

Základní experimenty akustiky

V. Böhm¹, M. Horáková², M. Zelený³

^{1,3}SPŠE V Úžlabině, V Úžlabině 320, Praha 10, 100 00

²Gymnázium Nad Kavalírkou, Nad Kavalírkou 1, Praha 5, 150 00

¹Vojta.bohm@gmail.com, ²miri.horalkova@seznam.cz,

³michalzelen02@gmail.com

Abstrakt:

Uvažovali jste někdy nad tím, jak rychle se šíří zvuk ve struně? A ve vzduchu jako takovém? Na tyto otázky jsme se snažili najít odpověď pomocí tří praktických experimentů, kterých jsme mimo jiné využívali Quinckovu trubici, Helmholtzův rezonátor či frekvenční generátor.

1 Úvod

Akustika je věda zabývající se vznikem, šířením a zánikem zvuku. Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, jehož frekvence je v rozsahu 16 – 20000 Hz. U zvukových vln dochází v praxi k interferenci neboli k jejich skládání. Konkrétně pro dvě vlny platí (přejato z [1]):

$$f(t) = \sum_{i=1}^2 A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) \quad (1)$$

Rychlost šíření závisí na prostředí, v plynech je rychlost nejnižší. Na druhé straně v pevných látkách s krystalickou mřížkou se zvukové vzruchy šíří nejrychleji. Pro rychlost šíření zvuku ve vzduchu platí tento vzorec (přejato z [1]):

$$v = (331,57 + 0,607t) \text{ m s}^{-1}, \quad (2)$$

kde t je teplota prostředí v °C. Tento vztah jsme prakticky ověřili pomocí Quinckovy trubice a poté i pomocí Helmholtzovy rezonance. V akustice se zavádí takzvané „stojaté vlnění“, což je jev, který nastává při interferenci dvou protichůdných postupných vln. Vzniká například na struně, či jiné látce, která má pevně dané uzly a stálou amplitudu v každém bodě vlnění. Toto jsme si vyzkoušeli a dokázali na experimentu s frekvenčním generátorem a kovovou strunou.

2.1 Stojaté vlnění na struně

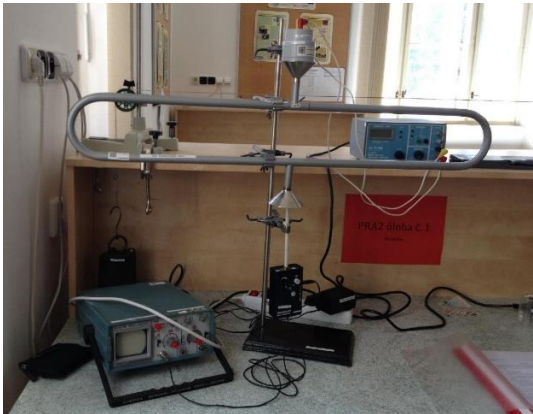
Prvním experimentem, který jsme provedli, byl důkaz a pozorování stojatého vlnění na kovové struně z kytary. K dispozici jsme měli upevněnou strunu, napnutou 5 kilogramovým závažím, frekvenční generátor a zdroj mechanických kmitů. Aparatura už byla sestavena, my jsme jen museli zařízení poskytnout přívod elektřiny. Nejprve jsme si spočítali přibližnou hodnotu frekvence, kde na struně vynikne jedna kmitna. Následně jsme frekvenci upravovali, než vyniklo v rámci možností dokonalé stojaté vlnění. Vlna v ten moment kmitala s co největší

amplitudou a neslyšeli jsme tzv. rázy. Ty vznikají při skládání dvou vlnění o jen málo odlišné frekvenci a vnímáme je jako periodické změny hlasitosti. Poté jsme zvyšovali frekvenci zdroje kmitání tak, aby byl počet kmiten vždy o jedna větší a zároveň tak, aby bylo zachováno stojaté vlnění. Pro daný počet kmiten jsme zapisovali frekvenci zdroje vytvářejícího stojaté vlnění. Následně jsme museli zpracovat data, k čemuž nám posloužil počítačový program Gnuplot. Do něj jsme si zadali parametr, který jsme potřebovali vypočítat. V našem případě jsme si ho označili C . Z údajů, které jsme již programu poskytli, nám byla vypočtena hodnota parametru včetně relativní chyby a my jsme následně byli schopni vypočítat lineární hustotu struny a rychlost šíření zvuku v dané struně pomocí vztahu (přejato z [1]):

$$v_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} = C n \quad (3)$$

2.2 Quinckova trubice

Následoval experiment pro ověření rychlosti zvuku za pomoci Quinckovy trubice. Zde je zvuk rozdělen na dva proudy. Jedna část trubice se dá posouvat, díky čemuž dochází v konečném zúženém místě k interferenci. Rameno trubice jsme pro danou frekvenci vždy prodlužovali, tak aby byly vlny přicházející z obou konců ve stejných fázích. To jsme viděli pomocí osciloskopu připojeného k mikrofону na konci trubice. Při shodné fázi jsme pozorovali největší aktuální amplitudu. Prováděli jsme vždy celkem šest prodloužení pro každou frekvenci a postup jsme opakovali celkem pro deset daných hodnot frekvence. Všechny hodnoty prodloužení jsme zaznamenávali. Dvojnásobek rozdílu dvou prodloužení byl shodný s vlnovou délkou. Ze vztahu $\lambda = vT$ jsme opět pomocí Gnuplotu zjistili hodnotu parametru v , který je shodný s rychlostí zvuku ve vzduchu. Program nám také vypočítal chybu měření.



Obr. 1: Quinckova trubice



Obr. 2: Baňka použitá jako Helmholtzův rezonátor

2.3 Helmholtzova rezonance

Posledním experimentem byl výpočet rychlosti šíření zvuku ve vzduchu pomocí obdoby Helmholtzova rezonátoru. Použili jsme k tomu baňku, ve které jsme postupně měnili objem V vzduchu za přilévání určitého množství vody. Znali jsme délku hrdla baňky l a jeho poloměr r . Výpočet rychlosti zvuku vychází ze vzorce rezonanční frekvence f Helmholtzova rezonátoru při daném objemu V (přejato z [1]):

$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi r^2}{(l+1,4r)V}} \quad (4)$$

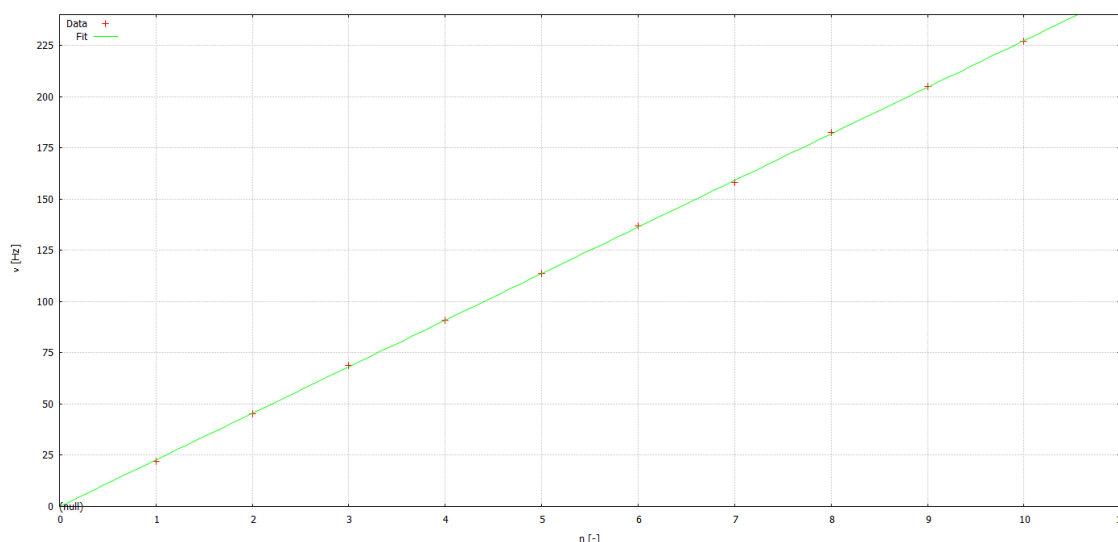
Nad hrdlem baňky byl umístěn reproduktor připojený k frekvenčnímu generátoru a také mikrofón snímající zvuk v oblasti hrdla baňky a připojený k SW vyhodnocující složení frekvencí a jejich intenzitu. Reproduktor vytváří v bance přetlak, což způsobí hybnost molekul vzduchu, které unikají z baňky. Setrvačnost molekul způsobí následný podtlak v bance, který způsobuje zpětný tah a hybnost molekul vzduchu do baňky a dochází k rezonanci. První měření jsme provedli s prázdnou baňkou a s každým následujícím měření jsme přilili 50 ml. Tedy od 0 ml až do 500 ml. Aparatura byla připojena na počítač, který zobrazoval maximální „peak“, který jsme hledali pomocí upravování frekvence a následným zanesením dat do počítače. Poté jsme využili stejného principu výpočtu jako při předchozích experimentech a pomocí Gnuplot jsme vypočítali chybu měření.

3 Výsledky

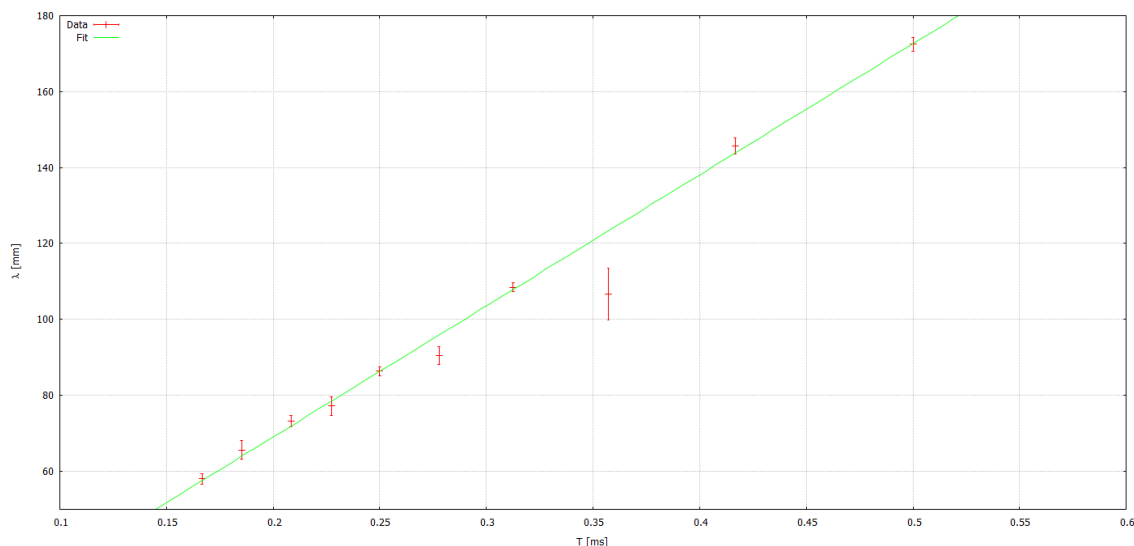
Sestrojili jsme graf závislosti budící frekvence f na počtu kmitů n (Obr. 3). Experimentální data jsme nafitovali přímkou pomocí vztahu (3). Z fitu vyšla hodnota $C = (22,73 \pm 0,03)$ Hz. Vyjádřením z parametru C jsme vypočítali rychlost šíření vlny na struně $v = 54,911573$ m s⁻¹, a lineární hustotu struny $\rho = 0,016267$ kg m⁻¹.

V druhém experimentu jsme sestrojili graf závislosti vlnové délky λ na periodě T (Obr. 4). Experimentální data jsou nafitované závislostí $\lambda = vT$. Z fitu jsme získali rychlost šíření zvuku ve vzduchu jako $v = (345 \pm 2)$ m s⁻¹, kde chyba je chyba parametru fitu.

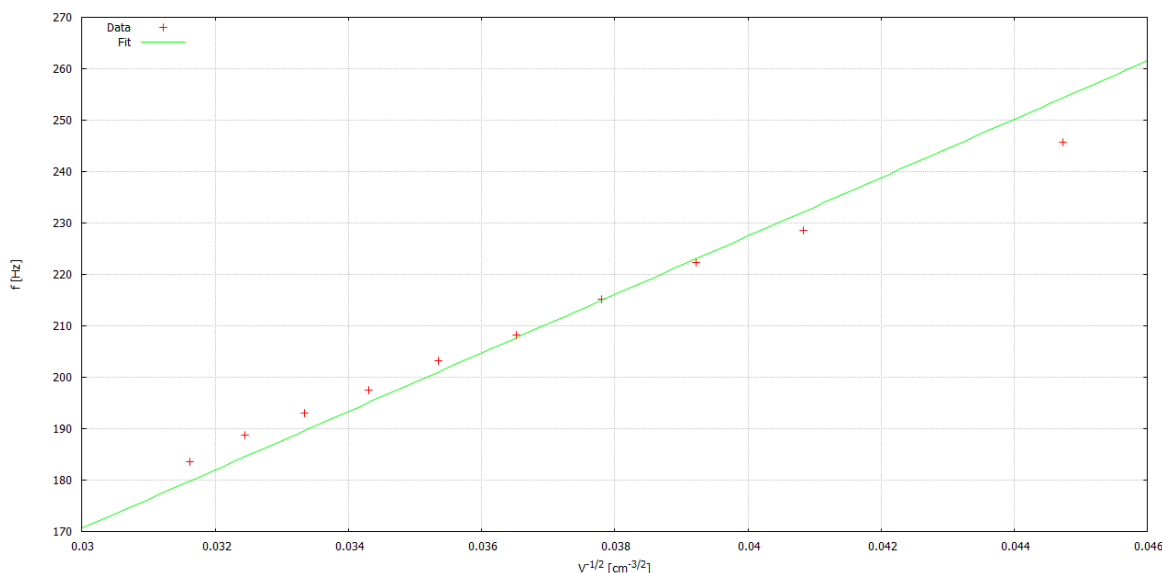
V posledním experimentu jsme sestavili graf závislosti frekvence na objemu baňky (Obr. 5). Použili jsme vztah (4). Z výsledku fitu jsme vypočetli rychlost zvuku $v = 334,370$ m s⁻¹. Po dosazení do empirického vzorce (2) pro aktuální teplotu $t = 26,8$ °C vidíme, že výsledky experimentálních metod potvrzují teoretický výpočet tj. 347,838 m s⁻¹ (s relativní chybou 3,9 %).



Obr. 3: Graf závislosti budící frekvence na počtu kmitů.



Obr. 4: Graf závislosti vlnové délky na periodě.



Obr. 5: Graf závislosti rezonanční frekvence na objemu baňky.

4 Shrnutí

Rychlost šíření zvukových vln závisí na materiálu prostředí. Rychlost ve vzduchu se zároveň zvyšuje s rostoucí teplotou. Ve třech provedených experimentech se nám za daných podmínek podařilo relativně přesně změřit rychlost zvuku ve vzduchu a rychlost šíření podélného kmitání ve struně a její lineární hustotu.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat našemu supervizorovi Janu Vaňkovi za seznámení s tématem, provedení nás experimenty a odbornou konzultaci spolu se vstřícným přístupem k nám a našemu projektu. Dále děkujeme organizátorům Týdne vědy a představitelům FJFI ČVUT.

Reference:

[1] *Akustika*, fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze, [online], [cit. 20. 06. 2017.], URL: <https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/414/mod_resource/content/11/Akustika_170210.pdf>.