

1.5.1 Mechanická práce I

Předpoklady:

Práce je velmi vděčné téma k rozhovoru:

- někdo se nadře a práce za ním není žádná,
 - jiný se ani nezapotí a udělá toho spoustu
- a všichni se cítí nedocenění.

Fyzika je přírodní věda (snaží se být exaktní) \Rightarrow zavádí práci jako objektivní veličinu \Rightarrow práce musí být spojená s viditelnou změnou stavu světa.

Práce se značí W (od anglického slova work) a měří s v Joulech [1J].

Př. 1: Rozhodni, zda se v následujících případech koná práce:

- | | |
|----------------------------------|--|
| a) Po podlaze tlačíme skříň. | b) Zvedáme batoh. |
| c) Držíme kýbl plný vody. | d) Kulička se pohybuje rovnoměrně bez tření. |
| e) Roztáčí se kotouč cirkulárky. | f) Měsíc se rovnoměrně otáčí kolem Země. |
| g) Automobil zrychluje. | |

a) Po podlaze tlačíme skříň.

Dochází ke změně světa. Skříň, která se pohybovala, změní svojí pozici, s velkou pravděpodobností poškrábeme podlahu, ... \Rightarrow koná se práce.

b) Zvedáme batoh.

Podobná situace jako v bodě a), batoh změnil svou pozici \Rightarrow koná se práce (navíc zvednutý batoh může narozdíl od batohu na zemi spadnout a něco rozbít).

c) Držíme kýbl plný vody.

Nic se nemění, kýbl je stále na stejném místě. Sice se zapotíme, ale kdyby kýbl držel stůl, bude to jasné ihned \Rightarrow nekoná se práce (ta se konala před tím, když jsme kýbl zvedali z podlahy nahoru).

d) Kulička se pohybuje rovnoměrně bez tření.

Během pohybu se sice nestále mění poloha kuličky, ale ta se měnila i před tím, než jsme situaci začali sledovat. Podél trajektorie kuličky nemůže při neexistenci tření dojít ke změnám.

e) Roztáčí se kotouč cirkulárky.

Mění se rychlost otáčení kotouče, nastává změna \Rightarrow koná se práce.

f) Měsíc se rovnoměrně otáčí kolem Země.

Podobná situace jako v bodě d), mění se poloha Měsíce, ale nic se nemění na stavu světa, protože obíhání Měsíce okolo Země stále pokračuje \Rightarrow nekoná se práce.

g) Automobil zrychluje.

Mění se rychlost automobilu a tím i jeho stav \Rightarrow koná se práce.

Co mají všechny situace, při kterých se koná práce, společného?
Musíme působit silou na určité dráze.

Př. 2: Navrhni vzorec pro výpočet práce.

Větší práci při zvedání batohu vykonáme, když:

- zvedáme větší silou (těžší batoh),
- zvedáme do větší výšky (na delší dráze),

$\Rightarrow W = Fs$.

$$W = Fs$$

Jednotka 1 Joule = 1 J = 1 N · 1 m

Pedagogická poznámka: Procento studentů, kteří si ze základní školy pamatují vzorec, $W = Fs$ není zas tak nízké. Značná část studentů si však pouze pamatuje vzorec a nemá přehled o tom, co je za ním (některé body prvního příkladu řeší špatně).

Pedagogická poznámka: U slabších žáků je třeba hlídat, aby výpočty práce probíhaly tak, jak mají – zapíše vzorec, zjistí, která síla koná práci a po jaké dráze, dosadí a určí hodnotu. Občas se objevují snahy zadané hodnoty nějak promíchat a získat tak číslo, které je napsané na tabuli pro kontrolu.

Př. 3: Vypočti práci, kterou vykonáš při zvednutí kýble s vodou (hmotnost obojího dohromady je 7 kg) do výšky 75 cm nad zemí.

$$m = 7 \text{ kg}, h = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}, W = ?$$

Kýbl musíme zvedat silou, která je stejně velká jako gravitační síla, kterou kýbl přitahuje Země.

$$W = Fs, \text{ dosadíme } F = mg, s = h.$$

$$W = mgh$$

$$W = mgh = 7 \cdot 10 \cdot 0,75 \text{ J} = 52,5 \text{ J}$$

Při zvedání kýble vykonáme práci 52,5 J.

Př. 4: Zedník má do třetího patra vynést 20 kg cihel. Cihly buď může vynést najednou nebo nadvakrát. Kdy při tom vykoná menší práci? Proč?

Na první pohled se zdá, že zedník v obou případech vykoná stejnou práci (jednou je dvakrát větší síla, podruhé dráha), ale musíme si uvědomit, že kromě cihel zvedá i sebe \Rightarrow menší práci vykoná, když ponese cihly najednou. Práce na vynesení cihel bude stejná jako v případě dvou cest, ale práce na vynášení sebe sama bude poloviční.

Př. 5: Dělník tlačí rovnoměrně po vodorovných kolejkách vozík o hmotnosti 800 kg. Jakou práci vykoná na dráze 25 m, je-li součinitel tření 0,01?

$$m = 800 \text{ kg}, s = 25 \text{ m}, f = 0,01, W = ?$$

Dělník tlačí vozík po vodorovných kolejkách, a proto musí svou silou překonávat pouze tření vozíku o koleje. Síla, kterou tlačí vozík, tak musí mít stejnou velikost jako třecí síla mezi koly vozíku a kolejí.

$$W = F \cdot s = F_t \cdot s$$

$$F_t = N \cdot f = F_g \cdot f = mgf$$

$$W = F_t \cdot s = m \cdot g \cdot f \cdot s = 0,01 \cdot 800 \cdot 10 \cdot 25 \text{ J} = 2000 \text{ J}$$

Dělník vykoná práci 2000 J.

Př. 6: Těleso o hmotnosti 10 kg bylo vytaženo pomocí provazu do výšky 2 m ; poprvé rovnoměrným přímočarým pohybem, podruhé pohybem rovnoměrně zrychleným se zrychlením $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. V kterém případě bude vykonaná práce větší a proč? Svůj odhad potvrď výpočtem práce, kterou v obou případech vykonala tahová síla provazu.

$$m = 10 \text{ kg}, h = 2 \text{ m}, a = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}, W_1 = ?, W_2 = ?$$

Větší práce se musela vykonat v druhém případě. Výsledkem konání práce byla v obou případech stejná změna polohy tělesa (na tu je nutné vykonat stejnou práci), ve druhém případě však těleso získalo zrychlováním ještě přírůstek rychlosti (na což je opět potřeba vykonat další práci).

a) tažení rovnoměrným pohybem

$$W = Fs \quad \text{dosadíme: } F = F_g = m \cdot g \text{ (síla, kterou táhneme, musí vyrovnat tíhu tělesa)}$$

$$s = h$$

$$W = F_g h = mgh$$

$$W = 10 \cdot 10 \cdot 2 \text{ J} = 200 \text{ J}$$

b) tažení zrychleným pohybem

$$W = Fs \quad \text{dosadíme: } F = F_g + ma = m(g + a) \text{ (síla, kterou táhneme, musí vyrovnat tíhu tělesa a ještě mu udělit zrychlení } a)$$

$$s = h$$

$$W = F \cdot h = m(a + g)h.$$

$$W = 10(2 + 10)2 \text{ J} = 240 \text{ J}$$

Při rovnoměrném přímočarém pohybu vykoná tahová síla provazu práci 200 J, při rovnoměrně zrychleném pohybu 240 J.

Pedagogická poznámka: U bodu b) selhávají žáci, kteří se nenaučili dobře silové rozbory. Je zajímavé, že mnoho z nich sice ví, že v bodě b) musí vyjít větší výsledek než v bodě a), přesto za sílu dosadí pouze $F = ma$.

Př. 7: Cukrovinka Banány v čokoládě obsahuje 1596 kJ ve 100 g výrobku. Urči výšku, do které bys vystoupal na energii obsaženou v jednom banánku, který váží 65 g.

$$m = 65 \text{ g}, h = ?$$

$$100 \text{ g} \quad \dots \quad 1596 \text{ kJ}$$

$$65 \text{ g} \quad \dots \quad x$$

$$\frac{x}{65} = \frac{1596}{100} \Rightarrow x = \frac{1596}{100} \cdot 65 = 1037 \text{ kJ}$$

$$W = Fs = mgh$$

$$\frac{W}{mg} = \frac{1037000}{80 \cdot 10} \text{ m} = 1300 \text{ m}$$

Na energii z jednoho banánu by bylo možné vystoupat do výšky 1300 m.

Dodatek: Skutečná výška je samozřejmě daleko menší kvůli značným ztrátám, přesto platí, že energie v potravě je v porovnání množstvím práce nutným k přemístování a zvedání předmětů obrovská.

Př. 8: Určete práci, kterou vykoná při tažení saní psí spřežení. K tažení saní je nutná síla 250 N, psi potáhnou saně rychlostí 10 km/h dvě hodiny. Postroje psího spřežení jsou k saním zapojeny vodorovně.

$$F = 250 \text{ N} \quad t = 2 \text{ h} = 7200 \text{ s} \quad v = 10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 2,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \alpha = 0^\circ \quad W = ?$$

Dráhu určíme z dráhy, kterou saně urazily, za dobu, kterou je spřežení táhlo.

$$W = Fs \quad s = vt$$

$$W = Fvt$$

$$W = 250 \cdot 2,8 \cdot 7200 \text{ J} = 5,04 \cdot 10^6 \text{ J}.$$

Psí spřežení vykoná práci $5,04 \cdot 10^6 \text{ J}$.

Pedagogická poznámka: Často vychází hodnota tisíckrát menší, způsobená tím, že žák nepřevede ani rychlost ani čas.

Př. 9: Na auto, které jede po přibližně rovné dálnici stálou rychlostí 130 km/h, působí proti pohybu vlivem tření a odporu vzduchu stálá síla o velikosti 30 kN. Jak velkou práci auto vykoná během jízdy po dálnici při cestě z Prahy do Poděbrad?

Délka dálnice z Prahy k odbočce na Poděbrady je přibližně 35 km.

Vzorec pro výpočet práce:

$$W = Fs = 30000 \cdot 35000 \text{ J} = 1,05 \cdot 10^9 \text{ J}$$

Auto vykoná během jízdy po dálnici práci $1,05 \cdot 10^9 \text{ J}$.

Pedagogická poznámka: Předchozí příklad je samozřejmě na tento okamžik nepřiměřeně jednoduchý, ale zadání obsahuje údaj o rychlosti, který se v příkladu 8 využívá při výpočtu. Některé studenty to dokáže splést.

Shrnutí: Fyzikální práce se koná pouze v případě, že nenulová síla působí na nenulové dráze.