

# Mechanika

Fyzika 1. ročník

Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Inovace výuky oboru Informační technologie

Mgr. Petr Kučera



# Obsah témat v kapitole Mechanika

Rovnoměrný pohyb

Rovnoměrně zrychlený a zpomalený pohyb

Příklady – kinematika

Skládání pohybů

Pohyb po kružnici

Dynamika

Newtonovy zákony

Třecí síla

Hybnost tělesa

Vztažné soustavy

Mechanická práce

Výkon

Účinnost stroje

Mechanická energie

Moment síly

Skládání sil

Rozkládání sil

Těžiště tělesa

Jednoduché stroje

Tlak v tekutinách

Pascalův zákon

Hydrostatický tlak

Atmosférický tlak

Vztlaková síla

Proudění kapalin a plynů

Obtékání těles

Využití energie proudících tekutin



# Mechanika

Mechanika je část fyziky, která se zabývá pohybem těles. Dělí se na **kinematiku** – popisuje pohyb  
**dynamiku** – zabývá se příčinami pohybu

Klid a pohyb jsou **relativní**, závisí na vztažné soustavě, tedy na tělesech, vzhledem ke kterým pohyb pozorujeme.  
**Hmotný bod** – těleso, jehož rozměry můžeme zanedbat vzhledem k uvažovaným vzdálenostem pohybu.

Základní veličiny popisující kinematiku hmotného bodu: **dráha**  
**rychlost**  
**zrychlení**

Pohyby dělíme: **podle dráhy** - **přímočarý**  
**křivočarý** (významný je pohyb po kružnici)

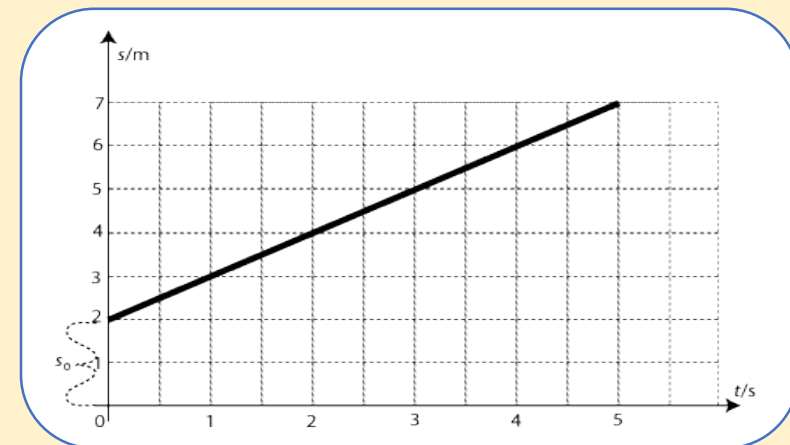
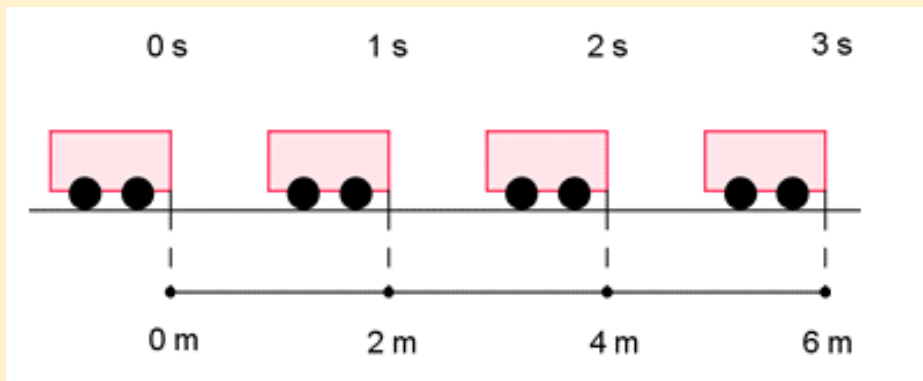
**podle rychlosti** - **rovnoměrný**  
**nerovnoměrný**

**podle zrychlení** - **rovnoměrně zrychlený** (např. volný pád)  
**rovnoměrně zpomalený**





# Rovnoměrný pohyb



Při rovnoměrném pohybu urazí hmotný bod ve stejných časových intervalech vždy stejné dráhy. Pro rychlost hmotného bodu lze pak použít vztah:

$$v = s : t$$

dráha rovnoměrného pohybu je **přímo úměrná** času

$$s = v \cdot t$$

$$1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}} = \frac{1000}{3600} \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{3600}{1000} \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

dobu pohybu pak vypočteme jako podíl

$$t = s : v$$

Pokud v daných vztazích nahradíme rychlost **průměrnou** rychlostí, můžeme je použít i pro výpočty pohybů složitějších

procvičení uč. str. 25

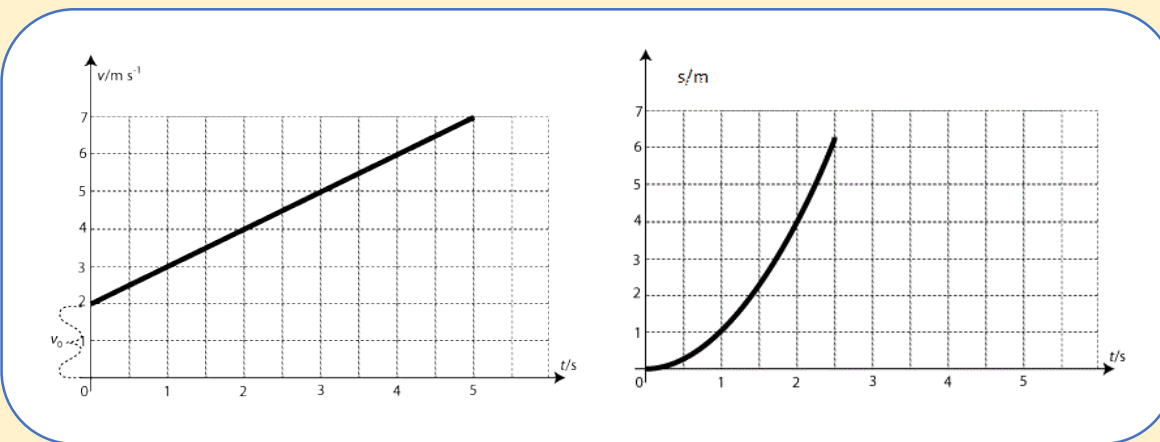
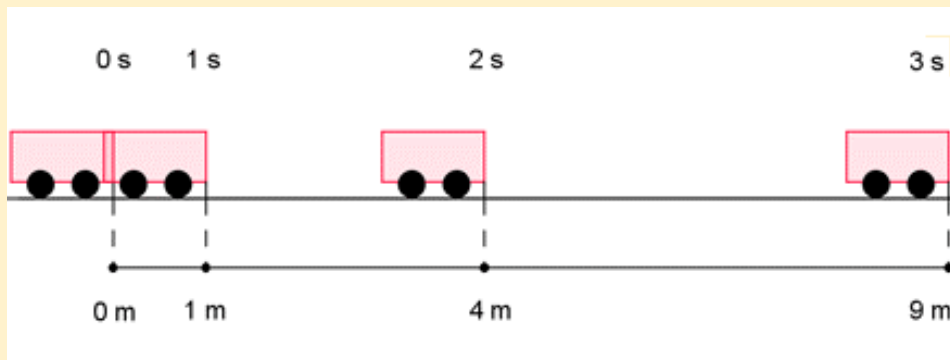




# Rovnoměrně zrychlený a zpomalený pohyb

Fyzikální veličina, která charakterizuje změnu rychlosti za jednotku času, se nazývá **zrychlení**.

Její značka je  **$a$** , základní jednotka  **$m/s^2$**

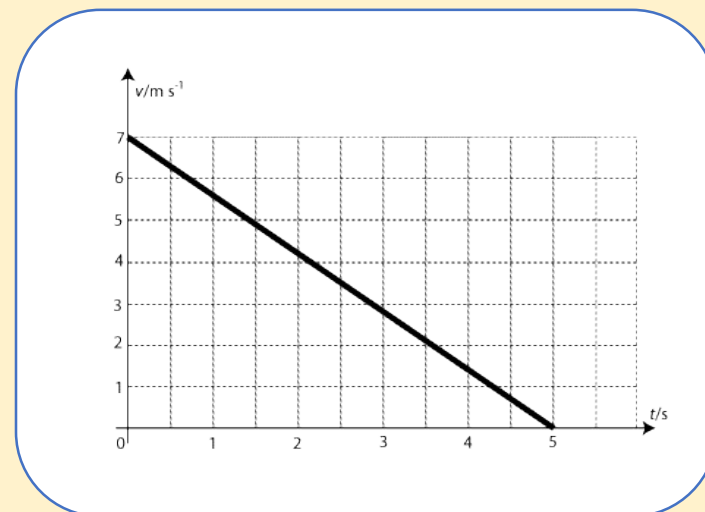


Rychlost rovnoměrně zrychleného pohybu určíme:  **$v = v_0 + a \cdot t$**  nebo  **$v = a \cdot t$**  pokud pohyb začíná z klidu.

Dráhu, kterou těleso při tomto pohybu urazí, určíme:  **$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$**

Pro pohyb rovnoměrně **zpomalený**

platí obdobné vztahy:  **$v = v_0 - a \cdot t$** ,  **$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$**





Speciálním zrychleným pohybem je **volný pád.**

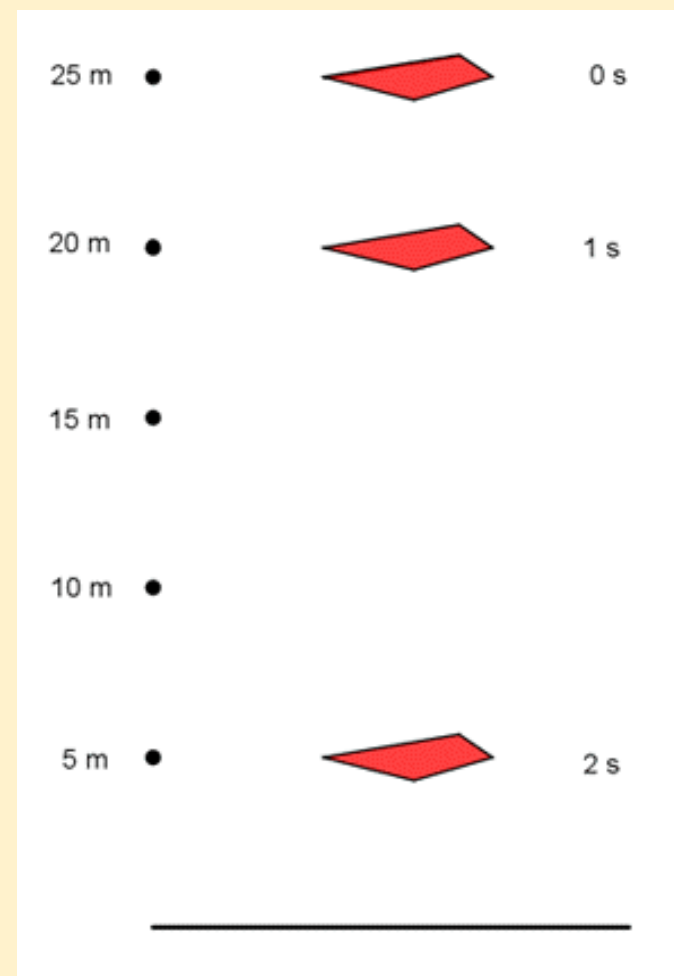
Zrychlení volného pádu značíme  **$g$**  a pro výpočty používáme jeho hodnotu  **$g = 9,81 \text{ m/s}^2$**

Vztahy pro tento pohyb pak mají tvar:

$$v = g \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

1. Automobil se rozjíždí z klidu a za dobu 40s dosáhne rychlosti 72 km/h. Jak velké je zrychlení automobilu? Jak velké rychlosti dosáhne při stejném zrychlení za 1 minutu? Jakou dráhu při tom urazí?
2. Vlak jedoucí rychlostí 72 km/h začne brzdit a za dobu 50 s sníží rychlost na 18 km/h. S jakým zrychlením se vlak pohyboval?
3. Na výletě chlapci zjišťovali, jak hluboká je propast. Upustili do ní kámen, který dopadl na dno za 4,5 s. Jak hluboká je propast?





## Příklady – kinematika

1. Hmotný bod se pohybuje stálou rychlostí  $25 \text{ ms}^{-1}$  po dobu 3 minut. Jakou dráhu hmotný bod urazí? Za jakou dobu urazí při této rychlosti vzdálenost 10 m?
2. Tunelem o délce 700 m projíždí vlak dlouhý 200 m. Od vjezdu lokomotivy do tunelu do výjezdu posledního vagónu uplynula 1 minuta. Určete rychlost vlaku.
3. Závodní automobil se rozjíždí z klidu rovnoměrně zrychleně a za dobu 5 s ujede dráhu 50 m. S jak velkým zrychlením se pohybuje?
4. Motocykl zvýší při rovnoměrně zrychleném pohybu během 10 s rychlost z  $6 \text{ ms}^{-1}$  na  $18 \text{ ms}^{-1}$ . Určete velikost zrychlení motocyklu a dráhu, kterou při tom ujede.
5. Jak hluboká je propast Macocha, dopadne-li do ní vhozený kámen na dno za 5,25 s?
6. Kroupy dopadají na zem rychlostí  $100 \text{ ms}^{-1}$ . V jaké výšce se nachází bouřkový mrak, ze kterého padají?



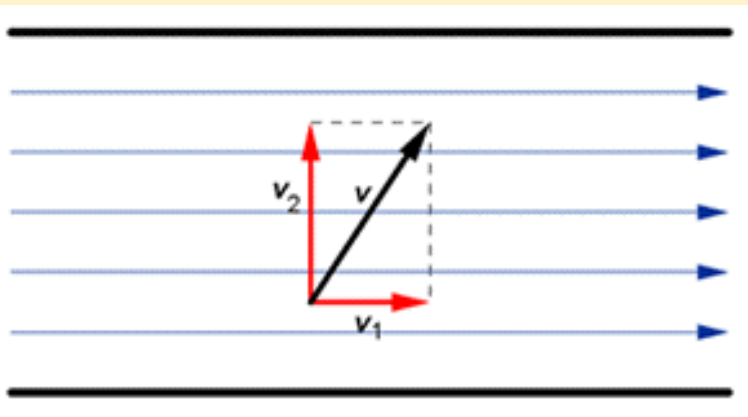


# Skládání pohybů

Pokud těleso koná současně více pohybů, pak rychlost výsledného pohybu dostaneme složením rychlostí jednotlivých pohybů. Výsledná poloha tělesa složeného pohybu je stejná, jako by konalo těleso pohyby postupně v libovolném pořadí.

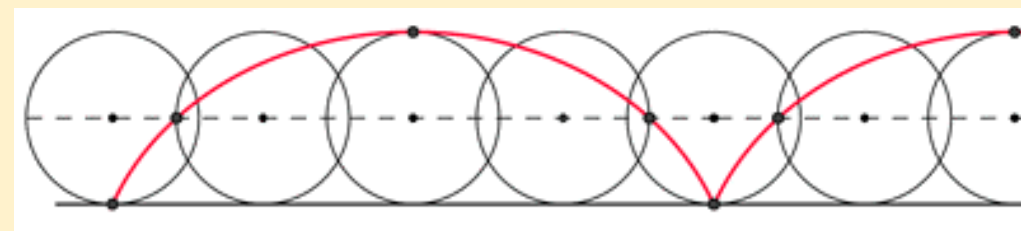
Výsledná rychlost vznikne vektorovým skládáním rychlostí:  $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$

rychlost  $v$  závisí tedy na velikosti a směru rychlostí  $v_1$  a  $v_2$



rychlosti různého směru

lze složit pomocí vektorového rovnoběžníku



ukázkový příklad : 34 / 2

MěSOŠ Klobouky u Brna





# Pohyb po kružnici

K popsání pohybu tělesa po kružnici používáme mimo veličin **v**, **s**, **t** ještě další:

**r** ... délka průvodiče, poloměr kružnice, po které se bod pohybuje

**$\varphi$**  ... úhlová dráha, úhel opsaný průvodičem za dobu **t** v radiánech

Pro dráhu pohybu platí:  **$s = r \cdot \varphi$**

**$\omega$**  ... úhlová rychlost

Rychlost **v** pohybujícího se tělesa pak lze vypočítat  **$v = r \cdot \omega$**

**T** ...perioda, doba, za kterou průvodič opíše celou kružnici – jednotka 1s

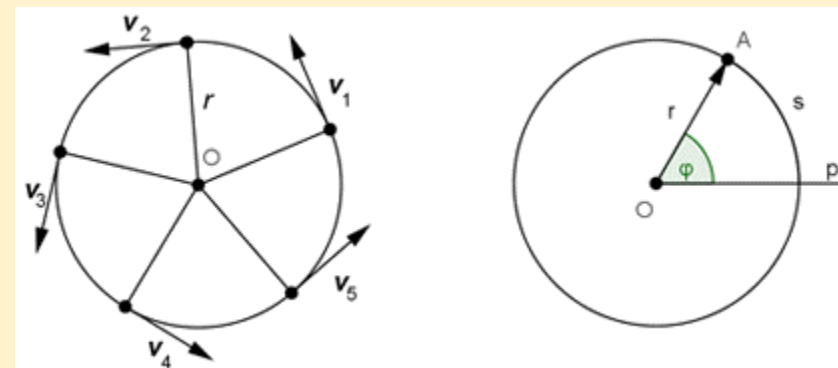
**f** ...frekvence, počet oběhů za jednotku času – jednotka je 1/s (  $s^{-1}$  )

Tyto veličiny vystupují v následujících vztazích:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$



Příklad:

Vypočtete velikost rychlosti Měsíce při jeho pohybu kolem Země. Předpokládejme, že se pohybuje po kružnici o poloměru  $4 \cdot 10^5 km$  s periodou 27 dní.



# Dynamika

Dynamika je část mechaniky, která studuje příčiny a podmínky pohybu. Základním pojmem dynamiky je veličina **síla**.

Síla vzniká jako projev vzájemného působení těles.

Síla může mít účinky deformační nebo pohybové.

Sílu značíme **F**, její základní jednotkou je **newton** N

$$F=5\text{ N}$$

Síla je vektorová veličina, k jejímu určení potřebujeme znát velikost, směr a působiště.

K měření síly slouží siloměry





# Newtonovy pohybové zákony

## I. Zákon setrvačnosti

Těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud není přinuceno silovým působením jiných těles tento stav změnit.

## II. Zákon síly

Velikost zrychlení  $a$ , které uděluje síla  $F$  tělesu o hmotnosti  $m$  je přímo úměrné velikosti síly a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.

$$a = \frac{F}{m}$$

## III. Zákon akce a reakce

Působí-li první těleso na druhé silou, působí také druhé těleso na první stejně velkou silou opačného směru.

Tyto síly současně vznikají a zanikají.



Druhý NZ lze vyjádřit vztahem  $F = m \cdot a$

Tento vztah k výpočtu příkladů:

1. S jakým zrychlením se rozjíždí vozík o hmotnosti 200 kg, působí-li na něj chlapec silou 50 N?
2. Letadlo o hmotnosti 20 t urazí za dobu 10 s od startu dráhu 150 m. Určete zrychlení letadla a tažnou sílu jeho motorů.
3. Vlak o hmotnosti 500 t se rozjíždí z klidu působením tažné síly lokomotivy 100 kN. Jak velké rychlosti dosáhne za dobu 1 min svého pohybu?
4. Nákladní automobil o hmotnosti 3 t začne brzdit při rychlosti 90 km/h a zastaví za 10 s. Jak velkou brzdící sílu musí vyvinout brzdy automobilu? Jakou brzdnou dráhu při tom automobil ujede?



## Tíhová síla a tíha tělesa

**Tíhová síla**  $F_g$  je síla, kterou působí Země na každé těleso při svém povrchu a uděluje mu tíhové zrychlení  $g$ .

Směr tíhové síly a směr tíhového zrychlení je svislý a velikost tíhové síly určíme podle vztahu  $F_g = m \cdot g$

**Tíha** tělesa  $G$  je síla, kterou působí nehybné těleso v okolí Země na vodorovnou podložku nebo svislý závěs.

Velikost této síly je stejná jako  $F_g$ , působí však na jiné těleso. K výpočtu používáme tedy vztah  $G = m \cdot g$

Příklady z učebnice 53/2-5

Tíhu tělesa lze využít k orientačnímu zjištění hmotnosti.

1. Jak velká tíhová síla působí na těleso o hmotnosti 10 kg na rovníku a jaká na zeměpisném pólu? (g zjistěte na internetu)
2. Jak velká tíhová síla působí na člověka o hmotnosti 60 kg na povrchu Země a jak velká na povrchu Měsíce? Zrychlení volného pádu na Měsíci je šestkrát menší než na povrchu Země.
3. Siloměr, na němž je zavěšeno těleso, ukazuje sílu 3 N. Jakou hmotnost má těleso?





# Třecí síla

Při posunování tělesa po podložce překonáváme třecí sílu, která brzdí pohyb a její původ souvisí s vlastnostmi styčných ploch tělesa a podložky. Nejvíce práce při pohybu většinou vynakládáme na **překonávání tření**.

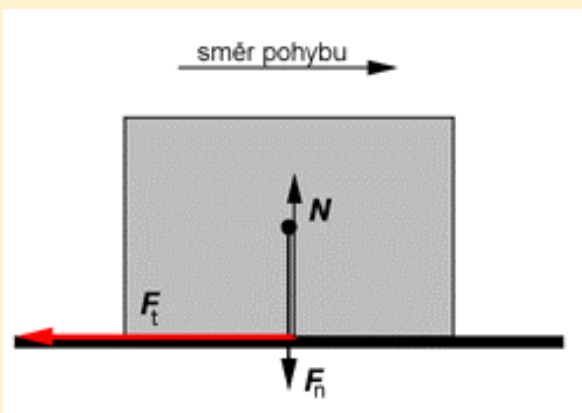
Jak tření **zmenšit**: použití kola, stavění rovných silnic, mazání kolomazí, kuličková ložiska, opatření kol pneumatikami. Nemůžeme ovšem tření zmenšovat donekonečna. Kdyby nebylo smykového tření, zmizela by spousta běžných jevů a množství obvyklých jevů by probíhalo zcela jinak.

## Smykové tření:

Třecí sílu počítáme ze vztahu obsahujícího  $f$  – součinitel smykového tření a

$F_n$  – tlakovou sílu, kterou působí těleso kolmo na podložku

$$F_t = f \cdot F_n$$



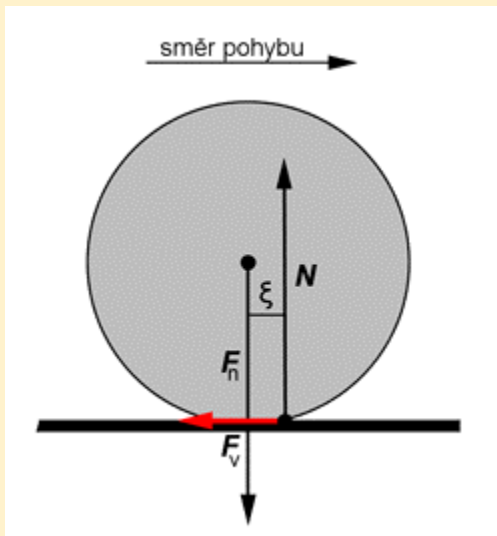
| Materiál                   | $f$  | Materiál                     | $f$  |
|----------------------------|------|------------------------------|------|
| Dřevo – dřevo (suché)      | 0,40 | Kov – kov (olej)             | 0,05 |
| Dřevo – dřevo (namydlené)  | 0,20 | Velmi dobře vyleštěné plochy | 0,03 |
| Kov – dubové dřevo (suché) | 0,55 | Ocel – achát (suché)         | 0,20 |
| Kov – dubové dřevo (mokré) | 0,25 | Ocel – achát (olej)          | 0,11 |
| Kůže – dub                 | 0,32 | Ocel – křemen (suché)        | 0,50 |
| Kůže – kov (suché)         | 0,56 | Pneumatika – beton (suché)   | 0,70 |
| Kůže – kov (mokré)         | 0,36 | Pneumatika – beton (mokré)   | 0,25 |
| Kůže – kov (olej)          | 0,15 | Dřevo – kámen                | 0,40 |
| Kov – kov (suché)          | 0,17 | Teflon – teflon              | 0,07 |
| Kov – kov (mokré)          | 0,30 | Nylon – nylon                | 0,25 |

Hodnota součinitele smykového tření se určuje měřením a je uvedena ve fyzikálních tabulkách. Liší se pro různé látky i různé druhy styčných ploch - drsných, hladkých a namazaných. Při vyšších rychlostech se hodnota koeficientu tření snižuje. Rozlišujeme **statické tření** (působí při přechodu z klidu do pohybu) a **dynamické tření** (při pohybu). Z experimentů vychází, že statické tření je větší než dynamické přibližně o 20 až 30 %





## Valivé tření



Příčinou valivého tření je prohnutí podložky, po které se těleso valí, popř. změna tvaru valeného tělesa, např. pneumatiky. Na obrázku je znázorněna normálová síla  $F_n$ , která působí v těžišti směrem dolů. Jako reakce na ni se vytvoří síla  $N$ , která nepůsobí v těžišti, je posunuta o vzdálenost  $\xi$  [ksí] a působí opačným směrem. Tato vzdálenost se nazývá rameno valivého odporu. Měřením se dá zjistit, že odporová síla při valivém odporu je přímo úměrná normálové síle  $F_n$  a nepřímo úměrná poloměru kola  $R$ . Odporovou sílu při valivém odporu vypočítáme podle vztahu

$$F_v = \xi \frac{F_n}{R}$$

Pokud odporová síla při valivém odporu nepřekročí určitou mez, např. kola se nezaboří, je valivý odpor za jinak stejných podmínek menší než třecí síla. K uložení otáčivých částí se proto často používají ložiska, která snižují odporové síly. Proto v praxi často **nahrazujeme smýkání valením**.

Technickým řešením jsou v praxi ložiska.







# Hybnost tělesa

Těleso, které se pohybuje rychlostí  $v$  může působit silou na jiné těleso a změnit jeho pohybový stav. O velikosti tohoto účinku rozhoduje nejen rychlost  $v$  ale také hmotnost  $m$  pohybujícího se tělesa.

Pohybový stav tělesa tedy lépe popisuje jeho **hybnost**:  $p = m \cdot v$  Jednotkou hybnosti je kg m/s.

Veličinu, která popisuje časovou změnu hybnosti tělesa, označujeme  $I$  a nazýváme ji **impulz síly**.

Tato veličina vyjadřuje časový účinek síly. Jeho velikost lze vypočítat podle vztahu

$$I = F \cdot t$$

Zákon zachování hybnosti:

**Mění-li se pohybový stav těles v uzavřené soustavě jen jejich vzájemným působením, zůstává součet jejich hybností konstantní.**

Příklady k pochopení pojmů 63/ 1-6

1. Osobní automobil o hmotnosti 800 kg jede rychlostí 90 km/h, nákladní automobil o hmotnosti 8 t rychlostí 18 km/h. Který z nich má větší hybnost?





2. Která síla vyvolá větší změnu hybnosti, síla 200 N působící po dobu 0,01 s nebo síla 1 N působící po dobu 5 s?
3. Jak velkou silou udeřil hokejista do stojícího kotouče o hmotnosti 200 g, jestliže kotouč nabral rychlost 90 km/h ?  
Doba působení nárazové síly byla 0,01 s.
4. Kulečnicková koule o hmotnosti 240 g nabude silou úderu 3 N rychlost 2 m/s. Určete dobu působení úderu.
5. Střela o hmotnosti 20 g proletěla hlavní pušky o hmotnosti 4 kg za 0,01 s, čímž získala rychlost 400 m/s.  
Jak velká síla na střelu působila? Jak velká je rychlost pušky při zpětném rázu?

### Dostředivá a odstředivá síla

Příkladem sil, na kterých je patrná platnost 3.NZ jsou síly, které působí na těleso při pohybu po kružnici.





# Vztažné soustavy

Každý pohyb a klid tělesa musíme popisovat vždy vzhledem k jiným tělesům v jeho okolí – vzhledem ke vztažné soustavě.

**Inerciální** vztažná soustava je každá, která je vzhledem k Zemi v klidu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu.

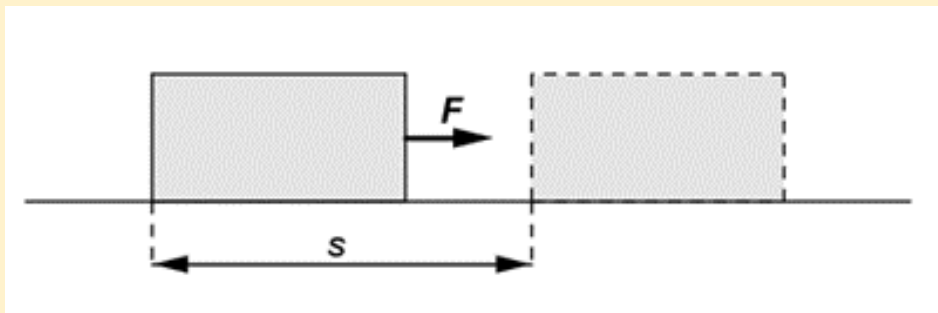
Zákony mechaniky a rovnice popisující pohyb platí ve všech inerciálních soustavách.

**Neinerciální** vztažná soustava je taková, která se vzhledem k Zemi pohybuje nerovnoměrným pohybem (zrychleným či zpomaleným). V neinerciálních soustavách neplatí některé zákony a díky pohybu celé soustavy se objevují síly jako setrvačná síla, přetížení případně stav bez tíže, setrvačná odstředivá síla.

Projevy sil v neinerciálních soustavách - viz příklady 71/1-7



# Mechanická práce



Mechanickou práci koná každé těleso, které **působí silou** na jiné těleso a přitom je **přemístuje** po určité trajektorii. Pokud má působící síla  $F$  stejný směr jako trajektorie a posune těleso po dráze  $s$  vypočteme velikost mechanické práce

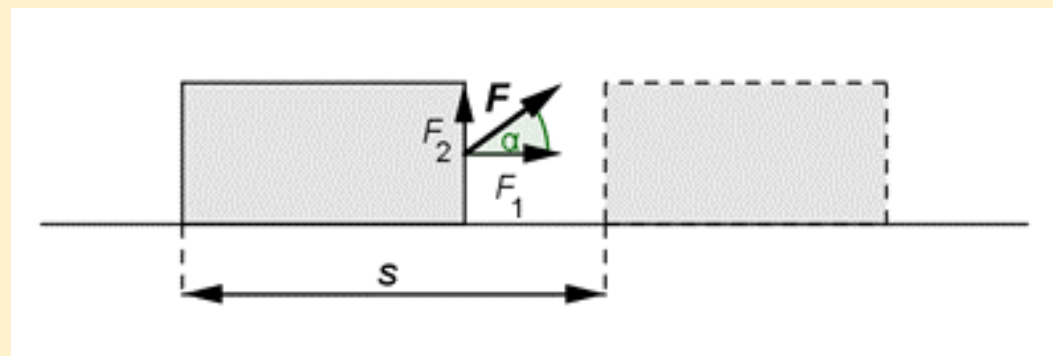
$$W = F \cdot s$$

V případě, kdy síla nemá směr trajektorie,  
Používáme pro výpočet vztah

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

kde  $\alpha$  je úhel, který svírají.

Jednotkou práce je **joule**, jeho značkou je **J**.



Užití vztahů - příklady 78/ 1- 6



1. Jakou mechanickou práci vykoná síla naší paže, jestliže nákupní tašku o hmotnosti 8 kg
  - a) zvedneme do výše 1m
  - b) držíme ve výši 1 m
  - c) přeneseme ve vodorovném směru do vzdálenosti 5 m
2. Cyklista jede stálou rychlostí po vodorovné silnici proti větru, který na něj působí stálou silou 12N. Jakou práci vykoná při překonávání síly větru na dráze 5 km?
3. Jakou práci vykoná cyklista z příkladu 2, svírá-li směr větru se směrem jeho jízdy úhel  $60^\circ$ ?
4. Jakou práci vykonáme při vytažení hřebíku délky 6 cm, působíme-li na něj průměrnou tahovou silou 300 N?
5. Po vodorovné podlaze přesunujeme bednu o hmotnosti 50 kg do vzdálenosti 20 m. Jakou mechanickou práci vykonáme, je-li součinitel smykového tření 0,4?





# Výkon

Při konání mechanické práce většinou záleží nejen na vykonané práci ale i na době, za kterou byla vykonána. Tuto skutečnost lze vyjádřit pomocí veličiny, kterou nazýváme **výkon**.

Velikost výkonu určíme vztahem  $P = \frac{W}{t}$ , kde W je vykonaná práce a t doba za kterou byla vykonána.

Jednotkou výkonu je watt a jeho značkou W.

Pokud počítáme práci ze známého výkonu,  $W = P \cdot t$  často používáme jednotku watthodina případně kilowatthodina

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$

Užití vztahů - příklady 80/ 1- 4







1. Chlapec A o hmotnosti 60 kg vyšplhá do výšky 4 m za dobu 5 s, chlapec B o hmotnosti 72 kg do výšky 3 m za dobu 4 s. Který chlapec má větší výkon?
2. Vzpěrač zvedl činku o hmotnosti 210 kg do výšky 2 m za 3 s. Určete jeho průměrný výkon.
3. Čerpadlo vyčerpá  $10 \text{ m}^3$  vody ze šachty hluboké 300 m za 1 min. Jakou práci vykoná a jaký je jeho výkon?
4. Motor výtahu o výkonu 20 kW má dopravit rovnoměrným pohybem náklad do výšky 24 m za 12 s. Jakou maximální hmotnost může mít náklad s kabinou výtahu?



# Účinnost stroje

Stroj je zařízení, které přeměňuje vkládanou energii v mechanickou práci.

Účinnost stroje je podíl práce vykonané strojem a celkové energie stroji dodané.

$$\eta = W : E$$

Pokud známe výkon dodávaný stroji (příkon)  $P_0$  a výkon stroje  $P$ , lze určit účinnost rovněž

$$\eta = P : P_0$$

účinnost stroje určujeme často v procentech

každý stroj má účinnost menší než 100%

| Tepelný motor           | $\frac{T_1}{K}$ | $\frac{T_2}{K}$ | $\eta_{\max}$ | $\eta$      |
|-------------------------|-----------------|-----------------|---------------|-------------|
| parní stroj lokomotivy  | 600             | 390             | 0,35          | 0,09 – 0,15 |
| parní turbína           | 800             | 320             | 0,60          | 0,25 – 0,35 |
| plynová turbína         | 1 100           | 500             | 0,55          | 0,22 – 0,37 |
| čtyřdobý zážehový motor | 2 800           | 970             | 0,65          | 0,20 – 0,33 |
| vznětový motor          | 2 900           | 770             | 0,73          | 0,30 – 0,42 |
| raketový motor          | 4 000           | 1 000           | 0,75          | 0,50        |

příklady použití vztahů 82/ 1-4

1. Elektrická lokomotiva s příkonem 2 000 kW pracuje se stálým výkonem 1800 kW. Určete její účinnost.
2. Elektromotor s příkonem 5 kW pracuje s účinností 80%. Jakou práci vykoná za 8 hodin?



# Mechanická energie

Mechanická energie je fyzikální veličina, která souvisí s konáním mechanické práce. Těleso ji může získat zvednutím do určité výšky nad povrch Země, pomocí pružné deformace nebo uvedením do pohybu.

Mechanická energie je **schopnost tělesa konat práci**.

**Potenciální energii** (polohovou) získanou zvednutím tělesa o hmotnosti  $m$  do výšky  $h$  určíme:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

**Kinetickou energii** (pohybovou) má těleso o hmotnosti  $m$  pohybující se rychlostí  $v$ , určíme:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Potenciální a kinetická energie se mohou přeměňovat jedna v druhou. V uzavřených soustavách těles pak platí **zákon zachování mechanické energie**:

Součet potenciální a kinetické energie těles v izolované soustavě je konstantní.  $E = E_p + E_k = konst.$



otázky a příklady str. 85 a 88



1. Závaží o hmotnosti 2 kg zvedneme do výšky 50 cm nad horní desku stolu. Určete jeho potenciální tíhovou energii nejdříve vzhledem k desce stolu, poté vzhledem k podlaze, je-li deska stolu 1 m nad podlahou.
2. Kabina výtahu o hmotnosti 400 kg vystoupí ze třetího do pátého poschodí. O jakou hodnotu se zvětší její potenciální tíhová energie, je-li výška jednoho poschodí 5 m? Jakou užitečnou práci přitom vykoná motor výtahu?
3. Z jaké výšky dopadá buchar o hmotnosti 200 kg, jestliže jeho počáteční polohová energie byla 6 kJ?
4. Automobil jedoucí rychlostí 25 km/h zvětší svoji rychlost na 75 km/h. Kolikrát se zvětší jeho kinetická energie?
5. Člověk o hmotnosti 80 kg běží rychlostí 2 m/s. Střela o hmotnosti 20 g je vystřelena rychlostí 400 m/s. Porovnejte jejich kinetickou energii.
6. Kámen o hmotnosti 200g padá po dobu 3 s volným pádem. Určete jeho kinetickou energii při dopadu.
7. Kladivo o hmotnosti 500g dopadne na hřebík rychlostí 3 m/s. Jakou silou působí na hřebík, který pronikne do desky do hloubky 5 cm?



## Procvičování - práce – výkon - účinnost - mechanická energie

1. Vypočtete velikost práce, kterou vykoná člověk o hmotnosti 70kg, pokud vyjde do 2. patra budovy, ve které je výška patra 5 m.
2. Jaký je výkon čerpadla, které načerpá 200l vody ze studny hluboké 15m za 5 minut?
3. Elektromotor má účinnost 80%. Jaké množství elektrické energie spotřebuje, má-li vykonat práci 2400 J ?
4. Těleso má hmotnost 50kg. Jakou potenciální energii získá zvednutím do výšky 15 m nad povrch Země? Jakou má kinetickou energii, pokud se pohybuje rychlostí 20 m/s.



# Moment síly

## Mechanika tuhého tělesa

**Tuhé těleso** je takové těleso, které působením síly nemění tvar ani objem. Pohyb tuhého tělesa, který vzniká působením síly na těleso, může být: **Posuvný** – body tělesa se pohybují po rovnoběžných přímkách

**Otáčivý** – body tělesa opisují kružnice se středem na ose otáčení

Tělesa konají často pohyb **složený**, posuvný a otáčivý současně.

Otáčivý účinek síly na pevné těleso závisí nejen na velikosti a směru síly, ale i na poloze působíště vzhledem k ose otáčení tělesa. Otáčivý účinek síly vyjadřuje veličina zvaná **moment síly** :

$$M = d \cdot F$$

**d** je rameno působící síly **F**, což je vzdálenost vektorové přímky síly od osy otáčení.

Jednotkou momentu síly je newtonmetr.

## Momentová věta

**Otáčivý účinek sil působících na pevné těleso se ruší, pokud je součet jejich momentů nulový**

příklady pohybů – učebnice str. 113 a 116



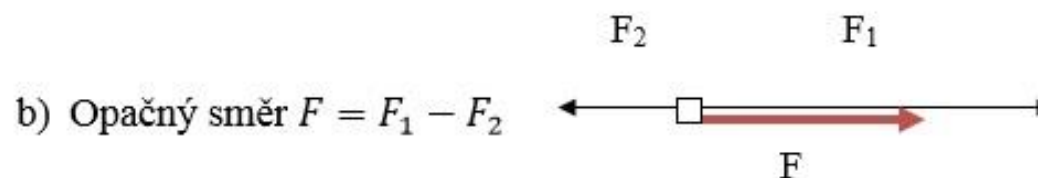
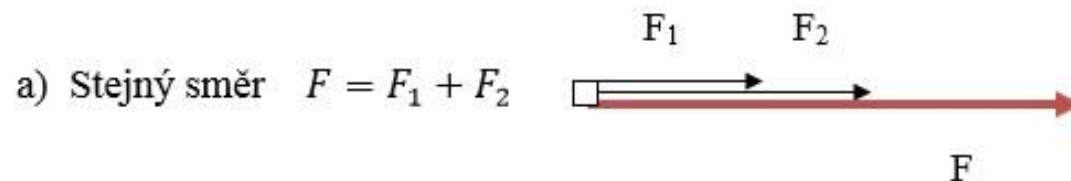


# Skládání sil

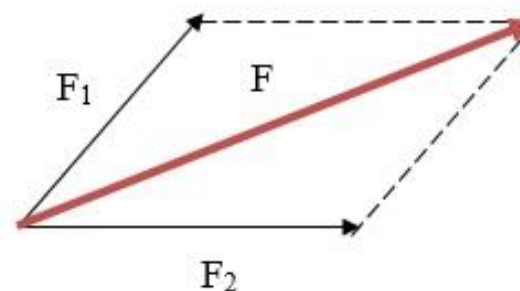
## Skládání sil působících na pevné těleso

Působí-li na pevné těleso více sil, lze tyto síly nahradit jedinou silou - **výslednicí**, která má stejný pohybový účinek na těleso.

**Síly se stejným působištěm:**



c) Síly různého směru lze graficky složit pomocí **silového rovnoběžníku**

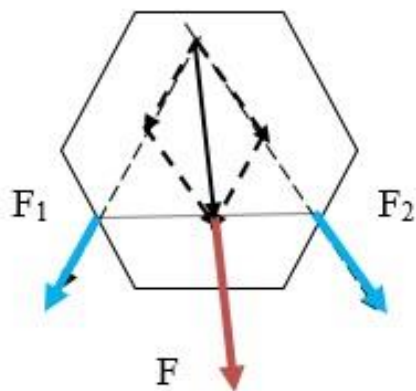




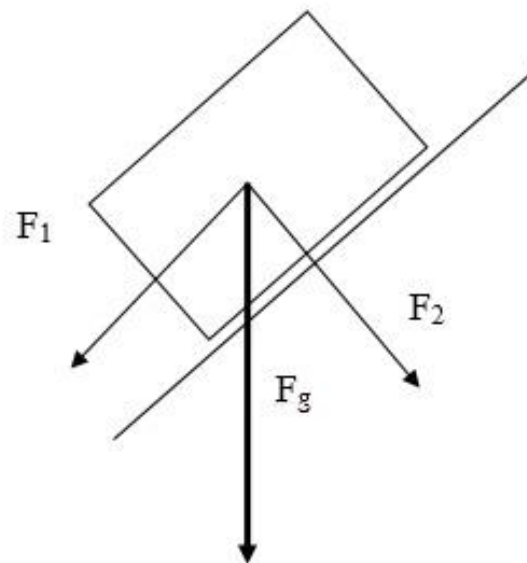
# Rozkládání sil

## Síly s různým působištěm

Výslednici získáme pomocí silového rovnoběžníku  
a působiště pomocí momentové věty



Rozložit sílu znamená nahradit ji dvěma nebo více silami tak, aby se  
pohybový účinek na těleso nezměnil.



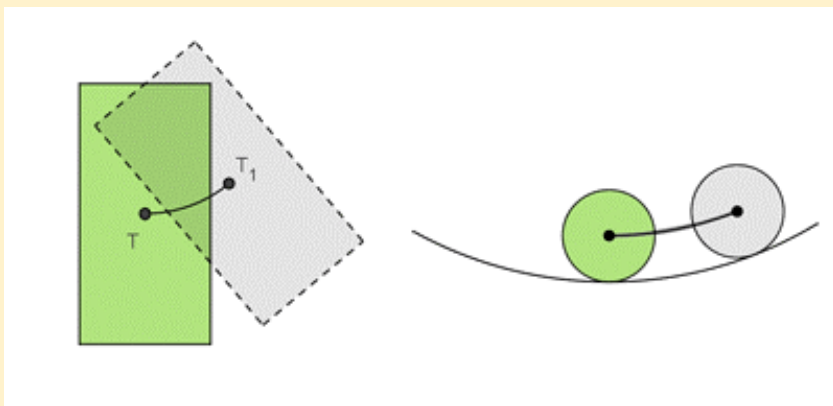
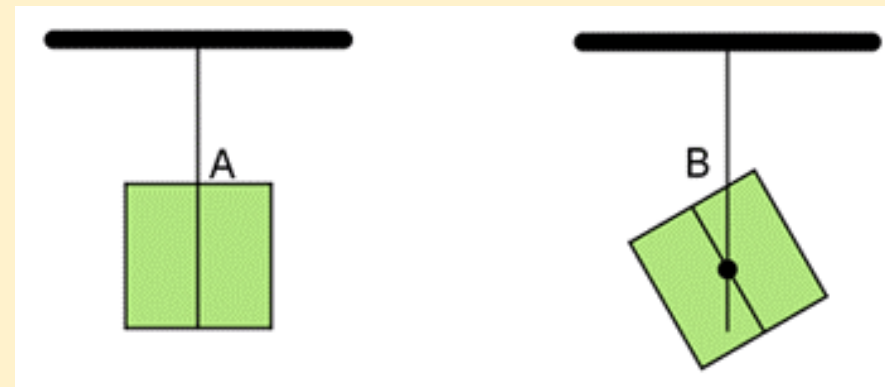
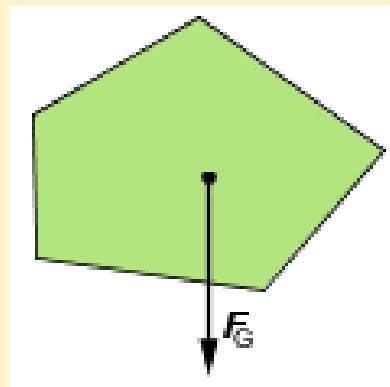
Gravitační sílu  $F_g$  působící na  
těleso na nakloněné rovině lze  
rozložit na pohybovou složku  $F_1$   
a tlakovou složku  $F_2$



# Těžiště tělesa

**Těžiště tělesa je působištěm výslednice všech tíhových sil působících na jednotlivé hmotné body, ze kterých je složeno pevné těleso.** U pravidelných těles je těžiště v jejich geometrickém středu. U nepravidelných těles lze určit těžiště experimentálně.

Poloha těžiště má vliv na stabilitu tělesa.



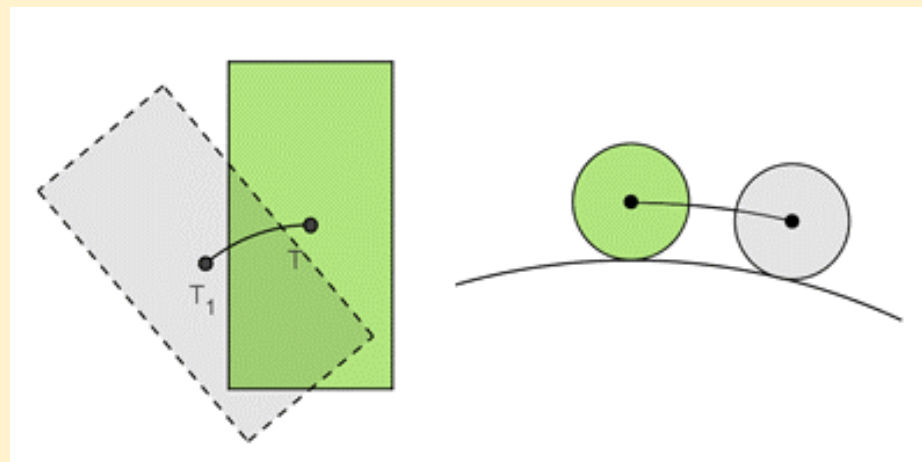
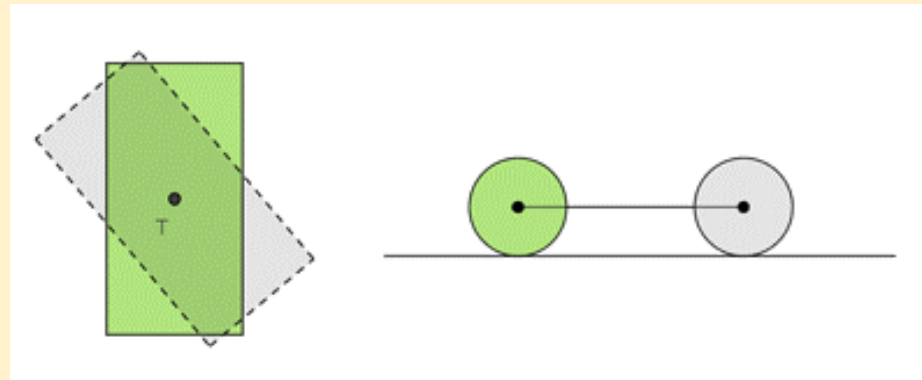
**Stabilní rovnovážná poloha:** Při vychýlení se těžiště tělesa zvedá. Jakmile přestane působit vychylující síla, těžiště se vrátí do původní polohy. Při vychýlení tělesa ze stálé rovnovážné polohy se zvyšuje výška těžiště tělesa vzhledem k povrchu Země a roste také jeho potenciální tíhová energie.

Těleso má ve stálé rovnovážné poloze těžiště v nejnižší možné poloze a jeho **potenciální energie je nejmenší.**



**Volná rovnovážná poloha:** Výška těžiště je nad podložkou a při vychýlení se nezmění. Těleso je zavěšeno přímo v ose těžiště, kulička na vodorovné podložce.

**Labilní rovnovážná poloha:** Těleso se po vychýlení z této polohy ještě více vychýlí a těleso se samovolně do rovnovážné polohy nevrátí. Z labilní polohy přechází těleso do stabilní nebo volné rovnovážné polohy. Při vychýlení z vratké rovnovážné polohy se výška těžiště snižuje a jeho potenciální tíhová energie tělesa klesá. Ve vratké rovnovážné poloze je těžiště v nejvyšší možné poloze a tíhová potenciální energie tělesa je nejvyšší.

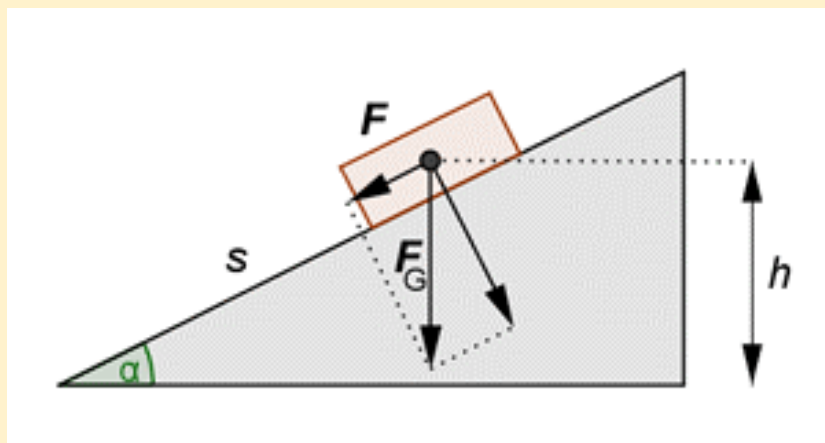




# Jednoduché stroje

Jednoduché stroje jsou pevná tělesa vhodného tvaru, která umožňují **usnadnit** mechanickou práci. Ve skutečnosti se mechanická práce nezmenší, lze ji však vykonat s použitím **menší síly** či směru použité síly.

**Nakloněná rovina** – menší síla závisí na délce a úhlu naklonění



**Páka** – jednozvratná či dvojzvratná, menší síla v závislosti na délce ramene – vzdálenosti od osy otáčení



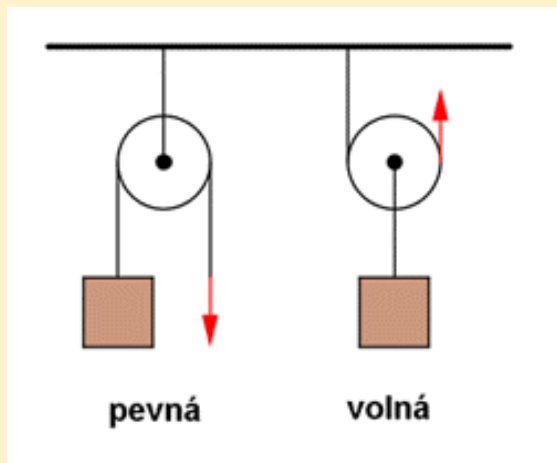




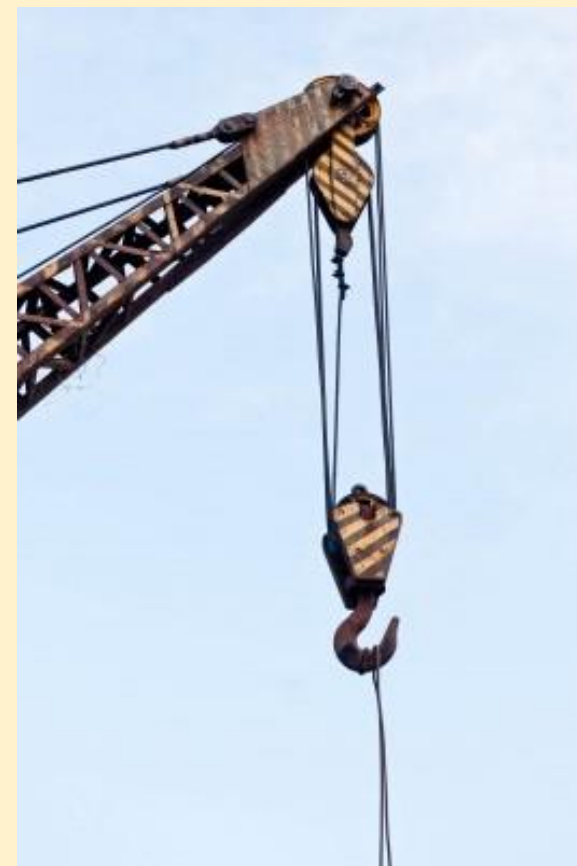
**Kladky** jsou pevná tělesa kruhového tvaru otáčivá kolem osy

**Pevná kladka**- velikost síly je stejná, směr se mění na vhodnější

**Volná kladka**- velikost síly je poloviční, dráha, po které působí, je dvojnásobná



**Kladkostroj** - sestava více kladek, zmenšení použité síly závisí na počtu použitých volných kladek. Výsledná síla je čtvrtinová, osminová ...







# Tlak v tekutinách

## Mechanika kapalin a plynů

Vlastnosti kapalných těles: proměnný tvar, stálý objem, vodorovný volný povrch, tekutost.

Vlastnosti plynných těles: nemají vlastní tvar ani objem, jsou rozpínavé a stlačitelné.

Pro fyzikální popis používáme látky ideálních vlastností:

**Ideální kapalina** : Kapalina dokonale tekutá, bez vnitřního tření a zcela nestlačitelná

**Ideální plyn**: Plyn dokonale tekutý, bez vnitřního tření a zcela stlačitelný



Tlak lze měřit manometrem.

Stav tekutin v klidu popisuje jejich základní vlastnost – **tlak –  $p$**

Velikost tlaku v **kapalině** je tvořena působením gravitačních sil – hydrostatickým tlakem nebo působením vnějších sil.

Velikost tlaku v **plynu** je tvořena působením gravitačních sil – atmosférickým tlakem nebo změnou vnějších podmínek.

Tlak  **$p$**  určujeme jako podíl tlakové síly  **$F$**  a obsahu plochy  **$S$**  na kterou působí

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

Základní jednotkou tlaku je pascal – 1Pa.



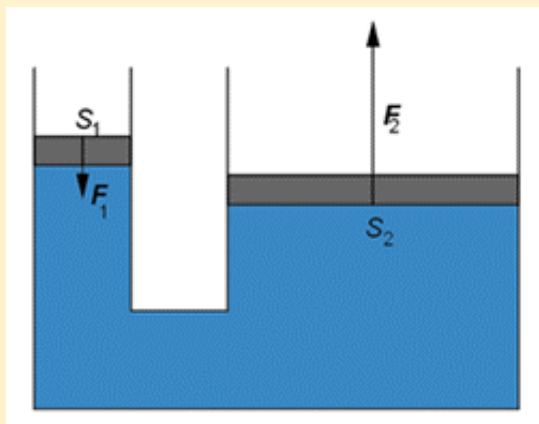
# Pascalův zákon

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

Tento zákon platí i pro plyny.

Působení tlakové síly v tekutinách se využívá v hydraulických a pneumatických zařízeních. **Hydraulické** zařízení tvoří dvě válcové nádoby nestejného obsahu, spojené u dna trubicí. V nádobách je uzavřena pod pohyblivými písty kapalina.

Působíme – li na píst v užším válci o průřezu  $S_1$  tlakovou silou  $F_1$ , přenáší se tato síla do kapaliny, v níž vyvolá tlak  $p_1$ , který je ve všech místech kapaliny uzavřené v hydraulickém zařízení stejný. Proto na širší píst o průřezu  $S_2$  působí



kapalina tlakovou silou.

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

odtud po úpravě

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

Můžeme tedy při působení velmi **malou silou** na jeden píst vyvolat **značnou sílu** na druhém pístu, ovšem práce zůstává stejná. Dráha malého pístu je tolikrát větší, kolikrát větší je síla vyvolaná pístem s větším plošným obsahem.

Ukázka výpočtu příklad 143/3 podněty k debatě 143/1,2,4



Technickým využitím Pascalova zákona jsou: **hydraulická zařízení** - zvedáky, lis, kapalinové brzdy...

**pneumatická zařízení** - pneumatické kladivo, vzduchové brzdy...



Příklad:

Průřezy pístů hydraulického lisu mají obsahy  $20 \text{ cm}^2$  a  $6000 \text{ cm}^2$ . Jak velkou tlakovou silou působí kapalina na širší píst, působíme-li na užší píst silou  $80 \text{ N}$ ? O jakou vzdálenost se posune širší píst směrem vzhůru, posune-li se užší píst o  $30 \text{ cm}$  směrem dolů?



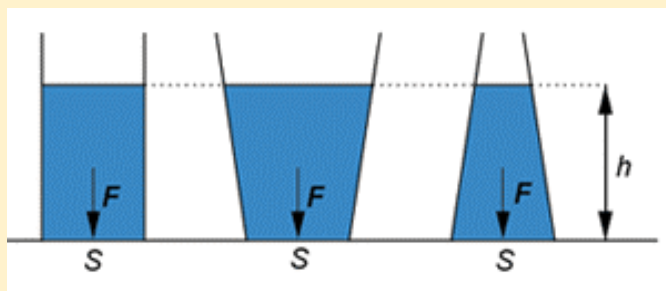
# Hydrostatický tlak

Působením vlastní tíhy kapaliny vzniká v kapalině **hydrostatický tlak**. Jeho velikost závisí na hustotě kapaliny  $\rho$  a na hloubce  $h$  pod volným povrchem kapaliny.

$$p_h = \rho h g$$

Velikost **hydrostatické tlakové síly** působící na plochu  $S$  v kapalině lze pak vypočítat:

$$F_h = \rho S h g$$



Velikost hydrostatické tlakové síly závisí na součinu  $Sh$ , nikoli však na tvaru nádoby a celkovém objemu, tedy množství, kapaliny v nádobě. Tuto skutečnost označujeme jako **hydrostatické paradoxon**.

Příklad:

Jak velká hydrostatická síla působí na dno vodní nádrže v hloubce 3 m, je-li obsah dna  $5 \text{ m}^2$ ? Jaký je v této hloubce hydrostatický tlak?



Ukázka výpočtu příklady 147/2,3

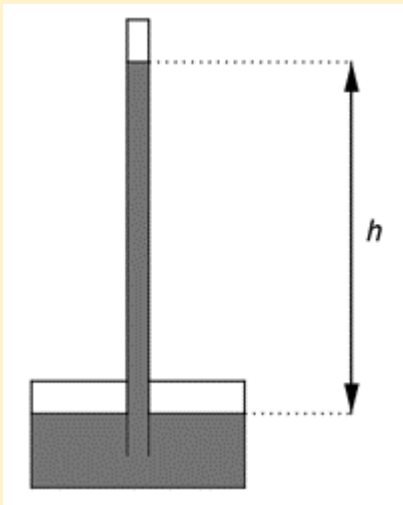
MěSOŠ Klobouky u Brna



# Atmosférický tlak

Tíhou vzduchu v obalu Země, v atmosféře, vzniká atmosférický tlak  $p_a$ . Jeho velikost klesá s nadmořskou výškou. Výpočet nelze provádět podle vzorce pro  $p_h$ , neboť hustota vzduchu není konstantní. Atmosférický tlak lze měřit pomocí rtuťového tlakoměru jehož principem je Torricelliho pokus. V praxi se častěji používají tlakoměry mechanické.

**Normální atmosférický tlak:**  $p_n = 1013,25 \text{ hPa}$



Při větší nadmořské výšce je atmosférický tlak menší, protože sloupec vzduchu je kratší a vzduch má ve větší výšce menší hustotu. Při výstupu o 100 m klesne atmosférický tlak přibližně o 1,3 kPa. Atmosférický tlak klesá podle barometrické rovnice  $p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}$  kde  $p_0$  je atmosférický tlak vzduchu u hladiny moře a  $\rho_0$  je hustota vzduchu u hladiny moře. Tento vztah však platí jen do výšky 100 km. Pro fyzikální výpočty byl dohodnut **normální atmosférický tlak**, který je odvozen z hydrostatického tlaku rtuťového sloupce 760 mm vysokého při 0 °C na 45° severní šířky při hladině moře.

Ukázkové příklady 150/5,6



# Vztlaková síla v kapalinách a plynech

Ze zkušenosti víme, že tělesa ponořená ve vodě jsou lehčí než na vzduchu. Ve vodě totiž na těleso působí síla, kterou nazýváme **vztlaková síla  $F_{vz}$** , která má opačný směr, než tíhová síla  $F_G$ .

## Archimédův zákon

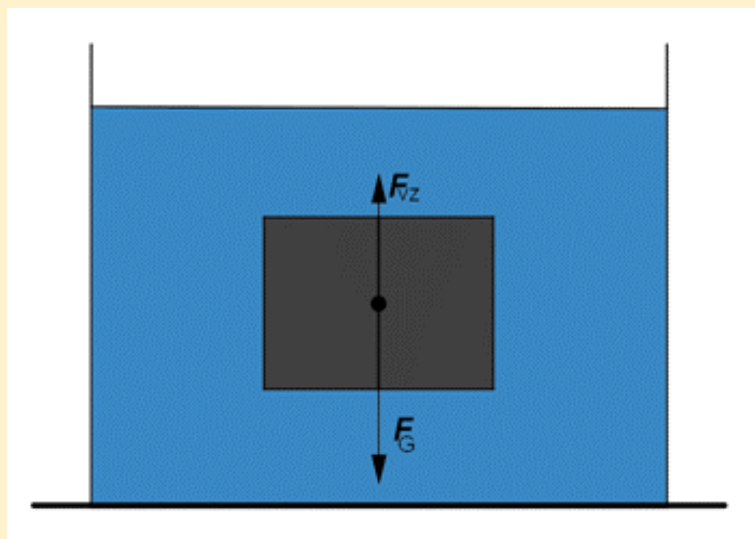
**Těleso ponořené do kapaliny je nadlehčováno vztlakovou silou, jejíž velikost se rovná tíze kapaliny stejného objemu, jako je objem ponořeného tělesa.**

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

$\rho$  je hustota kapaliny a  $V$  objem ponořené části tělesa

Podobně jako v kapalinách jsou tělesa nadlehčována také v plynech.

Vzhledem k velmi malé hustotě plynů je však vztlaková síla působící na těleso umístěné v plynu mnohem menší než vztlaková síla působící na totéž těleso v kapalině.





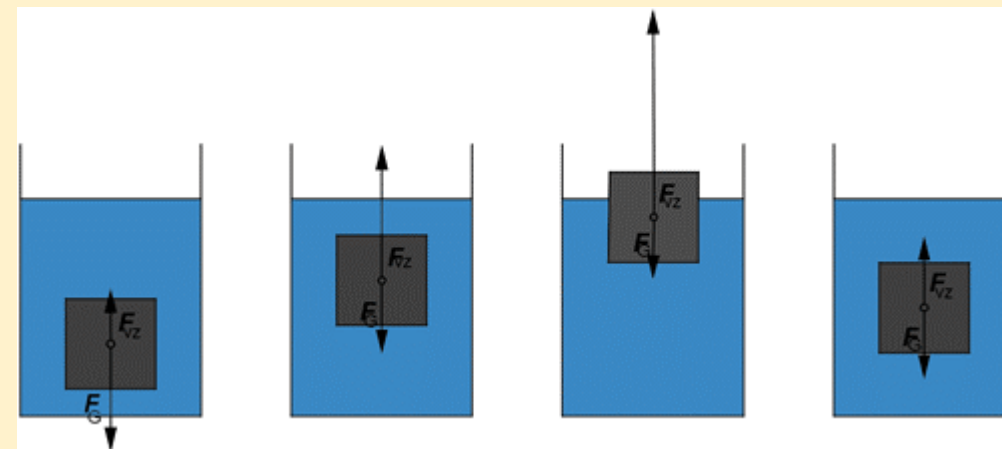


Důsledkem Archimédova zákona je různé chování těles v kapalině. Na těleso působí vztlaková síla  $F_{vz}$  a tíhová síla  $F_g$ . Výslednice působících sil má směr síly větší a velikost rovnou rozdílu velikostí obou sil. Porovnáváme-li velikosti těchto sil, může nastat jeden ze tří případů:

$F_G < F_{vz}$ ,  $\rho_T < \rho$  – těleso **plove** na hladině

$F_G > F_{vz}$ ,  $\rho_T > \rho$  – těleso **klesá** ke dnu

$F_G = F_{vz}$ ,  $\rho_T = \rho$  – těleso se **vznáší** v kapalině.



V kapalině plovou také tělesa zhotovená z materiálu o větší hustotě, než je hustota kapaliny. Na tomto poznatku je založena stavba lodí. Vzhledem k velkému vytlačenému objemu vody a menší průměrné hustotě lodi zůstává značná část ocelové konstrukce lodi pod hladinou. Loď se nepotopí, protože obsahuje dutiny vyplněné vzduchem, jehož hustota je velmi malá, takže průměrná hustota tělesa je pak menší než hustota vody. Obdobná situace je například u balonů ve vzduchu.





# Proudění tekutin

## Objemový průtok

Při ustáleném proudění ideální kapaliny vodorovnou trubicí protéká průřezem  $S$  kapalina rychlostí  $v$ , proteče jím za jednu sekundu kapalina o objemu  $V$ . Objem kapaliny, který proteče daným průřezem trubice za jednotku času, se nazývá

objemový průtok a značí se  $Q_v$  a vypočítá jako

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

Je-li  $v$  rychlost proudící kapaliny, posune se za dobu  $t$  každá částice kapaliny průřezem trubice o dráhu  $s = v \cdot t$ .

Označíme-li obsah průřezu  $S$ , je objem kapaliny  $V = S \cdot v \cdot t$ .

Po dosazení dostaneme pro objemový průtok  $Q_v = S \cdot v$

Objemový průtok měříme v jednotkách  $\text{m}^3 \text{s}^{-1} = \text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

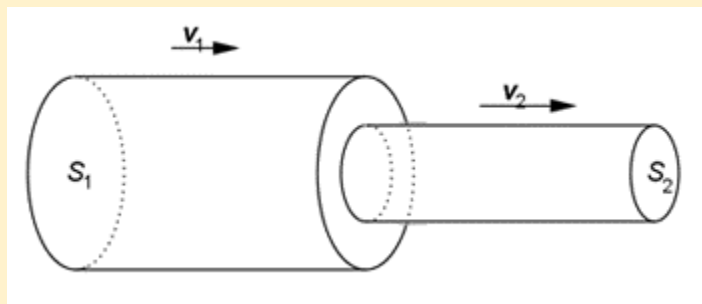
Objem vody, která proteče daným potrubím za libovolnou dobu, měříme **vodoměrem**, objem plynu **plynoměrem**.

Skládá se z lopatkového kola, převodu a počítadla.





## Rovnice spojitosti toku



Kapaliny považujeme za nestlačitelné. Objemový průtok je v libovolném průřezu trubice stejný, pohybují se tedy částice kapaliny v **zúženém** místě trubice **větší** rychlostí. Je-li v průřezu  $S_1$  rychlost proudu kapaliny  $v_1$ , proteče jím za 1 s objem stejný jako v průřezu  $S_2$ , kde je rychlost proudu  $v_2$ . Tedy

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

Při ustáleném proudění ideální kapaliny je součin obsahu průřezu potrubí a rychlosti proudu pro všechny průřezy stálý. Uvedený vztah se nazývá **rovnice spojitosti nebo rovnice kontinuity**. Z rovnice spojitosti vyplývá, že rychlost proudu kapaliny je nepřímo úměrná průřezu trubice. Proto kapalina protéká menším průřezem větší rychlostí než velkým.

## Bernoulliova rovnice

U proudící kapaliny v potrubí, které má různé průměry, není tlak ve všech místech stejný. V místě s větším průřezem má proudící kapalina větší tlak, ale menší rychlost, zatímco v místě s menším obsahem průřezu má menší tlak, ale větší rychlost. Pokud určíme kinetickou energii, kterou má proudící kapalina o jednotkovém objemu ve vodorovné trubici, kde  $m$  je hmotnost nějakého kapalného tělesa a  $v$  jeho rychlost, má kapalně těleso kinetickou energii.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$



V proudící kapalině se nemůže měnit mechanická energie v jiné formy energie, je součet kinetické a tlakové potenciální energie v **jednotkovém** objemu kapaliny pro oba průřezy trubice stejný. Platí tedy:

Tento vztah se nazývá **Bernoulliho rovnice** a vyjadřuje zákon zachování energie ideální kapaliny proudící ve vodorovné trubici.

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

↓  
dynamický tlak

↓  
statický tlak

**Součet kinetické a tlakové potenciální energie proudící kapaliny o jednotkovém objemu je ve všech místech trubice stejný.**

Bernoulliho rovnice platí i pro plyny. Ty ale při malé změně teploty mění své fyzikální vlastnosti – hustotu, viskozitu apod. a navíc na rozdíl od kapalin jsou stlačitelné.

### **Praktické využití této zákonitosti:**

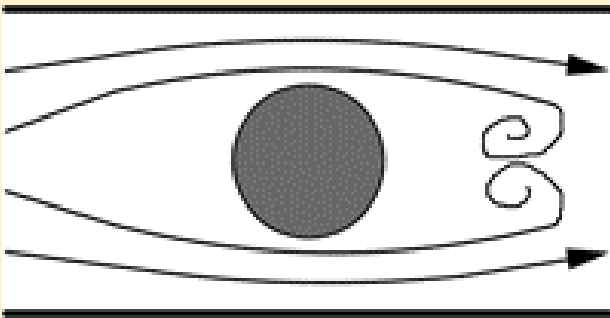
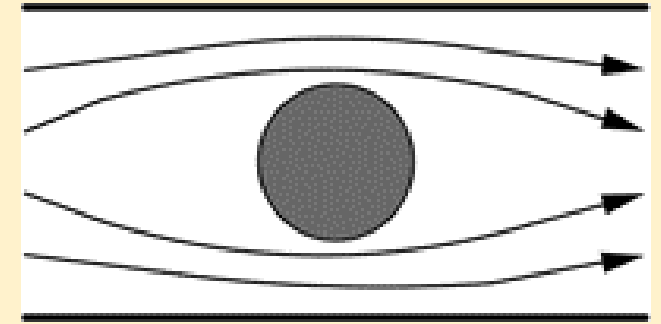
rozprašování kapaliny, proudícím plynem - fixírka  
odsávání plynu proudící kapalinou - vývěva



# Obtékání těles

Při malé rychlosti proudu vzniká kolem tělesa většinou **laminární proudění**.

K povrchu tělesa přilne nejbližší mezní vrstva tekutiny, po které se posouvá druhá vrstva a po ní další atd. Poněvadž jsou proudnice kolem tělesa rozloženy souměrně, je také rozložení tlakových sil působících na těleso souměrné a tekutina působí na těleso jen velmi malou výslednou tlakovou silou, v případě ideální kapaliny je nulová.



Při větších rychlostech proudu se proudnice od tělesa odtrhávají a za tělesem vzniká **turbulentní proudění**. Tlaková síla působící na čelní stěnu pláště tělesa je větší než tlaková síla, která působí na zadní stěnu pláště, kde tekutina víří. Výslednice se nazývá **odporová** hydrodynamická (popř. aerodynamická) **síla**. Popsanému jevu říkáme odpor prostředí. Je-li  $S$  obsah čelního průřezu tělesa,  $v$  je rychlost jeho pohybu, pak tekutina působí na obtékané těleso tlakovou silou:

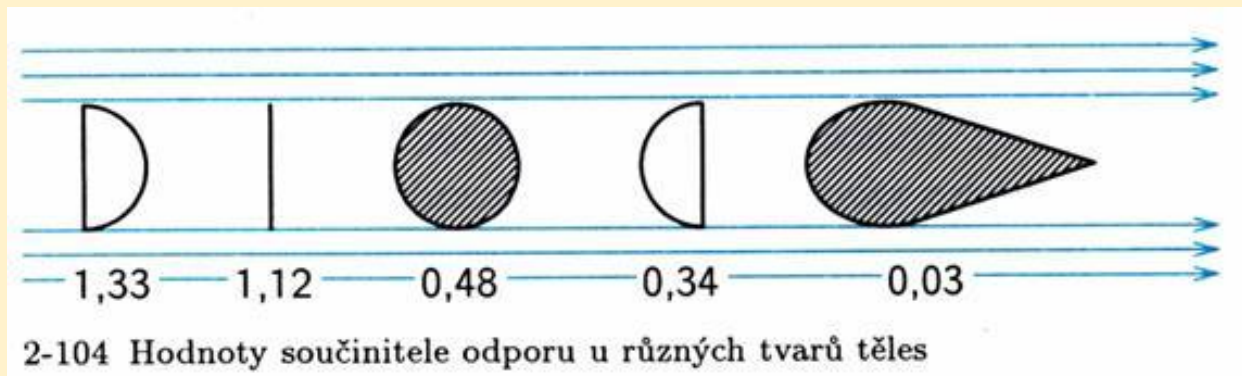
$$F = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2$$

$C$  je **součinitel odporu**, který závisí na tvaru tělesa





Z měření v aerodynamickém tunelu na modelech plynou následující hodnoty pro koeficient  $C$  odporu vzduchu:



|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Dutá polokoule proti proudu, padák        | 1,4  |
| Rovinná deska kolmo k proudu              | 1,2  |
| Koule                                     | 0,5  |
| Dutá polokoule po proudu                  | 0,4  |
| Kabriolet                                 | 0,9  |
| Osobní automobil                          | 0,5  |
| Automobil proudnicového tvaru             | 0,2  |
| Těleso proudnicového tvaru, profil křídla | 0,06 |

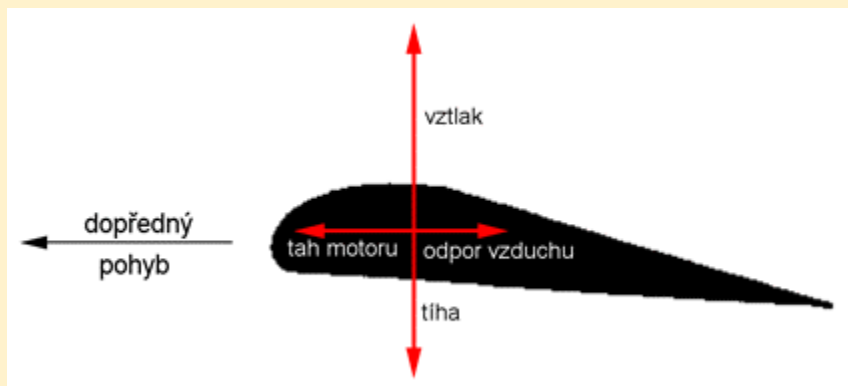
Díky těmto poznatkům můžeme tvar těles  
přizpůsobit požadavku velkého  
či malého odporu.







## Letecké křídlo



Vpředu, na náběžné hraně, je tvar zaoblený, zespodu poměrně plochý, nahoře naopak značně vyklenutý; dozadu se jeho výška rychle zmenšuje – horní a dolní povrch se vzadu sbíhá do ostré odtokové hrany.

Profil křídla, má **aerodynamický tvar**, umožňuje letadlu, aby se samo vzneslo od země. Při dopředném pohybu křídlo rozráží vzduch, který proudí nad a pod ním. Protože horní strana profilu je vyklenutá (a tedy delší než spodní), musí se při dané rychlosti letadla vzduch kolem ní pohybovat rychleji než kolem spodní strany.

Podle Bernoulliovy rovnice klesá v rychlejším proudu vzduchu tlak – nad křídlem vzniká sání (podtlak), pod křídlem přetlak. Tento rozdíl – **vztlak** – se s rostoucí rychlostí zvětšuje a křídlo nadnáší. Vztlak a tíha jsou dvě z hlavních opačně orientovaných sil, které působí na letoun. Další dvě jsou tah vytvářený motory – a odpor, způsobovaný vzduchem, v němž se letadlo pohybuje. **Vztlak** vyvíjený křídlem roste s rychlostí. Vztlak rovněž vzrůstá se zvětšováním nosné plochy (půdorysné plochy křídla) a větším zakřivením (klenutím) profilu. Pomalá letadla proto potřebují pro vytvoření dostatečného vztlaku rozměrné křídlo se značně klenutým profilem. Rychlým letadlům naopak postačí menší křídlo s málo vyklenutým profilem.





# Využití energie proudících tekutin

Vodní motory zužitkovávají energii proudící vody. Až do vynálezu parního stroje byla vodní kola jedinou náhradou za energii lidských a zvířecích svalů. Vodní turbíny se pro svou velmi dobrou účinnost využívají dodnes.

Ve vodních elektrárnách se kinetická energie proudící vody přeměňuje v energii elektrickou. Podobně lze k pohonu strojů i výrobě elektřiny využít energii větru.



Vodní kolo



Kaplanova turbína



Větrný mlýn v Kloboukách u Brna



Větrná elektrárna



## Zdroje

### Knihy:

Lepil, Bednařík a Hýblová. *Fyzika pro střední školy I* Praha: Prometheus,  
1993 ISBN 80-7196-184-1

Lepil, Bednařík a Hýblová. *Fyzika pro střední školy II* Praha: Prometheus,  
2002 ISBN 80-7196-185-X

### Elektronické zdroje:

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.edunet.souepl.cz](http://www.edunet.souepl.cz)

[www.newsroom.intel.com](http://www.newsroom.intel.com)

[www.fyzika.jreichl.com](http://www.fyzika.jreichl.com)

[www.cez.cz](http://www.cez.cz)

[www.didaktik.cz/fyzika](http://www.didaktik.cz/fyzika)

[www.techmania.cz](http://www.techmania.cz)

# KONEC