

## DOŚWIADCZALNE SPRAWDZANIE PRAWA BERNOULLIEGO

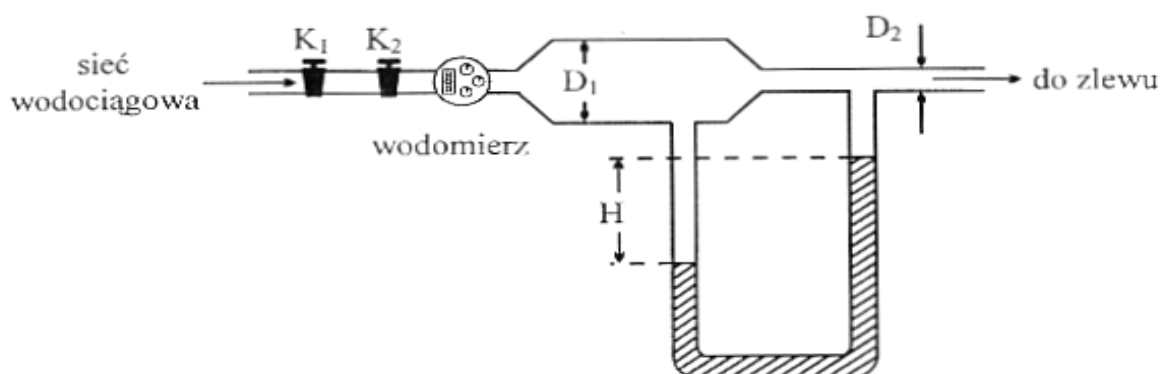
## I. Zagadnienia

1. Ruch płynu lepkiego i doskonałego.
2. Prawo ciągłości strugi.
3. Wyprowadzenie równania Bernoulliego.

## II. Literatura

1. S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, tom 1.
2. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, tom 1.
3. B. Jaworski i inni, Kurs Fizyki, tom 1.

## III. Wykonanie ćwiczenia



## Uwaga:

- Zawór  $K_2$  podczas wszystkich pomiarów powinien być lekko otwarty. Bez wyraźnej potrzeby nie należy zmieniać stopnia jego otwarcia.
  - Różnica poziomów rtęci w manometrze nie powinna przekraczać 16 cm (przekroczenie grozi przelaniem rtęci).
1. Sprawdzić, czy koniec węża odprowadzającego wodę znajduje się w zlewie.
  2. Bardzo wolno otwierać zawór kulkowy  $K_1$  (połączony bezpośrednio z siecią wodociągową) i ustalić taki strumień przepływającej wody aby różnica poziomów rtęci w manometrze  $H \leq 10$  cm. Odczytać wartość  $H$  i zapisać w tablicy pomiarowej.
  3. Utrzymując ustaloną różnicę poziomów rtęci, uruchomić stoper w momencie, gdy wskazówka wodomierza  $\times 0,0001$  pokrywa się z dowolną dużą kreską podziałki (1 pełny obrót –  $1000 \text{ cm}^3$ ). Zmierzyć trzykrotnie czas wypływu wody  $t$  o objętości  $U \geq 2000 \text{ cm}^3$  dla ustalonej przednio różnicy poziomów rtęci  $H$ .
  4. Powtórzyć czynność z punktów 2 – 3 dla 10 różnych wartości  $H$  równomiernie pokrywających przedział 3 – 16 cm.
  5. Obliczyć wartość  $W = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) H}$  i  $W_1 = \frac{U}{t}$  dla badanych strumieni wody. W jednym układzie współrzędnych wykreślić krzywe  $W = f(H)$  i  $W_1 = f(\sqrt{H})$ .  
Wartości stałe:  $D_2 = 0,2 \text{ cm}$ ,  $\rho_1 = 0,998 \text{ g/cm}^3$ ,  $\rho_2 = 13,545 \text{ g/cm}^3$ .
  6. W jednym układzie współrzędnych wykreślić krzywe  $W = f(\sqrt{H})$  i  $W_1 = f(\sqrt{H})$ . Metodą regresji liniowej wyznaczyć współczynniki kierunkowe prostych. Przeprowadzić dyskusję uzyskanych wyników.

Tabela pomiarowa

Lp	H [cm]	U [cm <sup>3</sup> ]	t [s]	W <sub>1</sub> [cm <sup>3</sup> /s]	W [cm <sup>3</sup> /s]

**Wyprowadzenie zależności W = f(H)**

Zgodnie z prawem ciągłości strugi przy przepływie strumienia z rurki o większej średnicy  $D_1$  do rurki o mniejszej średnicy  $D_2$  (rysunek) następuje zwiększenie prędkości przepływu wody od wartości  $v_1$  do  $v_2$  według zależności:

$$v_1 D_1^2 = v_2 D_2^2 \quad (1)$$

Zmiana prędkości w rurkach powoduje zmianę ciśnienia, którą można wyliczyć z równania:

$$p_1 - p_2 = \frac{\rho_1}{2} (v_2^2 - v_1^2) \quad (2)$$

Z powyższych zależności

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_1 \left[ 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}} \quad (3)$$

Znając prędkość  $v_2$  wyznacza się strumień wody (objętość wody wpływającą w jednostce czasu)

$$W = \frac{\pi D_2^2 v_2}{4} = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_1 \left[ 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}} \quad (4)$$

Uwzględniając gęstość wody ( $\rho_1$ ), gęstość rtęci ( $\rho_2$ ) i wysokość słupka rtęci H (odczytana na manometrze, podłączonym do przyrządu) otrzymamy różnicę ciśnień:

$$p_1 - p_2 = (\rho_2 - \rho_1)gH \quad (5)$$

gdzie: g – przyspieszenie ziemskie.

Z podstawienia zależności (4) do (5) uzyskamy:

$$W = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2g(\rho_2 - \rho_1)H}{\rho_1 \left[ 1 - \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}} \quad (6)$$

$$\text{Zakładając, że } \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^4 \ll 1 \text{ otrzymujemy } W \approx \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{2g \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) H} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] \quad (7)$$

Otrzymaną wartość liczbową strumienia sprawdza się doświadczalnie drogą prostego pomiaru objętości (U) wypływającej wody w określonym czasie (t):

$$W = \frac{U}{T} \left[ \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] \quad (8)$$