

Úloha 26: Stanovení rychlosti zvuku pomocí Kundtovy trubice

Pomůcky

Kundtova trubice, měděná tyč, jelenice a kalafuna, pásové měřítko

Úkol

Pomocí Kundtovy trubice určete fázovou rychlost zvuku v tyči c . Z rychlosti zvuku určete modul pružnosti v tahu E pro měď.

Dílčí úkoly

1. Určete vlnovou délku λ základních kmitů v měděné tyči délky L .
2. Určete vlnovou délku λ' podélných stojatých vln z následného měření vzdálenosti uzlů/kmiten x .
3. Určete rychlost šíření zvuku ve vzduchu c' .

Poznámky k měření

- Hustota mědi je $\rho_{Cu} = (8960 \pm 10) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Měděná tyč je ukotvena uprostřed, a proto pro základní kmitů platí, že na koncích jsou kmitny a v místě upevnění je uzel výchylky.
- Fázová rychlost zvuku ve vzduchu c' je dána empirickým vzorcem

$$c' = 344,3 + 0,62 (t - 20) , \quad (1)$$

kde t je teplota vzduchu měřená ve $^{\circ}\text{C}$.

- V obrazcích, které vytvoří stojaté vlnění si najdete periodicky se opakující útvar a ten použijte pro následné měření vzdálenosti uzlů/kmiten x . Přiložte pásové měřítko vedle trubice a zapisujte polohy opakujících se útvarů.

Matematické modely pro výpočet nepřímo měřených veličin

Fázová rychlost zvuku v tyči c :

$$c = c' \frac{\lambda}{\lambda'} = c' \frac{L}{x} \quad (2)$$

c' ... fázová rychlost zvuku ve vzduchu stanovená dle empirického vztahu (1)

λ ... vlnová délka základních kmitů v tyči o délce L ($\lambda = 2L$)

λ' ... vlnová délka stojatého vlnění stanovená ze vzdálenosti uzlů/kmiten x ($\lambda' = 2x$)

Youngův modul pružnosti v tahu mědi E :

$$E = \rho c^2 = \rho \left(c' \frac{L}{x} \right)^2 \quad (3)$$

ρ ... hustota mědi

c ... rychlost zvuku v měděné tyči ze vztahu (2)

c' ... fázová rychlost zvuku ve vzduchu stanovená dle empirického vztahu (1)

L ... délka tyče

x ... vzdálenost uzlů/kmiten stojatého vlnění

Poznámky a návod k výpočtu nejistot

Fázová rychlost zvuku v tyči c :

- Nejistoty se určují na základě vztahu (2). Dle tohoto vztahu lze nejistoty vyjádřit pomocí relativních nejistot.
- Nejistota typu A se určuje pouze z následného měření vzdálenosti uzlů/kmiten x .
- Na nejistotě typu B se podílejí všechny veličiny c', L, x .
- Rychlost zvuku c' je určena nepřímo z empirického vztahu (1). Nejistotu lze určit z přímo měřené teploty, přičemž pro její vyjádření je třeba využít jednoduché parciální derivace:

$$u_{cB} = \sqrt{\left(\frac{\partial c}{\partial t} \right)^2} u_{tB} = \left| \frac{\partial c}{\partial t} \right| u_{tB} = 0,62 u_{tB}$$

- Maximální chyba délky L musí reflektovat okolnosti měření (vzdálenost, překážky v prostoru měření).
- Z důvodu následného měření vzdálenosti uzlů/kmiten x odpovídá maximální chyba pouze nejmenšímu dílku na stupnici pásového měřítka.

Youngův modul pružnosti v tahu E :

- Nejistoty se určují na základě vztahu (3). Dle tohoto vztahu lze nejistoty vyjádřit pomocí relativních nejistot.

Podněty k diskusi

- Rychlost zvuku v mědi i Youngův modul pružnosti mědi jsou tabulkové hodnoty. Stanovte odchylky výsledků měření od těchto tabulkových hodnot.
- Zamyslete se nad tabulkovou hodnotou hustoty vzduchu. Jaké parametry mohou tuto hodnotu ovlivnit?