

Fyzika

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológia
- 5. prednáška – plyny a kvapaliny,
a ich prúdenie

Obsah prednášky:

- vlastnosti kvapalín (a plynov)
- ideálna a reálna kvapalina
- Archimedov zákon
- Bernoulliho rovnica
- laminárne a turbulentné prúdenie

Ideálny a reálny plyn

Každý plyn s ktorým sa stretávame (**reálny**) v prírode sa do určitej miery líši od **ideálneho**. Mnohé plyny sa však za normálnych podmienok líšia len nepatrne (napr. vodík a hélium).

Napriek tomu, že skutočný plyn (reálny) nemôžeme úplne stlačiť a má na rozdiel od plynu ideálneho aj vnútorný mechanický odpor môžeme zákonitosti platné pre ideálny plyn použiť aj na vyšetrovanie reálnych plynov.

kvapaliny

Kvapalina (iné názvy: kvapalné skupenstvo, kvapalná látka, tekutina, tekutá látka).

Kvapalina je tekutá forma látky a jedno zo skupenstiev, pri ktorom sú častice relatívne blízko pri sebe, ale nie sú viazané v pevných polohách a môžu sa pohybovať v celom objeme.



kvapaliny

Vonkajšie vlastnosti kvapalín:

- kvapaliny sú tekuté,
- kvapaliny sú ľahko deliteľné,
- kvapalné telesá nemajú svoj tvar, ale majú tvar podľa nádoby, v ktorej sa nachádzajú,
- kvapalné telesá majú vlastný objem,
- kvapalné telesá majú voľný povrch (hlinu),
- kvapaliny tvoria kvapky (vďaka slabým príťažlivým silám medzi časticami),
- kvapaliny sú ťažko stlačiteľné,
- kvapaliny sa snažia zaujať čo možno najmenší povrch,
- teplo sa v kvapalinách môže šíriť prúdením,
- elektrický prúd vo vodivých kvapalinách sa prenáša iónmi.

Ideálna a reálna kvapalina

Ideálna kvapalina je homogénna, nestlačiteľná a má nulové vnútorné trenie (tzv. viskozitu).

Reálna kvapalina je stlačiteľná a medzimolekulové sily sa v nej prejavujú vnútorným trením.

Najväčšie rozdiely sa prejavujú pri popise prúdenia týchto dvoch druhov kvapalín.

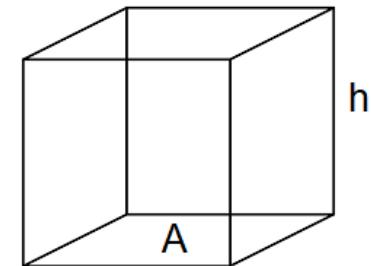
kvapaliny – dôležité veličiny

Hydrostatický tlak (p), skalárna veličina

Hydrostatický tlak v kvapalinách a plynach (aerostatický tlak) je tlak spôsobený ich hmotnosťou. V gravitačnom poli zeme pôsobí kvapalina (plyn) tiažovou silou na vrstvy pod nimi.

Jednotka: Pa ($\text{Pa} = \text{N/m}^2 = \text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$)

$$p = \frac{|F|}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho hAg}{A} = \rho hg$$

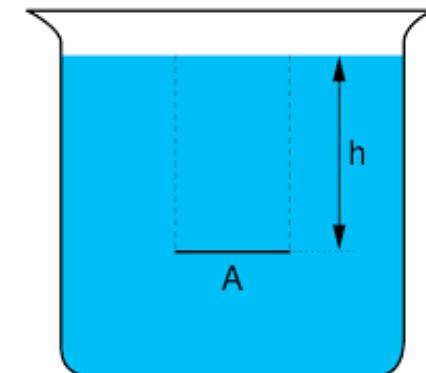


kde: A – spodná plocha objemu, V – objem, ρ – hustota.

Hydrostatický tlak pôsobí všetkými smermi (kvôli rozkladu síl medzi časticami kvapaliny do rôznych smerov).

Hydrostatickým tlakom tlačí kvapalina na telesá do nej ponorené, na steny nádoby v ktorej je umiestnená.

Pozn.: Uvedený vzťah ($p = \rho hg$) platí aj pre **atmosferický** a **litostatický tlak**.



kvapaliny – dôležité veličiny

Hydrostatická vztaková sila (F_{vz}), vektorová veličina

Na základe vzťahu pre hydrostatický tlak si vieme vyjadriť vzťah pre silu, ktorá pôsobí na teleso, ktoré je ponorené do kvapaliny:

$$p = \rho hg = \frac{|F|}{A} \rightarrow |F| = h \rho g A$$

- na hornú podstavu pôsobí tlaková sila zvisle nadol:

$$F_1 = h_1 \rho g A$$

- na dolnú podstavu pôsobí tlaková sila zvisle nahor:

$$F_2 = h_2 \rho g A$$

$$F_2 > F_1$$

- výslednica týchto sín, pôsobiaca na valec zvisle nahor sa nazýva **hydrostatická vztaková sila**:

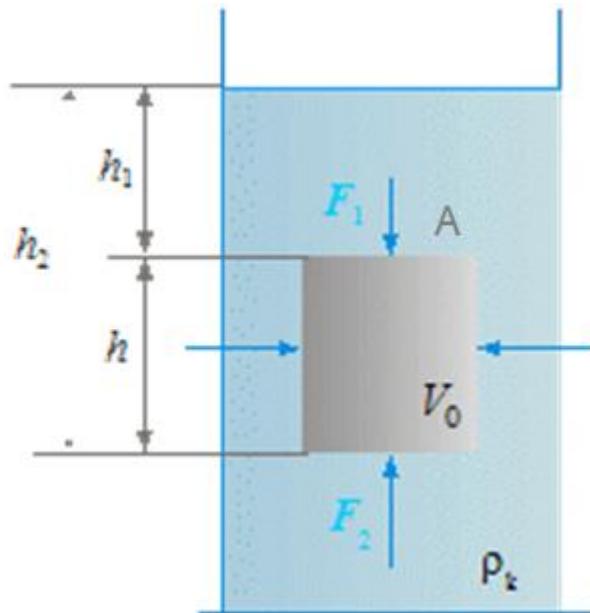
$$F_{vz} = F_2 - F_1$$

$$F_{vz} = (h_2 - h_1) \rho g A$$

$$F_{vz} = h \rho g A$$

$$F_{vz} = \rho g V$$

← základ Archimedovho zákona

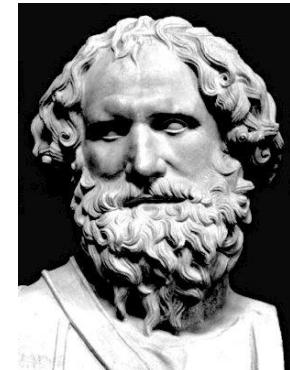


Archimedov zákon

- Teleso ponorené do kvapaliny je nadľahčované **hydrostatickou vztakovou silou**, ktorej veľkosť sa rovná veľkosti tiaže kvapaliny vytlačenej ponorenou časťou telesa.
- **Veľkosť hydrostatickej vztakovej sily:**

$$F_{vz} = \rho g V$$

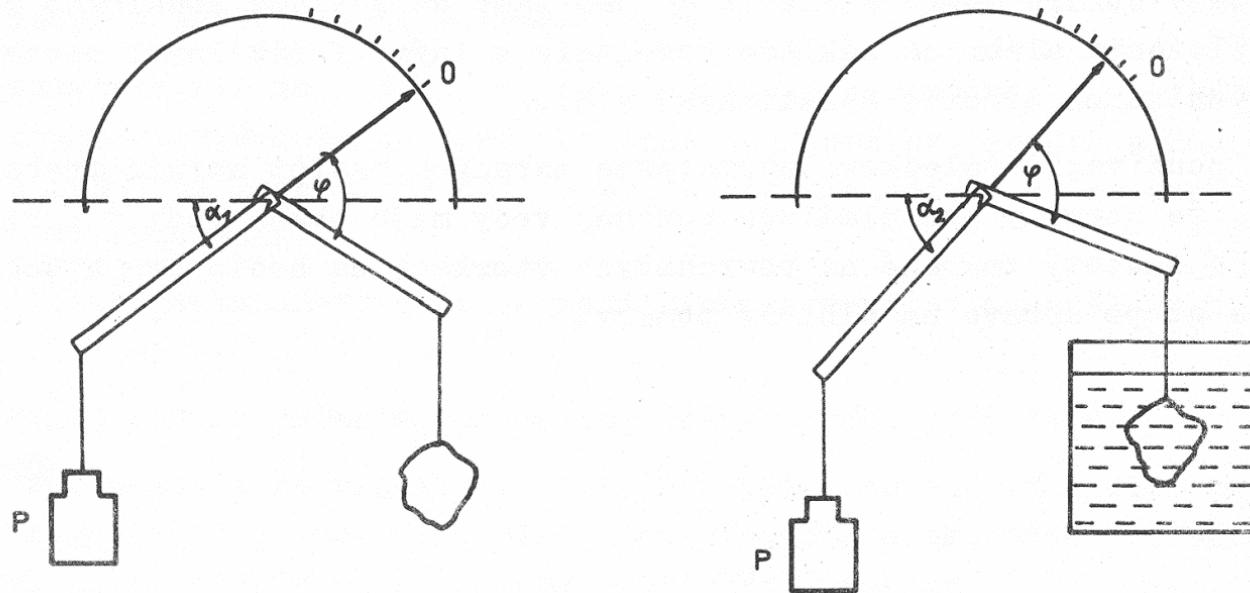
Archimedes
(asi 287 – 212 pred n. l.)



- je priamo úmerná objemu V ponorenej časti telesa, hustote ρ kvapaliny a veľkosti tiažového zrýchlenia g .



Aplikácia Archimedovho zákona - princíp denzitometra (denzitometer – jednoduché zariadenie na odhad hustôt vzoriek)



Obr. 2.25: Určovanie hustôt denzitometrom

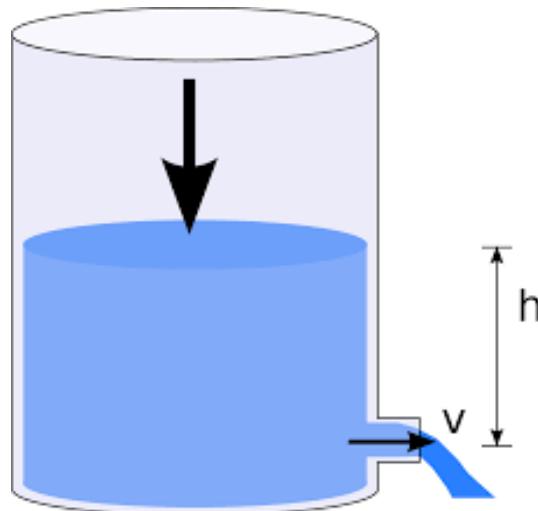
Ponorená vzorka do kvapaliny (vody) je nadľahčovaná vztlakovou silou, ktorá je úmerná tiaži kvapaliny vytlačenej objemom telesa

kvapaliny – dôležité veličiny

Rýchlosť vytiekajúcej kvapaliny (tzv. Torricelliho vzorec)

Popisuje rýchlosť ideálnej kvapaliny, ktorý voľne vytieká z nádoby otvorom na základe pôsobenia tiažovej sily. Táto rýchlosť má práve takú veľkosť, akú by získali častice kvapaliny pri voľnom páde z výšky h .

Pre reálnu kvapalinu bude rýchlosť výtoku nižšia vzhľadom na jej viskozitu.



$$|v| = \sqrt{2gh}$$

Pri odvodení sa vychádza z jednoduchých vzťahov pre voľný pád:

$$s = h = \frac{1}{2}gt^2, \quad v = gt$$

kvapaliny – prúdenie

Prúdenie plynov a kvapalín:

Prúdenie plynov a kvapalín sa popisuje rozdielne, nakoľko pri kvapalinách sa uvažuje s ich nestlačiteľnosťou (hustota kvapalín sa nemení).

Na druhej strane, plyny sú stlačiteľné (hustota sa mení – vid' stavová rovnica).

kvapaliny – prúdenie

Prúdenie plynov a kvapalín:

Prúdenie plynov a kvapalín sa popisuje rozdielne, nakoľko pri kvapalinách sa uvažuje s ich nestlačiteľnosťou (hustota kvapalín sa nemení).

Na druhej strane, plyny sú stlačiteľné (hustota sa mení – vid' stavová rovnica).

Dôležité pojmy a rovnice:

- prietok,
- rovnica kontinutiy,
- Bernouliho rovnica.

kvapaliny – prúdenie

Objemový prietok (Q), skalárna veličina

(prietok alebo prietokové množstvo alebo prietokový objem)

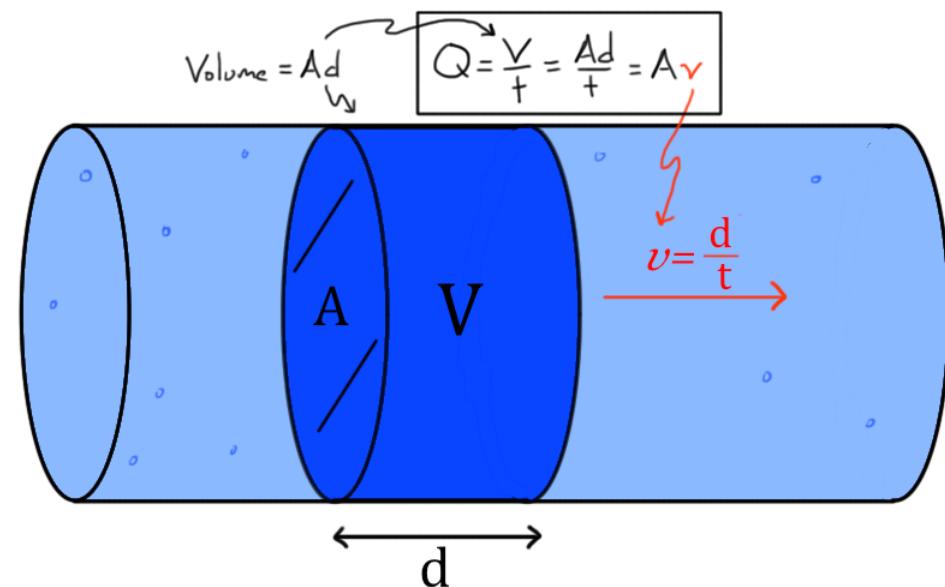
je objem tekutiny, ktoré prejde daným prierezom

(napríklad istým miestom potrubia alebo rieky) za istý čas.

Jednotka: meter kubický za sekundu ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{dA}{t} = |v| A$$

kde: Q – objemový prietok, V – objem, t – čas, A – prierez, v – rýchlosť
(veľkosť rýchlosťi).



Zaujímavosť:

Priemerné prietoky našich riek:

Dunaj: $6\ 400 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$

Váh: $150 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$

Hron: $50 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$

kvapaliny – prúdenie

Hmotnostný objemový prietok (Q_m), skalárna veličina je hmotnosť tekutiny, ktoré prejde daným prierezom (napríklad istým miestom potrubia alebo rieky) za istý čas. Jednotka: meter kubický za sekundu (kg s^{-1}).

$$Q_m = |v| A \rho$$

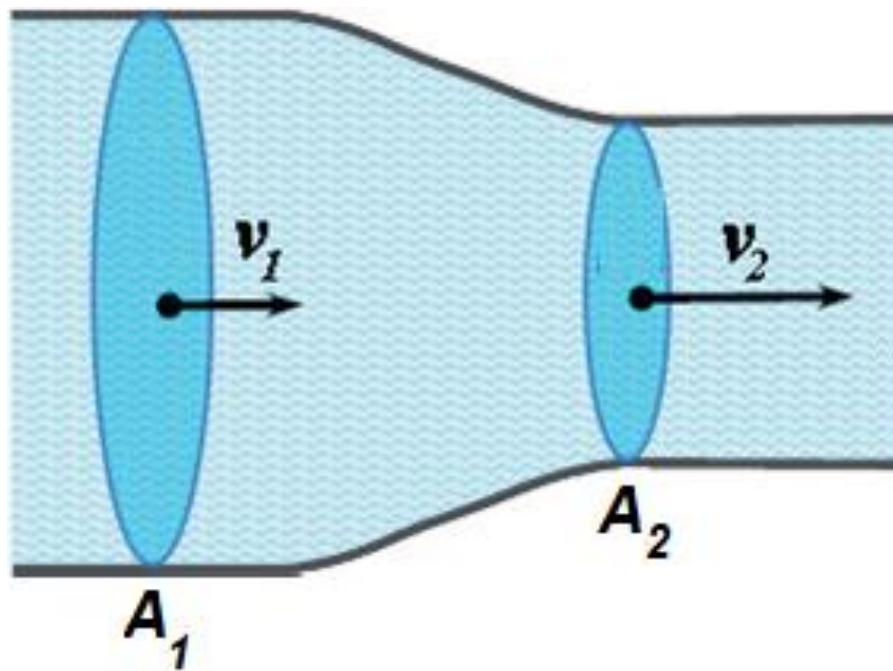
kde: ρ – hustota.

kvapaliny – prúdenie

Rovnica kontinuity (rovnica spojitosi toku)

Kedže ideálna kvapalina je nestlačiteľná (a neexistujú zdroje, ktoré by jej objem zväčšovali), jej objemový prietok zostáva pri prúdení rovnaký.

$$|v|_1 A_1 = |v|_2 A_2 \Rightarrow |v| A = \text{const.}$$



kvapaliny – prúdenie

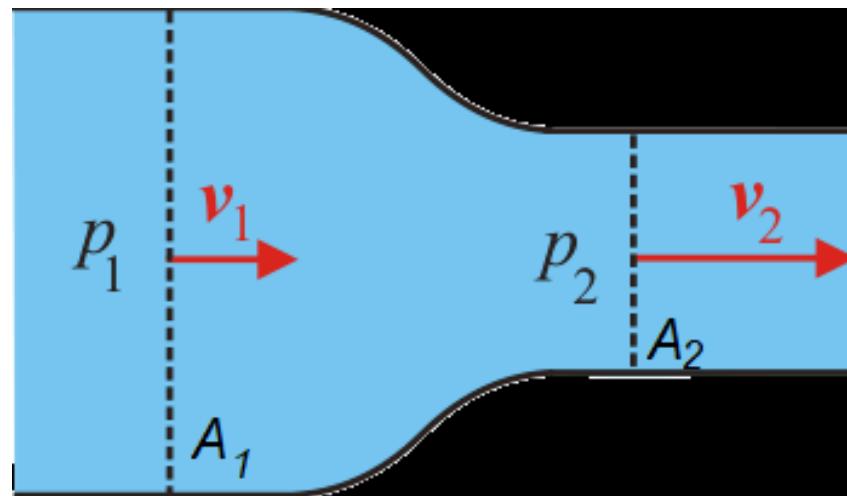
Bernoulliho rovnica

Pomery tlakov pri prúdení ideálnej kvapaliny najlepšie popisuje tzv. Bernoulliho rovnica:

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

hydrostatický tlak
($\rho h_1 g$)

hydrodynamický tlak

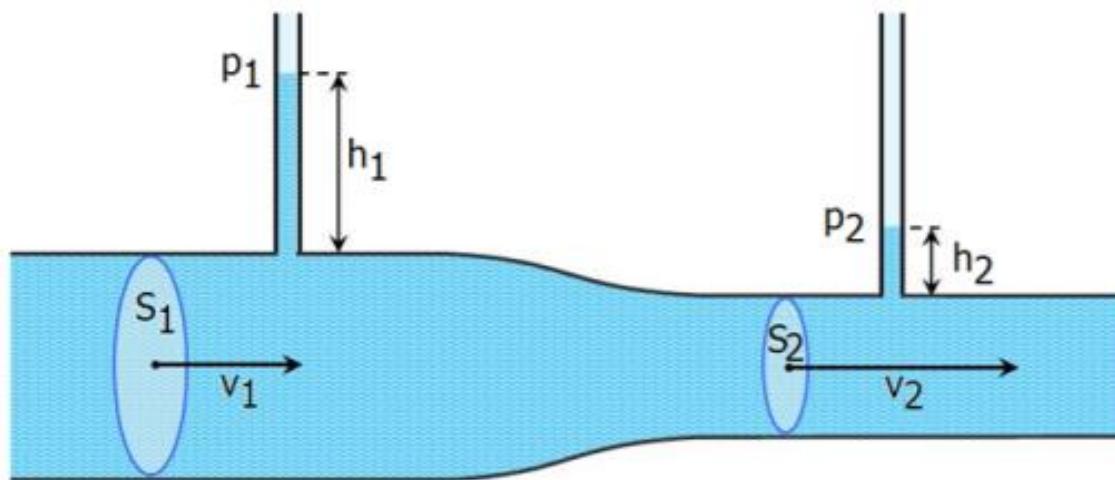


kvapaliny – prúdenie

Bernoulliho rovnica - tzv. hydrodynamický paradox

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const.}$$

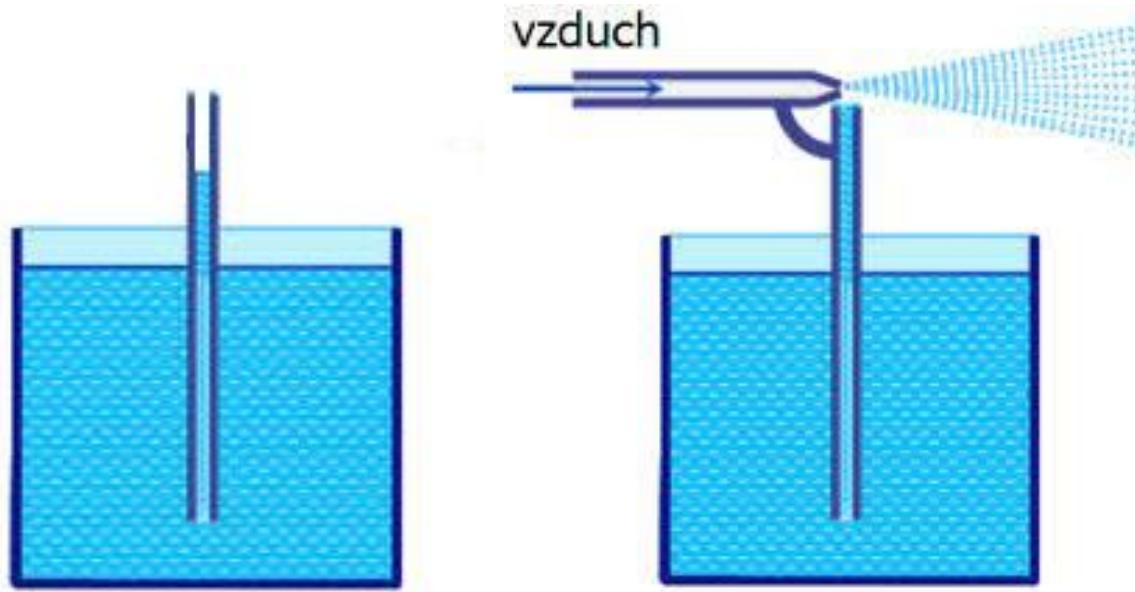
Jav, pri ktorom v užšej trubici (s väčšou prietokovou rýchlosťou) vzniká menší tlak.



Platí aj pri plynoch – tzv. aerodynamický paradox.

kvapaliny – prúdenie

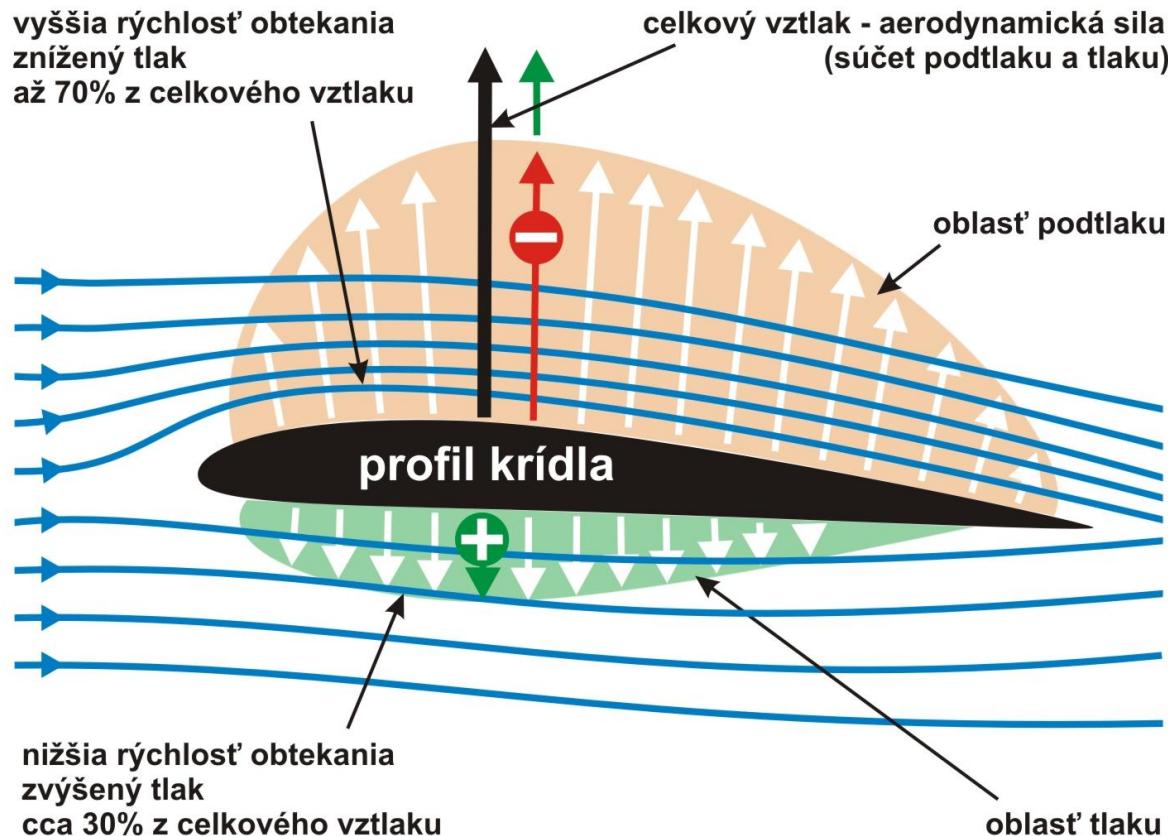
Bernoulliho rovnica - tzv. hydrodynamický paradox



Vďaka tejto rovnici sa dá vysvetliť princíp rozprašovača
(aj karburátora v spaľovacom motore, atď.).

Prečo sa t'ažké lietadlá udržia pri lete vo vzduchu...?
No, kvôli tvaru krídel... hmmm?

Rozloženie vztlaku na krídle



Ideálna a reálna kvapalina

späť ku tejto téme...

kvapaliny – prúdenie

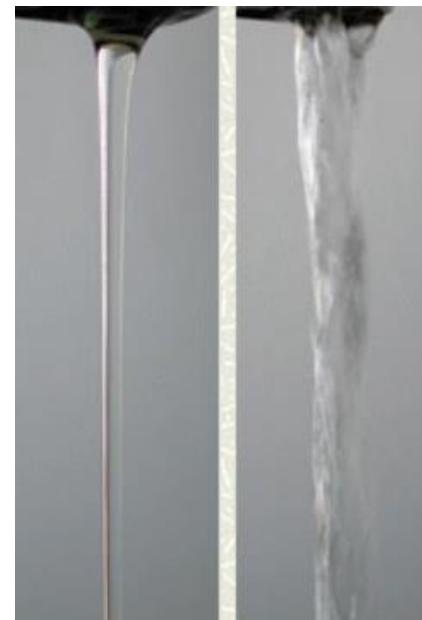
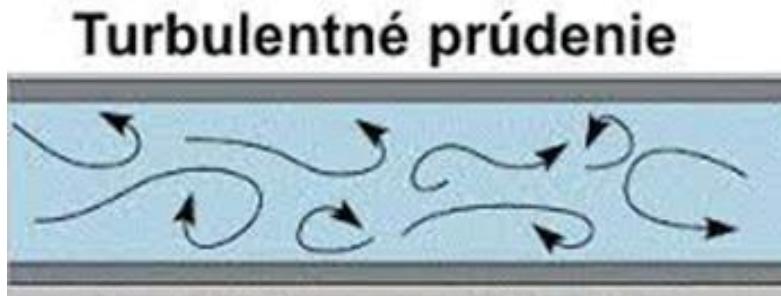
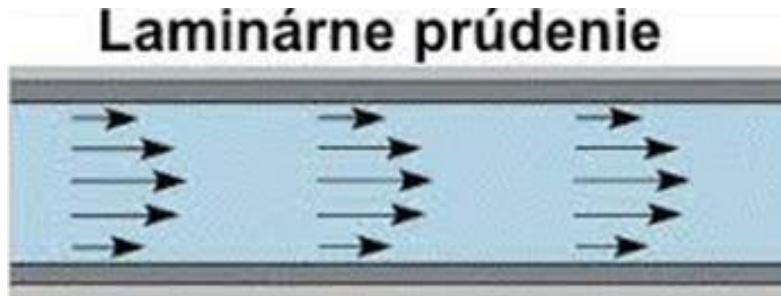
Prúdenie plynov a kvapalín:

Reálne kvapaliny majú svoju vizkozitu nenulovú – prúdia vo vrstvičkách.

Laminárne prúdenie je ustálené prúdenie reálnej kvapaliny malou rýchlosťou (vrstvy kvapaliny sa po sebe pravidelne posúvajú).

Turbulentné prúdenie neustálené prúdenie reálnej kvapaliny – pri väčších rýchlosťach dochádza ku vzniku vírenia.

Prechod medzi nimi: **prechodové prúdenie**.



kvapaliny – prúdenie

Prúdenie plynov a kvapalín:

Laminárne prúdenie je ustálené prúdenie reálnej kvapaliny malou rýchlosťou (vrstvy kvapaliny sa po sebe pravidelne posúvajú).

Turbulentné prúdenie neustálené prúdenie reálnej kvapaliny – pri väčších rýchlosciach dochádza ku vzniku vírenia.

Prechod medzi nimi: **prechodové prúdenie**.

Tento prechod sa dá kvantitatívne popísať tzv. **Reynoldsovým číslom**:

$$Re = \frac{\rho |v| D}{\mu}$$

kde: ρ – hustota prúdiacej kvapaliny,
 v – jej rýchlosť,
 D – rozmer kolmý na smer prúdenia
(napr. priemer potrubia),
 μ – koeficient dynamickej viskozity

Je to bezrozmerné číslo.

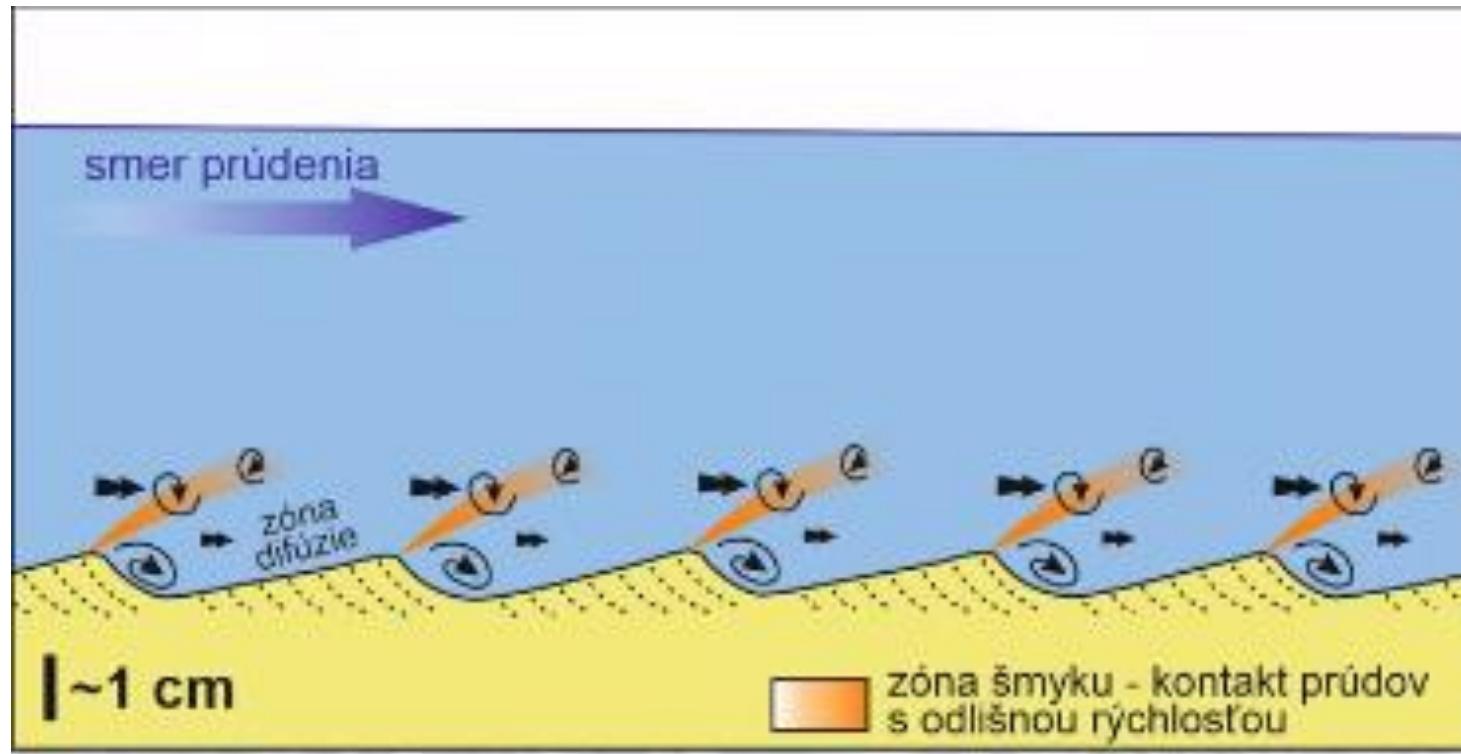
Pri jeho hodnotách 2000 až 2500 nastáva prechod od laminárneho k turbulentnému prúdeniu (napr. zvyšovaním rýchlosi prúdu).

Pri niektorých technických aplikáciách je vznik turbulentného prúdenia žiadaný, pri iných je to práve naopak.

kvapaliny – prúdenie

Prúdenie plynov a kvapalín:

Turbulentné prúdenie – môže byť vyvolané aj lokálne, a to prekážkami (napríklad pri sedimentácii čerín a dún).

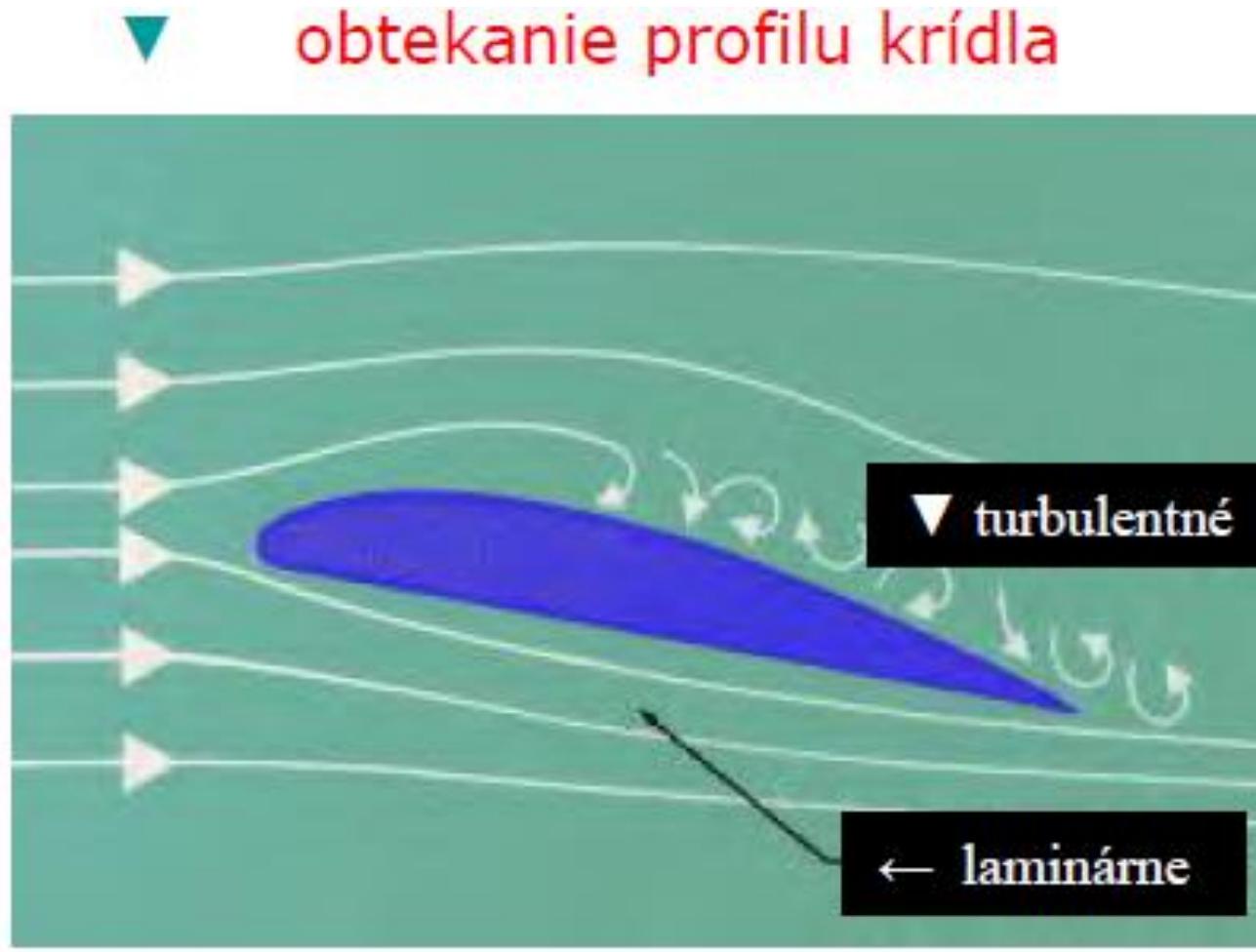


Turbulencia za prekážkou spôsobuje spomalenie prúdenia a následne sedimentáciu transportovaného materiálu.

kvapaliny – prúdenie

Prúdenie plynov a kvapalín:

Turbulentné prúdenie – môže byť vyvolané aj lokálne, a to prekážkami (napríklad pri krídle lietadla).



kvapaliny – prúdenie

Prúdenie reálnej kvapaliny:

tzv. Navier-Stokesova rovnica:

Veľmi zložitá nelineárna diferenciálna rovnica, ktorej analytické riešenie (zatiaľ) neexistuje,
(je možné ju riešiť iba približne – numericky).

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{u} + \vec{f}$$

Ústav Clay Mathematical Institute (USA) vypísal v máji 2000 cenu **1 milión dolárov** za takýto dôkaz (pochopiteľne po schválení komisiou odborníkov).

Je to výzva pre všetkých záujemcov.

Navier-Stokesova rovnica: jej riešenie patrí do zoznamu doteraz nevyriešených celosvetových mat-fyz. problémov (tzv. Millennium Problems).



záber
z filmu
“Veľký dar”

Millennium Problems:
Yang–Mills and Mass Gap
Riemann Hypothesis
Poincaré Conjecture
P vs NP Problem
Navier–Stokes Equation
Hodge Conjecture
Birch and Swinnerton-Dyer Conjecture