

Rozważając strumień gazu, napiszemy równanie Bernoulliego dla dwóch przekrojów w postaci

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{v_2^2}{2} + \frac{\kappa}{\kappa - 1} \frac{p_2}{\rho_2} . \quad (4.28)$$

Równanie ciągłości dla gazów można przedstawić w postaci

$$Q_M = \rho_1 F_1 v_1 = \rho_2 F_2 v_2 = \text{const.} \quad (4.29)$$

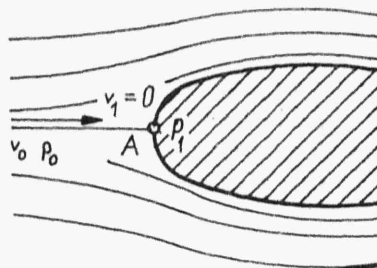
W tej zależności symbol Q_M oznacza wydatek masowy gazu.

5. ZASTOSOWANIE RÓWNAŃ BERNOLLEGO I ZASADY IŁOŚCI RUCHU

5.1. POMIARY PRĘDKOŚCI I WYDATKU

5.1.1. RURKA PITOTA I PRANDTLA

Jeżeli do jednostajnego strumienia płynu o prędkości v_0 i ciśnieniu p_0 zostanie wprowadzona przeszkoda w postaci ciała zanurzonego, to wówczas bezpośrednio przed nią następuje spiętrzenie przepływu oraz wpływ rozdzielonych strug dokoła tej przeszkody (rys.5.1). W punkcie A znajdującym się w środku obszaru spiętrzenia, zwanym punktem wejścia, prędkość przepływu jest równa zeru $v_1 = 0$. W pewnej dostatecznie dużej odległości przed przeszkodą prędkość przepływu jest równa prędkości przepływu nie zaburzonego v_0 , a ciśnienie - p_0 . Ciśnienie panujące w punkcie wejścia oznaczamy przez p_1 . Wówczas dla rozpatrywanej linii prądu stosujemy równanie Bernoulliego w postaci



Rys.5.1

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + 0 ,$$

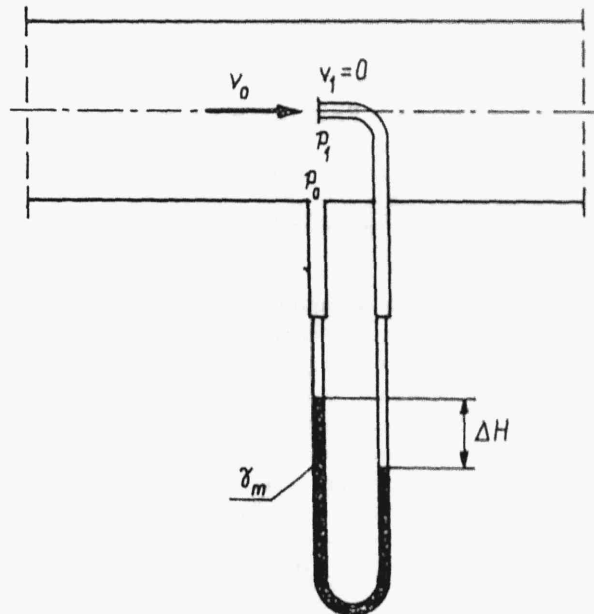
stąd

$$p_1 = p_0 + \frac{\rho v_0^2}{2} \quad \text{lub} \quad p_1 - p_0 = \frac{\rho v_0^2}{2}.$$

Ciśnienie p_1 jest sumą ciśnienia statycznego p_0 i ciśnienia dynamicznego $\frac{\rho v_0^2}{2}$.

Jeżeli w punkcie wejścia rozpatrywanej przeszkody wywiercony zostanie niewielki otwór, to wewnątrz tego otworu będzie panowało ciśnienie p_1 , które można zmierzyć manometrem.

Jeżeli w strumieniu płynu, np. w przewodzie pod ciśnieniem, umieścimy przeszkodę w postaci zgiętej pod kątem prostym rurki zwróconej wlotem pod prąd, otrzymamy najprostszy przyrząd do pomiaru prędkości płynu zwany rurką Pitota (rys.5.2).



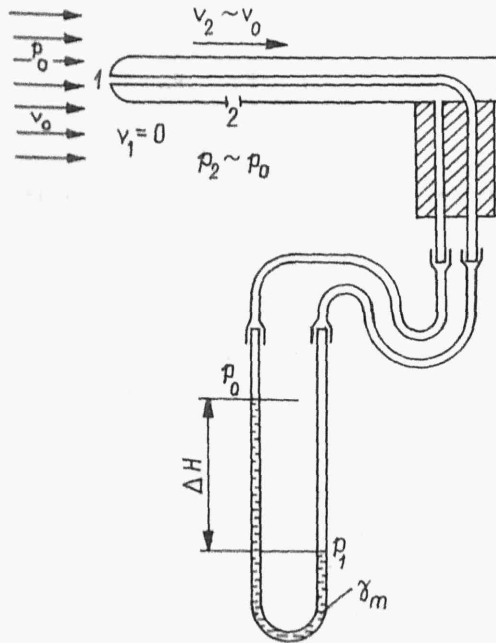
Rys.5.2

Prędkość wyznaczamy z równania Bernoulliego w postaci

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_0)} = \sqrt{2 g \Delta H \frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma}}.$$

Różnicę wysokości $\Delta H = \frac{p_1 - p_0}{\gamma_m - \gamma}$ ciśnienia całkowitego i statycznego mierzymy manometrem różnicowym. W zależności od ΔH wyznaczamy przy pomocy rurki Pitota prędkość lokalną w punkcie wejścia.

Do pomiaru prędkości w przewodach stosuje się zazwyczaj rurkę Prandtla (rys.5.3). Stanowi ona połączenie rurki Pitota z urządzeniem



Rys.5.3

do pomiaru ciśnienia statycznego. Ciśnienie całkowite p_1 mierzymy przez otwór środkowy 1 w prawym ramieniu manometru różnicowego, zaś ciśnienie statyczne p_0 przez otworki 2 na bocznych ściankach rurki w lewym ramieniu manometru, który wskaże różnicę ciśnień równą ciśnieniu dynamicznemu

$$\Delta p = p_1 - p_0 = \frac{\rho v_0^2}{2}.$$

Z powyższej zależności obliczamy prędkość lokalną

$$v_0 = \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_1 - p_0)}.$$

Zaletą rurki Prandtla jest jej stosunkowo mała czułość na odchylenie od kierunku strumienia w granicach $\pm 15^\circ$.

Przykład 5.1. Obliczyć prędkość wody przepływającej przez przewód rurowy na podstawie wskazań manometru rtęciowego połączonego z rurką Pitota i z otworkiem odbierającym ciśnienie statyczne, jeżeli $\Delta H = 100$ mm. W obu rurkach manometru ponad rtęcią znajduje się woda (rys.5.2).

Rozwiązanie. Jak wiemy prędkość przy pomocy rurki Pitota możemy określić ze wzoru

$$v_o = \sqrt{2g \frac{p_1 - p_o}{\gamma_{H_2O}}}.$$

Różnicę ciśnień $p_1 - p_o$ można określić na podstawie wskazań manometru jako

$$p_1 - p_o = (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}) \Delta H.$$

Po podstawieniu do wzoru na prędkość otrzymamy

$$v_o = \sqrt{2g \Delta H \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_{H_2O}} - 1 \right)}.$$

Podstawiając odpowiednio wartości liczbowe otrzymamy

$$v_o = \sqrt{19,62 \cdot 0,1 \left(\frac{13\,600}{1000} - 1 \right)} = 4,97 \text{ m/s}.$$

5.1.2. POMIARY WYDATKU I PRĘDKOŚCI ŚREDNIEJ

Wykonanie pomiaru wydatku strumienia i prędkości średniej na podstawie rozkładu prędkości lokalnej w przekroju poprzecznym przewodu przy pomocy omawianych poprzednio rurek jest żmudne i pracochłonne.

W praktyce do pomiaru wydatku może być stosowany pierścień Recknagla (rys.5.4), który zawiera zespół rurek Pitota z otworami wlotowymi usytuowanymi na okręgu, na którym prędkość strug oddalonych o określoną wartość y od ścianki przewodu równa jest prędkości średniej v_{sr} . Z warunku ciągłości strumienia wyznaczamy wydatek w przewodach o przekroju kołowym