvy, ale je přiměřeně nižší (viz přednášky). Určíte-li vodivost hadice mezi ROV a aparaturou, můžete z S_{ef} ocenit i čerpací rychlost S .

¹Rozložení tlaku plynu v aparatuře není zcela konstantní a závisí na proudění. Proto pro účely standardního měření čerpací rychlosti vývěv metodou čerpání při konstantním tlaku je normou stanovená geometrie vakuové aparatury.

3.1. Úkol 4: Měření efektivní čerpací rychlosti při konstantním tlaku

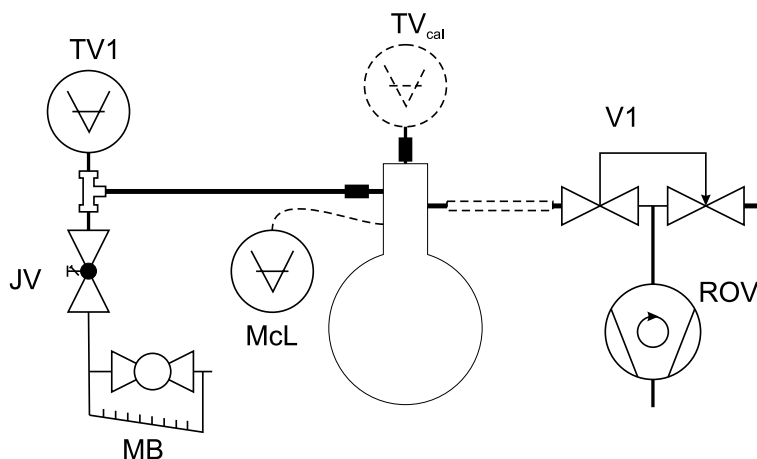
1. Aparatura je čerpána ROV v blízkosti mezního tlaku. Jehlový ventil je zavřený.
2. Jehlovým ventilem pootevřete a nastavte tlak o několik Pascalů vyšší.
 - Pro jednotlivá měření konstantní hodnoty přibližně 5, 10 a 25 Pa.
3. Pro každou hodnotu tlaku proveďte měření proudu plynu mikrobyretou.
4. Vyhodnoťte výsledky, vynesete do grafu závislost $S_{ef} = f(p)$.
5. Výsledky komentujte.

3.2. Úkol 5: Vliv hadice spojující ROV a aparaturu na S_{ef}

1. Z rozměrů PVC hadice, délka 77 cm a průměr 2 cm, určete její vodivost.
2. Ze znalosti vodivosti hadice, určete její vliv na pokles čerpací rychlosti mezi ventilem V1 a recipientem.

4. Vodivost trubice při viskózně molekulárním proudění

Pro měření vodivosti v oblasti viskózně-molekulárního proudění je použita aparatura na Obrázku 4. Napouštění plynu je za jehlovým ventilem provedeno trubicí, jejíž vodivost bude měřena. K měření tlaku v oblasti jednotek až desítek Pascalů slouží jednak malý otočný MacLeodův kompresní manometr, jednak jím ocechovaný termočlánekový manometr. Vzhledem k tomu, že na měřené trubici může být poměrně malý tlakový spád, je podstatné, aby manometry měřící tlaky před a za trubicí byly dobře vzájemně scejchované. Proto před vlastním měřením vodivosti se provede cejchování jednoho použitého manometru - termočlánekového - druhým, v našem případě kompresním McLeodovým (který je absolutní). Problém vlivu par rtuti na údaj termočlánekového manometru zde prakticky nehrozí. Tepelná vodivost par rtuti v molekulárním i viskózním režimu je několikanásobně nižší než u vzduchu a při pokojové teplotě je tenze par rtuti řádu desítek Pascalů; při tlaku vzduchu v oblasti jednotek až desítek Pascalů tedy chyba, vyvolaná parami Hg v termočlánekové měrce, může být nejvyšší několik procent. Vliv par rtuti se zanedbává.



Obrázek 4: Schema aparatury pro měření vodivosti trubice při viskózně molekulárním proudění; TV_1 – termočláneková měrka (při měření), TV_{cal} – termočláneková měrka při cejchování, JV – jehlový ventil, MB – mikrobyreta, McL – McLeodův vakuometr

4.1. Úkol 6: Cejchování termočlánekového manometru

1. Na aparatuře, podle Obrázku 4, instalujte termočlánekovou měrku do polohy TV_{cal} .
2. Místo TV_1 zaslepte kovovou zátkou.
3. Vyčerpajte aparaturu k blízkosti mezního tlaku (cca 30 dílků na stupnici TV_{cal}).

- Jehlovým ventilem postupně zvyšujte tlak (po 4 - 5 dílcích stupnice TV_{cal}) a odčítejte hodnoty ze stupnice McLeodova manometru a termočláňkové měřky. Tlak na McLeodově manometru je dán:

$$P_{McL} = (133,3 \cdot l \cdot h) \cdot \frac{1}{1100 - l} \quad (4)$$

kde h je rozdíl hladin rtuti a l je vzdálenost rtuti od konce uzavřené trubice.

- Sestrojte kalibrační křivku pro termočláňkovou měřku.

4.2. Úkol 7: Vodivost kovové trubice

- Na aparatuře, podle Obrázku 4, instalujte termočláňkovou měřku do polohy TV_1 a polohu TV_{cal} zaslepte.
- Vyčerpejte aparaturu k blízkosti mezního tlaku.
- Jehlovým ventilem postupně zvyšujte tlak (po 4 - 5 dílcích stupnice TV_1).
- Postupně změřte tlaky p_1 (měrkou TV_1) před a p_2 (manometrem McLeod) za trubicí, mikrobyretou změřte proud plynu q .
- Pro vyloučení náhodné chyby měření opakujte.
- Ze znalosti rozměrů trubice, délka 1000 mm a průměr 8,5 mm, určete vodivost trubice při viskózně-molekulárním proudění pomocí:

$$C_{vm} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{d}{l} \cdot \left[\frac{\pi d}{128 l_s} + \frac{1}{3} \cdot \frac{2 + 2,507 \cdot \frac{d}{l_s}}{2 + 3,095 \cdot \frac{d}{l_s}} \right] \cdot v_s \quad (5)$$

kde d je průměr trubice, l je délka trubice, l_s odpovídá střední volné dráze a v_s je střední rychlost molekul.

- Výsledky měření i výpočtů vynesete do grafu $C = C(p)$ a porovnejte je. Výsledky komentujte a vyhodnoťte.

Reference

- KRÁL, JAROSLAV: *Cvičení z vakuové techniky*, Skriptum FJFI ČVUT, Praha, 2015
- ČEŠPÍRO, ZDENĚK: *Vakuová technika*, Skriptum FJFI ČVUT, Praha, 1973
- JOUSTEN, KARL: *Handbook of Vacuum Technology*, 2nd edition, ISBN 978-3-527-41338-6, Berlin, 2016