



Jméno: **Michal Červeňák** Kolega: Ondřej Glac
Kruh: **Útorok** Číslo skup.: 1
Měřeno: **28.2.2017** Zpracování: 5 h Klasifikace:

1 Pracovní úkol

1. DU: Spočítejte, jakou vlastní a vyšší harmonické frekvence má struna napjatá zátěží 5 kg o délce 1 m, víte-li, že její lineární hustota je $\mu = 0,0162 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
2. Do vzorce z domácího úkolu dosadíte délku struny a spočtete totéž. Naměřte pro prvních 10 rezonančních frekvencí. Z naměřených vyšších harmonických frekvencí zpětně dopočítejte lineární hustotu a porovnejte s uvedenou konstantou. Dopočtete rychlost šíření vlnění na struně.
3. Pro 10 různých frekvencí v rozsahu 2 až 6 kHz hledejte interferenční minima (či maxima) změnou délky Quinckovy trubice. Vyneste do grafu závislost vlnové délky zvuku na frekvenci. Proložení dat s errorbary určete rychlost zvuku.
4. Najděte vlastní frekvence Helmholtzova rezonátoru. Vyneste do grafu závislost vlastní frekvence na objemu rezonátoru. Pro hledání vlastní frekvence využijte Fourierovské frekvenční analýzy. Z naměřených hodnot určete rychlost zvuku proložení naměřených hodnot vhodnou funkcí.

2 Teória

Odvození vztahů najdete na [1].

Rychlost zvuku v od teploty t můžeme spočítat jako

$$v = (331,57 + 0,607t) \text{ m/s}. \quad (1)$$

Pro strunu s délkovou hustotou μ délkou L a při zatážení silou F vypočítáme frekvenci kmitů f ako

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}} = Cn, \quad (2)$$

kde n je počet kmitů a μ je délková hustota.

Rezananční frekvenci Helmholtzového rezonátoru můžeme vypočítat podľa

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{l + 1.4r}} \frac{1}{\sqrt{V}}, \quad (3)$$

kde v je rychlost zvuku, l je délka a r polomer hrdla banky a V je objem banky.

2.0.1 Spracovanie chýb merania

Označme $\langle t \rangle$ aritmetický priemer nameraných hodnôt t_i , a Δt hodnotu $\langle t \rangle - t$, pričom

$$\langle t \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4)$$

a chybu aritmetického priemeru

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (5)$$

pričom n je počet meraní.

3 Pomôcky

Struna, závaží 5 kg, laboratorní stojany, frekvenční generátor, generátor mechanických kmitů, Quinckova trubice, reproduktor, mikrofony, osciloskop, skleněná baňka, rozhraní COBRA.

4 Postup merania

4.1 Stojaté vlnění na strune

1. Podľa Obr. 5 a Obr. 6 z [[1]] bola zostavená aparátúra.
2. Bola odmeraná dĺžka struny a z nej dopočítaná frekvencia prvého módu.
3. Generátorom bola nastavená vypočítaná frekvencia a dodatočne korigovaná aby nastala rezonancia struny.
4. Postupným zvyšovaním frekvencie boli najduté rezonančné frekvencie prvých 10 módov struny.

4.2 Quinckova trubice

1. Bola zostavená aparátúra podľa [[1]]
2. Do reproduktoru boli privádzané frekvencie od $2kHz$ do $6kHz$
3. Pre jednotlivé frekvencie sa pohybovalo trubicou, pri pohybe sa hľadala poloha s minimálnou amplitúdou, tá bola zaznačená.

4.3 Helmholtzovy rezonátory

1. Bola zostavená aparatura podľa [[1]]
2. Do reproduktora bola prevádzaná rezonančná frekvencia a na PC bola pozorovaná furierovská analýza signálu.
3. Zmenami frekvencie sme sa snažili nájsť bod rezonancie
4. Postupne bola dolievaná voda do nádoby a pre tieto objemy nájdená rezonančná frekvencia.

5 Výsledky merania

Nazačítaku bola digitálnym teplomerom určená teplota $t = 23,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z nej podľa vzťahu 1 bola dopočítaná odpovedajúca rýchlosť zvuku

$$v = 345,6\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

5.1 Stojaté vlnenie na strune

Dĺžka struny je $L = (1,176 \pm 0,01)\text{ m}$. Z tejto dĺžky bola vypočítaná podľa vzťahu 2 predpokladaná frekvencia prvého módu, $f = 23,3\text{ Hz}$.

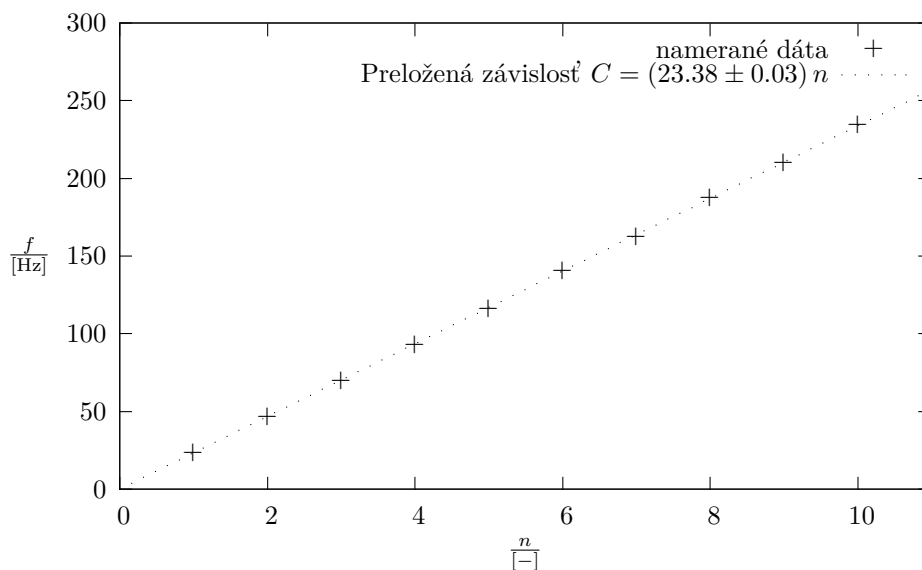
Namerané hodnoty vyšších módov v závislosti od frekvenciu sú v tabuľke Tab. 1.

Následne z grafu Obr. 1 bola určená smernica $C = (23,38 \pm 0,03)\text{ n}$ a pomocou vzťahu 2 a 4 hodnota

$$\mu = (0,0163 \pm 0,0001)\text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}.$$

| $\frac{n}{[-]}$ | $\frac{f}{[\text{Hz}]}$ |
|-----------------|-------------------------|
| 1 | 23.30 |
| 2 | 46.80 |
| 3 | 69.90 |
| 4 | 93.00 |
| 5 | 116.1 |
| 6 | 140.5 |
| 7 | 162.7 |
| 8 | 187.6 |
| 9 | 210.4 |
| 10 | 234.9 |

Tab. 1: Závislosť frekvencie f od módu kmitania struny n .



Obr. 1: Závislosť frekvencie f od módu kmitania struny n , preložená lineárnou závislosťou

5.2 Quinckova trubice

Namerané hodnoty polohy minim vlnenia, pre jednotlivé polohy, vid' priložené pracovné papiere. Z nich boli pre jednotlivé frekvencie vypočítané podľa 4 priemer a chyba. vid' Tab. 2.

Do grafu Obr. 2 bola vynesená závislosť vlnovej dĺžky $\lambda \equiv 2\Delta$ od doby kmitu T . Zo smernice preloženej závislosti bola určená rýchlosť zvuku

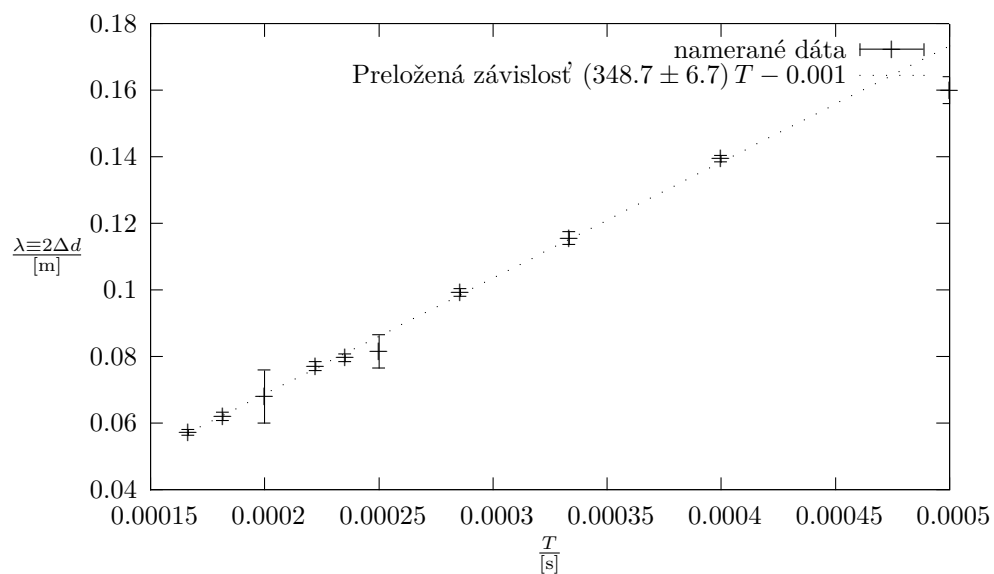
$$v = (348,7 \pm 6,7) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

5.3 Helmholtzovy rezonátory

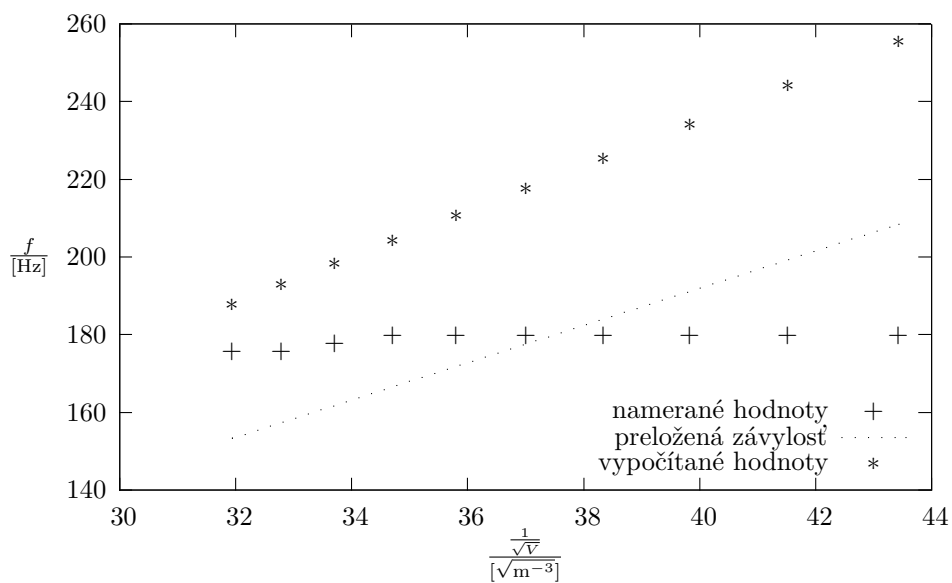
V tabuľke Tab 3 sa nachádzajú, a sú vynesené do grafu Obr. 3. Z neho bola preložením určená hodnota rýchlosti zvuku $v = (293,2 \pm 9,0) \text{ m/s}$.

6 Diskusia & Záver

V prvej časti sme odmerali dĺžkovú hustotu struny $\mu = (0,0163 \pm 0,0001) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$. V porovnaní s tabuľkou hodnotou $0,0162 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$ je rozdiel vrámci chyby merania. Problémom tohoto merania bolo určenie frekvencie, kde sme schopný určiť frekvenciu s presnosťou $\pm 1 \text{ Hz}$.



Obr. 2: Závislosť vlnovej dĺžky λ od doby kmitu T preložená funkciou $(348.7 \pm 6.7) T - 0.001$.



Obr. 3: Teoretická a nameraná závislosť rezonančnej frekvencie f_n a f_v od objemu V , preložená funkciou $f = \frac{293.2 \pm 9.0}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{l + 1.4r}} \frac{1}{\sqrt{V}}$.

| $\frac{f}{[\text{kHz}]}$ | $\frac{\langle \Delta d_i \rangle}{[\text{m}]}$ |
|--------------------------|---|
| 2 | 0.080 ± 0.004 |
| 2.5 | 0.070 ± 0.001 |
| 3 | 0.058 ± 0.002 |
| 3.5 | 0.050 ± 0.001 |
| 4 | 0.041 ± 0.005 |
| 4.5 | 0.039 ± 0.001 |
| 5 | 0.034 ± 0.008 |
| 5.5 | 0.031 ± 0.001 |
| 6 | 0.029 ± 0.001 |
| 4.25 | 0.040 ± 0.001 |

Tab. 2: Vypočítané hodnoty priemernej dĺžky vzdialenosti minim Δd_i od frekvencie f

| $\frac{f_n}{[\text{Hz}]}$ | $\frac{V_v}{[\text{l}]}$ | $\frac{V}{[\text{l}]}$ | $\frac{f_v}{[\text{Hz}]}$ |
|---------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| 175.8 | 0.05 | 0.98 | 187.78 |
| 175.8 | 0.1 | 0.93 | 192.76 |
| 177.8 | 0.15 | 0.88 | 198.16 |
| 179.7 | 0.2 | 0.83 | 204.04 |
| 179.7 | 0.25 | 0.78 | 210.48 |
| 179.7 | 0.3 | 0.73 | 217.57 |
| 179.7 | 0.35 | 0.68 | 225.42 |
| 179.7 | 0.4 | 0.63 | 234.20 |
| 179.7 | 0.45 | 0.58 | 244.09 |
| 179.8 | 0.5 | 0.53 | 255.34 |

Tab. 3: Namerané hodnoty frekvencie rezonancie f_n , vypočítané hodnoty rezonancie f_v podľa 3 pri objeme vody V_v a z neho dopočítaný objem V .

V druhej časti sme sa potýkali s obdobným problémom. Zo zlého natočenia mikrofónu alebo vadou trubice sa amplitúdy vln pri príchode nezhodovali, a teda sa úplne nevyrušili, teda sme minimum sme určovali nepresne. Chyba sa tu môže pohybovať okolo 10%. Všetok rýchlosť zvuku $v = (348,7 \pm 6,7) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ nám vyšla v porovnaní s predpokladanou $v = 345,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vrámci chyby.

Najväčšie problémy sme mali pri poslednej časti, kde rezonančná frekvencia nastávala vždy pri $f \sim 179,7 \text{ Hz}$, teda sme nedokázali namerať skutočné rezonančné frekvencie Helmholtzového rezonátoru. Podozrenie a predpokladanou príčinou je, že táto frekvencia je rezonančnou frekvenciou nejakého zo zariadení aparatury prip. celej aparatury. Z Obr. 3 síce dostávame f fitu hodnotu rýchlosti zvuku ale táto hodnota je skôr náhodnou fluktuáciou a nie rozumnou hodnotou.

Pre budúcnosť je dobré si premerať rezonančné frekvencie samotnej aparatury aby sme vedeli akým frekvenciám sa máme vyhnúť.

Reference

- [1] Akustika [cit. 08.03.2017] Dostupné po přihlášení z Kurz: Fyzikální praktikum II: https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/414/mod_resource/content/11/Akusitka_170210.pdf