

KATEDRA FYZIKY VŠB-TU OSTRAVA		
Student	NÁZEV PRÁCE Měření rychlosti zvuku ve vzduchu	Číslo práce 3
Skupina/Osob. číslo		Datum
Spolupracoval		Podpis studenta:

Cíle měření:

Stanovit vlnovou délku a rychlost šíření zvuku, který se šíří vzduchem za normálního tlaku. Pochopit skládání na sebe kolmých kmitů.

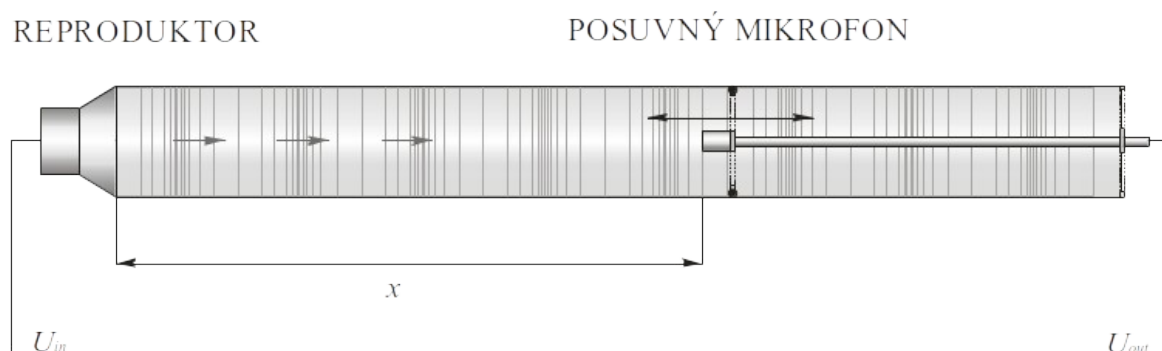
Měřicí prostředky:

Tónový generátor, osciloskop, jednostranně otevřená skleněná trubice (ST), vodiče, mikrofon, reproduktor, mechanický posuv, nosná tyč.

Kompendium teorie:

V dostatečně dlouhé ST (Obr. 1) je reproduktorem generováno zvukové vlnění o frekvenci f a šíří se vzduchovým sloupcem směrem k otevřenému konci ST ve formě jednosměrné rovinné vlny, narozdíl od klasického režimu měření v Kundtově trubici, kde odrazem a superpozicí dochází ke vzniku stojatého vlnění. Ve známé vzdálenosti x od uzavřeného konce s reproduktorem je umístěn mikrofon, který poskytuje elektrický signál, jehož amplituda je úměrná velikosti akustického tlaku $p(x,t)$.

Obrázek 1

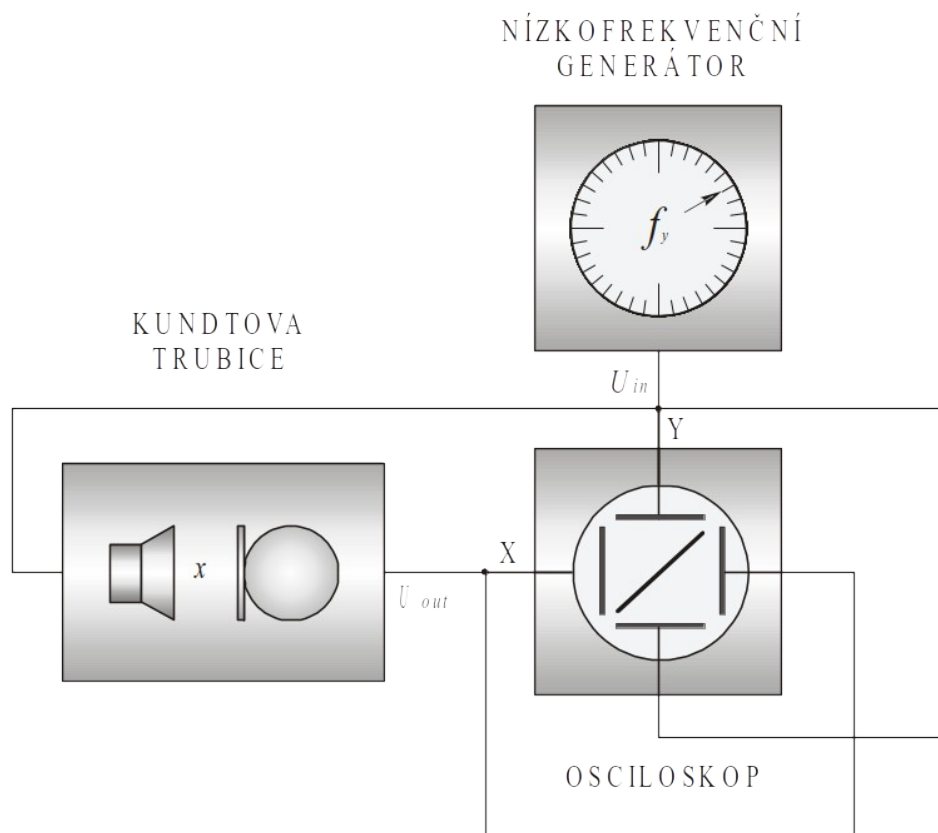


Předpokládáme-li, že signál se ve vodičích šíří rychlostí světla c , pak jeho průchod ve formě akustického vlnění mezi reproduktorem a mikrofonom je v důsledku mnohem pomalejšího šíření zvuku rychlostí $v_{zv} \ll c$ spojen se vznikem časového zpoždění Δt :

$$\Delta t = \frac{x}{v_{zv}} = \frac{x}{\lambda f}. \quad (1)$$

Přímé měření vlnové délky lze provést na základě znalosti časového zpoždění pro danou frekvenci f ve vzdálenosti x od akustického zdroje (reproduktoru).

Obrázek 2



Při zapojení dle schématu na obr. 2 je napětí U_{out} na výstupu zpožďovacího členu, kterým je ST a současně na kanálu X osciloskopu fázově zpožděné (časové zpoždění je Δt) vzhledem k vstupnímu napětí U_{in} na kanálu Y, takže

$$\begin{aligned} U_{in} &= U_0 \sin 2\pi f t \\ U_{out} &= U_0 \sin 2\pi f (t - \Delta t) = U_0 \sin \left(2\pi f t - 2\pi \frac{x}{\lambda} \right). \end{aligned} \quad (2)$$

Obě napětí ve vztazích (2) mají stejnou fázi, tj. stejný argument funkce sinus, při splnění podmínky pro fázové posunutí:

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = 2\pi n \Rightarrow x = n\lambda, \quad (3)$$

kde n je přirozené číslo. Tento stav odpovídá při kolmém skládání signálů Lissajousovu obrazci pro shodnou fázi při stejné frekvenci. Schematicky je jeho identifikace znázorněna v osciloskopu na obr. 2 (doprava skloněná úsečka).

Neboť je obtížné identifikovat místo v reproduktoru, z něhož vychází zvuková vlna, je vhodné zaznamenat dvě sousední polohy mikrofону x_i a x_{i+1} , jimž přísluší Lissajousův obrazec podle obr. 2. Pak podle vztahu (2) jsou odpovídající fázové rozdíly

$$\Delta \varphi_i = \frac{2\pi x_i}{\lambda_i} \quad \text{a} \quad \Delta \varphi_{i+1} = \frac{2\pi (x_i + \lambda_i)}{\lambda_i} \quad (4)$$

což znamená, že

$$x_{i+1} = x_i + \lambda_i. \quad (5)$$

Na základě změřené vlnové délky λ_i pak lze vypočítat rychlost zvuku ve vzduchu pro známou frekvenci f :

$$v_{zv,i} = f \lambda_i. \quad (6)$$

Experimentálně se lze přesvědčit, že rychlost zvuku nezávisí na frekvenci a je pro dané prostředí konstantním fyzikálním parametrem.

Pokyny k vlastnímu měření:

Pro frekvence

$$f_1 = 1200 \text{ Hz}; \quad f_2 = 1400 \text{ Hz}; \quad f_3 = 1800 \text{ Hz}; \\ f_4 = 2200 \text{ Hz}; \quad f_5 = 3000 \text{ Hz}; \quad f_6 = 6000 \text{ Hz}$$

proved'te postupně měření vlnových délek λ_j a výpočet rychlosti zvuku $v_{zv,j}$ ve vzduchu, kde $j = 1, \dots, 6$:

1. Na nízkofrekvenčním generátoru nastavte jednu z výše uvedených frekvencí.
2. Posuvným pohybem mikrofону určete jeho všechny polohy (souřadnice $x_{j,i}$, kde $i = 1, \dots, N_j$), jimž přísluší Lissajousův obrazec stejné fáze – viz obr. 2. Pak podle vztahu

$$\lambda_j = \frac{|x_{j,N_j} - x_{j,1}|}{N_j - 1}$$

spočtete vlnovou délku příslušnou frekvenci f_j .

3. Pro všechny frekvence vypočítejte příslušné rychlosti zvuku $v_{zv,j}(f_j)$ užitím vzorce

$$v_{zv,j}(f_j) = f_j \lambda_j$$

a pomocí Gaussova zákona šíření nejistoty určete jejich absolutní $u_{v_{zv,j}}$ a relativní nejistoty $u_{r,v_{zv,j}}$. Z hodnot rychlosti zvuku $v_{zv,j}(f_j)$, změřených pro jednotlivé frekvence f_j , vypočítejte rychlost zvuku ve vzduchu pomocí vztahu pro její vážený průměr

$$v_{zv} = \frac{\sum_{j=1}^6 w_j v_{zv,j} f_j}{\sum_{j=1}^6 w_j}, \quad (7)$$

kde $w_j = \frac{1}{u_{v_{zv,j}}^2}$.

4. Nejistotu rychlosti zvuku stanovte podle vztahu

$$u_{v_{zv}} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^6 w_j}}. \quad (8)$$

5. Změřenou rychlost zvuku v_{zv} srovnajte s hodnotou uvedenou ve fyzikálních tabulkách s přihlédnutím k teplotě vzduchu v laboratoři pomocí relativní odchylky.