

A scenic landscape photograph showing a wide, turquoise river flowing through a mountain valley. The river is surrounded by steep, rocky slopes covered with sparse green vegetation and shrubs. In the distance, a small village with orange-roofed buildings is visible on a hillside. The sky is clear and bright. The text "Mechanika tekutin" is overlaid in the center of the image.

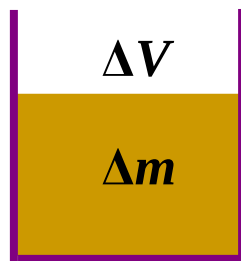
Mechanika tekutin

Hustota.

Základní charakteristiky tekutin:

- plyny a kapaliny.
- zaujímají tvar daný stěnami nádoby v níž jsou umístěny.
- v tekutinách nemohou trvale působit síly rovnoběžné s jejich povrchem (tečné síly) důsledkem je, že tekutiny tečou
- naopak v tekutinách mohou trvale působit síly kolmé k jejich povrchu (normálové síly).
- atomy a molekuly tekutin jsou neuspořádané a nezujímají žádné pevné polohy.

Analogicky k pevným tělesům kde mluvíme o hmotnosti tělesa m charakterizujeme tekutiny hustotou tekutiny. Hustota ρ tekutiny definujeme jako poměr hmotnosti tekutiny Δm a jí odpovídajícího objemu ΔV .



$$\rho = \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

SI Jednotkou hustoty je kgm^{-3} .

Příklady hustot některých látek a těles.

LÁTKA NEBO OBJEKT	ρ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
mezihvězdný prostor	10^{-20}
nejlepší vakuum dosažené v laboratoři	10^{-17}
vzduch: 20 °C, 1 atm ^a	1,21
20 °C, 50 atm ^a	60,5
pěňný polystyren	$1\cdot 10^2$
voda: 20 °C, 1 atm ^a	$0,998\cdot 10^3$
20 °C, 50 atm ^a	$1,000\cdot 10^3$
mořská voda 20 °C, 1 atm ^a	$1,024\cdot 10^3$
krev	$1,060\cdot 10^3$
led	$0,917\cdot 10^3$
železo	$7,9\cdot 10^3$
rtuť	$13,6\cdot 10^3$
Země: průměrná hodnota	$5,5\cdot 10^3$
jádro	$9,5\cdot 10^3$
kůra	$2,8\cdot 10^3$
Slunce: průměr	$1,4\cdot 10^3$
jádro	$1,6\cdot 10^5$
bílý trpaslík — hvězda (jádro)	10^{10}
jádro uranu	$3,0\cdot 10^{17}$
neutronová hvězda (jádro)	10^{18}
černá díra (s hmotností našeho Slunce)	10^{19}

Tlak.

Tlak jakým tekutina působí na píst tlakového senzoru vypočteme jako poměr:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

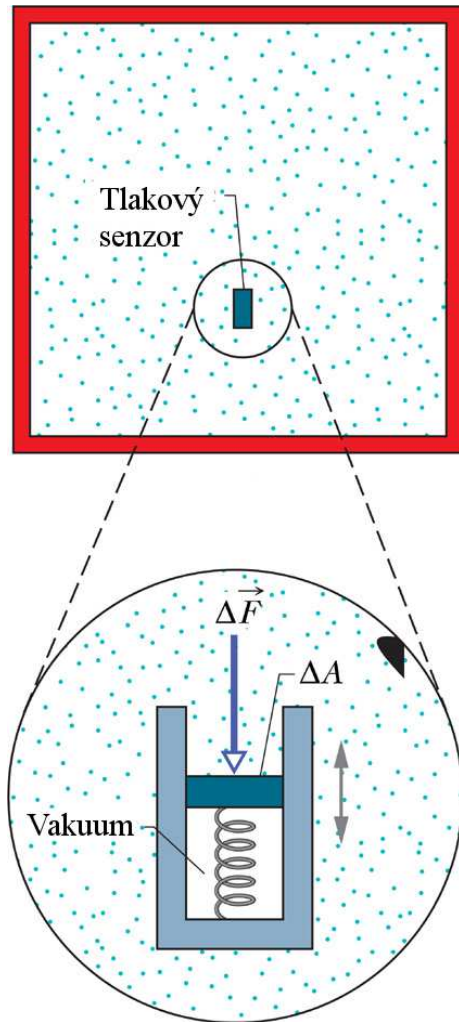
Tlak v bodě pak jako limitu tohoto poměru pro $\Delta A \rightarrow 0$, je-li tlak ve všech bodech stejný, pak je tlak dán prostým poměrem působící síly a plochy:

$$p = \frac{F}{A}$$

Si jednotkou tlaku je Nm^{-2} kterou nazýváme **pascal**, **1 Pa**.

Vztah pascalu k dříve užívaným jednotkám:

$$1 \text{ atm (atmosféra)} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ torr (torrů)}$$



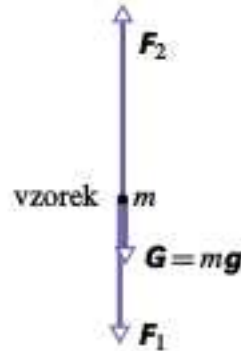
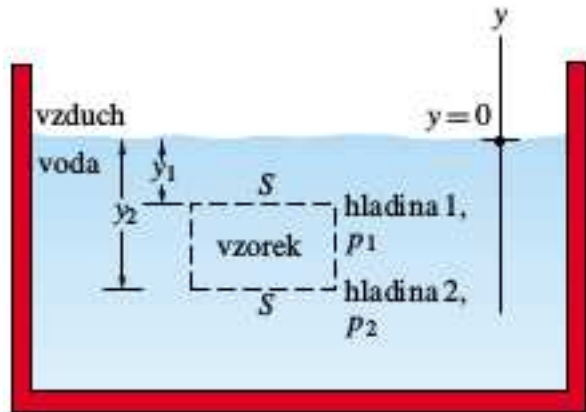
Příklady hodnot tlaků v různých případech.

SYSTÉM	$\frac{P}{\text{Pa}}$
střed Slunce	$2 \cdot 10^{16}$
střed Země	$4 \cdot 10^{11}$
nejvyšší tlak dosažený v laboratoři	$1,5 \cdot 10^{10}$
tlak v největší hloubce oceánu	$1,1 \cdot 10^8$
tlak jehlového podpatku na taneční parket	$1 \cdot 10^6$
tlak v pneumatice ^a	$2 \cdot 10^5$
atmosférický tlak u hladiny moře	$1,0 \cdot 10^5$
normální krevní tlak ^{a,b}	$1,6 \cdot 10^4$
nejvyšší vakuum dosažené v laboratoři	10^{-12}

^a Jedná se o přetlak, tj. zvýšení tlaku proti tlaku atmosférickému.

^b Systolický tlak 120 torr, tj. 120 mm rtuťového sloupce, změřený na lékařském manometru.

Statika tekutin.



Tlak v tekutině závisí na výšce (hloubce) v níž se nacházíme. V případě kapalin hovoříme o **hydrostatické** tlaku, v případě plynů pak o tlaku **aerostatickém**. Při odvození vztahu uvažujeme válcový vzorek vody (v rovnováze je v klidu), tíha sloupce vody je vyvážena silami, které působí na horní a dolní podstavu válce. Ze silového diagramu vyplývá rovnice:

$$F_2 = F_1 + G$$

Tíha G je kompenzována rozdílem sil $F_2 = p_2 S$ působící na základnu a mířící vzhůru a $F_1 = p_1 S$ působící na vrchní plochu válce a mířící dolů. Objem válce je $V = S (y_1 - y_2)$, hmotnost vody ve válci $m = \rho V = \rho S (y_1 - y_2)$, tíha $G = \rho g S (y_1 - y_2)$. Po dosazení do rovnice rovnováhy sil dostaneme vztah pro tlak vody v hloubce $(y_1 - y_2)$:

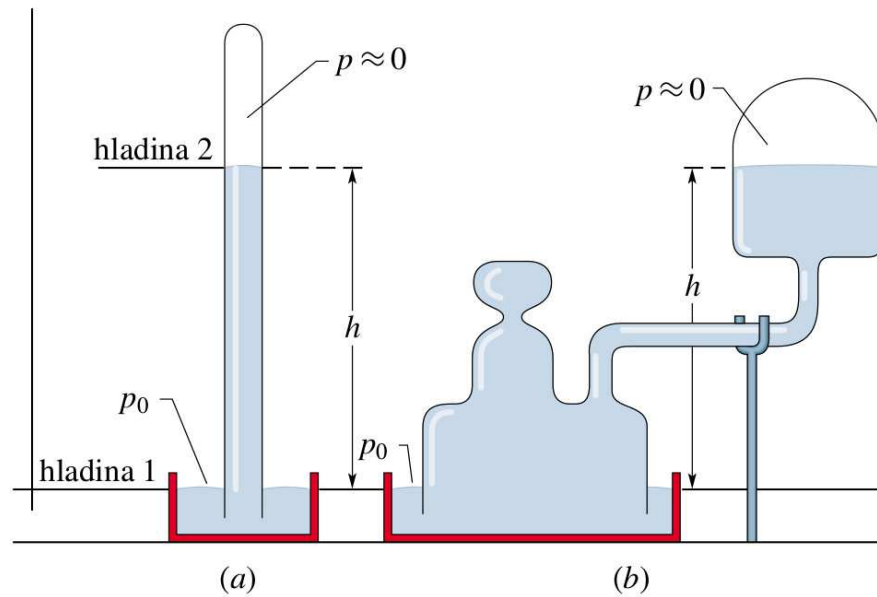
$$(p_2 - p_1) = \rho g (y_1 - y_2)$$

Vztah přepíšeme za předpokladu že $y_1 = 0$, $y_2 = -h$, $p_1 = p_0$ je tlak na povrchu:

$$p = p_0 + \rho g h$$

Měření tlaku.

Rtuťový barometr.



Platí:

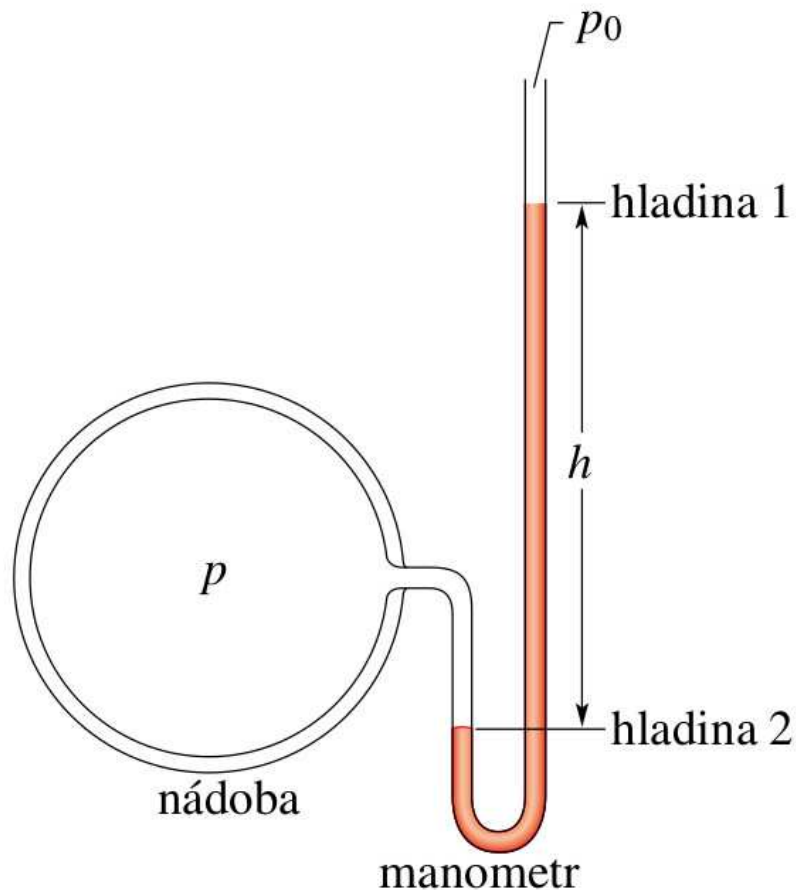
$$y_1 = 0, p_1 = p_0 \quad y_2 = h, p_2 = 0$$

Z podmínek vyplývá vztah pro barometrický tlak:

$$p_0 = \rho h g$$

Měření tlaku.

Otevřený kapalinový manometr.



Platí:

$$y_1 = 0, p_1 = p_0 \quad y_2 = -h, p_2 = p$$

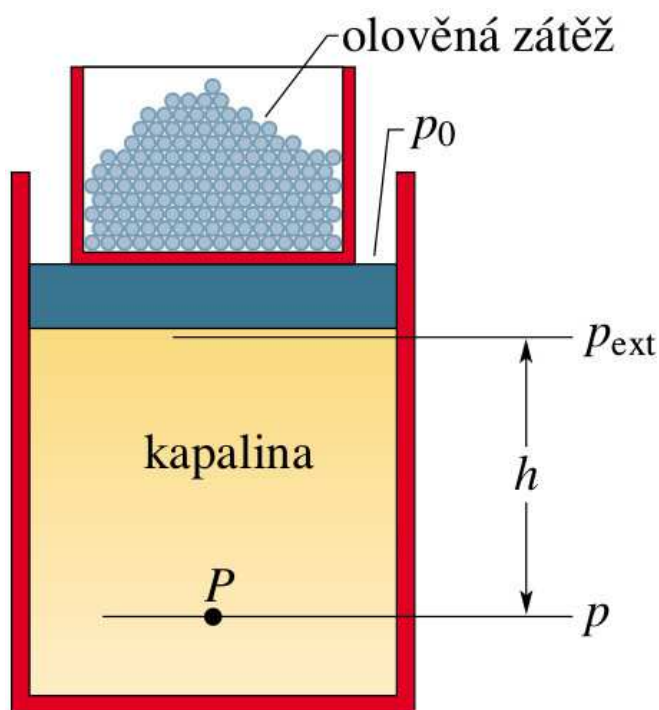
Z podmínek pak vyplývá vztah pro tlak nádobe:

$$p = p_0 + \rho hg$$

Je-li $p > p_0$ pak hovoříme o přetlaku.
Naopak je-li $p < p_0$ hovoříme o podtlaku.

Pascalův zákon.

Změníme-li tlak v jednom místě tekutiny, pak tato změna se téměř okamžitě projeví v celém objemu tekutiny, tato změna se šíří všemi směry stejnoměrně.



Tlak p v místě P v nestlačitelné kapalině uzavřené ve válcové nádobě jejíž horní podstavu tvoří píst zatížený zátěží olověných broků je dán součtem externího tlaku p_{ext} (atmosférický tlak, tíha broků a nádoba) a hydrostatického tlaku:

$$p = p_{ext} + \rho hg$$

Přidáním broků do nádoby se zvýší p_{ext} a Δp_{ext} . Jelikož hodnoty ρ , h a g zůstávají stejné pak přidáním zátěže se v každém bodě P v kapalině zvýší tlak o

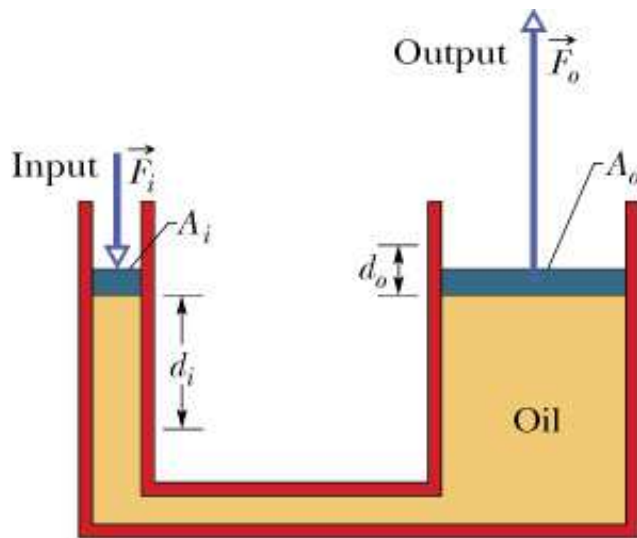
$$\Delta p = \Delta p_{ext}$$

Pascal's Principle and the Hydraulic Lever

Pascal's principle can be formulated as follows:

$$F_o = F_i \frac{A_o}{A_i}$$

A change in the pressure applied to an enclosed incompressible liquid is transmitted undiminished to every portion of the fluid and to the walls of the container.



Consider the enclosed vessel shown in the figure, which contains a liquid. A force F_i is applied downward to the left piston of area A_i .

As a result, an upward force F_o appears on the right piston, which has area A_o . Force F_i produces a change in pressure $\Delta p = \frac{F_i}{A_i}$. This change will

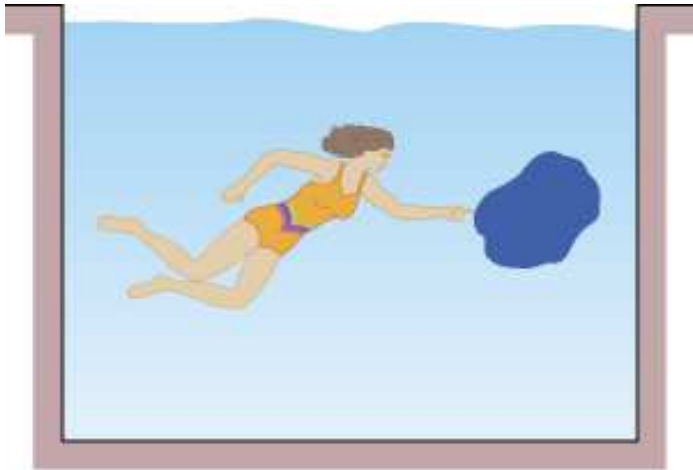
also appear on the right piston. Thus we have:

$$\Delta p = \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_o}{A_o} \rightarrow F_o = F_i \frac{A_o}{A_i}$$

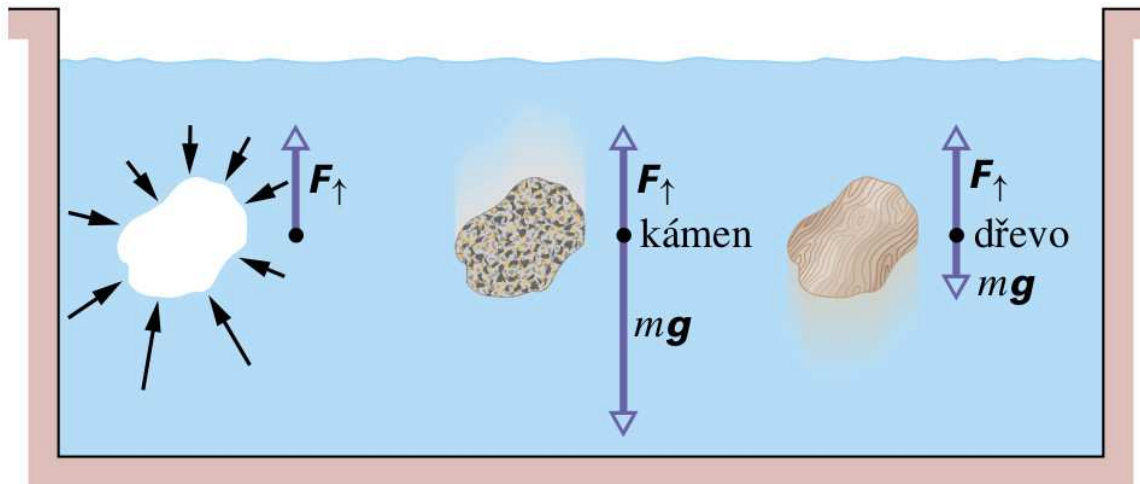
$$\text{If } A_o > A_i \rightarrow F_o > F_i$$

(14-7)

Vztlaková síla-Archimédův zákon.



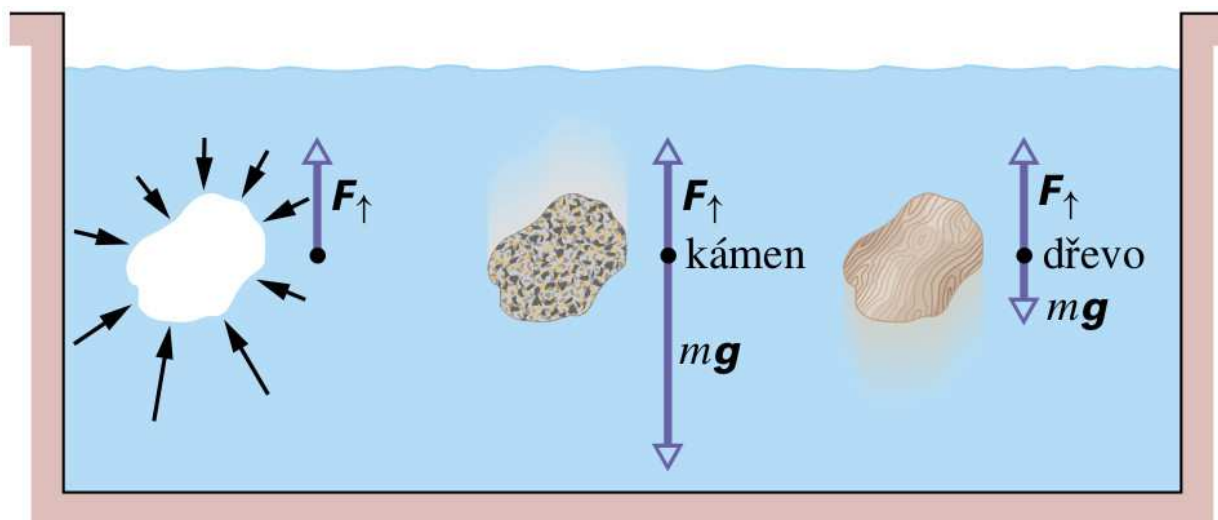
Uvažujme plastový pytlík naplněný vodou, který je ponořený ve vodě, viz obrázek. Pytlík se volně vznáší ve vodě přestože má jistou váhu, neklesá a ani nestoupá. To znamená, že zde kromě tíhy působí další síla, tuto sílu nazýváme **vztlakovou silou**. Vztlaková síla je důsledkem závislosti tlaku na hloubce, tlak na spodní část pytlíku je menší než tlak na horní část pytlíku v důsledku čehož vzniká síla působící vzhůru.



Vyplníme-li prostor zaujímaný pytlíkem kamenem, kámen bude klesat neboť vztlaková síla je malá na to, aby vyvážíla tíhu kamene. Naopak vyplníme-li prostor dřevem, bude vztlaková síla dostatečně velká, aby vyvážíla tíhu dřeva a kámen plaval.

Vztlaková síla-Archimédův zákon.

Z uvedených pozorování vyplývá zákon, který poprvé vyslovil Archimédes:



Těleso ponořené do tekutiny je nadlehčováno silou F_b , která je rovna tíze tekutiny vytlačené tělesem.

$$F_b = \rho_f g V$$

Dynamika tekutin.

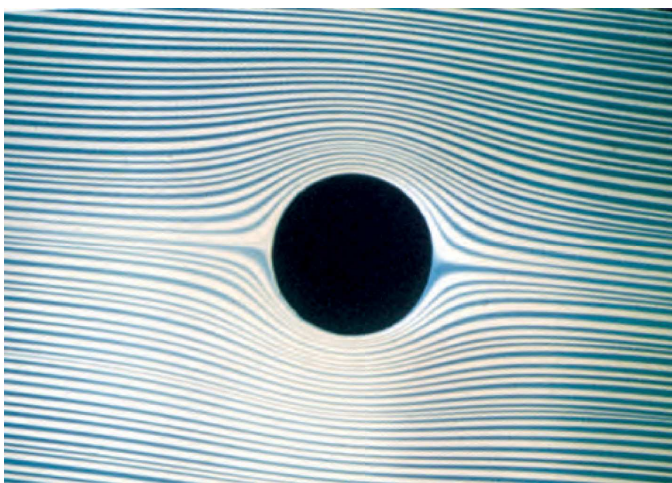
K usnadnění popisu chování tekutin se zavádí pojem **ideální tekutiny**, která je:

1. **Nestlačitelná** - tekutina má všude stejnou hustotu.
2. **Neviskózní** - viskozita je veličina, která charakterizuje vnitřní tření tekutiny, je mírou odporu tekutiny k tečení.
3. Proudění v tekutině je **laminární** (ustálené), to znamená, že v tekutině nedochází ke vzniku vírů, proudění je ustálené. Naopak proudění, které není laminární označujeme jako **turbulentní proudění**.
4. Proudění je **ustálené**, rychlost proudění je v kterémkoliv místě tekutiny konstantní, nemění se její velikost ani směr. Laminární proudění nemusí být ustálené, turbulentní proudění ustálené nikdy být nemůže a je vždy nestacionární.
5. V proudící tekutině nedochází ke vzniku **vířů**. Vírem rozumíme pohyb rotaci částic v proudící tekutině.

Dynamika tekutin.



Víry za startujícím letadlem.

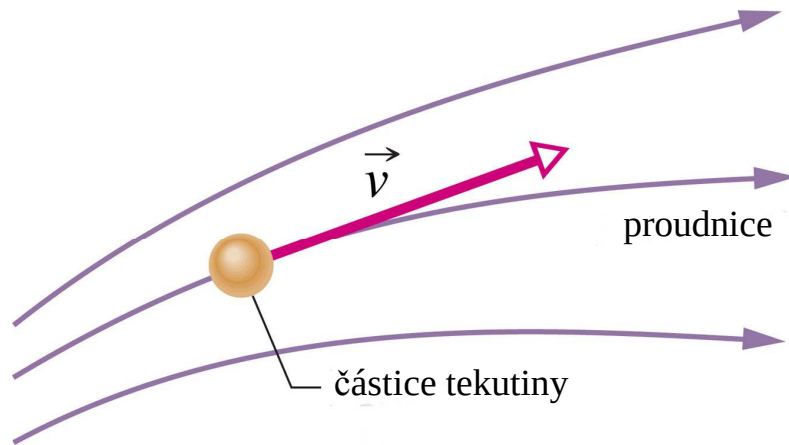


Proudnice tekutiny obtékající válec.



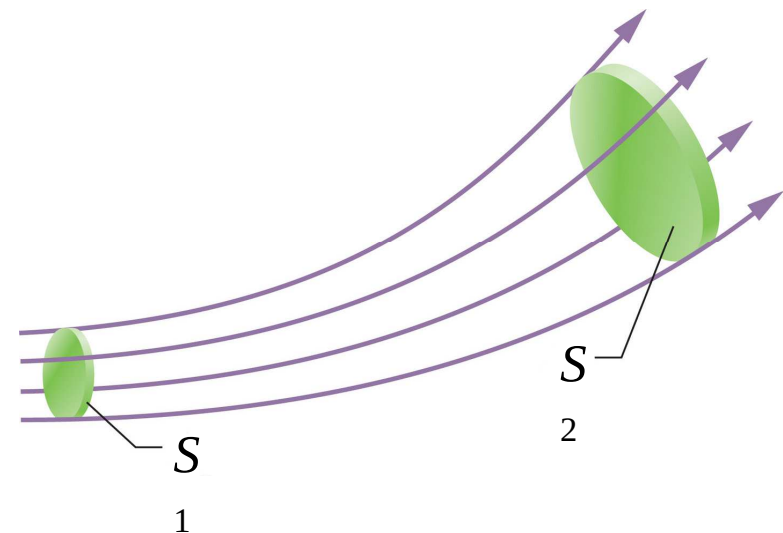
Proudění na čele ponorky je laminární, za čelem se změní na turbulentní.

Proudnice, rovnice kontinuity.

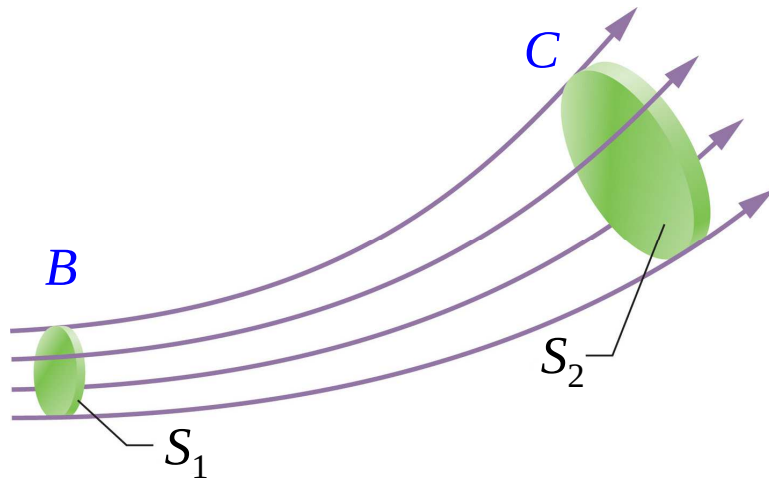


K popisu pohybu tekutiny zavádíme pojem **proudnice**, jako dráhy po níž se částice tekutiny pohybují. Vektor rychlosti částice je vždy tečný k proudnici Proudnice se vzájemně nesmí křížit, neboť pak by částice tekutiny měla v místě křížení dvě různé rychlosti.

V pohybující se tekutině můžeme vymežit oblast, jejíž stěny jsou tvořeny proudnicemi, takovou oblast nazýváme **proudovou trubicí**. Proudová trubice se chová jako skutečná trubice v tom smyslu, že žádná část tekutiny nacházející se v trubici neprostupuje stěnami mimo tuto trubici.



Rovnice kontinuity.



Uvažme v proudící tekutině dva příčné průřezy proudovou trubicí v místech B a C o plochách S_1 a S_2 . Rychlost proudění tekutiny průřezem B je v_1 , průřezem C je v_2 . Za čas Δt projde průřezem B objem tekutiny

$$\Delta V = S_1 v_1 \Delta t$$

Za předpokladu že je tekutina ideální musí projít průřezem C stejný objem tekutiny jaký protekl průřezem B . To znamená, že tekutina musí protékat tímto průřezem jinou rychlostí než v_1 , označme ji v_2 . Objem tekutiny který za Δt proteče průřezem C je:

$$\Delta V = S_2 v_2 \Delta t$$

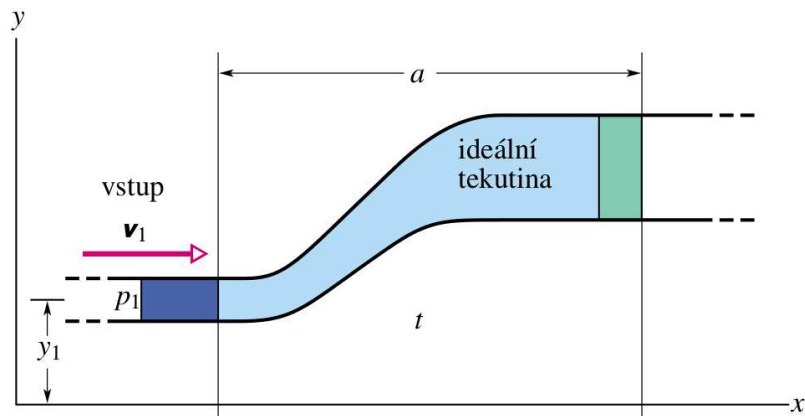
Podél proudové trubice tedy musí platit:

$$\Delta V = S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$$

Pro proudění tekutiny rychlostí v libovolným průřezem S trubice platí:

$$S \cdot v = \text{konst.}$$

Bernoulliova rovnice.



$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{konst.}$$

