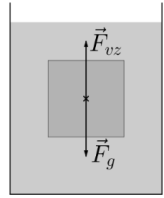


**Mechanika tekutin  
I - tlak**

$\vec{F}_{vz}$  vztlaková síla

nadlehčuje tělesa v tekutině  
opačný směr než síla tíhová

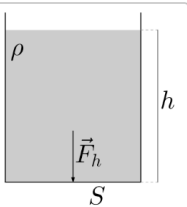


$\rho_k$  hustota kapaliny  
 $V_T$  objem tělesa  
 $g$  tíhové zrychlení  
Archimédův zákon

$F_{vz} = \rho_k V_T g$

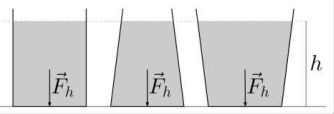
hydrostatický tlak/síla • způsobený tíhou kapaliny

$h$  výška / hloubka  
 $\rho$  hustota kapaliny  
 $S$  obsah dna  
 $g$  tíhové zrychlení  
 $F_h$  hydrostatická síla  
 $F_h = Sh\rho g$



$p_h = \frac{F_h}{S} = \frac{Sh\rho g}{S} = h\rho g$  •  $p_h$  tlak vyvolaný tíhovou silou

na tvaru nádoby • nezáleží  
obsahu dna  
hustotě kapaliny • záleží jen na  
výšce kapaliny



hydrostatický paradox

tekutiny

kapaliny • ideální kapalina • dokonale tekutá  
bez vnitřního tření  
dokonale nestlačitelná  
plyny • ideální plyn • dokonale tekutý  
bez vnitřního tření tady se liší  
dokonale stlačitelný

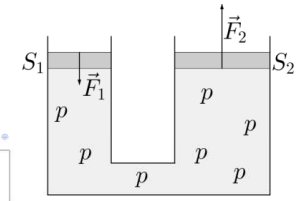
$p$  tlak

Pascal Pa •  $Pa = \frac{N}{m^2}$   
měření • manometr  
 $p = \frac{F}{S}$  •  $\frac{F \text{ síla}}{S \text{ plocha}}$  } je to vlastně síla, která působí na metr čtvereční

tlak vyvolaný vnější silou

tlak vyvolaný vnější silou, která působí na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech kapaliny stejný

hydraulické zařízení



$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$  •  $F_1, F_2$  síla působící na písty  
 $S_1, S_2$  průřezy (plocha) pístů

## Mechanika tekutin

Hned v úvodu této kapitoly se podíváme na jednu věc, která může někomu dělat problém. Podívej se znovu do mapy a všimni si, že **tekutiny** mají dvě podkategorie. Jsou to **kapaliny** a **plyny**. Ano správně. Plyn je tekutina, stejně tak i kapalina je tekutina. Většina lidí si pod pojmem tekutina totiž představí jenom kapalinu.

## Vlastnosti tekutin

Pojďme se podívat, jaké vlastnosti mají tekutiny. Kapalina má trošku jiné vlastnosti než plyn. Nejdřív řekneme, co mají společného. Nejdůležitější společnou vlastností je **tekutost**. Ta je způsobena tím, že částice (atomy a molekuly) nejsou, na rozdíl od pevných těles, uspořádány v pevné struktuře.

S tekutostí souvisí to, že tekutiny **nemají stálý tvar** a zaujímají tvar podle nádoby.

## Vlastnosti kapalin

- **Mají stálý objem.** Nezáleží na tvaru a objemu nádoby.
- V tíhovém poli vytváří **volnou vodorovnou hladinu**. Naopak mimo tíhové pole (ve stavu beztlíže) hladinu netvoří.
- Jsou téměř **nestlačitelné**.
- Mají **vnitřní tření – viskozitu**. Čím větší má tekutina viskozitu, tím menší má tekutost.



*Představ si, jak se přelévá med a jak voda. Hned je ti jasné, co má větší viskozitu a tím pádem menší tekutost.*

**Pozor! Viskozita nesouvisí s hustotou!** Voda má menší hustotu (med se ve vodě ponoří) i viskozitu (voda líp teče) než med. Na druhou stranu si můžeme vzít vodu a olej. Voda má menší viskozitu (líp teče), ale má větší hustotu (olej zůstane na vodní hladině).

## Vlastnosti plynů

- **Nemají stálý objem.** Snaží se vyplnit celou nádobu, ve které jsou (rozpínají se).
- Jsou **dobře stlačitelné.**

## Ideální kapalina a plyn

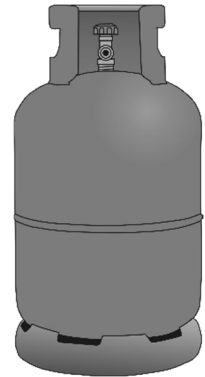
Ideální **kapalina** je **dokonale tekutá** (bez vnitřního tření) a **dokonale nestlačitelná**.

Ideální **plyn** je **dokonale tekutý** (bez vnitřního tření) a **dokonale stlačitelný**.

Všimni si, co mají společného a co rozdílného. Klidně si to zkus nakreslit do tabulky!

## Tlak

Tlak je docela důležitou fyzikální veličinou, kterou budeme potřebovat při práci s tekutinami. Když bude na plochu  $S$  působit kolmá síla  $F$ , tak vyvolá tlak. Tlak je vlastně síla přepočítaná na plochu. Když si



ještě řekneme, že tlak má značku  $p$ , tak už můžeme napsat vzorec pro výpočet tlaku:  $p = \frac{F}{S}$  a jednotka bude buď  $\frac{N}{m^2}$  nebo Pa (pascal).

*Vtip: Jednou si takhle v nebi hrají na schovávanou Pascal, Newton a Archimedes. Archimedes piká. Pascal si najde schovku v keři. Newton se rozhlíží a nemůže nic najít. Tak na zem narýsuje čtverec o hraně přesně jeden metr.*

*Archimedes se otočí a chce zapíkat Newtona: „Deset, dvacet, Newton.“*

*Ten se ale zasměje a prohlásí: „Špatně! Newton na metr čtvereční je přece Pascal!“*

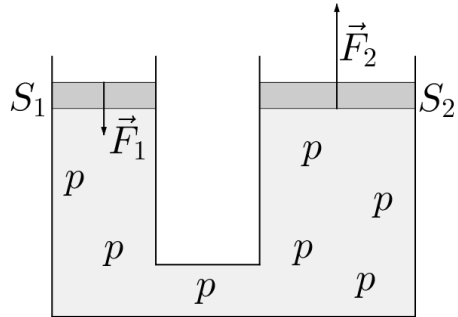
Když budeme chtít změřit tlak, tak budeme potřebovat přístroj, který se jmenuje **manometr**.

## Tlak vyvolaný vnější silou

Jak jsme si řekli při definici tlaku, když budeme působit silou kolmo na plochu kapaliny (zatlačíme), tak tím vznikne tlak. **Pascalův zákon** nám říká, že „tlak vyvolaný vnější silou na kapalinu v uzavřené nádobě je ve všech místech kapaliny stejný“.

Díky tomu můžeme sestrojit **hydraulické zařízení**. A současně můžeme hydraulické zařízení použít jako důkaz toho, že platí Pascalův zákon.

Hydraulické zařízení není vlastně nic jiného než dva spojené písty. Takže o nich můžeme uvažovat jako o „uzavřené nádobe“. Jeden píst budeme stlačovat, tím v kapalině vytvoříme tlak. Ten bude všude v kapalině stejný. Ano bude i u toho druhého pístu a na něm „způsobí“ sílu.



Když si to napíšeme vzorce, tak získáme tyto rovnice:

$$\frac{F_1}{S_1} = p \text{ a } p = \frac{F_2}{S_2}$$

Nebo z toho můžeme udělat jedinou rovnici  $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$  a máme rovnici, která popisuje fungování hydraulického zařízení.

Jakou silou musíme působit na píst s průřezem  $10 \text{ cm}^2$ , abychom pístem s průřezem  $1,2 \text{ m}^2$  zvedli auto o hmotnosti  $3,5 \text{ t}$ ?

$$S_1 = 10 \text{ cm}^2 = 0,001 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 1,2 \text{ m}^2$$

$$F_2 = ? \text{ N}$$

$$m_2 = 3,5 \text{ t} = 3\,500 \text{ kg}$$

$$F_1 = ? \text{ N}$$

Abychom něco zvedli, tak musíme působit stejně velkou silou jako je tíhová síla, která působí na toto těleso, proto:  $F_2 = F_G = m_2 g = 3\,500 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 35\,000 \text{ N}$

Řešení pro učně:

$$p = \frac{F_2}{S_2} = \frac{35\,000\text{ N}}{1,2\text{ m}^2} \doteq 29\,167\text{ Pa}$$

$$p = \frac{F_1}{S_1} \Rightarrow F_1 = p \cdot S_1 = 29\,167\text{ Pa} \cdot 0,001\text{ m}^2 \doteq 29\text{ N}$$

Řešení pro maturanty:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

$$F_1 = \frac{F_2 \cdot S_1}{S_2} = \frac{35\,000\text{ N} \cdot 0,001\text{ m}^2}{1,2\text{ m}^2} \doteq 29\text{ N}$$

V obou případech, nám vyjde, že potřebujeme sílu asi 29 N (jako bychom zvedali 2,9 kg těžký předmět), abychom zvedli 3,5t auto.

Možná se ti bude zdát divné, že tak malou silou můžeme zvednout tak těžkou věc, a můžeš si myslet, že to odporuje nějakému fyzikálnímu (nebo ještě hůř přírodnímu) zákonu. Ale stejně jako u páky nebo kladky i tady tou silou budu muset působit po větší dráze, než o jakou zvednu to auto. Třeba v tomto příkladu bys musel první píst zatlačit o 12 metrů, abys to auto zvedl o 1 cm! Jestli tě to zajímá, tak si můžeš zkusit vypočítat proč.

## Tlak vyvolaný tíhovou silou

*Když si lehnu a někdo na mě „položí“ tunu štěrku, tak určitě budu tento tlak cítit.*

Stejně je to i s tekutinou. Tekutina je přitahována k zemi tíhovou silou. Díky této tíhové síle působí kapalina na dno nádoby, na stěnu, na tělesa a podobně.

Tato síla se jmenuje hydrostatická tíhová síla. Označujeme ji  $F_h$ . Když vyjdeme z toho, že tato síla je způsobena tíhovou silou, tak máme jednoduchý vzorec:

$$F_h = F_G = mg$$

Vidíš, že záleží jenom na tíhovém zrychlení a na hmotnosti vody. Tu hmotnost samozřejmě můžeme vypočítat. Potřebujeme znát její hustotu, plochu (na které ta voda stojí) a výšku tohoto „vodního sloupce“. Když to dáme dohromady, tak získáme tento vzorec:

$$F_h = Sh\rho g$$

Už jsme si řekli, že tlak je vlastně síla přepočtená na plochu, takže hydrostatický tlak získáme jednoduše:

$$p_h = \frac{F_h}{S} = \frac{Sh\rho g}{S} = h\rho g$$

Tím se nám vzorec zjednoduší.

Podle vzorce můžeme říct, že hydrostatický tlak je ovlivněný jenom hustotou  $\rho$ , výškou nebo hloubkou  $h$  a tíhovým zrychlením  $g$  a u síly ještě na velikosti dna  $S$ . Nezáleží na tvaru nádoby. Toto může někomu přijít zvláštní. Říká se tomu hydrostatický paradox. Víc nám řekne obrázek v myšlenkové mapě.

Jakým hydrostatickým tlakem bude působit voda (s hustotou  $\rho = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) na ponorku, pokud je v hloubce 1 km pod hladinou?

$$\rho = 1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

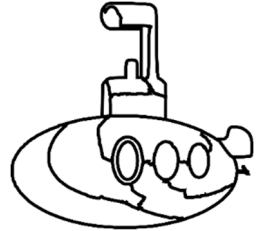
$$h = 1 \text{ km} = 1\,000 \text{ m}$$

$$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p_h = ? \text{ Pa}$$

$$p_h = h\rho g = 1\,000 \text{ m} \cdot 1\,100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 11\,000\,000 \text{ Pa} = 11 \text{ MPa}$$

Na ponorku v hloubce 1 km působí voda tlakem 11 MPa.

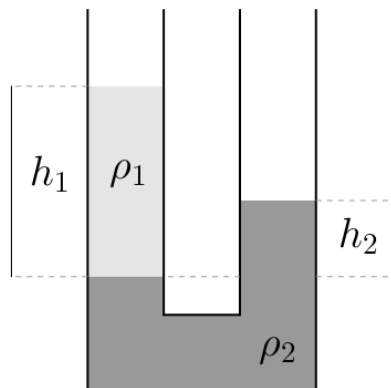


Díky této tíhové síle můžeme vysvětlit i takové „zapeklité“ situace jako například dvě spojené nádoby s tekutinami různých hustot. Pokud nás nebude zajímat, jak jsme k tomu přišli, tak můžeme říct, že výška hladin je v opačném poměru, než jsou hustoty kapalin.

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

Kdyby to ale (náhodou) někoho zajímalo, jak jsme k tomu přišli, tak je to jednoduché.

Hydrostatické tlaky musí být stejné. Označíme je  $p_1$  a  $p_2$ , a rozepíšeme:





$$p_1 = p_2$$

$$h_1 \rho_1 g = h_2 \rho_2 g \quad | \div g$$

$$h_1 \rho_1 = h_2 \rho_2 \quad | \div h_2 \div \rho_1$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

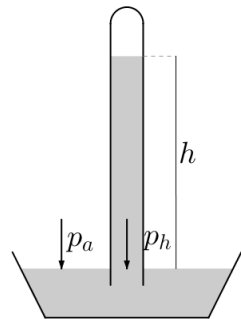
Tlak vyvolaný tíhovou silou je nejenom v tekutinách, ale i plynech. Nejznámějším případem je **atmosférický tlak** (aerostatický).

*Vratíme se zpátky: a představ si, že ležíš v nějaké jámě a někdo ji naplní vodou, teď už víš, že na tebe bude působit nějakým tlakem (a snad ho umíš i vypočítat). Když budeš v té samé jámě ležet a nad tebou bude „jenom“ vzduch, tak i ten bude působit tlakem. Je jasné, že ten tlak je menší, protože vzduch má menší hustotu než voda.*

Samo se nám nabízí vypočítat atmosférický tlak podle vzorce  $F_a = h\rho g$ , ale dost špatně se nám bude měřit výška atmosféry. Navíc hustota vzduchu není všude stejná a tak by ten vzorec vlastně ani nefungoval. Proto se spíš než výpočtem tento tlak zjišťuje měřením.

Základem byl Torricelliho [toričeliho] pokus. Vzal dlouhou zkumavku, naplnil ji rtuť a rychle ji obrátil do misky, kde je taky rtuť. Stalo se to, že rtuť ve zkumavce klesla. Občas to bylo víc a občas méně. Možná to tak nevypadá, ale je to podobné jako spojené nádoby a tekutiny různé hustoty.

V kostce jde o to, že se **atmosférický tlak** vyrovná **hydrostatickému tlaku** rtuťového sloupce.



To je taky důvod proč se někdy velikost tlaku určuje v **mm rtuťového sloupce**. Přesně a doslova to znamená, že měřený tlak má stejnou velikost jako je hydrostatický tlak rtuťového sloupce o dané výšce.

Když se bavíme o aerostatickém tlaku, tak musím zmínit „normální tlak“. Aby se atmosférický tlak dal lépe porovnávat, tak někdo vymyslel **normální tlak**. Normální tlak byl stanovený na:

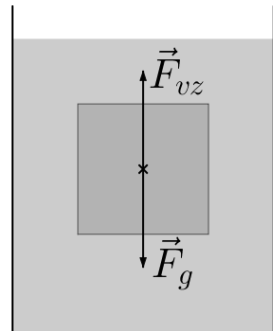
$$p_n = 101\,325 \text{ Pa} = 1\,013,25 \text{ hPa}$$

Měl by to být průměrný tlak při hladině moře za určitých podmínek. Tlak vzduchu se průběžně mění a je to důležitý ukazatel, který se používá k předpovídání počasí. Pokud při předpovědi počasí uslyšíš nízký nebo vysoký tlak, tak je to vztaženo k právě k normálnímu tlaku.

## Vztlaková síla

Určitě sis někdy všiml, že tě ve vodě „něco“ nadnáší. Tato síla se jmenuje **vztlaková síla**. Možná se ptáš proč, vlastně tato síla působí.

Na horní stěnu tělesa působí menší hydrostatická síla než na spodní, protože je v menší hloubce. Rozdíl těchto dvou sil je vlastně naše vztlaková síla.



Pokud se ti nechce tento vztah vyvozovat, tak budeš muset věřit, že

$$F_{VZ} = V_T \rho_K g$$

Kde  $V_T$  je objem ponořeného tělesa,  $\rho_K$  je hustota kapaliny a  $g$  je tíhové zrychlení.

---

Na těleso pak ještě působí tíhová síla, která ho táhne dolů. Když pak porovnáme tyto dvě síly, tak mohou nastat tři situace.

1. Tíhová síla je větší než vztlaková síla ( $F_G > F_{VZ}$ ) – těleso pak klesá ke dnu.
2. Tíhová síla je stejně velká jako vztlaková síla ( $F_G = F_{VZ}$ ) – těleso se vznáší.
3. Tíhová síla je menší než vztlaková síla ( $F_G < F_{VZ}$ ) – těleso stoupá nahoru.

Pokud těleso stoupá nahoru, tak se začne vynořovat nad hladinu. Když si uvědomíme, že pro výpočet vztlakové síly se používá jenom část tělesa, která je ponořená, tak nám musí být jasné, že čím je těleso víc nad hladinou (tzn. menší část tělesa je ponořená), tím menší bude vztlaková síla. Když se pak vztlaková síla vyrovná tíhové síle, tak už se těleso dál nevynořuje, ale zůstane v této poloze.

Na toto přišel už kdysi dávno Archimédes, podle kterého se tento zákon jmenuje **Archimédův zákon** a říká (jedna z verzí):

Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno silou, která se rovná tíze kapaliny tělesem vytlačené.

Do sudu o objemu 200 l a hmotnosti 20 kg dáme „něco“, co váží přibližně jako lidské tělo (90 kg) a zkusíme to hodit do přehrady. Co se se sudem stane? Počítejme s tím, že hustota vody bude

$$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_T = 200 \text{ l} = 200 \text{ dm}^3 = 0,2 \text{ m}^3$$

$$m = 20 \text{ kg} + 90 \text{ kg} = 110 \text{ kg}$$

$$\rho_K = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_{VZ} = ? \text{ N}$$

$$F_G = ? \text{ N}$$

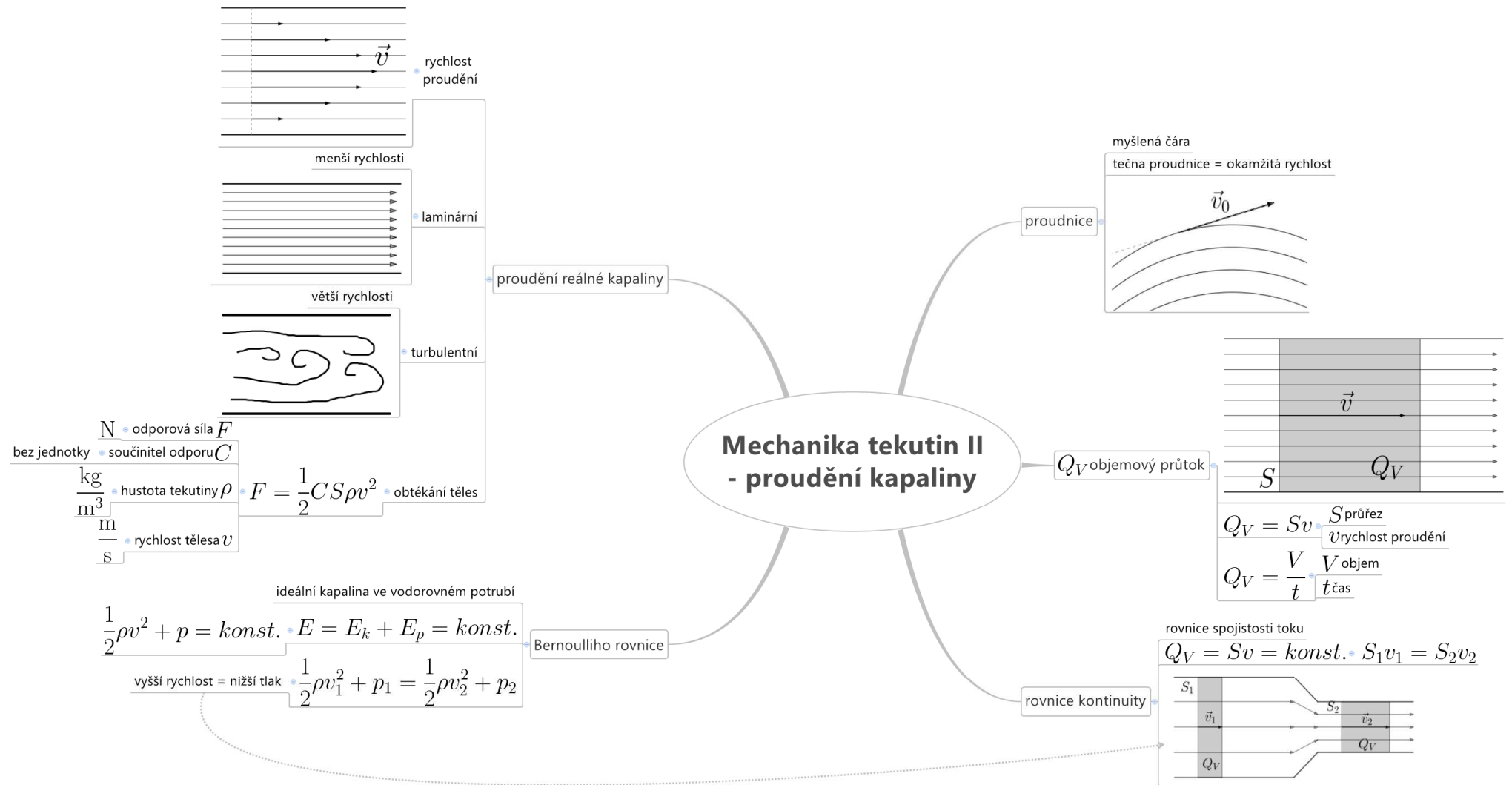
$$F_{VZ} = V_T \rho_K g = 0,2 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2000 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 2000 \text{ N}$$

$$F_G = mg = 110 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1100 \frac{\text{kg m}}{\text{s}^2} = 1100 \text{ N}$$

Porovnáním sil jsme zjistili, že tíhová síla je menší, než síla vztlková, a tak sud vystoupá nahoru.



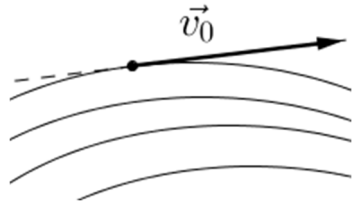
<http://www.fyzikajinak.cz/13-14-mechanika-tekutin/>



## Proudění tekutin

### Proudnice

Pokud bude v tekutině převládat pohyb určitým směrem, pak mluvíme o **proudění**. S prouděním tekutin souvisí pojem **proudnice**. Proudnice je myšlená čára, po které se částice tekutiny pohybují. Podobně jako u trajektorie, tak i u proudnice platí, že když uděláme v nějakém místě její tečnu, dostaneme směr okamžité rychlosti.



### Objemový průtok

Toto je další důležitý pojem. V televizi o něm slyšíme, když se blíží povodně. Objemový průtok se značí  $Q_V$  a vypočítat jej můžeme dvěma způsoby.

Pokud známe průřez (potrubí, koryta řeky, ...)  $S$  a rychlost toku  $v$ , pak je vzorec jednoduchý:

$$Q_V = Sv$$

Nebo musíme vědět, kolik (jaký objem) vody  $V$  protéklo za jakou dobu  $t$ . Vzorec je pak taky jednoduchý:

$$Q_V = \frac{V}{t}$$

Jednotka vychází z tohoto vzorce a je to  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ , klidně ale můžeme jednotku vypočítat taky z toho předchozího vzorce. Nikoho by nemělo překvapit, že výsledek bude stejný, ať už budeme používat kterýkoli vzorec.

Jakou rychlostí teče voda v trubce o průřezu  $50 \text{ cm}^2$ , když jí za 5 minut proteče  $1,2 \text{ m}^3$  vody?

$$S = 50 \text{ cm}^2 = 0,005 \text{ m}^2$$

$$t = 5 \text{ min} = 5 \cdot 60 \text{ s} = 300 \text{ s}$$

$$V = 1,2 \text{ m}^3$$

$$v = ? \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Řešení pro učně:

$$Q_V = \frac{V}{t} = \frac{1,2 \text{ m}^3}{300 \text{ s}} = 0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_V = Sv \Rightarrow v = \frac{Q_V}{S} = \frac{0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,005 \text{ m}^2} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Řešení pro maturanty:

$$Q_V = Q_V$$

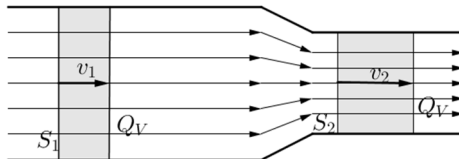
$$\frac{V}{t} = Sv \quad | \div S$$

$$v = \frac{V}{tS} = \frac{1,2 \text{ m}^3}{300 \text{ s} \cdot 0,005 \text{ m}^2} = 0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Voda v potrubí teče rychlostí  $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

## Rovnice kontinuity

Sice zní vznešeně, až tajemně, ale je velice jednoduchá. Když budeme mít uzavřené potrubí, kde se mění průřez



(velikost) trubek, tak je jedno, jaký průřez má trubka, ale objemový průtok bude v celém potrubí stejný. Laicky můžeme říct, že voda, která proteče jednou částí potrubí, musí protéct i další částí. Nikde se neschová ani nevznikne. Když tedy vezmeme vzorec pro výpočet objemového průtoku a dosadíme tam různé průřezy a rychlosti, tak dostaneme rovnici kontinuity:  $Q_V = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = konst.$

Z toho vyplývá, že pokud bude menší průřez, tak voda musí proudit rychleji. Důkazem této rovnice je následující pokus:

*Co uděláš, když máš hadici ze které voda tak tak teče a potřebuješ někoho postříkat? Na výtoku z hadice zmenšíš průřez. Nebo laicky řečeno, hadici trochu „přiškrtíš“. Třeba ji trochu ucpeš palcem. Voda hned stříká, teče totiž rychleji. Přesně podle té rovnice **menší průřez = větší rychlost**.*

## Bernoulliho rovnice

Pan Bernoulli byl zvědavý, jak je to nejenom s rychlostí, ale i s energií proudící kapaliny.

Z dynamiky víme, že celková energie je součtem energie kinetické a potenciální:

$$E = E_K + E_P.$$



Pro naši proudící kapalinu to bude  $E = \frac{1}{2}\rho v^2 + p$ . Kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $v$  její rychlost a  $p$  její tlak. V potrubí se energie ani neobjeví, ani neschová. Tomu se říká zákon zachování energie, proto můžeme napsat:  $E = konst.$

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

Když se na to podívá někdo, pro koho není matematika nadávkou, tak dokáže říct, že pokud zvýšíme rychlost, tak se tlak musí snížit.

Zkusíme si to srovnat s předchozími poznatky. Zjistíme, že:

**menší průřez = větší rychlost = menší tlak**

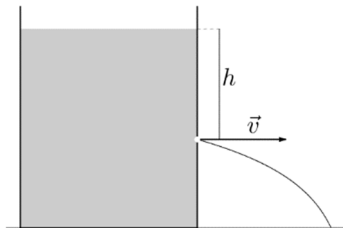
**Pozor!** Neplatí přímá úměra, protože rychlost je tam na druhou.

Když se průřez hodně zmenší, tak tlak může být menší než tlak atmosférický. Tím vznikne podtlak a do kapaliny se „přimíchá“ i okolní vzduch. Toto využívají třeba mechanické spreje a různé rozprašovače.

Bernoulliho rovnice platí pro ideální kapalinu a navíc ještě jenom ve vodorovném potrubí.

Na fungování Bernoulliho rovnice si můžeme udělat jednoduchý experiment:

Vezmi dva listy papíru. Drž je docela blízko u sebe (tak  $\pm 1$  cm) a pak mezi ně foukni. Vzduch mezi nimi bude proudit rychleji než okolní (nehybný) vzduch. Tím mezi listy vznikne nižší tlak, než je tlak okolního vzduchu. Tomuto říkáme podtlak. Díky tomuto podtlaku se listy přitisknou k sobě.

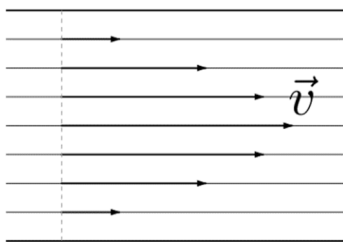


Díky Bernoulliho rovnici také můžeme vypočítat, jakou rychlostí bude vytékat kapalina z nádoby.

$$\rho g h = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2hg}$$

## Proudění reálné kapaliny

Jak jsme si už mockrát říkali, tak ideální (cokoliv) neexistuje. Stejně tak neexistuje ani ideální kapalina. Místo toho musíme pracovat s tou, která reálně existuje. Tato reálná kapalina se ale chová trochu jinak.



Kapalina u stěn potrubí proudí pomaleji. Toto je způsobeno třením mezi kapalinou a stěnou potrubí. Po této vrstvě klouže další (rychlejší vrstva) a tak dále, až uprostřed je nejrychlejší vrstva.

Takto to bude vypadat při malých rychlostech a říká se tomu **laminární proudění**. Při větších rychlostech vznikají víry (turbulence) a tomuto proudění říkáme **turbulentní proudění**. U turbulentního proudění už nemůžeme matematicky proudnice vyčíslit.

## Obtékání tělesa

Při obtékání tělesa kapalinou dochází k vzniku odporové síly. Tyto síly vznikají díky vnitřnímu tření tekutiny. Tato odporová síla má opačný směr než je směr pohybu tělesa. Pokud se budeme bavit o pohybu těles v kapalině, pak budeme této síle říkat **hydrodynamická odporová síla**, u plynů se jí říká **aerodynamická odporová síla**.

***Poznámka:** je jedno, jestli se hýbe těleso a tekutina stojí nebo se pohybuje tekutina a stojí těleso nebo dokonce jestli se hýbou i těleso i tekutina. Pohyb je totiž relativní. Proto můžeme vždy uvažovat tak, že tekutina stojí a těleso se hýbe. Stačí jako vztažnou soustavu vzít tu tekutinu a za rychlost pohybu brát rozdíl rychlostí tekutiny a tělesa.*

K laminárnímu obtékání dochází jenom ve velmi málo případech (velmi malé rychlosti a velmi malá tělesa), proto se podíváme jenom na turbulentní proudění. Odporovou sílu v případě turbulentního proudění spočítáme podle vzorce:

$$F = \frac{1}{2} C S \rho v^2$$

kde  $C$  je součinitel odporu, je to bezrozměrné číslo (nemá jednotku) a závisí na tvaru obtékaného tělesa,  $S$  je průřez tělesa v rovině kolmé na směr pohybu,  $\rho$  je hustota tekutiny a  $v$  je rychlost pohybu tělesa.

***Poznámka:** když jsme se bavili o volném pádu, tak jsme si říkali, že při něm těleso neustále zrychluje. Ted' jsme se dozvěděli, že proti všemu, co se pohybuje, v prostředí působí odporová síla a ta je tím větší, čím větší je rychlost pohybu tělesa. Kdybychom chtěli být přesní, tak můžeme říct, že síla se zvětšuje se čtvercem rychlosti (jakože se to násobí druhou mocninou rychlosti). Pokud se tato odporová síla vyrovná síle tíhové, tak těleso už*

*nebude zrychlovat. Díky tomu nás nezabije každá kapka deště a parašutista se nerozmázne o zem.*

Pokud nebude těleso souměrné ve směru pohybu, tak síla nebude působit přesně proti směru pohybu, ale bude vychýlená. Toho se používá při konstrukci křídel letadel. Stačí, aby při obtékání tekutinou musela tekutina na jedné straně urazit delší trasu, a odporová síla bude mířit víc tímto směrem.

Pokud tě zajímá proč, tak je to proto, že když tekutina musí urazit větší trasu, tak musí být rychlejší, a jak už víme, větší rychlost znamená menší tlak.



[http://www.fyzikajinak.cz/  
13-14-mechanika-tekutin/](http://www.fyzikajinak.cz/13-14-mechanika-tekutin/)