

KINEMATYKA PŁYNÓW

Opisuje ruch płynów bez rozważania sił powodujących ten ruch.

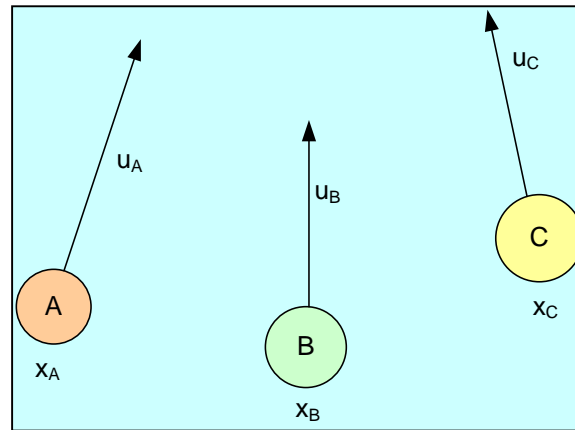
- Metody analizy ruchu płynów, metoda Lagrange'a i metoda Euler'a
- Wizualizacja ruchu płynów – linie prądu, trajektorie, wirowość
- Liczba Reynolds'a
- Rodzaje przepływów

Metody analizy ruchu płynów

Metoda Lagrange'a – tzw. *analiza wędrówna*, polega na badaniu ruchu wybranego elementu płynu po jego torze. Element się przemieszcza, zmienia swoje współrzędne w kolejnych odstępach czasu.



Mała liczba obiektów – można śledzić ruch każdego z nich



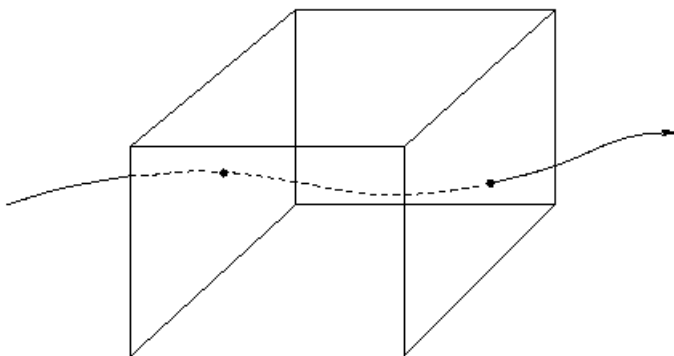
Śledzimy położenie i prędkość cząstek w danej chwili



Zastosowanie w metodach wizualizacji ruchu płynów

Płyn to nie kulki bilardowe 😊
Opis jest utrudniony, są miliony cząstek – makroskopowo płyn jest traktowany jako ośrodek ciągły

Metoda Eulera – tzw. *analiza lokalna*, polega na badaniu ruchu kolejnych elementów przepływających przez nieruchomy punkt A. Metoda ta zajmuje się punktem przestrzeni o określonych współrzędnych, związana jest z pojęciem *powierzchni kontrolnej*.



Opis zmiany wielkości w danym punkcie (x, y, z) w objętości kontrolnej w danej chwili t .



Nie interesuje nas co się dzieje z pojedynczą cząstką!

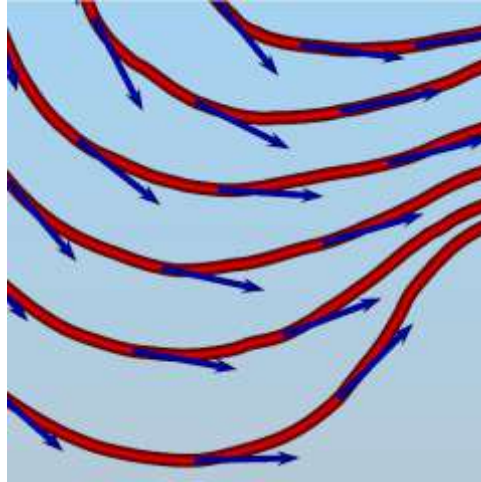
Interesują nas wielkości w danym miejscu – ciśnienie, prędkość, przyspieszenie itp.



Zastosowanie, np. lokalny pomiar prędkości wiatru w tunelu

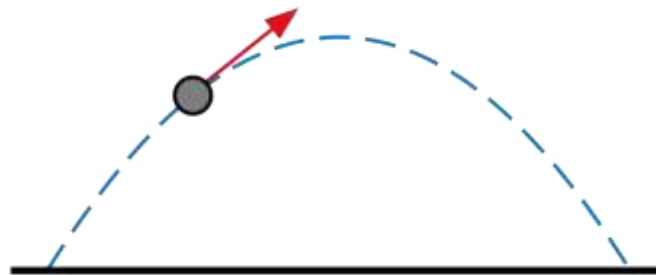
Wizualizacja przepływów

Linie prądu – krzywe styczne do chwilowych lokalnych wektorów prędkości



<https://www3.nd.edu/~cwang11/2dflowvis.html>

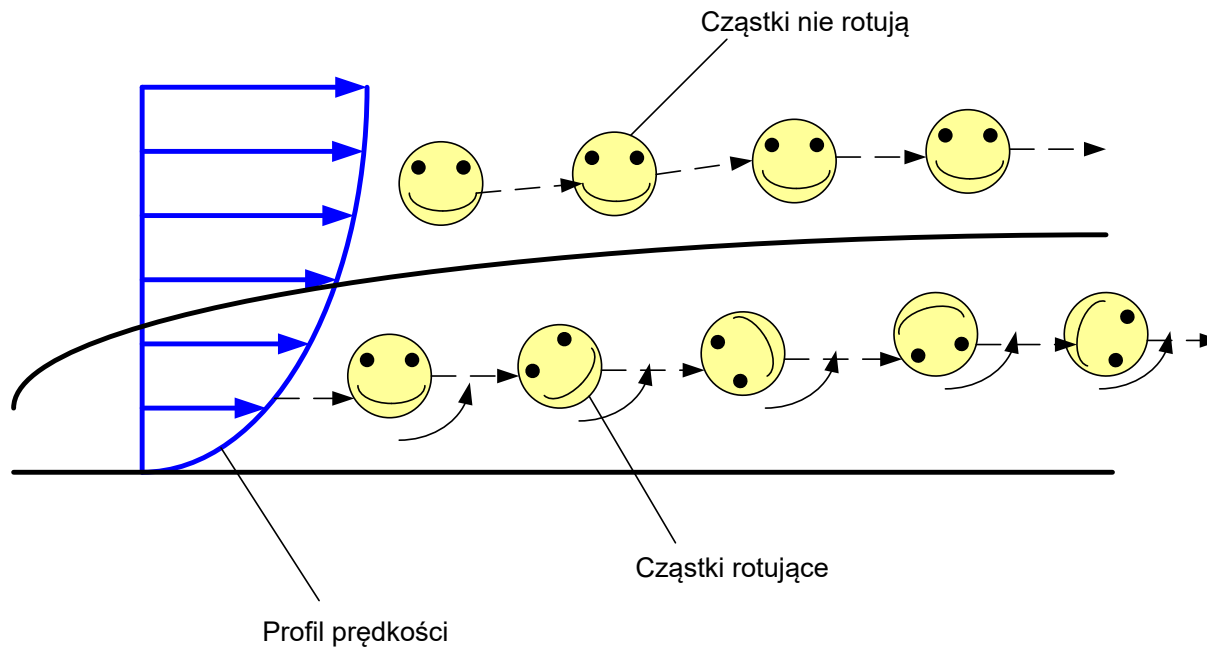
Trajektoria jest krzywą po której porusza się określona cząstka płynu (w przestrzeni w jakimś skończonym czasie, koncepcja Lagrange'a).



<https://www.toppr.com/guides/physics-formulas/trajjectory-formula/>

Wirowość płynu

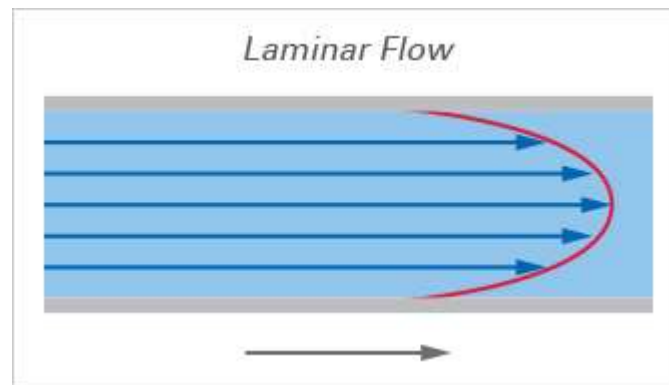
Ruch wirowy płynu to taki, w którym elementy płynu wykonują ruchy obrotowe o prędkości kątowej ω .



W inżynierii procesowej przepływy dzieli się głównie na dwie kategorie są to:

a) **przepływy laminarne** (zwane lepkościowymi):

- regularny charakter, uporządkowane ruchy płynu
- stabilizujące działanie lepkości (ona hamuje kolejne warstwy)
- przemieszczanie między warstwami może się odbywać wyłącznie w wyniku dyfuzji molekularnej.

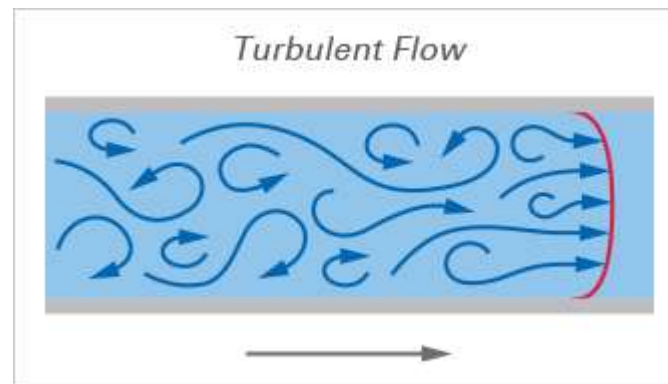


<https://ibidi.com/content/286-the-different-types-of-flow>

gdy energia, a zatem i prędkości „elementów” płynu są tak duże, że wewnętrzne tarcie (lepkość) nie jest już w stanie wy tłumić powstających wirów i zaburzeń przepływu:

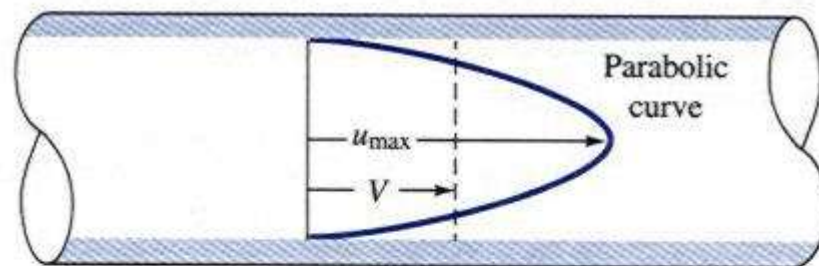
b) **przepływy burzliwe** (turbulentne)

- elementy płynu ulegają przypadkowym fluktuacjom, generowane są wiry
- występują stochastyczne (przypadkowe) składowe prędkości prostopadle do kierunku ruchu
- lepsze wymieszanie płynu
- intensyfikacja procesów transportu masy, ciepła i energii.



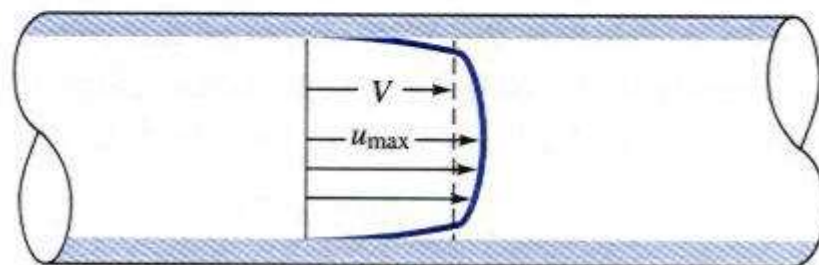
Przepływ laminarny: $u_{\dot{s}r} = 0,5 u_{\max}$

Paraboloida obrotowa



(a)

Przepływ burzliwy: $u_{\dot{s}r} = 0,8-0,9 u_{\max}$



(b)

Liczba Reynolds'a

$$\text{Re} = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\eta} = \frac{u \cdot d}{\nu}$$

gdzie:

u – prędkość,

d – średnica hydrauliczna (np. rurociągu)

ρ – gęstość płynu

η – lepkość dynamiczna płynu

ν – lepkość kinematyczna płynu

ŚREDNICA HYDRAULICZNA

podczas obliczania liczby Reynolds'a występuje problem określenia jednego charakterystycznego wymiaru liniowego dla kanałów przepływowych o założonej geometrii. Średnica hydrauliczna d_h jest parametrem zdefiniowanym następująco:

$d_h = 4 \times \text{pole przekroju poprzecznego} / \text{"obwód zwilżany"}$

$$d_h = \frac{4 \times A}{O}$$

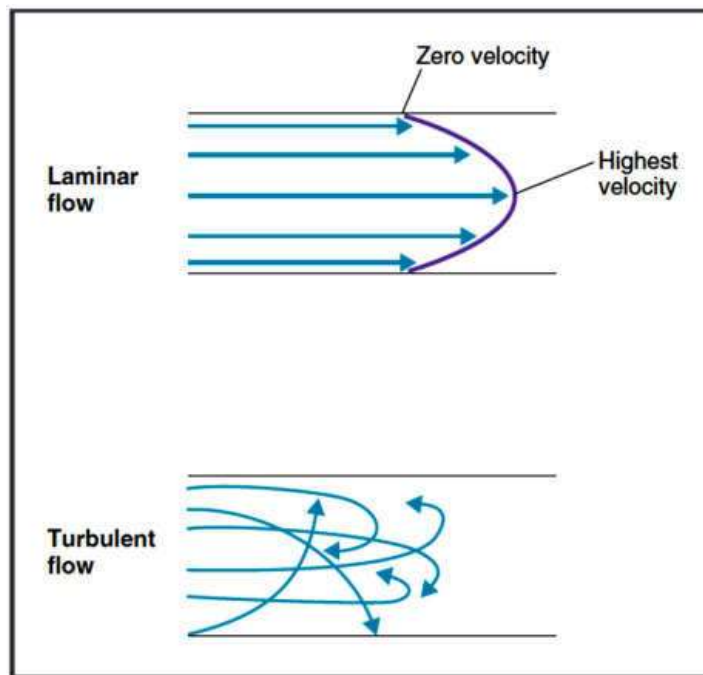
Średnica hydrauliczna kanału kołowego: $d_h = \frac{4 \times \frac{\pi \cdot d^2}{4}}{\pi \cdot d} = d$

Średnica hydrauliczna kanału trójkątnego: $d_h = \frac{4 \times a^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{4}}{3 \cdot a} \cong 0.6 \cdot a$

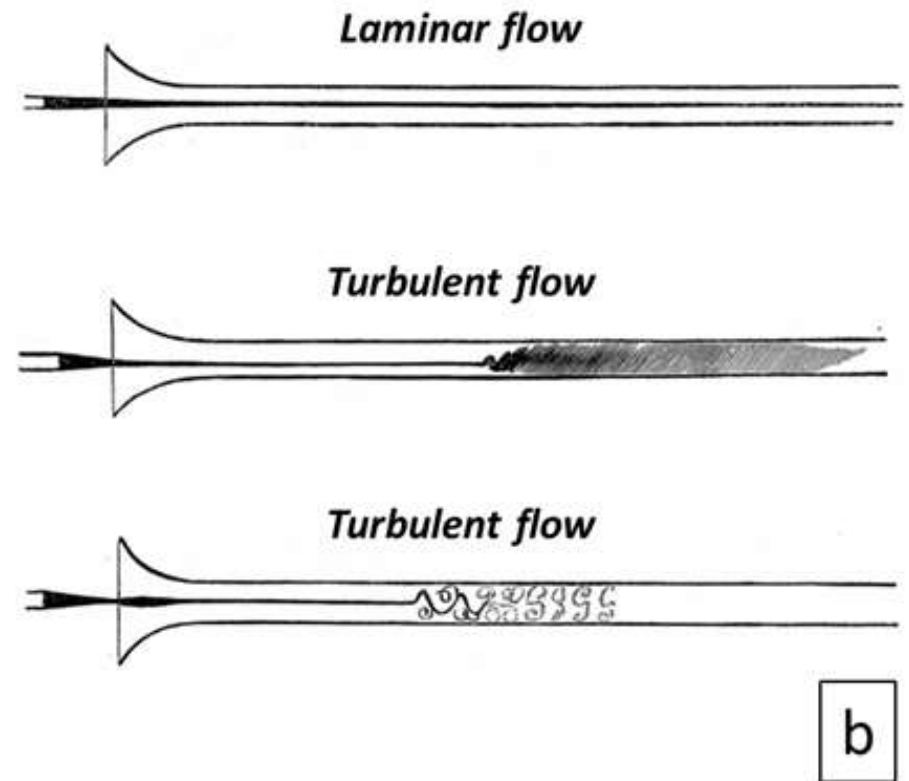
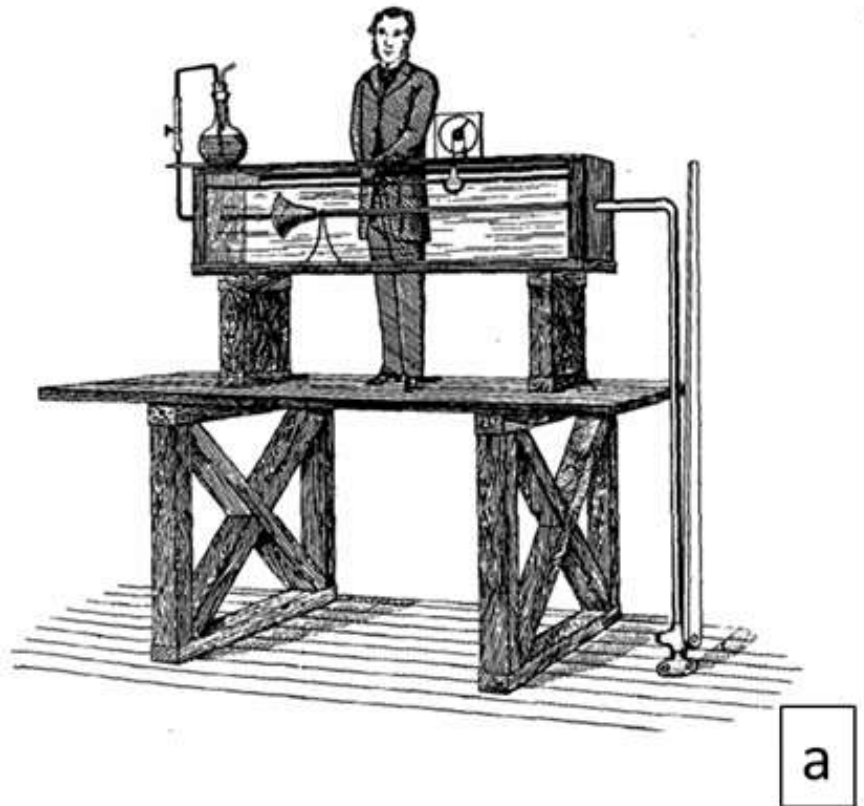
W praktyce wielkość liczby Reynoldsa pozwala na określenie kiedy ruch płynu jest laminarny, a kiedy może pojawić się turbulencja.

Dla każdego rodzaju przepływu istnieje **krytyczna liczba Reynoldsa** Re_{kr} , poniżej której przepływ turbulentny nie jest obserwowany.

Należy zaznaczyć, że nie istnieje jedna, uniwersalna wartość krytycznej liczby Reynoldsa i jest ona odmienna w zależności od rodzaju realizowanego przepływu. Musi być zatem wyznaczana na drodze empirycznej.



Doświadczenie Reynolds'a



Jak dotąd, precyzyjne pomiary wykonano jedynie dla przepływów w rurach okrągłych, gładkich i chropowatych.

W praktyce inżynierskiej przyjmuje się na ogół następujące kryteria dla rur okrągłych:

Re < 2300 - przepływ laminarny (uporządkowany, warstwowy, stabilny)

2300 < Re < 10000 - przepływ przejściowy (częściowo turbulentny)

Re > 10000 - przepływ turbulentny (burzliwy)

Dla przepływu przejściowego wszystkie obliczenia inżynierskie przeprowadza się tak, jakby był przepływem turbulentnym.

Burze turbulentne w atmosferze Jupitera



FIZYCZNE ZNACZENIE LICZBY REYNOLDS'A

Siły inercyjne (bezwładności) można wyznaczyć z II zasady dynamiki jako zmianę pędu w czasie:

$$F_{\text{bezwładności}} = \frac{\Delta(m \cdot u)}{\Delta t} = \frac{\Delta(V \cdot \rho \cdot u)}{\Delta t} = \frac{\Delta(A \cdot l \cdot \rho \cdot u)}{\Delta t} = (A \cdot \rho \cdot u) \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} = A \cdot \rho \cdot u^2$$

Siły lepkościowe obliczamy jako iloczyn naprężeń ścinających i powierzchni przez którą odbywa się transport pędu:

$$F_{\text{lepkościowe}} = \tau \cdot A = \eta \cdot \frac{u}{d} \cdot A$$

$$\frac{F_{\text{inercyjny}}}{F_{\text{lepkościowe}}} = \frac{A \cdot \rho \cdot u^2}{\mu \cdot \frac{u}{d} \cdot A} = \frac{d \cdot \rho \cdot u}{\mu} = \text{Re}$$