

## 2.5.14 Slovní úlohy o pohybu

**Předpoklady:** 020508, 020513

**Pedagogická poznámka:** Obsah hodiny není možné stihnout za 45 minut. Ideální je věnovat hodiny dvě, pokud máte málo času, je možné vynechávat (nejspíše příklad 2 a 7, případně další). Hlavním cílem hodiny je sestavování rovnic, proto v okamžiku sestavení rovnice nenechávám třídu vždy dopočítávat a jdeme na další příklad. Při sestavování rovnice provádíme kontrolu vždy po krocích, ne po celých příkladech. Šikovnější samozřejmě počítají dopředu.

Nejdříve minuta fyziky.

Auto jede rychlostí 90 km/h. Kolik ujede za:

1 hodinu	90 km
2 hodiny	180 km
10 hodin	900 km

⇒ pokud se někdo nebo něco pohybuje stále stejnou rychlostí, platí vztah  $dráha = rychlost \cdot čas$ , vzorcem  $s = vt$ .

Ze vztahu jde samozřejmě vypočítat i rychlost a čas.

O všech pohybech v našich příkladech budeme předpokládat, že jsou rovnoměrné.

**Pedagogická poznámka:** Následující příklady sice nevedou na kvadratickou rovnici, ale k ostatním logicky patří. Příklady vedoucí na kvadratické rovnice jsou většinou těžší a následují vzápětí.

Při řešení příkladů o pohybech platí vše, co jsme si říkali o řešení slovních úloh obecně, zejména:

- Řešení nehledáme najednou, ale postupně.
- Musíme znát význam každého výrazu v zadání.
- Každá informace v zadání většinou slouží k sepsání jedné rovnice nebo jednoho vztahu mezi veličinami.

Většinu příkladu je možné řešit přibližně tímto postupem (je nutné upozornit, že nejde o závazný nebo vše řešící doslovný manuál):

- Provedeme označení neznámých. Pokud má pohyb více částí (rychlejší, pomalejší ...), v každé části označíme dráhu, rychlost i čas odpovídajícím indexem.
- Sestavíme základní rovnici. Tento krok je nejtěžší, naštěstí základní rovnice nemusí být pouze jedna, většinou je možné volit z více variant, které všechny vedou ke správnému výsledku. Tato rovnice vyjadřuje vztah mezi hodnotami jedné veličiny v různých částech pohybu, většinou ji lze najít podle následujících znaků:
  - Jde o veličinu, jejíž hodnoty popisují základní informaci v zadání (pokud je hlavní informací příkladu, že všichni ujeli stejnou vzdálenost, měla by to být rovnice pro dráhu, pokud jde o to, že se dodržel jízdní řád, mělo by jít o rovnici pro čas...).
  - Jde o veličinu, jejíž hodnoty neznáme (abychom byli nuceni dosazovat).
  - Nejde o veličinu, jejíž hodnotu máme spočítat (při dalším postupu budeme dosazováním druh veličiny měnit a tím řešení prodloužíme).

- Pomocí jednoho ze vztahů  $s = vt, v = \frac{s}{t}; t = \frac{s}{v}$  přejdeme v základní rovnici k jiné veličině (a využijeme část informací ze zadání).
- Využijeme zbývající informace ze zadání, aby v rovnici zůstala jediná proměnná (pokud v rovnici před tímto bodem byly například dvě různé rychlosti, v tomto bodě musíme zajistit pomocí vztahu mezi nimi, aby zůstala jediná).
- Vzniklou rovnici (nebo jejich soustavu) řešíme.

**Př. 1:** První část cyklistické trasy tvoří stoupání dlouhé 3 km, zbylou část klesání dlouhé 13 km. Pavlova průměrná rychlost na celé trase byla dvojnásobkem jeho rychlosti na první části trasy, jež byla o 16 km/h menší než na druhé části trasy. Za jak dlouho ujel Pavel celou trasu?

**Volba proměnných:** Trasa má dvě části.

- **Nahoru:** Jede dráhu nahoru  $s_n = 3$  km, rychlostí  $v_n$  po dobu  $t_n$ .
- **Dolů:** Jede dráhu dolů  $s_d = 13$  km, rychlostí  $v_d$  po dobu  $t_d$ .
- **Celkově:** Ujel dráhu  $s$ , průměrnou rychlostí  $v_p$  za dobu  $t$ .

**Základní rovnice:** Potřebujeme sice určit čas, ale v průběhu pohybu je řeč o třech rychlostech  $\Rightarrow$  získali bychom dvě rovnice (problém), všechny dráhy známe (rovnice z nich by neobsahovala žádnou proměnnou)  $\Rightarrow$  sestavíme rovnici pro čas:

Celkový čas je součet času pro jízdu do kopce a z kopce:  $t = t_n + t_d$ .

**Změna veličiny:** Časy můžeme vyjádřit pomocí drah a rychlostí (vzorec  $t = \frac{s}{v}$ ):

$$\frac{s}{v_p} = \frac{s_n}{v_n} + \frac{s_d}{v_d}$$

Délky tras známe:  $\frac{16}{v_p} = \frac{3}{v_n} + \frac{13}{v_d}$ .

**Snížení počtu neznámých:** Pomocí informací ze zadání vyjádříme všechny rychlosti pomocí jedné z nich.

Průměrná rychlost na celé trase byla dvojnásobkem jeho rychlosti na první části:  $v_p = 2v_n$

Rychlosti na první části byla o 16 km/h menší než na druhé části trasy:  $v_d = v_n + 16$

Dosadíme:  $\frac{16}{2v_n} = \frac{3}{v_n} + \frac{13}{v_n + 16} \quad / \cdot 2v_n \cdot (v_n + 16)$

$$16v_n + 256 = 3 \cdot 2 \cdot (v_n + 16) + 13 \cdot 2 \cdot v_n$$

$$16v_n + 256 = 6v_n + 96 + 26v_n$$

$$16v_n = 160$$

$$v_n = 10 \text{ km/h}$$

$$v_p = 2v_n = 2 \cdot 10 = 20 \text{ km/h}$$

$$t = \frac{s}{v_p} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5} \text{ hod} = 48 \text{ min}$$

Pavel jel celou trasu 48 minut.

**Př. 2:** Osobní auto projelo dálniční úsek stálou rychlostí. Při rychlosti o 20 km/h větší by mu jízda trvala o 12 minut méně, při rychlosti o 20 km/h nižší o 18 minut více. Urči délku úseku.

**Volba proměnných:** Příklad mluví o třech pohybech:

- **Skutečná jízda:**  $s_s, v_s, t_s$
- **Rychlejší jízda:**  $s_r, v_r, t_r$
- **Pomalejší jízda:**  $s_p, v_p, t_p$

**Základní rovnice:** Základní informací příkladu je, že auto ve všech třech případech projelo stejnou dráhu. Jde o srovnání tří pohybů  $\Rightarrow$  sestavíme dvě rovnice pro dráhu:

Délka dálničního úseku je stále stejná:

$$s_s = s_r$$

$$s_s = s_p$$

**Změna veličiny:** Dráhy můžeme vyjádřit pomocí rychlostí a časů (vzorec  $s = vt$ ):

$$v_s t_s = v_r t_r$$

$$v_s t_s = v_p t_p$$

**Snížení počtu neznámých:** Pomocí informací ze zadání vyjádříme všechny rychlosti pomocí jedné z nich.

Při rychlosti o 20 km/h větší by mu jízda trvala o 12 minut méně:  $v_s t_s = (v_s + 20) \cdot \left( t_s - \frac{12}{60} \right)$

Při rychlosti o 20 km/h nižší by mu jízda trvala o 18 minut více:  $v_s t_s = (v_s - 20) \cdot \left( t_s + \frac{18}{60} \right)$

Sestavíme rovnice do soustavy a přestaneme psát indexy (všechny jsou stejné):

$$vt = (v + 20) \cdot \left( t - \frac{12}{60} \right)$$

$$vt = (v - 20) \cdot \left( t + \frac{18}{60} \right)$$

$$vt = (v + 20) \cdot \left( t - \frac{1}{5} \right)$$

$$vt = (v - 20) \cdot \left( t + \frac{3}{10} \right)$$

$$vt = vt - 4 - \frac{v}{5} + 20t$$

$$vt = vt - 6 + \frac{3v}{10} - 20t$$

$$20t = 4 + \frac{v}{5} \quad / \cdot 5$$

$$-20t = 6 - \frac{3v}{10} \quad / \cdot 10$$

$$v - 100t = -20$$

$$200t - 3v = -60$$

Vyjádříme  $v$ :  $v - 100t = -20 \Rightarrow v = 100t - 20$  a dosadíme do druhé rovnice:

$$200t - 3(100t - 20) = -60$$

$$10t = 12$$

$$t = 1,2 \text{ h}$$

$$v = 100 \cdot 1,2 - 20 \Rightarrow v = 100 \text{ km/h}$$

$$s = 100 \cdot 1,2 \Rightarrow s = 120 \text{ km}$$

Dálniční úsek má délku 120 kilometrů.

**Poznámka:** Z obou předchozích příkladů je zřejmé, že nemůžeme zásady uvedené v začátku kapitoly uplatňovat mechanicky. Vždy záleží na konkrétní situaci, nejlepším vodítkem je zkušenost.

**Př. 3:** Chodec ušel vzdálenost 8 km. Kdyby šel rychleji o 1 km za hodinu, byl by v cíli o 24 minut dříve. Jakou rychlostí šel?

**Volba proměnných:** Zadání mluví o dvou pohybech: skutečném (zavedeme index  $s$ ) a rychlejším (index  $r$ ).

**Základní rovnice:** Dráhu obou pohybů známe, chceme určit rychlost  $\Rightarrow$  začneme rovnicí pro časy. Kdyby šel rychleji, byl by v cíli o 24 minut dříve:  $t_r = t_s - \frac{2}{5}$ .

**Změna veličiny:** Oba časy je možné vypočítat pomocí vzdálenosti a rychlosti chodce:  $t_s = \frac{8}{v_s}$ ,

$$t_r = \frac{8}{v_r} \Rightarrow \frac{8}{v_r} = \frac{8}{v_s} - \frac{2}{5}.$$

**Snížení počtu neznámých:** Pro rychlosti platí:  $v_s + 1 = v_r$ .

$$\text{Dosadíme: } \frac{8}{v_s + 1} = \frac{8}{v_s} - \frac{2}{5}.$$

$$\text{Zrušíme indexy: } \frac{8}{v+1} = \frac{8}{v} - \frac{2}{5} \quad / \cdot \frac{5}{2} v(v+1).$$

$$4 \cdot 5v = 4 \cdot 5(v+1) - v(v+1)$$

$$20v = 20v + 20 - v^2 - v$$

$$v^2 + v - 20 = 0$$

$$(v+5)(v-4) = 0$$

$$v_1 = -5 \text{ - nedává smysl}$$

$$v_2 = 4$$

Chodec šel rychlostí  $4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

**Př. 4:** Vyřeš předchozí příklad. Jako základní rovnici použij vztah mezi rychlostmi.

**Volba proměnných:** Zadání mluví o dvou pohybech: skutečném (zavedeme index  $s$ ) a rychlejším (index  $r$ ).

**Základní rovnice:** Kvůli zadání nemáme volbu:  $v_s + 1 = v_r$ .

**Změna veličiny:** Obě rychlosti je možné vypočítat pomocí vzdálenosti a času  $v_s = \frac{8}{t_s}$ ,  $v_r = \frac{8}{t_r}$

$$\Rightarrow \frac{8}{t_s} + 1 = \frac{8}{t_r}$$

**Snížení počtu neznámých:** Při rychlejší chůzi by byl v cíli o 24 minut dříve:

$$t_r = t_s - \frac{24}{60} = t_s - \frac{2}{5}$$

Dosadíme do rovnice:  $\frac{8}{t_s} + 1 = \frac{8}{t_s - \frac{2}{5}}$  /  $t_s \left( t_s - \frac{2}{5} \right)$ , dál už budeme značit čas jenom  $t$ .

$$8 \left( t - \frac{2}{5} \right) + t \left( t - \frac{2}{5} \right) = 8t \quad / \cdot 5$$

$$40t - 16 + 5t^2 - 2t = 40t$$

$$5t^2 - 2t - 16 = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-2) \pm \sqrt{(-2)^2 - 4 \cdot 5 \cdot (-16)}}{2 \cdot 5} = \frac{2 \pm 18}{10}$$

$$t_1 = \frac{2+18}{10} = 2$$

$$t_2 = \frac{2-18}{10} = -1,6 \Rightarrow \text{nesmysl}$$

$$v_s = \frac{8}{t_s} = \frac{8 \text{ km}}{2 \text{ h}} = 4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Chodec šel rychlostí  $4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

**Př. 5:** Franta šel na diskotéku, která se konala 6 km od jeho domova. Zpět se vracel trochu společensky unavený rychlostí o 2 km/h nižší než při cestě tam. Proto mu cesta trvala o 48 minut déle. Jak dlouho se vracel domů?

**Volba proměnných:** Zadání mluví o dvou pohybech: cestě tam (zavedeme index  $t$ ) a cestě zpět (index  $z$ ).

**Základní rovnice:** Dráhu známe, zjišťujeme čas  $\Rightarrow$  vyjdeme z rovnice pro rychlosti.

Zpět se vracel unavený rychlostí o 2 km/h nižší než při cestě tam  $v_t = v_z + 2$

**Změna veličiny:** Obě rychlosti je možné určit pomocí vzdálenosti a času  $\Rightarrow \frac{6}{t_t} = \frac{6}{t_z} + 2$ .

**Snížení počtu neznámých:** Cesta zpět trvala o 48 minut déle:  $t_t = t_z - \frac{48}{60} = t_z - \frac{4}{5}$

$$\text{Dosadíme: } \frac{6}{t_z - \frac{4}{5}} = \frac{6}{t_z} + 2 \quad / \left( t_z - \frac{4}{5} \right) t_z$$

$$\text{Dále používáme pouze proměnnou } t: 6t = 6 \left( t - \frac{4}{5} \right) + 2 \left( t - \frac{4}{5} \right) t$$

$$6t = 6t - \frac{24}{5} + 2t^2 - \frac{8}{5}t \quad / \cdot 5$$

$$10t^2 - 8t - 24 = 0 \quad /: 2$$

$$5t^2 - 4t - 12 = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-4) \pm \sqrt{(-4)^2 - 4 \cdot 5 \cdot (-12)}}{2 \cdot 5} = \frac{4 \pm 16}{10}$$

$$t_1 = \frac{4+16}{10} = 2$$

$$t_2 = \frac{4-16}{10} = -1,2$$

Franta se z diskotéky vracel 2 hodiny.

**Př. 6:** Český mezinárodní rychlík má podle jízdního řádu urazit vzdálenost 80 km stálou rychlostí bez jediné zastávky. Při jízdě musel vlak na 50 km trasy na 3 minuty zastavit. Zbytek trasy pak musel jet o 20 km/h rychleji, než mu přikazuje plán, aby ztrátu dohnal. Jakou rychlostí měl podle plánu vlak jet?

**Volba proměnných:** Zadání mluví o dvou pohybech: plánované jízdě (zavedeme index  $p$ ) a skutečné jízdě (index  $s$ ).

**Základní rovnice:** Dráhy známe, chceme rychlost  $\Rightarrow$  vyjdeme z rovnice pro časy.

Vlak ztrátu dohnal:  $t_p = t_s = \text{cas normalni jizdy} + \text{cas stani} + \text{cas dohaneni}$

**Změna veličiny:** Časy je možné vypočítat pomocí vzdáleností a rychlostí:

Plánovaný čas:  $t_p = \frac{80}{v_p}$ , čas normální jízdy:  $\frac{50}{v_p}$ , čekání 3 minuty:  $\frac{3}{60}$ , čas dohánění:  $\frac{30}{v_s}$

$$\frac{80}{v_p} = \frac{50}{v_p} + \frac{3}{60} + \frac{30}{v_s}$$

**Snížení počtu neznámých:** Zbytek trasy pak musel jet o 20 km/h rychleji:  $v_s = v_p + 20$

$$\frac{80}{v_p} = \frac{50}{v_p} + \frac{1}{20} + \frac{30}{v_p + 20} \quad / 20 \cdot v_p (v_p + 20) \quad \text{Dále používáme pouze označení } v:$$

$$80 \cdot 20(v + 20) = 50 \cdot 20(v + 20) + v(v + 20) + 30 \cdot 20 \cdot v$$

$$1600v + 32000 = 1000v + 20000 + v^2 + 20v + 600v$$

$$v^2 + 20v - 12000 = 0$$

$$(v + 120)(v - 100) = 0$$

$$v_1 = -120 \quad - \text{ nemá smysl}$$

$$v_2 = 100$$

Rychlík měl jet trasu rychlostí  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

**Př. 7:** Ivan urazil na kole trať dlouhou 96 km v čase o 2 hodiny kratším, než původně plánoval. Přitom každou hodinu ujel o 1 km více, než měl původně urazit za 1 hodinu a 15 minut. Jakou rychlostí Ivan skutečně jel?

**Volba proměnných:** Zadání mluví o dvou pohybech: plánované jízdě (zavedeme index  $p$ ) a skutečné jízdě (index  $s$ ).

**Základní rovnice:** Dráhy známe, chceme rychlost  $\Rightarrow$  vyjdeme z rovnice pro časy.

Ivan urazil na kole trať v čase o 2 hodiny kratším:  $t_p = t_s + 2$ .

**Změna veličiny:** Časy je možné vypočítat pomocí vzdáleností a rychlostí:

$$\text{Plánovaný čas: } t_p = \frac{96}{v_p}, \text{ čas skutečný: } \frac{96}{v_s} \Rightarrow \frac{96}{v_p} = \frac{96}{v_s} + 2.$$

**Snížení počtu neznámých:**

Najít vztah mezi rychlostmi bude složitější. Rychlost je dráha uražená za jednu hodinu:

$$\text{dráha, kterou měl urazit za 1 hodinu a 15 minut: } v_p \left(1 + \frac{15}{60}\right) = v_p \left(1 + \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{4} v_p$$

za hodinu ujel o 1 km více, než měl původně urazit za 1 hodinu a 15 minut:  $v_s = \frac{5}{4} v_p + 1$

$$\text{Dosadíme do rovnice: } \frac{96}{v_p} = \frac{96}{\frac{5}{4} v_p + 1} + 2 \quad \text{Dále používáme pouze proměnou } v.$$

$$\frac{96}{v} = \frac{4 \cdot 96}{5v + 4} + 2 \quad / \cdot \frac{v(5v + 4)}{2}$$

$$48(5v + 4) = 192v + v(5v + 4)$$

$$240v + 192 = 192v + 5v^2 + 4v$$

$$5v^2 - 44v - 192 = 0$$

$$v_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-44) \pm \sqrt{(-44)^2 - 4 \cdot 5 \cdot (-192)}}{2 \cdot 5} = \frac{44 \pm 76}{10}$$

$$v_1 = \frac{44 + 76}{10} = 12$$

$$v_2 = \frac{44 - 76}{10} = -3,2$$

$$\text{Dopočteme skutečnou rychlost: } v_s = \frac{5}{4} v_p + 1 = \frac{5}{4} \cdot 12 + 1 = 16.$$

Ivan projel trať rychlostí 16 km/h.

**Př. 8:** Petáková:

strana 19/cvičení 58

strana 19/cvičení 59

strana 20/cvičení 60

**Shrnutí:**