

Instrukcja do ćwiczenia 18

Temat: Doświadczalne sprawdzanie równania Bernoulli'ego

Równanie Bernoulli'ego jest podstawowym równaniem mechaniki płynów dla przepływu ustalonego, nielepkiego i nieściśliwego:

$$p + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{const.}$$

gdzie: p to ciśnienie, ρ to gęstość cieczy, v to prędkość cieczy, h to wysokość cieczy w układzie odniesienia. Pierwszy składnik w sumie opisuje ciśnienie statyczne, drugi ciśnienie dynamiczne, natomiast trzeci to ciśnienie hydrostatyczne związane z wysokością, na której jest ciecz.

Równanie prezentuje, że z przepływem płynu oprócz ciśnienia statycznego jest związane ciśnienie dynamiczne ($\rho v^2/2$). Z równania wynika także, że przepływ cieczy w strudze można wywołać różnicą ciśnień na końcach strugi lub różnicą poziomów tych końców.

I. Kolejność wykonywania pomiarów

1. Odpowietrzenie układu:
 - a) upewnić się, że zawór wlotowy oraz wylotowy są zamknięte,
 - b) zawór wylotowy otworzyć o $\frac{1}{2}$ obrotu,
 - c) zawór wlotowy otworzyć o $\frac{1}{4}$ obrotu,
 - d) otworzyć zawór przelewowy na manometrze oraz rurce Pitota (szare zawory),
 - e) uruchomić pompę,
 - f) powoli otworzyć zawór wlotowy, aż do wypełnienia manometru (woda przepływa przez zawór przepływowy),
 - g) poczekać aż z układu znikną pęcherzyki powietrza,
 - h) otworzyć zawór odpowietrzający na manometrze (biały zawór),
 - i) powoli otwierać zawór wylotowy do momentu, aż woda w rurkach manometru zacznie opadać,
 - j) zamknąć zawór odpowietrzający.
2. Wysunąć rurkę Pitota z badanego przekroju zwężki Venturiego.
3. Ustawić poziomy wody w manometrze.
4. Zapisać wartości h_{stat} z rurek manometru.
5. Zapisać wartości h_{stag} dla każdej z rurek manometru zmieniając położenie rurki Pitota .
6. Wysunąć rurkę Pitota poza badany przekrój zwężki Venturiego (nie wyjmować rurki całkowicie ze zwężki).
7. Zmierzyć stoperem czas przepływu 10 l cieczy.
8. Wykonać 4 serie pomiarowe, dla każdej serii zmienić szybkość przepływu cieczy za pomocą zaworów i powtarzać kroki 3 – 7.

II. Opracowanie wyników

1. Obliczyć natężenie $\dot{V}$ przepływu korzystając ze wzoru:

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{s} \right],$$

gdzie: V to objętość cieczy, t to czas przepływu.

2. Obliczyć średnią prędkość wody przepływającej przez każdy punkt zwężki korzystając z równania ciągłości:

$$v = \frac{\dot{V}}{A} \left[\frac{m}{s} \right],$$

gdzie v to prędkość cieczy w danym punkcie zwężki, A to pole przekroju zwężki w danym punkcie.

3. Obliczyć ciśnienie dynamiczne dla każdego punktu zwężki korzystając ze wzoru:

$$h_{dyn} = h_{stag} - h_{stat} [mmH_2O].$$

4. Obliczyć prędkość wody przepływającej przez każdy punkt zwężki korzystając z uproszczonego równania Bernoulli'ego (pozioma rurka):

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = const.$$

pierwszy człon równania odpowiada za ciśnienie statyczne, drugi za ciśnienie dynamiczne. Suma tych ciśnień pozwala wyznaczyć ciśnienie stagnacji (całkowite) dzięki czemu możemy zapisać zależność:

$$p_{stag} = p + \frac{\rho v^2}{2}$$

wykonując odpowiednie przekształcenia otrzymamy wzór na prędkość przepływającej cieczy:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_{stag} - p_{stat})}{\rho}}.$$

Korzystając ze wzoru:

$$p = \rho gh [Pa],$$

można prędkość wyznaczyć jako:

$$v = \sqrt{\frac{2(\rho gh_{stag} - \rho gh_{stat})}{\rho}} = \sqrt{2gh_{dyn}} \left[\frac{m}{s} \right].$$

5. Obliczyć zmianę ciśnienia ze wzoru:

$$\Delta h = h_{stag1} - h_{stag6},$$

gdzie h_{stag1} to ciśnienie z rurki Pitota w punkcie pierwszym, h_{stag6} to ciśnienie z rurki Pitota w punkcie szóstym.

6. Wykonać wykres zależności prędkości cieczy od punktu zwężki Venturiego.
7. Na jednym układzie współrzędnych wykonać wykresy zależności h_{stat} , h_{dyn} , h_{stag} od punktu zwężki Venturiego.

III. Zagadnienia do kolokwium

1. Ruch płynu lepkiego i doskonałego.
2. Prawo ciągłości strugi.
3. Wyprowadzenie równania Bernoulli'ego.

IV. Literatura

1. Dryński T., *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, Wydanie VI poprawione, PWN Warszawa 1977.
2. Szczeniowski Sz., *Fizyka doświadczalna cz.1*, Wydanie I, PWN Warszawa 1972.
3. Halliday D., Resnick R., Walker J., *Podstawy fizyki 2*, Wydanie II, PWN Warszawa 2015.