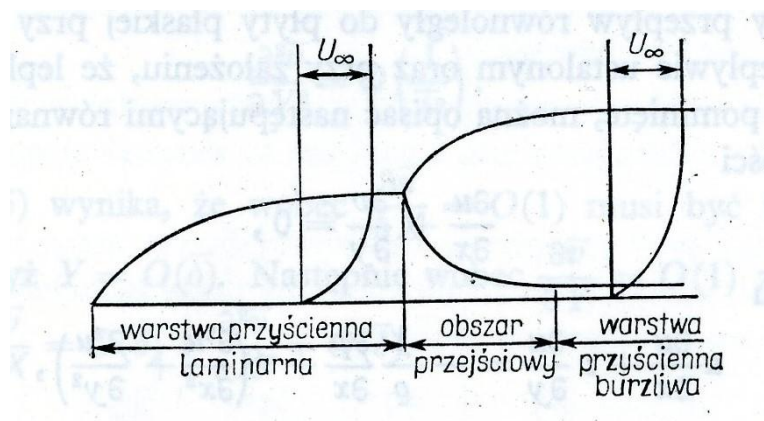
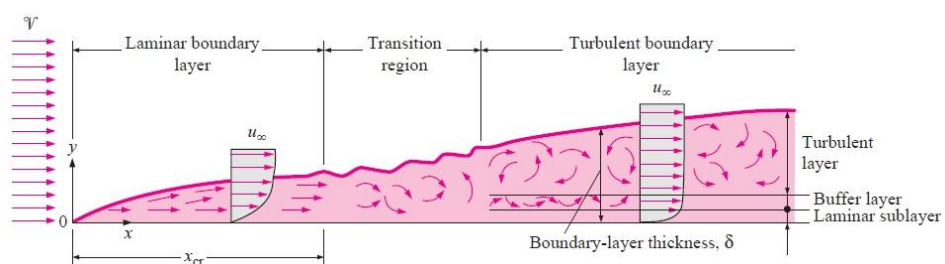


Warstwa przyścienna

Rozważmy przypadek płaskiej powierzchni o temperaturze T_w , na którą napływa płyn o stałej temperaturze T_∞ , ze stałą prędkością w_∞ . Po zetknięciu się płynu z powierzchnią, jego prędkość i temperatura w pobliżu powierzchni zaczynają się zmieniać, zarówno w kierunku przepływu, x , jak i w kierunku prostopadłym do powierzchni, y . W miejscu styku płynu z powierzchnią temperatura płynu jest równa temperaturze powierzchni, $T(y=0)=T_w$, a prędkość płynu jest równa zero, $w(y=0)=0$.

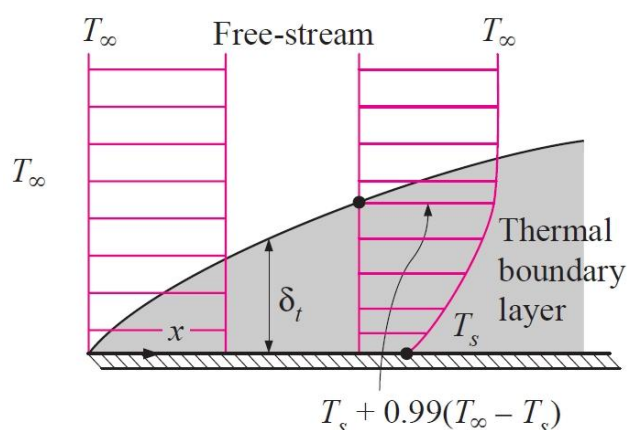


Rys. 1. Hydrauliczna warstwa przyścienna nad płaską powierzchnią. Na rysunku symbol U oznacza prędkość płynu.



Rys. 2. Hydrauliczna warstwa przyścienna nad płaską powierzchnią. Na rysunku symbol u oznacza prędkość płynu, δ jest grubością warstwy przyściennej.

W dużej odległości od płyty prędkość i temperatura płynu pozostają niezmienione, czyli mają odpowiednio wartości w_∞ oraz T_∞ . Warstwa płynu, w której prędkość płynu jest mniejsza niż $0,99 \cdot w_\infty$, nazywana jest hydrauliczną (hydrodynamiczną) warstwą przyścienną. Natomiast warstwa płynu, w której różnica temperatur $T - T_w$ jest mniejsza niż $0,99 \cdot (T_\infty - T_w)$, jest nazywana termiczną warstwą przyścienną. Na ogół grubości warstw przyściennych hydraulicznej i termicznej różnią się. Stosunek grubości warstw przyściennych hydraulicznej i termicznej zależy od wartości liczby Prandtla, $Pr = \nu/a$. Liczba Prandtla jest miarą stosunku ilości przenoszonego ruchu (pędu) do ilości przenoszonego ciepła. Dla $Pr = 1$ obie warstwy mają zbliżoną grubość. Dla $Pr < 1$ większą grubość ma warstwa termiczna, dla $Pr > 1$ jest odwrotnie.



Rys. 3. Termiczna warstwa przyścienna dla przypadku, gdy temperatura płynu jest wyższa od temperatury ścianki. Na rysunku T_s jest temperaturą ścianki. δ_t jest grubością warstwy przyściennej.

Zmiana prędkości płynu w pobliżu powierzchni wynika z jego lepkości. Cienka warstwa płynu pozostająca w kontakcie z powierzchnią jest nieruchoma. Kolejne warstwy płynu należące do hydraulicznej warstwy przyściennej ślizgają się po sobie z coraz większą prędkością. Zależność sił tarcia hamujących

przepływ przypadających na jednostkę powierzchni od gradientu prędkości przedstawia równanie

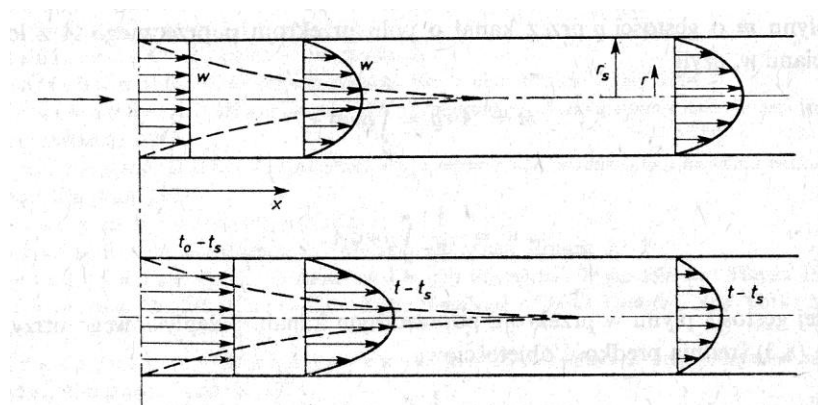
$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \quad (1)$$

gdzie τ jest naprężeniem stycznym w płaszczyźnie prostopadłej do osi y , μ jest dynamicznym współczynnikiem tarcia wyrażonym w

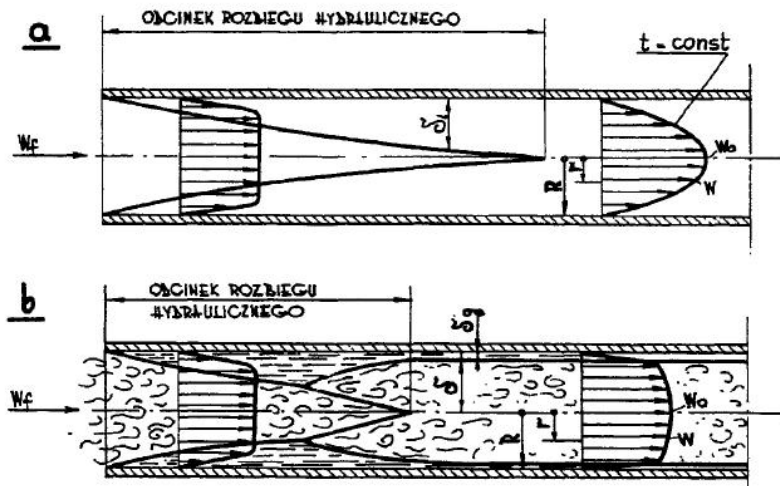
$$\left[\frac{N \cdot s}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s} \right]$$

Kinematyczny współczynnik tarcia definiuje się jako

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (2)$$

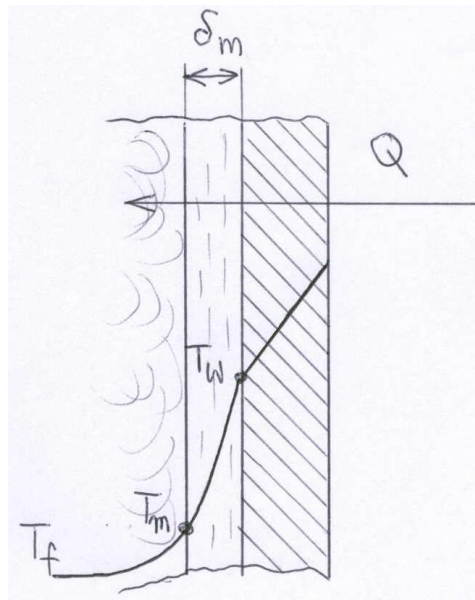


Rys. 4. Stabilizacja profilu prędkości i temperatury w początkowym odcinku rury przy przepływie *laminarnym*.



Rys. 5. Schemat hydraulicznej warstwy przyściennej w rurze okrągłej dla przepływu izotermicznego: (a) laminarnego, (b) burzliwego.

Podczas ruchu burzliwego, bezpośrednio przy ścianie tworzy się cienka laminarna podwarstwa przyścienna, przez którą ciepło jest transportowane tylko na drodze przewodzenia. Opór przewodzenia ciepła tej podwarstwy stanowi główny opór cieplny wnikania podczas burzliwego ruchu płynu.



Rys. 6. Wymiana ciepła w laminarnej podwarstwie przyściennej. δ_m jest grubością laminarnej podwarstwy przyściennej.

W stanie stacjonarnym, gęstość strumienia ciepła wnikania jest równa gęstości strumienia przewodzonego przez laminarną podwarstwę przyścienną

$$\alpha(T_w - T_f) = \lambda \frac{T_w - T_m}{\delta_m} \quad (3)$$

Stąd współczynnik wnikania ciepła jest równy

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta_m} \times \frac{T_w - T_m}{T_w - T_f} \quad (4)$$