

## Úloha I.E ... Nostalgická

8 bodů; (chybí statistiky)

Anežka procházela kolem své bývalé školy, dívala se na okna v posledním patře a vzpomínala, jak z nich se spolužáky házeli na protější budovu podtácky. Přitom se zamyslela, jak vysoko vlastně okna jsou. Budte jako Anežka! Ve svém okolí najdete nějakou vysokou stavbu (například panelový dům, vysílač, kostelní věž nebo rozhlednu) a alespoň třemi různými způsoby změřte její výšku. Následně zkuste srovnat přesnost jednotlivých metod měření.

## Teorie

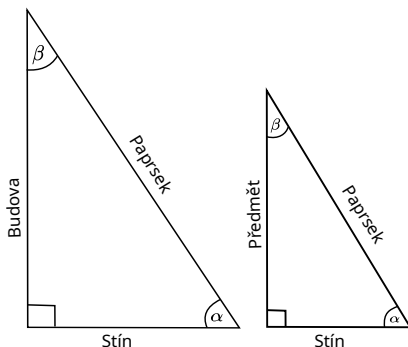
Metod měření výšky je mnoho, pro náš experiment jsme však zvolili tři z těch nejjednodušších.

- První metodou je prosté změření výšky budovy pomocí pásma či jiného měřidla. U tohoto měření si musíme dát pozor na to, aby naše měřidlo bylo orientované kolmo k zemi a aby bylo dostatečně napnuté, jinak náš výsledek bude ovlivněn zbytečnými nepřesnostmi.
- Druhou možností je využit znalostí o volném pádu, kdy uvažujeme padající těleso, na které působí pouze tíhová síla (odporovou sílu prostředí zanedbáváme). Tělesa se v takovéto situaci pohybují po přímce rovnoměrně zrychleným pohybem. Pro dráhu uraženou tělesem při volném pádu platí vztah

$$s = \frac{1}{2}gt^2, \quad (1)$$

kde dráha  $s$  odpovídá výšce měřené budovy, čas  $t$  době pádu tělesa a  $g \doteq 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$  značí tíhové zrychlení.

- Ve třetí metodě budeme využívat délku stínů. Tento způsob je založen na podobnosti trojúhelníků. Předpokládáme, že na Zemi dopadají sluneční paprsky rovnoběžně pod stejným úhlem na všechny objekty, které mají stejnou zeměpisnou šířku. To také znamená, že stíny těchto objektů budou vytvářet tzv. *podobné trojúhelníky*.<sup>1</sup>



Obrázek 1: Podobné trojúhelníky vytvořené budovou a předmětem

Pokud je daný objekt (například budova) kolmý k zemi, můžeme stíněnou oblast převést do dvojrozměrného prostoru jako pravoúhlý trojúhelník. Sluneční paprsky jdoucí od vrcholu

<sup>1</sup>Pokud jste o tomto termínu ještě neslyšeli, doporučujeme podívat se na <https://www.youtube.com/watch?v=MUAhK-dqz8s>.

budovy k zemi odpovídá přeponě a stín s budovou vytvářejí odvěsny. Díky tomu platí, že poměr výšky budovy a délky stínu je stejný jako poměr výšky předmětu a délky stínu předmětu o známé výšce. Výšku budovy pak pomocí známých informací můžeme vyjádřit následovně:

$$\text{výška budovy} = \frac{\text{délka stínu budovy}}{\text{délka stínu předmětu}} \cdot \text{výška předmětu}. \quad (2)$$

### Výsledky měření

Měření jsme prováděli na střeše dvoupatrového domu s rovnou střechou. Tento dům sousedí s loukou s víceméně rovným terénem.

- Při měření výšky budovy pomocí pásma jsme na jeho konec připevnili 5 kg těžké závaží, které udržovalo pásmo co nejvíce napnuté. Střecha domu nemá převis a stěny domu jsou holé. Při měření jsme si museli dát pozor, aby pásmo bylo po celou dobu přilehlé ke stěně domu. Pro větší přesnost měření jsme výšku budovy pomocí pásma měřili třikrát. Po každém pokusu jsme pásmo smotali a znovu nastavili. Výsledky jsou zaznamenány v tabulce 1. Spočítáme-li jejich aritmetický průměr, dostaneme pravděpodobnou výšku budovy  $s$

$$s = \frac{601 + 601 + 602}{3} \text{ cm} \doteq 6,01 \text{ m}.$$

číslo měření	<u>výška budovy</u> cm
1	601
2	601
3	602

Tabulka 1: Výška budovy měřená pomocí pásma

- Pro druhý způsob měření jsme si připravili 8 přibližně stejně těžkých kamínků a kameru. Protože je dvoupatrový dům relativně nízký, stopovat čas ručně by bylo značně nepřesné. Proto jsme se rozhodli pád kamínků natočit a video následně analyzovat v programu Tracker<sup>2</sup>. Kamínky jsme pouštěli ze stejného místa, ve kterém jsme začínali měření pásmem. Naměřené časy pádu jsou zaznamenány v tabulce 2.

Po dosazení námi změřeného průměrného času z tabulky 1 do vzorce (1) nám vyjde výška budovy v metrech

$$s = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot 1,11^2 \text{ m} \doteq 6,04 \text{ m}.$$

- Na třetí metodu jsme potřebovali krom délky stínu budovy zjistit i výšku nějakého jiného předmětu a délku jeho stínu. Pro tento účel jsme zvolili vodováhu, která má na sobě pravítko začínající a končící přesně na jejích koncích. Rovnou jsme tedy znali její délku 120 cm. Díky využití právě vodováhy jako předmětu o známé výšce jsme se také mohli ujistit, že stojí kolmo k zemi. Délky stínů vrhaných vodováhou a domem bylo třeba

<sup>2</sup><https://physlets.org/tracker/>

číslo měření	čas pádu s
1	0,97
2	1,08
3	1,18
4	1,16
5	1,03
6	1,14
7	1,31
8	0,98
průměr	1,11

Tabulka 2: Naměřené časy pádu jednotlivých kamínků

změřit co nejrychleji po sobě, aby se úhel dopadu slunečních paprsků změnil co nejméně. Stín vodováhy měl délku 115 cm, délka stínu domu byla 580 cm. Tyto hodnoty dosadíme v základních jednotkách (tedy v metrech) do vzorce (2) a spočítáme výšku budovy  $s$

$$s = \frac{5,8}{1,15} \cdot 1,2 \text{ m} \doteq 6,05 \text{ m}.$$

### Diskuze a závěr

První metodou jsme naměřili, že budova má výšku 6,01 m, druhou metodou 6,04 m a třetí metodou 6,05 m. Malý rozptyl výsledných hodnot značí nízkou nepřesnost měření – řádově ji můžeme odhadnout na pár centimetrů. Různé metody lze posuzovat z mnoha hledisek, přičemž jedním z nich je variabilita výsledků. U první metody máme výsledky téměř totožné, ovšem u druhé metody jsme naměřili nejmenší čas 0,97 s a největší 1,31 s, což není úplně malý rozdíl. Můžeme tedy říci, že druhá metoda je méně přesná. Lze se domnívat, že tato nepřesnost byla pravděpodobně zapříčiněna zanedbáním odporu vzduchu a špatným odhadem času vypuštění a dopadu kamene, který má pak kvůli nízkému celkovému času pádu relativně velký vliv na výsledky. Třetí metodou jsme měřili pouze jednou, takže nepřesnost této metody považujeme nerovnosti povrchu, na který stín dopadá. Za nejpřesnější metodu tedy považujeme první metodu – měření výšky budovy pásmem. Výsledky této metody byly velmi konzistentní a její nepřesnost závisí pouze na přesnosti měřidla a lidské manipulaci, což je při větší zručnosti a pečlivosti snadno odstranitelný faktor. Nevýhoda této metody spočívá v omezeném rozsahu výšky měřené budovy. Pro vyšší stavby už by nám délka pásma nemusela stačit.

**Alena Mouchová**  
mouchova@vyfuk.org

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastrešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.