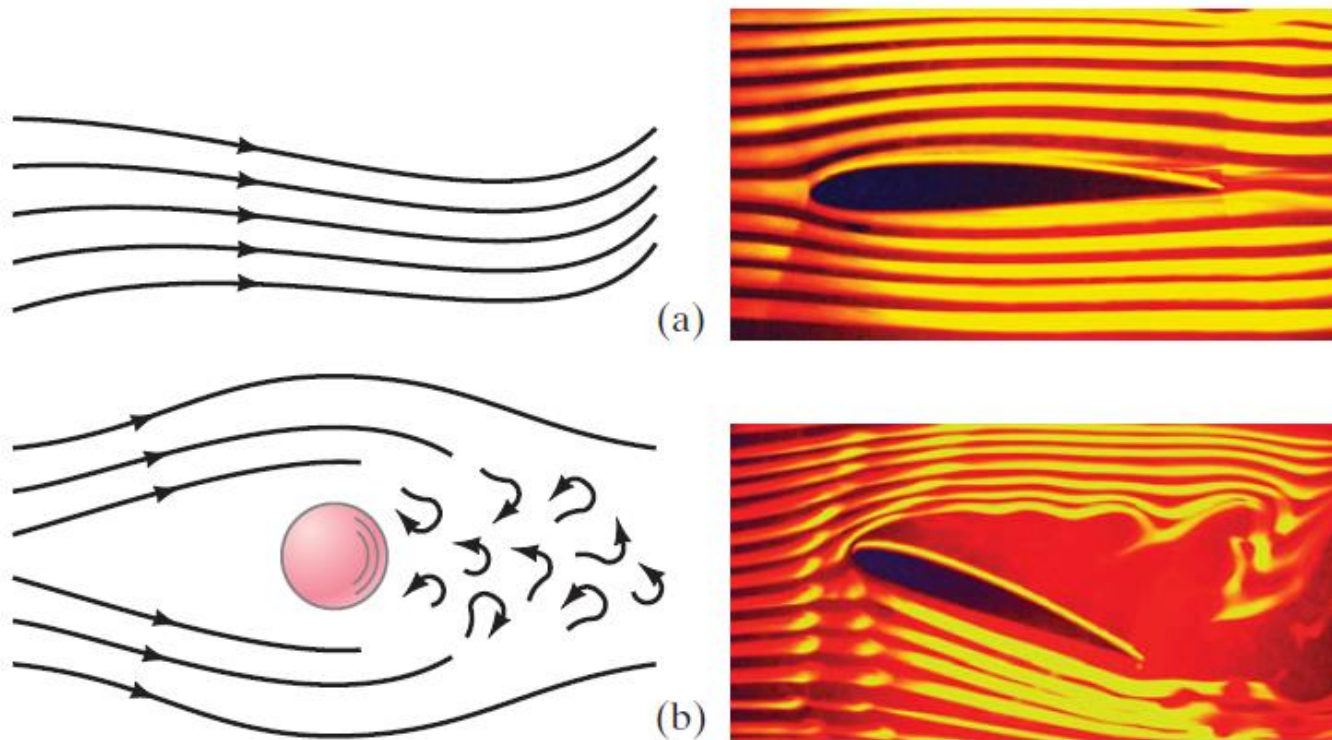


Fizika I

DINAMIKA FLUIDA

Doc. dr. sc. Iva Movre Šapić

11. DINAMIKA FLUIDA

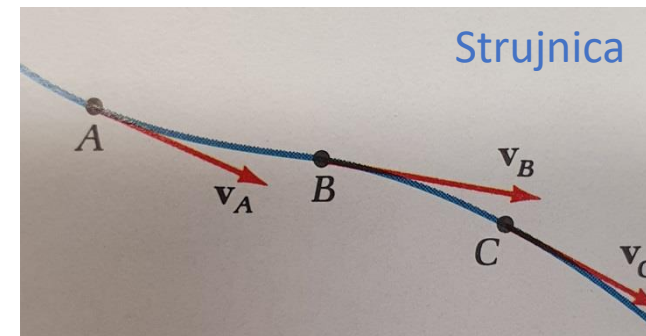
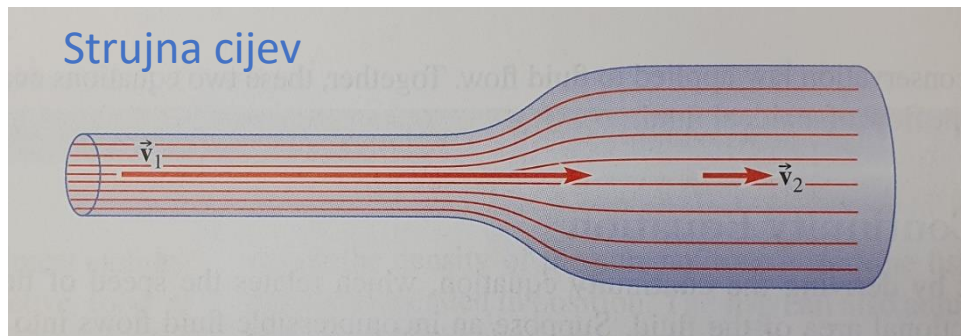


a) laminarno –
slojevito, slojevi
se ne miješaju

b) turbulentno –
miješanje slojeva

Strujanje idealnog fluida

- **Idealni fluid**: nestlačiv, nema trenja, laminarno i stacionarno strujanje (brzina i tlak ne ovise o vremenu)
- **Strujanje** = gibanje tekućine ili plina (fluida)
- Strujanje nastaje zbog vlastite težine fluida ili zbog razlike u tlakovima.
- **Strujnica** = zamišljena linija u fluidu čija tangenta u svakoj točki pokazuje smjer brzine.
- Gustoća strujnica proporcionalna je iznosu brzine: gdje su strujnice gušće, brzina fluida je veća, i obrnuto.
- **Strujna cijev** = dio fluida omeđen strujnicama



Jednadžba kontinuiteta

- Idealni fluid; cijev različitog presjeka

Volumni protok:

$$q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{Sv\Delta t}{\Delta t} = Sv$$

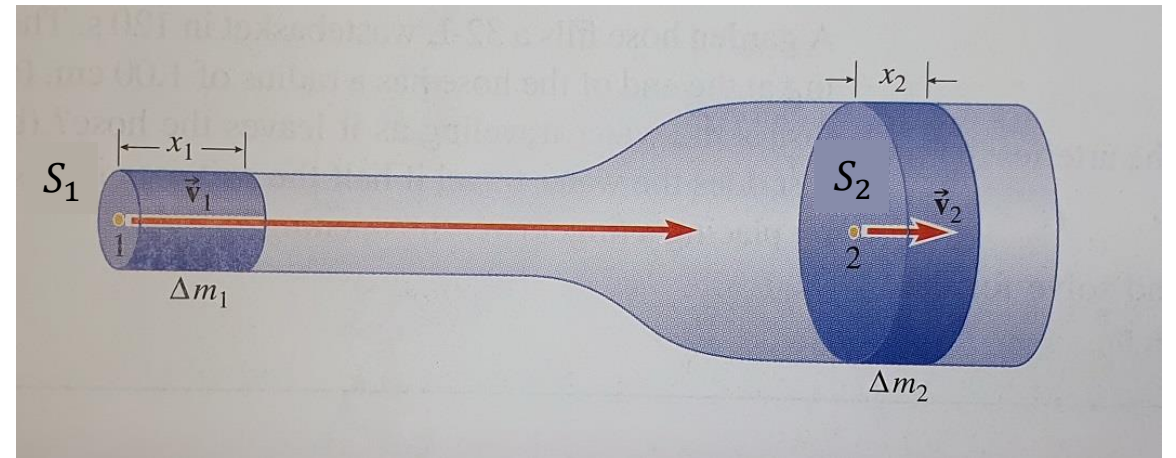
- Nestlačiv fluid $\rightarrow$ masa fluida koja u vremenu Δt protekne kroz bilo koji presjek je konstantna:

$$\rho S_1 v_1 \Delta t = \rho S_2 v_2 \Delta t = \text{konst.}$$



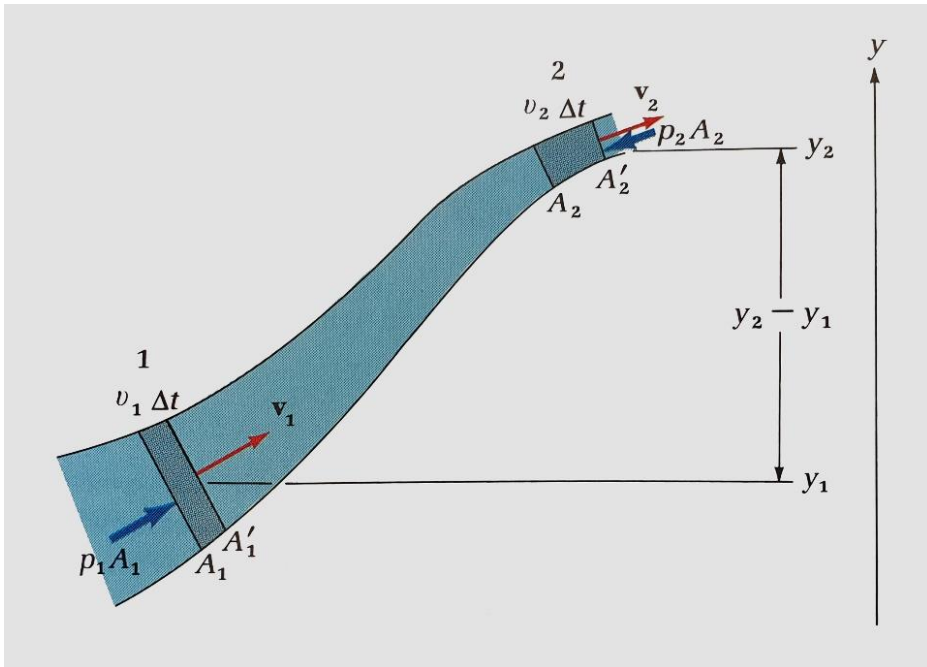
$$Sv = \text{konst}$$

jednadžba kontinuiteta = zakon o očuvanju mase



Bernoullijeva jednačba

- stacionarno strujanje idealnog fluida kroz strujnu cijev promjenjivog presjeka



$$\Delta W = \Delta E$$



- Jednadžba kontinuiteta:

$$\Delta V = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t = \frac{\Delta m}{\rho}$$

- Rad tlačne sile:

$$\Delta W_1 = F_1 \Delta s_1 = p_1 S_1 v_1 \Delta t = p_1 \frac{\Delta m}{\rho} = p_1 \Delta V_1$$

$$\Delta W_2 = -p_2 S_2 v_2 \Delta t = -p_2 \frac{\Delta m}{\rho} = -p_2 \Delta V_2$$

$$\Delta W = \Delta W_1 + \Delta W_2 = (p_1 - p_2) \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_2 - m g h_1$$

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Bernoullijeva enadba

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = \textit{konst.}$$

p – statiki tlak (rad vanjskih sila po jedinici volumena)

$\frac{1}{2}\rho v^2$ – dinamiiki tlak (kinetiika energija po jedinici volumena)

ρgh – „visinski” tlak (gravitacijska pot. energija po jedinici volumena)

• horizontalna cijev: $p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = \textit{konst}$

• mirni fluid: $p_1 - p_2 = \rho g(h_2 - h_1)$

Bernoullijeva jednadžba

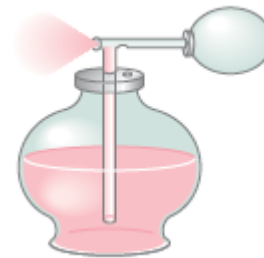
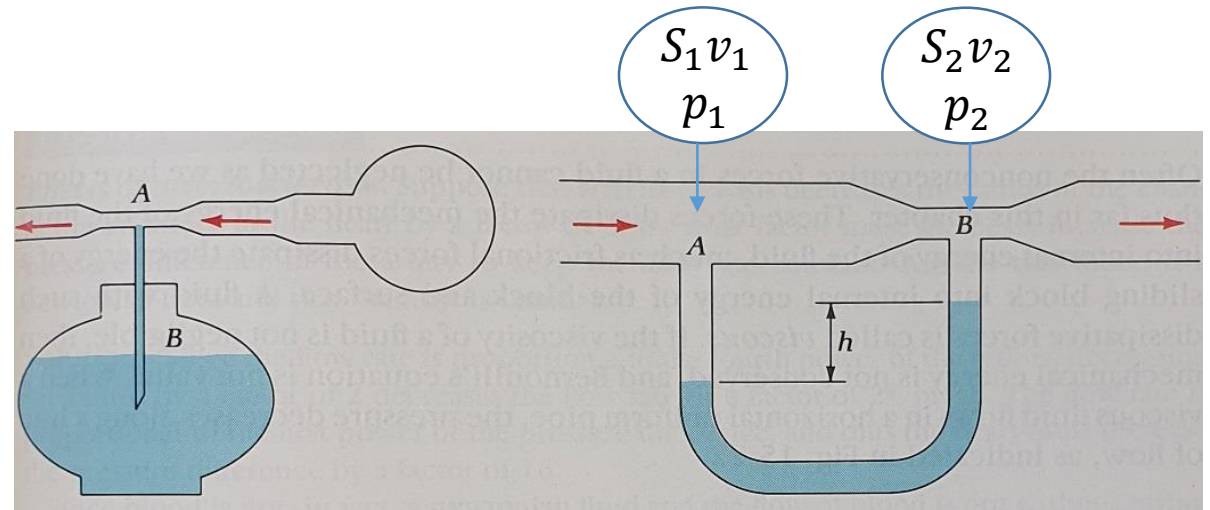
- Primjene: **Venturijeva cijev**

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

$$\Delta h \sim \Delta p$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \left[\left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 - 1 \right]}}$$



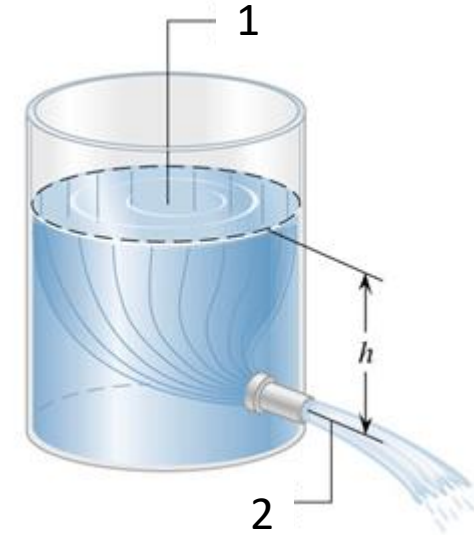
Bernoullijeva jednadžba

- Primjene: **Istjecanje tekućine kroz mali otvor**

$$p_a + \rho g h_1 = p_a + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

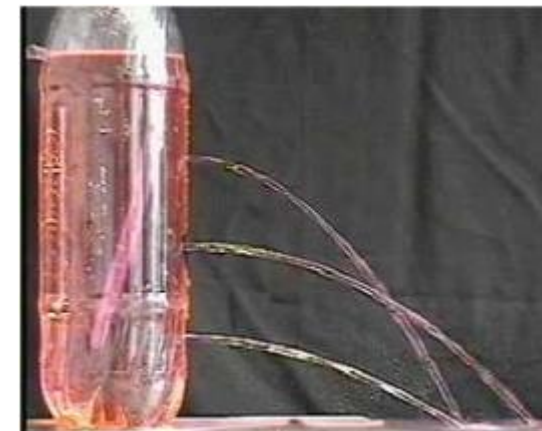
$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$



Torricellijev zakon istjecanja tekućine kroz mali otvor

- brzina tekućine ista kao kad tekućina slobodno pada s iste visine
- vrijedi samo za idealne tekućine



Realni fluidi - viskoznost

- Sila unutrašnjeg trenja između dva susjedna sloja fluida, površine S , udaljenosti dz :

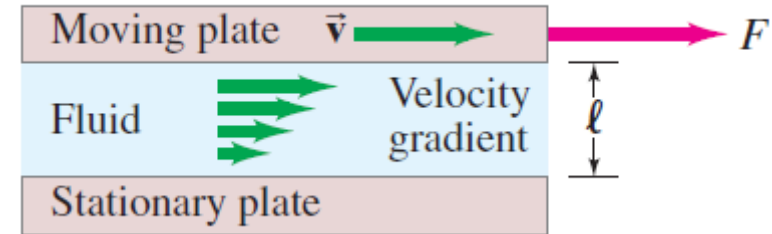
$$F_{tr} = \eta S \frac{dv}{dz}$$

- η – koeficijent dinamičke viskoznosti

$$[\eta] = \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

- ν – kinematička viskoznosti

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}; \quad [\nu] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$



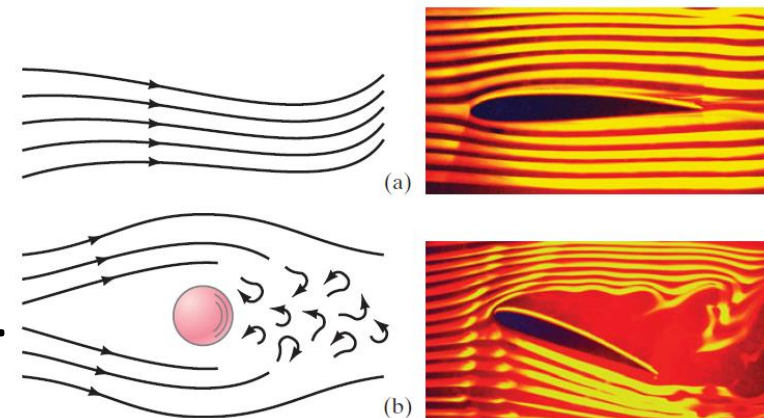
Fluid (temperature in °C)	Coefficient of Viscosity, η (Pa · s) [†]
Water (0°)	1.8×10^{-3}
(20°)	1.0×10^{-3}
(100°)	0.3×10^{-3}
Whole blood (37°)	$\approx 4 \times 10^{-3}$
Blood plasma (37°)	$\approx 1.5 \times 10^{-3}$
Ethyl alcohol (20°)	1.2×10^{-3}
Engine oil (30°) (SAE 10)	200×10^{-3}
Glycerine (20°)	1500×10^{-3}
Air (20°)	0.018×10^{-3}
Hydrogen (0°)	0.009×10^{-3}
Water vapor (100°)	0.013×10^{-3}

Laminarno i turbulentno strujanje

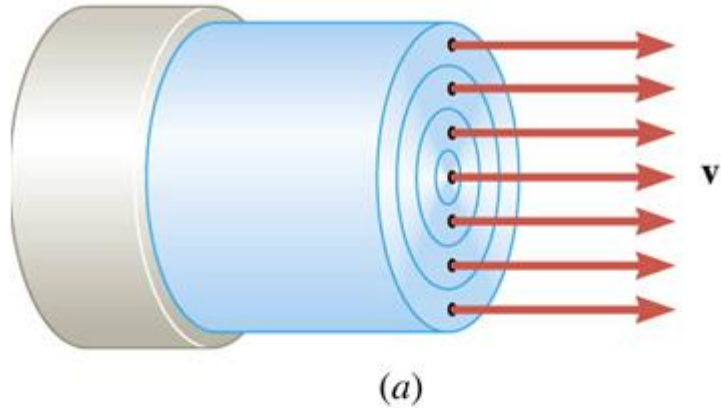
- Pri manjim brzinama realni fluid struji **laminarno** (u slojevima).
- Svaki sloj tekućine ima svoju brzinu.
- Ako brzina fluida postane veća od neke kritične brzine strujanje postaje **turbulentno** – Slojevi fluida se miješaju, čestice prelaze iz jednog sloja u drugi i nastaju vrtlozi.
- Kritična brzina pri kojoj laminarno strujanje prelazi u turbulentno ovisi o
 - viskoznosti fluida,
 - gustoći fluida,
 - obliku cijevi kroz koji fluid struji, odnosno o obliku tijela koje se giba kroz fluid
- **Reynoldsov broj** – bezdimenzionalni parametar koji određuje hoće li strujanje biti laminarno ili turbulentno:

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}$$

- Za, primjerice, strujanje kroz cijevi kritična vrijednost je oko 2300

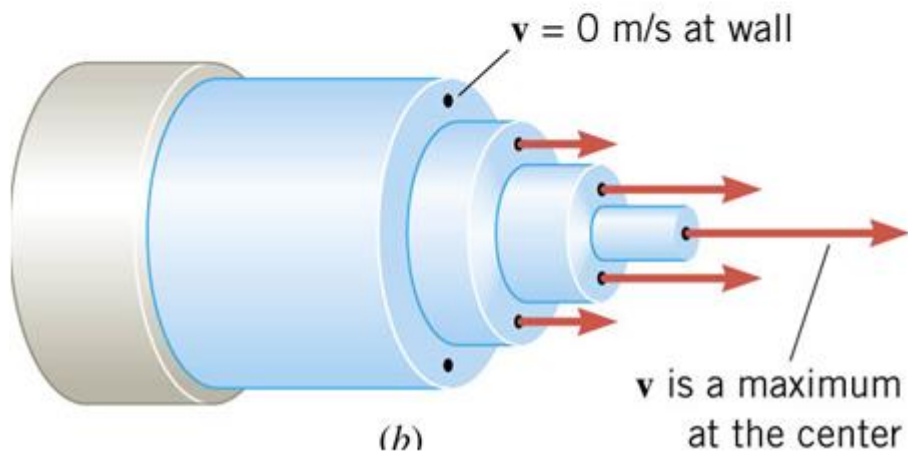


Protjecanje realnog fluida kroz cijev



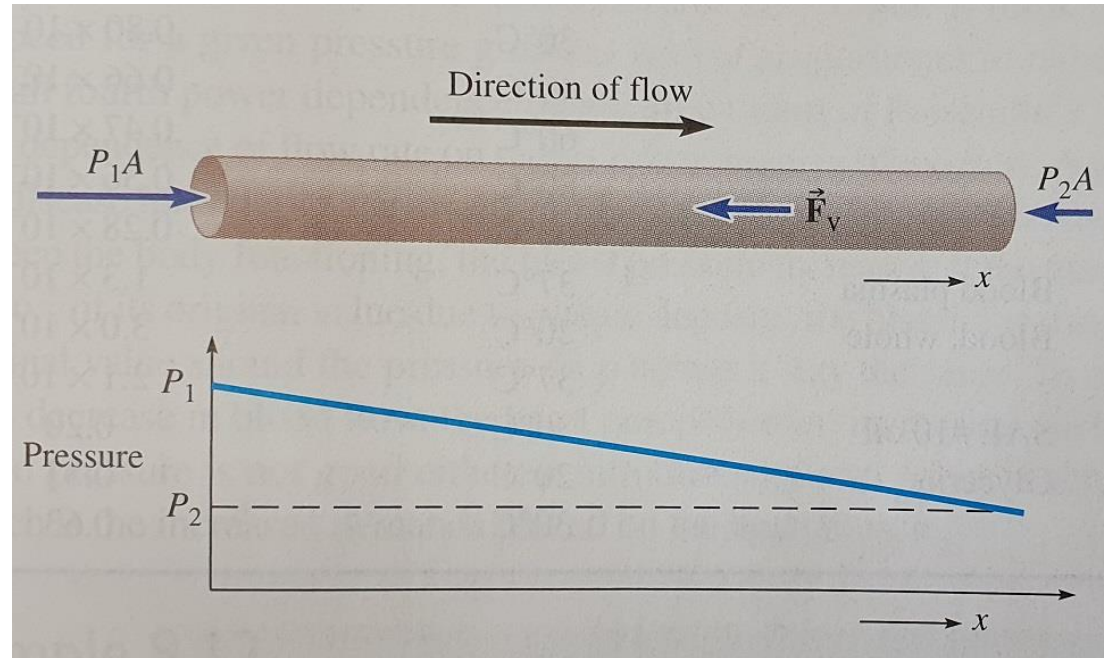
U idealnom fluidu (bez trenja) u svim točkama presjeka brzina je jednaka.

$$q = Sv$$



Kada realni fluid struji kroz usku cijev, najveća je brzina u sredini cijevi, dok se prema krajevima brzina smanjuje te je uz samu stjenku nula.

Protjecanje realnog fluida kroz cijev



$$q = \frac{V}{t} = \frac{\pi}{8\eta} \frac{p_1 - p_2}{L} R^4$$

- Poiseuilleov zakon laminarnog protjecanja realne tekućine kroz uske cijevi

Otpor sredstva – Stokesov zakon

- Kad realni fluid struji oko tijela ili se tijelo giba kroz realni (viskozni) fluid, javlja se otpor sredstva (trenje), koji ovisi o obliku tijela, vrsti fluida i brzini gibanja tijela.

MALE BRZINE

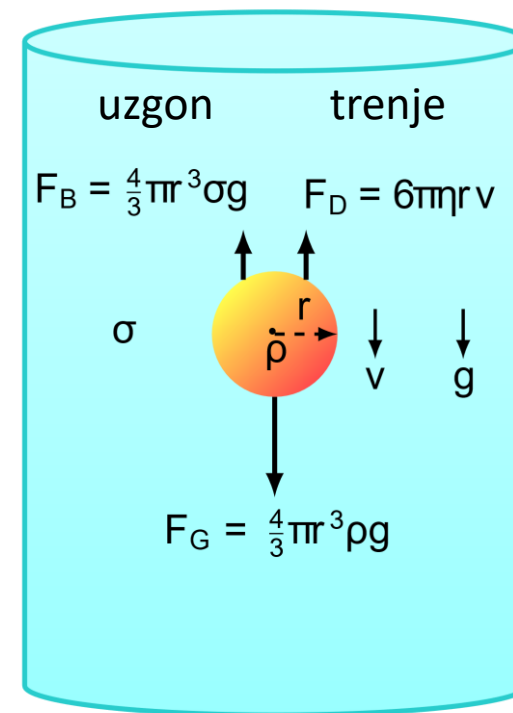
- kuglica polumjera r giba se kroz viskozni fluid stalnom brzinom v

$$F_{tr} = 6\pi\eta r v \quad \text{Stokes}$$

- u ravnoteži su sila teža, uzgon i sila trenja:

$$F_{tr} = F_G - F_U$$

$$6\pi\eta r v = \frac{4}{3}r^3\pi\rho g - \frac{4}{3}r^3\pi\rho_f g$$



Otpor sredstva

VELIKE BRZINE

- brzine veće od kritične (odnosno Reynoldsov broj je veći od kritičnog)
- sila zbog razlike tlakova bitno veća od sile viskoznog trenja

Otpor sredstva:
$$F_{ot} = \frac{1}{2} c_{ot} \rho v^2 S$$

c_{ot} – otporni broj (aerodinamički faktor)

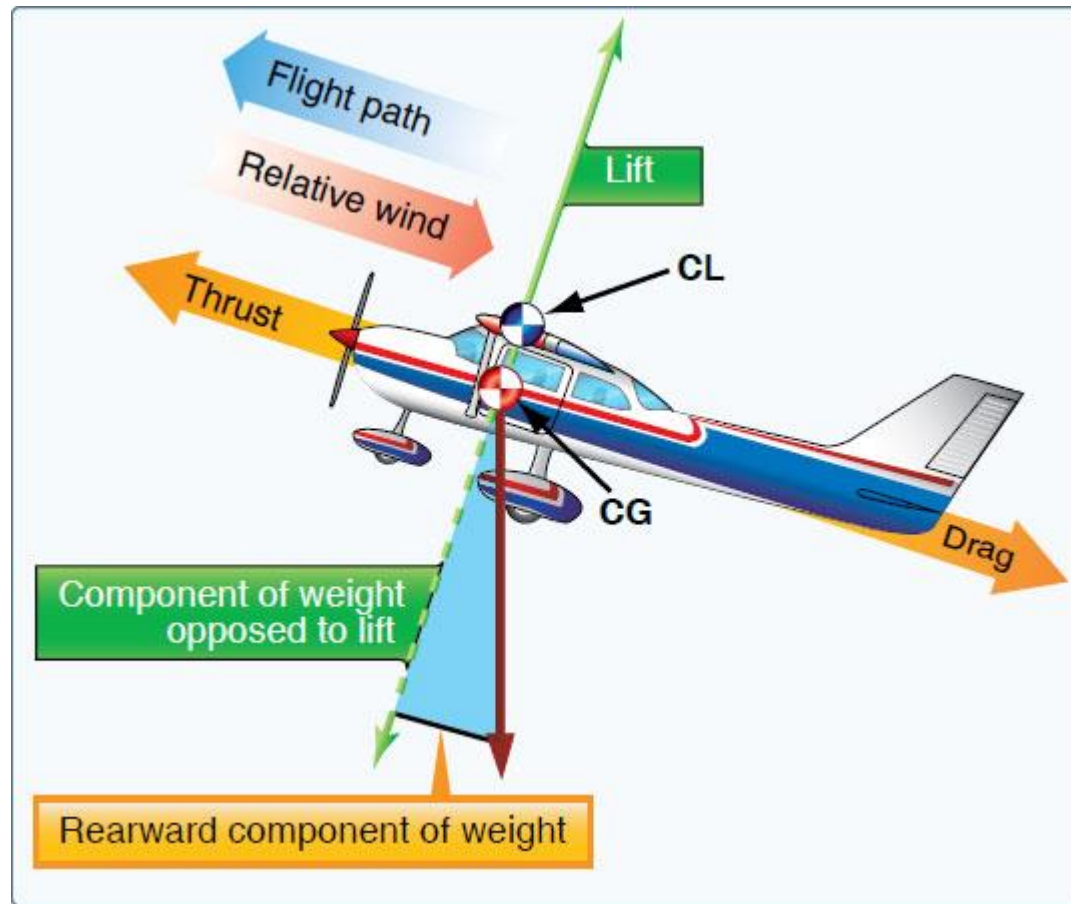
S – čeona površina tijela izložena struji fluida

ρ - gustoća fluida

v – brzina fluida

Otpor sredstva jako ovisi o obliku tijela - to se izražava aerodinamičkim faktorom c_{ot}

Otpor sredstva - sile na avionsko krilo



Magnusov efekt

Ako tijelo rotira u struji fluida, na njega djeluje sila okomito na smjer strujanja. To je **Magnusov efekt**.

