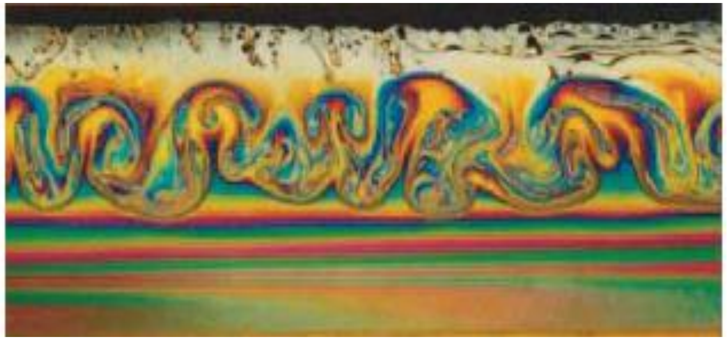
WYKŁAD 12
PRZEPŁYW CIECZY WZDŁUŻ DŁUGIEJ RURY, WYKRES NIKURADSEGO

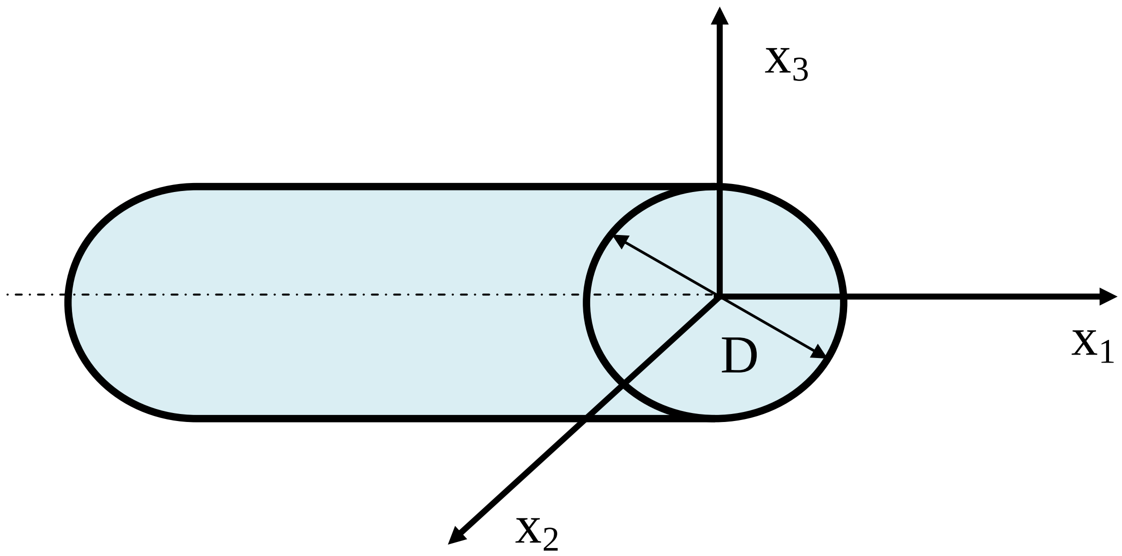


KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY

"Gallery of Fluid Motion"-M. Samimy, K.S. Breuer

PRZEPŁYW CIECZY WZDŁUŻ DŁUGIEJ RURY O PRZEKROJU KOŁOWYM



- Ruch jest ustalony (liczba Strouhala nie odgrywa roli)
- $v_2 = v_3 = 0 \quad i \quad v_1 = v_1(x_2, x_3)$
- $\dfrac{\partial p}{\partial x_2} = \dfrac{\partial p}{\partial x_3} = 0 \quad i \quad p = p(x_1)$

Bezwymiarowe równanie N – S sprowadza się do postaci:

$$\frac{\partial p'}{\partial x_1'} = \frac{1}{Re}\Delta' v_1' = const(Re)$$ **gdzie** $$Re = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{UD}{\nu}$$

Re – liczba Reynoldsa dla przepływu w rurze o kołowym przekroju

Spadek ciśnienia wzdłuż rury zależy od liczby Reynoldsa oraz chropowatości przewodu.

$$\left|\Delta p\right| = \frac{\rho U^2}{2}\lambda\left(\mathrm{Re}\right)\frac{\Delta x}{D}$$

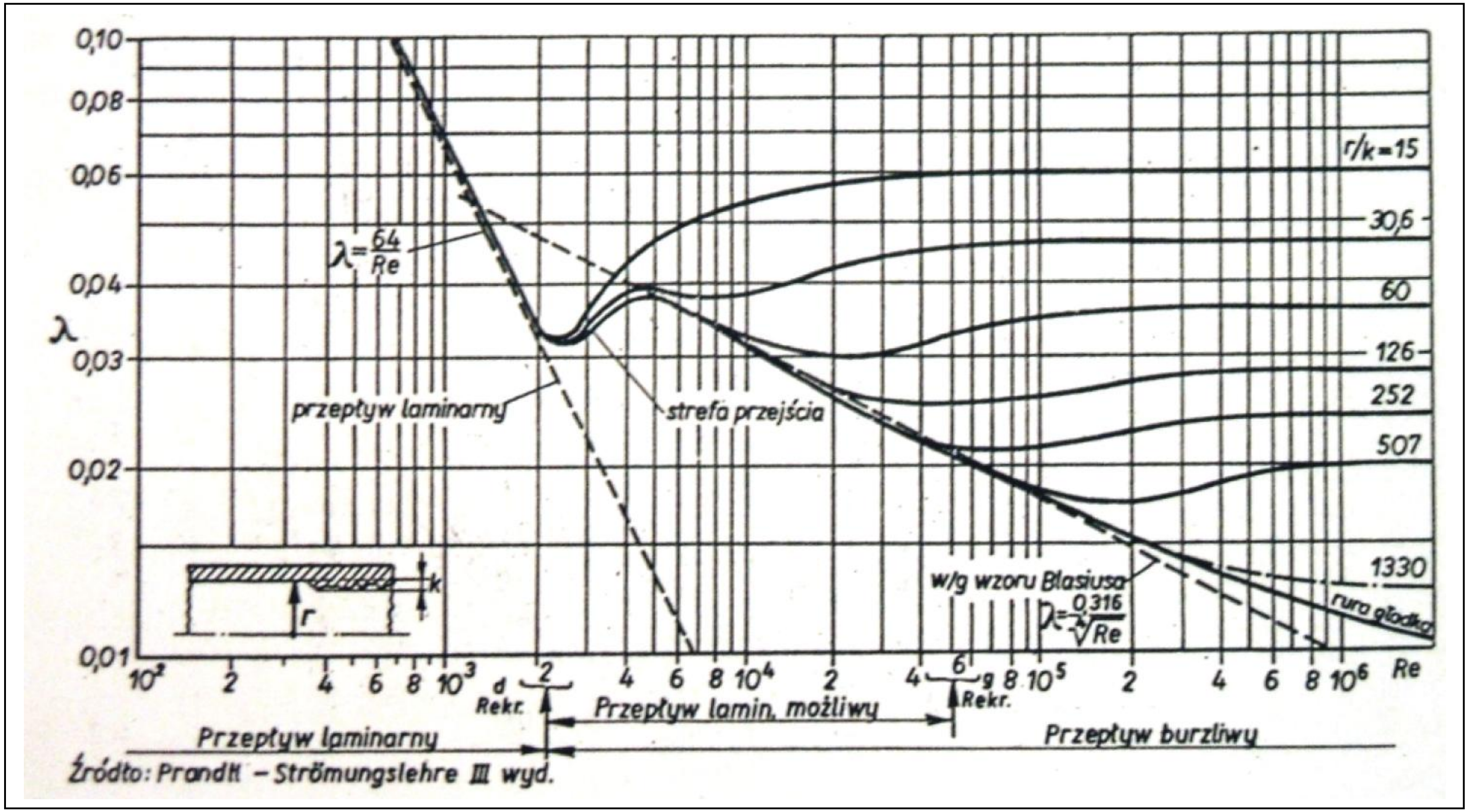
Dla ruchu laminarnego (gdy rozkład prędkości jest paraboloidalny) porównujemy powyższe wyrażenie ze wzorem Hagena - Poiseuille'a i dostajemy:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

Dla takich liczb Reynoldsa, dla których nie sprawdza się wzór Hagena - Poisewille'a wielkość λ wyznaczono doświadczalnie. Pierwsze wyniki otrzymał NIKURADSE.

WYKRES NIKURADSEGO

Nikuradse pomierzył spadki ciśnienia w rurze i zilustrował to na wykresie.



Dla dużych Re i gładkiej rury ⟹

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

Spadek ciśnienia w rurze w zależności od płynącego przez nią wydatku Q i średnicy rury D.

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho U^2}{2} \cdot \frac{\Delta x}{D} \quad \text{czyli} \quad \Delta p \sim \lambda \left(\frac{Q}{D^2} \right)^2 \frac{1}{D}$$

Dla ruchu laminarnego

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \qquad Re = \frac{\rho U D}{\mu}$$

Zatem

$$\lambda \sim 1 \Big/ \frac{Q}{D^2} \cdot D = \frac{D}{Q} \quad \Longrightarrow \quad \Delta p \sim \frac{Q}{D^4}$$

Dla ruchu turbulentnego i dla silnie chropowatej powierzchni rury

$$\lambda \approx \mathrm{const} \quad \Longrightarrow \quad \Delta p \sim \frac{Q^2}{D^5}$$

Moc potrzebna do przetłoczenia wydatku Q przy spadku ciśnienia Δp.

$$N = Q \cdot \Delta p$$

Dla ruchu laminarnego $\Longrightarrow$ $$N \sim \frac{Q^2}{D^4}$$

Dla ruchu turbulentnego $\Longrightarrow$ $$N \sim \frac{Q^3}{D^5}$$

OBLICZENIA RUROCIĄGÓW

Rurociąg to przewód o długich – wielokrotnie przekraczających średnice – odcinkach rur okrągłych.

Spadki ciśnienia wzdłuż rurociągu spowodowane są:

1. **przez przeszkody lokalne takie jak zawory, zmiany średnic, filtry itp.**

$$\Delta p = \zeta \frac{\rho U^2}{2}$$

gdzie ζ – współczynnik strat lokalnych wyznaczany w sposób doświadczalny.

2. przez tarcie płynu o ścianki , zachodzące wzdłuż odcinków prostoliniowych

$$\Delta p = \lambda \frac{\rho U^2}{2} \frac{\Delta x}{D}$$

Łączny spadek ciśnienia wynika z sumowania po wszystkich odcinkach rurociągu.

$$\Delta p_S = \sum \lambda_k \left(\frac{\rho U^2}{2} \right)_k \left(\frac{\Delta x}{D} \right)_k + \sum \zeta_k \left(\frac{\rho U^2}{2} \right)_k$$

W sytuacji, gdy rozważamy lokalny spadek ciśnienia, w którym występują rozmaite prędkości (np. przy zmianie średnic przewodu) współczynnik ζ jest odniesiony do prędkości większej!