

## 1.2.6 2. Newtonův zákon II

**Předpoklady:** 010205

**Př. 1:** Automobil zrychlí z 0 km/h na 100 km/h za 8 s. Urči velikost síly, která auto uvádí do pohybu, pokud automobil váží 1,6 tuny. Předpokládej rovnoměrně zrychlený pohyb auta.

$$v = 100 \text{ km/h} = 27,8 \text{ m/s}, \Delta t = 8 \text{ s}, m = 1,6 \text{ t} = 1600 \text{ kg}, F = ?$$

Velikost síly způsobující zrychlení můžeme určit z 2. Newtonova zákona:  $a = \frac{F}{m} \Rightarrow F = ma$ .

$$\Rightarrow \text{Musíme určit velikost zrychlení: } a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t}.$$

$$\Delta v = v - 0 = 27,8 \text{ m/s}$$

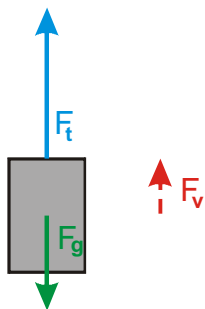
$$\text{Dosazení: } F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = 1600 \cdot \frac{27,8}{8} \text{ N} = 5560 \text{ N}$$

Auto urychluje síla o velikosti 5560 N.

**Pedagogická poznámka:** Následující příklad studenti v naprosté většině případů nevyřeší. Po krátké chvilce je třeba příklad načít u tabule. Je třeba pomáhat pouze po krocích a nechat žáky, aby sami nakreslili obrázek a síly, napsali vztah pro  $F_v$ , ...

**Př. 2:** Jakou silou musíme táhnout kolmo vzhůru závaží o hmotnosti 5 kg, aby se pohybovalo se zrychlením  $2 \text{ m/s}^2$ .

Nakreslíme si síly působící na závaží.



Závaží zrychluje směrem vzhůru  $\Rightarrow$  pro výslednou sílu platí:  $F_v = F_t - F_g$ .

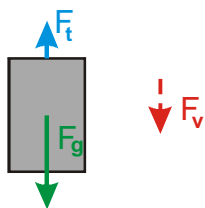
Výslednou sílu můžeme určit z hmotnosti a zrychlení:  $a = \frac{F_v}{m} \Rightarrow F_v = ma$ .

$$F_t = F_g + F_v = mg + ma = m(g + a) = 5 \cdot (10 + 2) \text{ N} = 60 \text{ N}$$

Závaží musíme táhnout vzhůru silou 60 N.

**Př. 3:** Je možné, aby na závaží z předchozího příkladu působila směrem vzhůru síla  $F_t$  a závaží přitom zrychlovalo směrem dolů? Pokud to možné je, jaká by musela být velikost této síly, aby se závaží pohybovalo se zrychlením  $3 \text{ m/s}^2$ ? Domysli.

Nakreslíme si síly působící na závaží.



Závaží zrychluje směrem dolů  $\Rightarrow$  pro výslednou sílu platí:  $F_v = F_g - F_t \Rightarrow F_t = F_g - F_v$ .

Výslednou sílu můžeme určit z hmotnosti a zrychlení:  $a = \frac{F_v}{m} \Rightarrow F_v = ma$ .

$$F_t = F_g - F_v = mg - ma = m(g - a) = 5 \cdot (10 - 3) \text{ N} = 35 \text{ N}$$

Pokud na závaží působí závěs silou 35 N, závaží zrychluje směrem dolů se zrychlením  $3 \text{ m/s}^2$ .

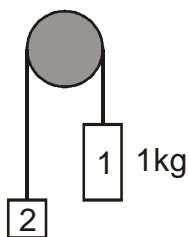
Pokud se bude závaží pohybovat dolů s větším zrychlením, bude se zmenšovat potřebná síla závěsu, postupně až k nule pro  $a = g$  (v tomto okamžiku však závaží přestává být shora zavěšené, shora zavěšené závaží může zrychlovat směrem dolů se zrychlením menším než  $g$ ).

Pokud budeme sílu  $F_t$  zvětšovat bude se zrychlení závaží zmenšovat až do okamžiku, kdy síla  $F_t$  vyrovná sílu  $F_g$  a závaží se kvůli nulové výslednici začne pohybovat rovnoměrně (s nulovým zrychlením).

**Pedagogická poznámka:** Pokynem domysli se snažím žáky tlačít k tomu, aby se snažili zamyslet nad důsledky, které z výsledků příkladu plynou, jaké jsou hraniční hodnoty apod.

**Př. 4:** Přes velmi lehkou kladku je přehozen provázek a jeho koncích jsou zavěšena závaží o hmotnostech 1 a 0,5 kg. S jakým zrychlením se bude soustava obou závaží pohybovat? Tření, hmotnost kladky i provázku zanedbej.

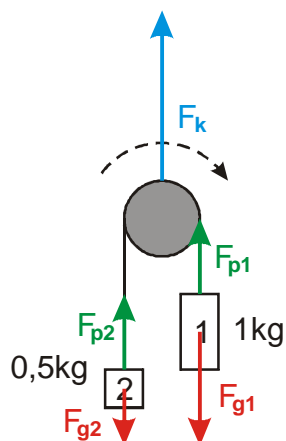
Obrázek situace:



0,5kg

Obě závaží se snaží strhnout provázek na svou stranu, větší silou působí těžší závaží  $\Rightarrow$  provázek se bude pohybovat za ním.

Nakreslíme do obrázku síly, které působí na obě závaží.



Působící síly jsou nakresleny třemi různými barvami:

- Červeně zakreslené síly  $F_{g1}$  a  $F_{g2}$  působí ve směru, kterým zrychlují závaží (síla  $F_{g1}$  ve stejném směru, síla  $F_{g2}$  proti němu)  $\Rightarrow$  obě mají vliv na velikost zrychlení.
- Modře nakreslená síla  $F_k$  působí kolmo na směr, ve kterém se v daném místě pohybuje provázek  $\Rightarrow$  nemá vliv na velikost zrychlení (pouze zabraňuje pádu provázku ve svislém směru).
- Zelené síly provázku  $F_{p1}$  a  $F_{p2}$  na obě závaží sice působí ve směru zrychlování provázku, ale jsou stejně velké, opačného směru a proto se navzájem vyruší  $\Rightarrow$  nemají vliv na velikost zrychlení.

Výsledná síla způsobující zrychlování soustavy obou závaží:  $F = F_{g1} - F_{g2}$  (síla  $F_{g2}$  se snaží zabránit roztáčení kladky ve směru hodinových ručiček).

Hmotnost soustavy, která zrychluje:  $m = m_1 + m_2$ .

$$\text{Zrychlení soustavy: } a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g1} - F_{g2}}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 g - m_2 g}{m_1 + m_2} = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}.$$

$$\text{Dosazení: } a = g \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} = 10 \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} \text{ m/s}^2 = 3,3 \text{ m/s}^2.$$

Soustava závaží se bude pohybovat se zrychlením  $3,3 \text{ m/s}^2$ .

**Dodatek:** Ke stejné velikosti sil  $F_{p1}$  a  $F_{p2}$ . Pokud si představíme provázek jako zprostředkovatele vzájemného působení obou závaží (závaží jsou spojena provázekem, aby na sebe mohla vzájemně působit) je jasné, že síly  $F_{p1}$  a  $F_{p2}$  tvoří partnerskou dvojici, která musí mít stejnou velikost. Síly nemají opačný směr, je to však způsobeno kladkou, která „zatačí“ provázek. Pokud bychom si představili provázek vodorovný, síly by opačný směr měly.

- **Zrychlení soustavy předmětů způsobují pouze síly, kterými působí okolní předměty. Do výsledné působící síly započítáváme pouze síly (nebo jejich složky), které působí ve směru pohybu.**
- **Vzájemné působení jednotlivých částí se navzájem vyruší (je tvořeno partnerskými silami).**

**Pedagogická poznámka:** Po vyřešení příkladu se studentů ptám na vzájemnou velikost sil  $F_{g1}$ ,  $F_{p1}$  ( $F_{g2}$ ,  $F_{p2}$ ). Jde o to, aby studenti byli schopni vysvětlit, která z nich a proč je větší (například ve dvojici  $F_{g1}$ ,  $F_{p1}$  je větší síla  $F_{g1}$ , která působí ve směru zrychlování).

**Pedagogická poznámka:** Způsob řešení uvedený výše bývá často odmítán jako špatný (jednotlivá závaží zrychlují v různých směrech a tak není možné počítat jejich společné zrychlení). Když si představíme místo soustavy závaží provázek na podstatě problému se nic nemění (opět různé části provázku zrychlují v různých směrech) a přesto je možné mluvit o zrychlování provázku jako celku. Zmiňovaná diskuse opomíjí hlavní problém. Doporučované řešení těchto příkladů

(například ve sbírce úloh pro gymnázia od K. Bartušky) je v tomto okamžiku zcela mimo možnosti studentů.

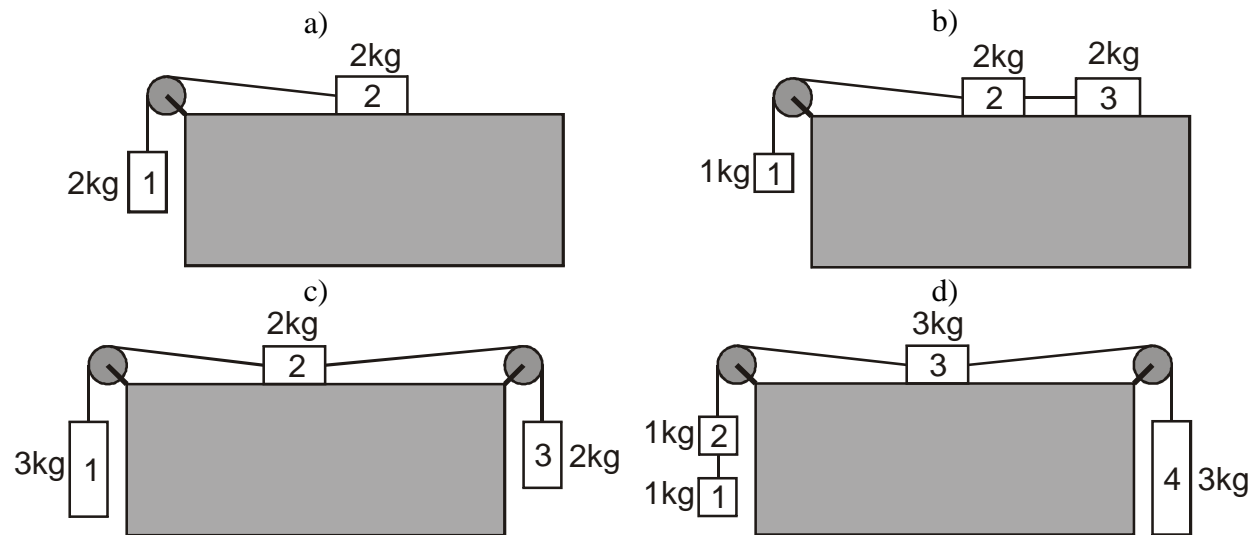
**Pedagogická poznámka:** Předchozí příklad (stejně tak následující a několik v dalších hodinách) bývá ve Strakonících označován jako vozíčky. Dlouhou dobu jsem byl poměrně skeptický k jejich užitečnosti. Začal jsem si jich více vážit, když se ukázalo se, že jsou pro žáky dobrou příležitostí k tomu, aby se naučili rozlišovat, která síla má na výsledný pohyb vliv a která ne (a orientovat se v situaci). Důležité je zdůraznit studentům, že neexistuje žádný postup, který by jim umožnil příklad vyřešit bez zamyšlení se nad konkrétní situací a působícími silami. Jedinou

jistotou je vztah  $a = \frac{F}{m}$ , do kterého musíme dosadit výslednou sílu spočtenou

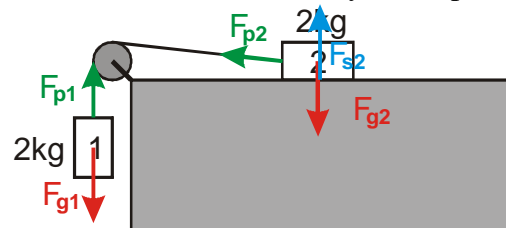
v každém příkladě jinak v závislosti na konkrétní situaci.

**Pedagogická poznámka:** Co nestihnou žáci o hodině, nechávám je dodělat doma.

**Př. 5:** Urči zrychlení soustav závaží na jednotlivých obrázcích.



a) Nakreslíme do obrázku síly, které působí na jednotlivá závaží.

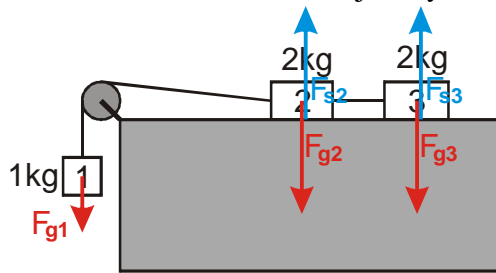


- Síly  $F_{g2}$  a  $F_{s2}$  se navzájem vyruší  $\Rightarrow$  neovlivňují urychlování soustavy (navíc působí kolmo na směr zrychlování).
- Síly  $F_{p1}$  a  $F_{p2}$  se navzájem vyruší (pouze drží soustavu pohromadě)  $\Rightarrow$  neovlivňují urychlování soustavy.

$\Rightarrow$  Jedinou silou, která způsobuje urychlování soustavy je síla  $F_{g1}$ .

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g1}}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2} = \frac{2 \cdot 10}{2 + 2} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2$$

b) Nakreslíme do obrázku vnější síly, které působí na jednotlivá závaží:

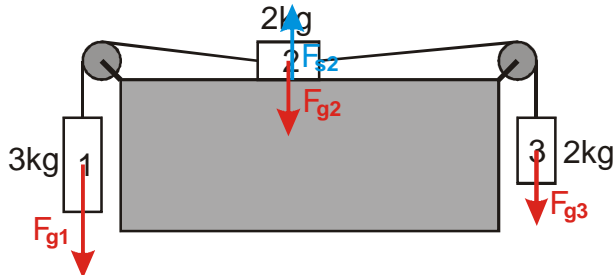


- Síly  $F_{g2}$  a  $F_{s2}$  neovlivňují urychlování soustavy.
- Síly  $F_{g3}$  a  $F_{s3}$  neovlivňují urychlování soustavy.

⇒ Jedinou silou, která způsobuje urychlování soustavy je síla  $F_{g1}$ .

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g1}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{m_1 g}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{1 \cdot 10}{1 + 2 + 2} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$$

c) Nakreslíme do obrázku vnější síly, které působí na jednotlivá závaží:

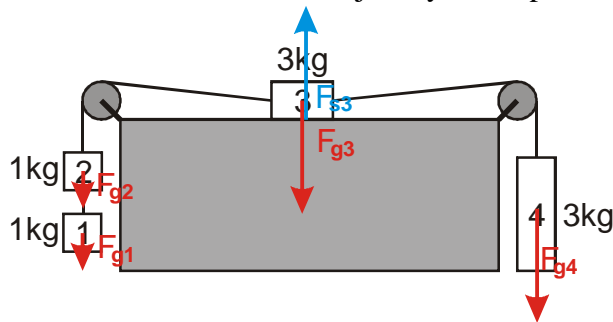


- Síly  $F_{g2}$  a  $F_{s2}$  se navzájem vruší (navíc jsou kolmé na směr zrychlování) ⇒ neovlivňují urychlování soustavy.

⇒ Zrychlování soustavy ovlivňují síly  $F_{g1}$  a  $F_{g3}$ .

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g1} - F_{g3}}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{m_1 g - m_3 g}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{3 \cdot 10 - 2 \cdot 10}{3 + 2 + 2} \text{ m/s}^2 = \frac{10}{7} \text{ m/s}^2 = 1,43 \text{ m/s}^2$$

d) Nakreslíme do obrázku vnější síly, které působí na jednotlivá závaží:



- Síly  $F_{g3}$  a  $F_{s3}$  se navzájem vruší (navíc jsou kolmé na směr zrychlování) ⇒ neovlivňují urychlování soustavy.

⇒ Zrychlování soustavy ovlivňují síly  $F_{g1}$ ,  $F_{g2}$  a  $F_{g4}$ .

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F_{g4} - F_{g1} - F_{g2}}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{m_4 g - m_1 g - m_2 g}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4} = \frac{3 \cdot 10 - 1 \cdot 10 - 1 \cdot 10}{1 + 1 + 3 + 3} \text{ m/s}^2 = \frac{10}{8} \text{ m/s}^2 = 1,25 \text{ m/s}^2$$

---

**Shrnutí:** Na výpočet zrychlování soustav neexistuje jednoznačný must, musíme postupovat případ od případu podle konkrétní situace.