

Opory przepływów

Czego się dziś dowiemy?

1. Poznamy rodzaje oporów przepływu
2. Nauczymy się obliczać straty ciśnienia w trakcie przepływu płynu

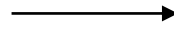
Płyn idealny a płyn rzeczywisty – jaka jest różnica?

przepływ płynów idealnych



brak lepkości – brak tarcia
brak oddziaływań między płynem a ścianą

przepływ płynów rzeczywistych



lepkość – tarcie wewnętrzne
oddziaływanie między płynem a ścianą



Co z tą energią?



Straty!

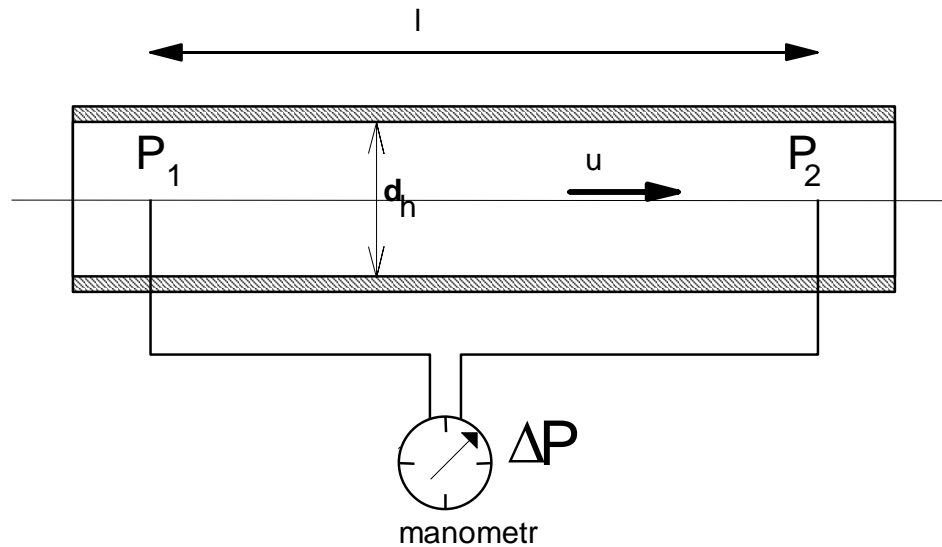
ciepło

Jak uzupełnić energię płynu by mógł nadal płynąć?

Opory przepływu dzieli się na:

- opory miejscowe
- opory na długości rurociągu

$$\Delta p_{str} = \Delta p_L + \Delta p_{OM}$$



STRATY CIŚNIENIA NA DŁUGOŚCI RUROCIĄGU – opory hydrauliczne

formuła Darcy-Weisbacha:

$$\Delta P_{str} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}$$

Spadek ciśnienia [Pa]

$$h_{str} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

Wysokość strat [m]

Taka jest strata ciśnienia przy przepływie



Tyle musi dostarczyć pompa aby pokonać straty ciśnienia

Współczynnik oporu liniowego λ jest funkcją:

- liczby Reynolds'a
- chropowatości względnej ε/d (ε – średnia wysokość nierówności na ścianie rury)

Wartość tego współczynnika jest najczęściej wyznaczana z wykresów opracowywanych na podstawie badań doświadczalnych.

Jak wyznaczyć współczynnik oporu liniowego λ ?

Rury gładkie:

Przepływ laminarny

$$\lambda = \frac{C}{Re}$$



Konfiguracja	średnica hydrauliczna	stała C
koło o średnicy d	d	64
kwadrat o boku a	a	57
trójkąt równoboczny o boku a	0.58a	53
pierścień o szerokości a	2a	96

Przepływ burzliwy

$$2,3 \cdot 10^3 \leq Re \leq 10^5$$

Wzór Blasiusa

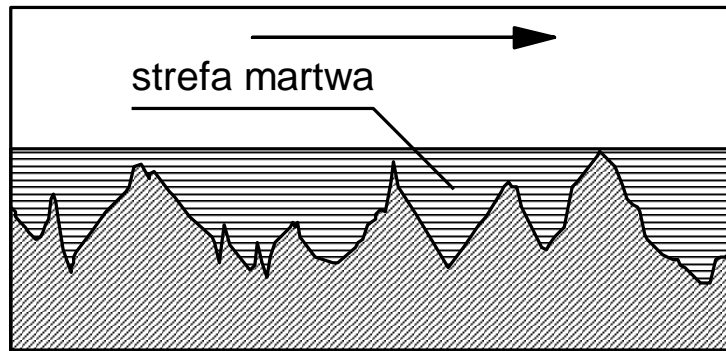
$$\lambda = \frac{0,32}{Re^{0,25}}$$

$$10^5 \leq Re \leq 10^8$$

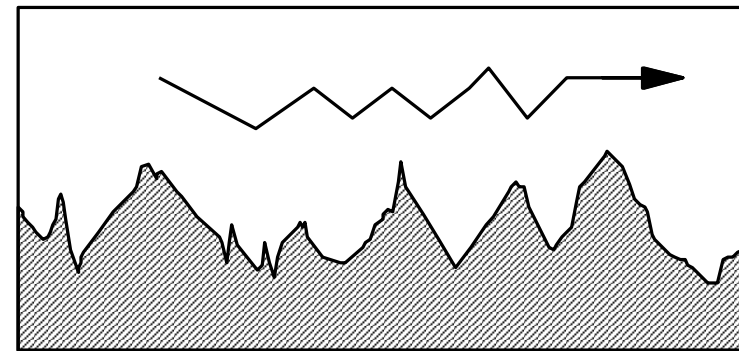
$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$$

Chropowatość jest w hydraulice pojęciem względnym

Jak wygląda chropowatość rury w przepływie laminarnym? Zastanów się



przepływ laminarny



przepływ burzliwy



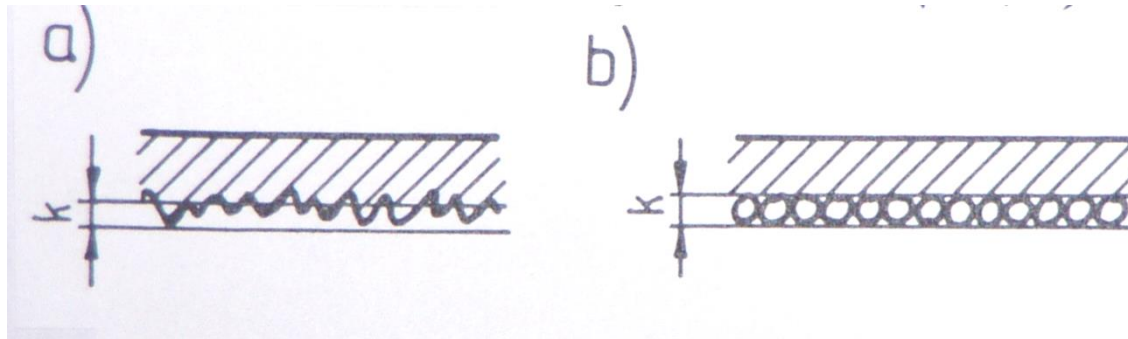
W przepływie laminarnym przewody są hydraulicznie gładkie
Więc zawsze liczymy opory jak dla rury gładkiej!

chropowość względna ε/d lub d/k

Lata 30-ste XX w. we Wrocławiu

Badania Nikuradsego nad wpływem chropowości

stosowano tzw. chropowość sztuczną (regularną)
wytwarzaną przez nalepienie ziaren piasku o określonej
granulacji



Chropowość bezwzględna: a) naturalna, b) sztuczna

Jak wyznaczyć współczynnik oporu liniowego λ ?

Rury chropowate:

Przepływ laminarny



$$\lambda = \frac{C}{Re}$$

Przewód hydraulicznie gładki

Przepływ burzliwy



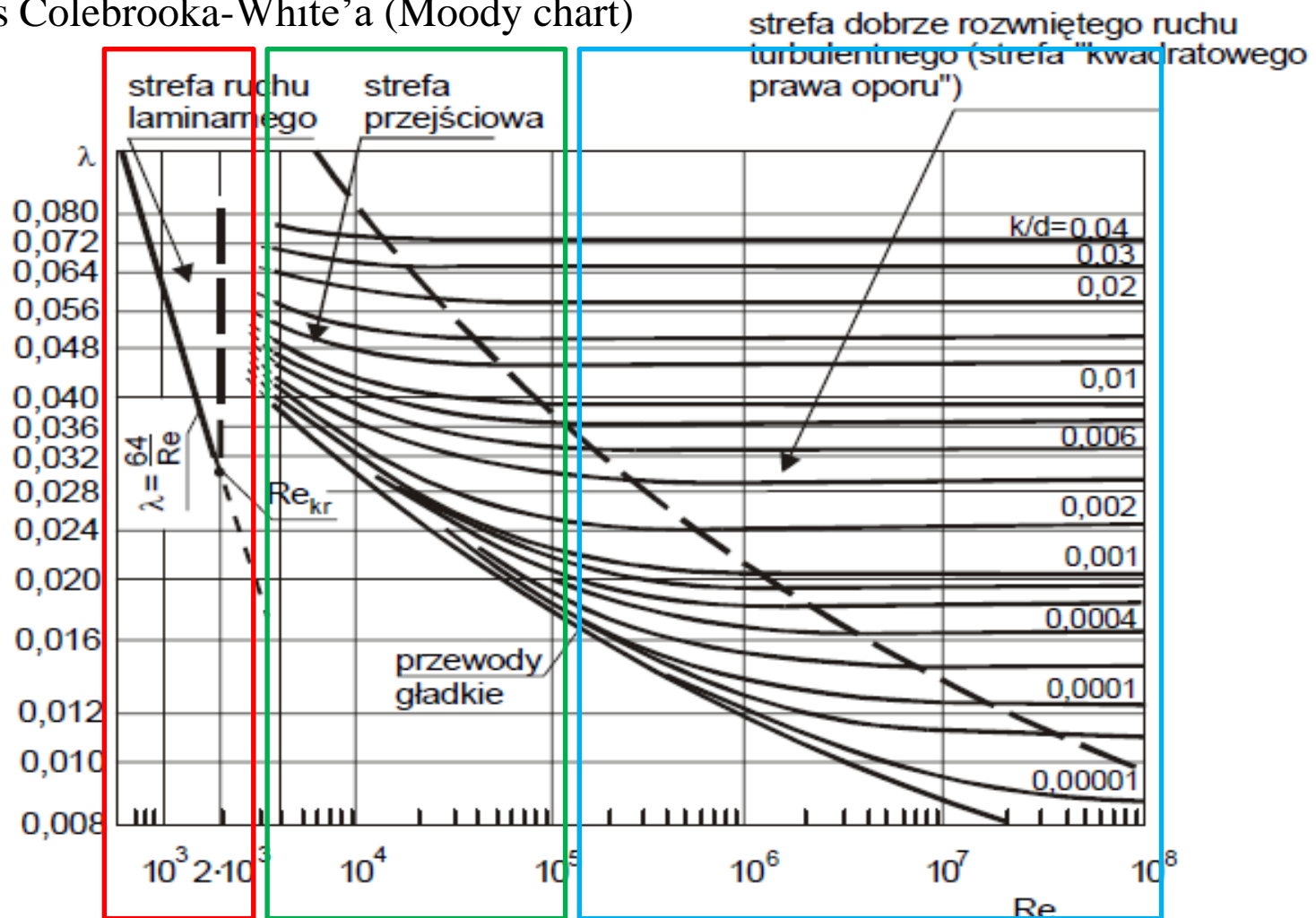
Z wykresu Colebrooka-White'a (lub Moody'ego)

Formuła Colebrooka-White'a
często w obliczeniach praktycznych

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon / d}{3,7} \right).$$

- dla rur gładkich i chropowatych
- dla obszaru przejściowego i turbulentnego

Wykres Colebrooka-White'a (Moody chart)



1. Strefa 1 – prosta odpowiadająca przepływowi laminarnemu o równaniu $\lambda = 64/Re$, $\lambda = f(Re)$
2. Strefa 2 – prosta odpowiadająca przepływowi turbulentnemu w przewodzie gładkim, $\lambda = f(Re, e/d)$
3. Strefa 3 – zanika tu wpływ liczby Re na wartość współczynnika oporu – zależy on tu wyłącznie od chropowatości względnej, $\lambda = f(e/d)$

- Chropowatość zależy od rodzaju materiału i sposobu jego obróbki.
- Wartości chropowatości bezwzględnej dla przewodów których ścianki wykonane są z materiałów najczęściej spotykanych w praktyce przemysłowej:

Materiał	Stan powierzchni	ϵ , mm
Rury walcowane: miedź, mosiądz, brąz	gładkie	0,0015÷0,100
Rury walcowane: aluminium	gładkie	0,015÷0,06
Rury stalowe walcowane	nowe	0,02÷0,10
	nieznacznie skorodowane	0,4
	z większymi osadami kamienia	~ 3,0
Rury żeliwne	nowe	0,25÷1,0
	z osadami	1,0÷1,5
Rury betonowe	średnia gładkość	2,5

Opory miejscowe

- zmiana pola poprzecznego przewodu,
- zmiana kierunku przepływu,
- wbudowanie urządzeń dławiących przepływ

$$\Delta P_{str,m} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}$$

zazwyczaj prędkość za przeszkodą

$$\Delta h_{str} = \xi \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$\xi = \lambda \frac{l_{zast}}{d} \longrightarrow \Delta P_{str,m} = \lambda \frac{l_{zast}}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}$$

$$\Delta P_{str,m} = \xi_1 \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} + \xi_2 \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} + \xi_3 \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}$$

$$\Delta P_{str} = \sum \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \frac{\rho \cdot u_i^2}{2} + \sum \xi_i \cdot \frac{\rho \cdot u_i^2}{2}$$

Jak policzyć spadek ciśnienia przy przepływie płynu? Jakie kroki należy wykonać?

1. Sprawdzamy typ przepływu – liczba Reynoldsa.
2. Sprawdzamy czy przewód jest chropowaty czy gładki.

Przepływ laminarny

Wzór!

$$\lambda = \frac{C}{\text{Re}}$$

Przepływ burzliwy

Gładki – wzór

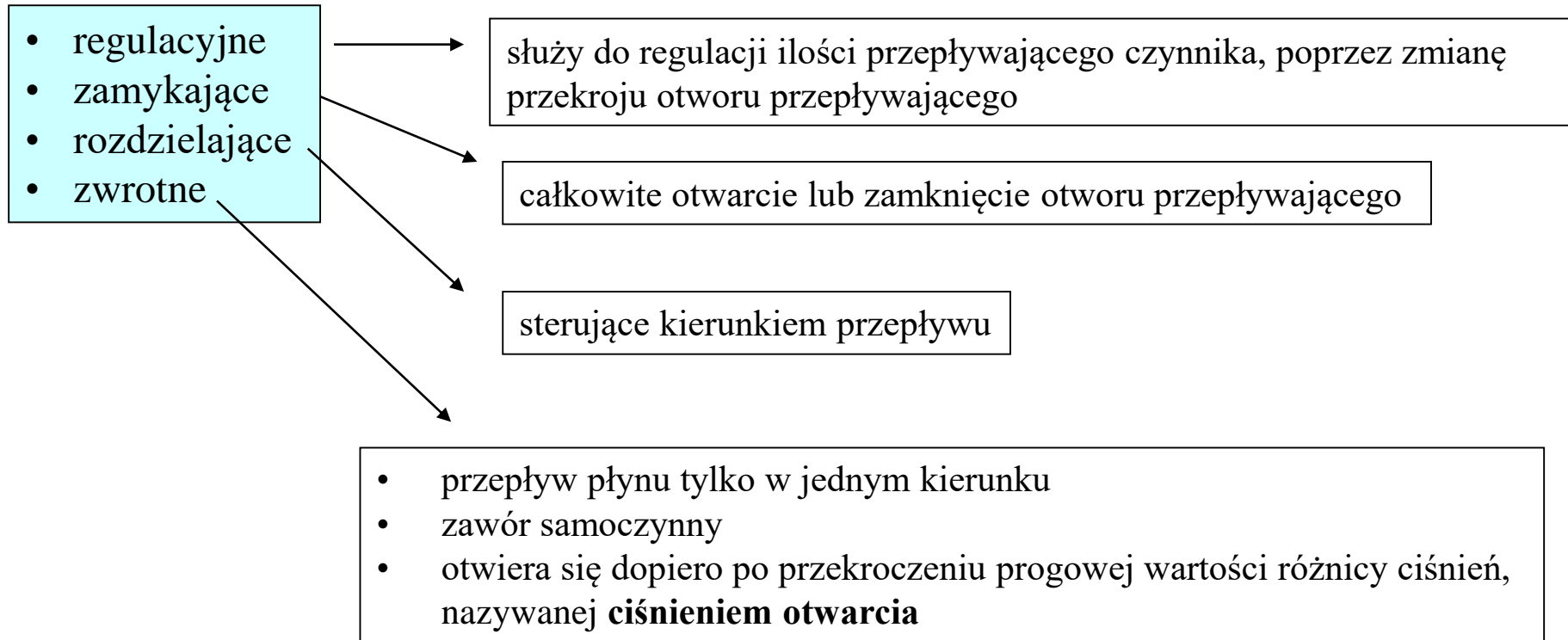
Chropowaty – wykres!

Mamy już λ , teraz liczymy spadek ciśnienia:

$$\Delta P_{str} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2}$$

Urządzenia dławiące i zamykające

w zależności ich przeznaczenia



Zależność oporów miejscowych od liczby Reynoldsa

Dla małych Re:

- Zależność od parametrów geometrycznych oporu miejscowego
- Zależność od liczby Reynoldsa (odwrotnie proporcjonalnie)

$$\zeta = \frac{C}{Re}$$

Dla dużych Re – niewielki wpływ prędkości na współczynnik oporu miejscowego

Wzajemne oddziaływanie oporów miejscowych

Wbudowanie oporu miejscowego w rurociąg



Zmiany:

- Rozkładów ciśnień
- Naprężeń statycznych
- Prędkości
- Intensywności turbulencji



Długość oddziaływania oporu miejscowego – odcinek, na którym rozkłady parametrów uległy zmianie



Czego się dziś nauczyliśmy?

1. Znamy rodzaje oporów przepływu
2. Potrafimy obliczać straty ciśnienia w trakcie przepływu płynu

Sprawdźmy się! **Kahoot**

