

# Praktikum z vakuové fyziky

## Úloha 1: Měření vodivosti vakuových spojů

### Úvod

Cílem této úlohy je naměřit vakuovou vodivost dlouhé trubičky a použít vhodný vztah pro výpočet vodivosti této trubice, dle typu proudění.

Aparatura je čerpána rotační olejovou vývěvou. Dále ji tvoří zařízení pro ovládání vývěvy a elektronika pro manometry. O měření tlaku se starají dva kapacitní manometry o různých rozsazích a jeden diferenciální kapacitní manometr. Součástí aparatury je olejová byreta a na ni připevněná dvě čidla, které pomocí vychýlení laserového paprsku zaznamenají pohyb oleje v trubici.

Vztah pro výpočet středního tlaku je následující

$$P_S = \frac{P_1 + P_2}{2} \quad (1)$$

kde  $P_1$  odpovídá tlaku na začátku a  $P_2$  tlaku na konci.

Objemovou rychlost proudění můžeme určit pomocí vztahu

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (2)$$

kde  $\Delta V$  odpovídá rozdílu objemů na konci a na začátku a  $\Delta t$  odpovídá časovému rozdílu.

Vztah pro výpočet vodivosti při molekulárním proudění pro dlouhou trubici

$$G_M = 121 \frac{D^3}{L} \quad (3)$$

kde  $D$  je průměr trubičky a  $L$  je délka trubičky.

Vztah pro výpočet vodivosti při laminárním proudění pro dlouhou trubicí

$$G_L = 1358P_S \frac{D^4}{L} \quad (4)$$

kde  $P_S$  je střední tlak,  $D$  je průměr trubičky a  $L$  je délka trubičky.

Vztah pro výpočet měřené vodivosti, přes objemovou rychlost proudění a tlak

$$G = \frac{SP_{atm}}{P_1 - P_2}, \quad (5)$$

kde  $S$  je objemová rychlost proudění kapaliny,  $P_{atm}$  je atmosférický tlak.

Vztah pro výpočet Knudsenova čísla

$$K_n = \frac{\lambda}{D} = \frac{kT}{PD\sqrt{2}\pi d^2} \quad (6)$$

kde  $\lambda$  je střední volná dráha,  $P$  je tlak,  $D$  je průměr trubičky,  $d$  je průměr molekuly vzduchu,  $k$  je Boltzmannova konstanta a  $T$  je teplota plynu v Kelvinech.

Objem vakuové aparatury můžeme určit pomocí vztahu

$$R_e = \frac{D\rho u}{\eta} \quad (7)$$

kde  $D$  je průměr trubičky,  $\rho$  je hustota kapaliny,  $u$  je rychlost proudění kapaliny a  $\eta$  je dynamická viskozita kapaliny.

Knudsenovo číslo určuje hranici mezi laminárním a molekulárním prouděním:

- $K_n < 0.01$                       turbulentní nebo laminární proudění
- $K_n > 1$                          molekulární proudění
- $0.01 < K_n < 1$                 přechodová oblast (Knudsenovo proudění)

Reynoldsovo číslo určuje hranici mezi turbulentním a laminárním prouděním:

- $R_e > 2200$                       turbulentní proudění
- $R_e < 1200$                       laminární proudění
- $1200 < R_e < 2200$             přechodová oblast

## Kontrolní otázky

- Při jakém typu proudění je vakuová vodivost trubice nezávislá na tlaku?
- Proč při teoretickém výpočtu vakuové vodivosti trubice zanedbáváme vakuovou vodivost vstupního otvoru?
- Jaká je systematická chyba měření proudu plynu pomocí olejové byrety?

## Úkoly a pracovní postup

- Prohlédněte si aparaturu a seznamte se s jejím ovládáním.
- Vypočítejte Knudsenovo číslo dle vztahu (6).
- Vypočítejte Reynoldsovo číslo dle vztahu (7).
- Pomocí jehlového ventilu nastavte rozdíl tlaků a počkejte na ustavení dynamické rovnováhy. Spusťte stisknutím a krátkým podržením červeného tlačítka měření objemové rychlosti proudění plynu pomocí olejové byrety.
- Toto opakujte pro každý rozdíl tlaků 7x. Tlačítko pro spuštění záznamu měření můžete spustit až poté, co se na displeji objeví OFF OFF. Změřte pro 6 různých rozdílů tlaků, takže výsledkem experimentu bude 42 hodnot času. Změřený čas odpovídá času, za který olej vyplní trubici (prostor od prvního čidla k druhému). Zavření a následné otevření elektroventilu řídí elektronika skládající se z modulu Arduino Uno. Modul Arduino Uno ovládá olejovou byretu a funguje jako stopky. Objem plynu, který proudí do aparatury, je  $3,4 \text{ cm}^3$ .
- Z naměřených hodnot spočítejte vodivost  $G$ , dle vztahu (5),  $G_L$  a  $G_M$
- Porovnejte teoreticky vypočítané hodnoty vodivosti s těmi získanými experimentálně v tabulce a grafu.