

Akustika

F. Dostál, A. Krouparová*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

fandadostal@seznam.cz, *andrea.krouparova@seznam.cz

Abstrakt

V našem projektu jsme se zabývali vlastnostmi zvuku. Vedle intenzity a hlasitosti jsme se především věnovali rychlosti zvuku. Konečným cílem bylo změření rychlosti zvuku v jednoduchém pokusu.

1 Úvod - zvuk

Zvuk je svou fyzikální podstatou mechanické vlnění. V tekutinách jde o vlnění podélné. Slyšitelná frekvence pro lidské ucho se pohybuje v rozmezí od 20Hz do 20kHz.

Dále rozlišujeme infrazvuk, jehož frekvence je pod hranicí slyšitelnosti, tj. pod 20Hz, ultrazvuk, jehož frekvence je naopak nad slyšeným rozmezím, tj. od 20kHz do 1GHz. Vyšší frekvenci než ultrazvuk má hyperzvuk. Jeho frekvence je vyšší než 1GHz. Dále si zavedeme hluk, jehož význam každý nějak chápeme dle svých běžných denních zkušeností. Z hlediska akustiky řadíme mezi hluk zvuky, které nejsou periodické.

2 Sluch

Sluch patří mezi nejdůležitější smyslové vjemy společně se zrakem. Pomocí ucha se mechanické chvění okolí přemění na nervový signál, který vnímáme. Zvuk vnímáme pomocí ucha, které se dělí na tři části: *Vnější*, které má na starosti zachytávání zvuku z okolí a jeho směřování dále do středního ucha. Vlnění rozvibruje bubínek.

Střední, ve kterém se vlnění přenáší z bubínku na blanitého hlemýžďe pomocí tří ušních kůstek. Dochází k zesílení vlnění.

Vnitřní, kde už vzniká nervový signál. V blanitém hlemýždi jsou receptory, které po rozvlnění vyšlou nervový signál.

3 Veličiny

3.1 Intenzita a hladina intenzity

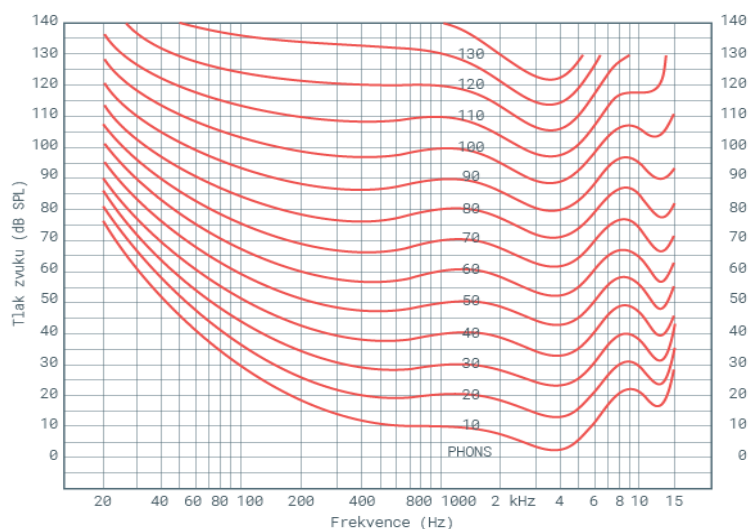
Akustická intenzita (značená I a udávaná ve $[W m^{-2}]$) je fyzikální veličina daná vztahem $I_\alpha = \frac{P}{S}$, kde P je akustický výkon a S je plocha, kterou vlnění prochází. Prahová akustická intenzita je konvenčně nastavena na $I_0 = 10^{-12} W m^{-2}$.

Běžněji je však užívána hladina intenzity (značená L a udávaná v decibelech [dB]), jejíž logaritmická stupnice začíná na 0 dB, což odpovídá prahu slyšitelnosti. Zpravidla nepřekračuje hodnotu 140 dB, kde je práh bolesti a dochází pak k poškození sluchu. $L_\alpha = \log_{10} \frac{I_\alpha}{I_0}$

3.1.1 Weber-Fechnerův zákon

Weber-Fechnerův zákon definuje závislost subjektivní intenzity a fyzikálně měřitelné intenzity podnětu. Zákon je pojmenován po německém lékaři E.H. Weberovi a německém psychologovi G. T. Fechnerovi.

$$S = k \cdot \ln \frac{I}{I_0} \quad \Delta S = k \cdot \frac{\Delta I}{I}$$



Obrázek 1: Křivky stejné hlasitosti podle Fletchera a Munsona

S – intenzita subjektivního vjemu;

k – konstanta - pro každého jedince je jiná, závisí na věku a na případných obtížích se sluchem;

I – fyzikální intenzita podnětu působícího na receptor;

I_0 – prahová intenzita - nejnižší možná intenzita, jakou je schopný jedinec vnímat.

Ze vzorce si můžeme povšimnout toho, že závislost je logaritmická. Tento zákon poukazuje na to, že nejsme schopni správně určit intenzitu zvuku, jestliže slyšíme více zvuků najednou a změna intenzity je malá oproti intenzitě původní.

3.2 Hlasitost a hladina hlasitosti

Se subjektivním určováním hlasitosti to není tak jednoduché, protože lidské ucho je různě citlivé na různé frekvence. Největší citlivost je kolem 2,5 kHz. Můžeme ji lehce zpozorovat na obr. 1. Hlasitost $N = 2^{\frac{L-40}{10}}$ udáváme v sonech. Hladinu hlasitosti měříme ve fonech [Ph]. Stupnice přibližně odpovídá stupnici hladiny intenzity.

4 Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku je chvění pružných těles, které nucenými kmity rozpožbuje molekuly okolního prostředí. Vlnění se dále šíří o určité rychlosti. Tato rychlost je funkcí více proměnných (teploty, tlaku, hmotnosti molekul prostředí aj.). Toto vlnění zpravidla není monofrekvenční. To je způsobeno různými vibračními módy daného zdroje. Díky této různorodosti frekvencí vlnění je pak naše ucho schopné rozeznat různé hudební nástroje, hlasy lidí a další různé zvukové vjemy.

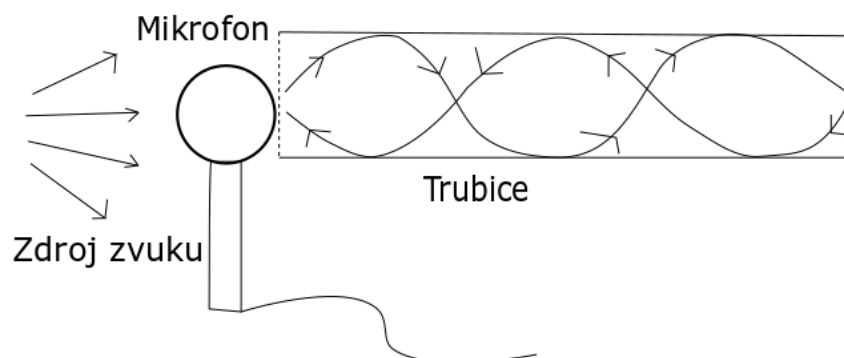
5 Měření rychlosti zvuku ve vzduchu

5.1 Postup měření

Jedno z prvních měření rychlosti zvuku probíhalo pomocí tzv. Kundtovy trubice. Šlo o trubici naplněnou pylem s posuvným zaslepeným koncem. Posouváním nastavili délku trubice na celočíselný násobek vlnové délky. U otevřeného konce byl umístěn zdroj zvuku – ladička známé frekvence. V pylu byly patrné kmitny a uzly vlnění. Ze znalosti vlnové délky a frekvence se dopočítala rychlost zvuku.

Tento pokus jsme neopakovali. Rozhodli jsme se využít dostupné techniky.

Pro pokus jsme se rozhodli použít dvě trubky o délkách $d_1 = 1,5\text{m}$ a $d_2 = 2\text{m}$. počítač pro odečítání časových úseků a zpracování dat (program Soundcard scope). Jako zdroj zvuku byl použit přístroj. Při měření jsme jeden konec trubice zalepili, před otevřený konec dali mikrofón, který zaznamenával zvuk od



Obrázek 2: Schéma pokusu

zdroje a poté i zvuk odražený. Ze získaných dat jsme potom dopočítali rychlost podle vzorce:

$$v = \frac{2d}{\Delta t}$$

5.2 Výsledky pokusu

Výsledky jednotlivých pokusů naleznete v tabulkách. Pro porovnání tabulkové hodnoty rychlosti zvuku ve 20°C v suchém vzduchu odpovídá 343m s^{-1} .

My jsme naměřili tyto výsledky: $v_1 = 330 \pm 8\text{m s}^{-1}$ pro trubici dlouhou 1,5 m, $v_2 = 343 \pm 4\text{m s}^{-1}$ pro trubici dlouhou 2 metry. Po přepočtu těchto dvou měření získáváme hodnotu

$$v = 341 \pm 3\text{m s}^{-1}$$

5.3 Tabulky naměřených hodnot

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δt [ms]	10	9	8.5	10	9	8	9	8.5	10	9

Tabulka 1: Měření pro $d_1 = 1.5\text{m}$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Δt [ms]	11.5	12	11.5	12.5	11	11.5	11.5	12	11.5	11.5

Tabulka 2: Měření pro $d_2 = 2\text{m}$

6 Závěr

Prováděli jsme pokus, jehož cílem bylo změřeni rychlosti zvuku. Pomocí počítačového programu jsme měřili čas, za který se zvuková vlna odrazí na uzavřeném konci trubky a vrátí se trubkou zpět. Námí změřená rychlost zvuku je

$$v = 341 \pm 3\text{m s}^{-1}$$

Dozvěděli jsme se, že na provádění experimentu je lepší použít plastovou trubku oproti papírové, protože méně tlumí zvukové vlnění. Také jsme zjistili, že měření je lepší provádět s delší trubkou, což můžeme také vyčíst z menší chyby u druhého měření. Je také zajímavé si povšimnout rozdílných výsledků u měření, povážíme-li, že se pouze jeden parametr a to délka trubice.

Námí naměřená hodnota se liší o 0.5% oproti tabulkovým hodnotám. Přesnost původního experimentu měla dosahovat 3.5%, takže přesnost našeho měření je opravdu vysoká.

7 Zdroje

J. Bajer, *Mechanika 3*, Vladimír Chlup, Olomouc (2012), ISBN 978- 80-903958-5-5

J. Reichl, *Weber - Fechnerův psychofyzikální zákon*, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/210-weber-fechneruv-psychofyzikalni-zakon>

Přispěvatelé WikiSkript, *Biofyzika sluchu*, https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Biofyzika_sluchu&oldid=421398

obr. 1: kol. autorů, *Křivka Fletcher-Munson*, <https://admmagazin.cz/krivka-fletcher-munson>

obr. 2: archiv autorů