

Zvuk

Keywords: exponenciály a logaritmy, logaritmus, logaritmická rovnice, exponenciální rovnice

Zvuk je mechanické vlnění, které vnímáme sluchem. Výšku a délku tónu vnímají všichni lidé přibližně stejně, vjem hlasitosti je ale velice subjektivní. Hlasitost je dána amplitudou kmitání prostředí, v kterém se šíří zvuková vlna. Vzhledem k tomu, že se amplituda zvukového vlnění neměří snadno, používají se k objektivnímu porovnávání hlasitosti veličiny intenzita zvuku I a hladina intenzity zvuku L .

Intenzita zvuku vyjadřuje, kolik energie přenesou zvukové vlny za sekundu na plochu 1 m^2 kolmou na směr šíření za jednotku času. Zdravý sluch dokáže při frekvenci 1000 Hz zaregistrovat nejmenší intenzitu zvuku $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, což odpovídá prahu slyšení. Naopak intenzita zvuku 10 W/m^2 je natolik hlasitá, že odpovídá prahu bolesti. Zvýšení intenzity zvuku I na desetinásobek ale neodpovídá tomu, že bychom vnímali zvuk desetkrát hlasitěji. Proto se k vyjadřování hlasitosti zvuku spíše používá hladina intenzity zvuku L , která využívá logaritmické škály v decibelech (dB).

Hladina intenzity zvuku L v decibelech je definována vztahem

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

kde I je intenzita zvuku v daném místě a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, což odpovídá prahu slyšení. Hladině intenzity zvuku 60 dB odpovídá hlasitost běžného rozhovoru, 90 dB naměříme u motorové sekačky na trávu a 110 dB na diskotéce. Při dlouhodobém poslechu (přestože nás nic nebolí) hrozí nebezpečí poškození sluchu pro hlasitosti vyšší jak 85 dB . Od hlasitosti vyšší jak 100 dB hrozí nebezpečí poškození sluchu v řádu minut.

Prozkoumejme souvislost mezi intenzitou zvuku a hladinou intenzity zvuku, tj. hlasitostí vnímanou sluchem.

Úloha 1. Při poslechu reproduktoru o zvukovém výkonu 20 W je ve vzdálenosti 50 m od něj intenzita zvuku $1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ (při rovnoměrném vysílání zvukové vlny do volného poloprostoru). Kolik decibelů naměříme v tomto místě?

Řešení. Pro výpočet využijeme definičního vztahu $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$, kde $I = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ je intenzita zvuku v daném místě a $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{1,27 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \right) = 10 \log (1,27 \cdot 10^9) = 91 \text{ dB}.$$

Hladina intenzity zvuku 50 m od reproduktoru je 91 dB , což odpovídá hluku motocyklu nebo sekačky na trávu.

Úloha 2. Jak se změní hladina intenzity zvuku, jestliže v místě z předchozího příkladu bude dvojnásobná intenzita zvuku, tj. $2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$?

Řešení. Použijeme stejný vztah jako v minulé úloze:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left(\frac{2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \right) = 10 \log (2,54 \cdot 10^9) = 94 \text{ dB}.$$

Z výpočtu je patrné, že dvojnásobné intenzitě zvuku neodpovídá dvojnásobný počet decibelů. Hladina intenzity zvuku se zvedne z 91 dB na 94 dB .

Úloha 3. Ze vztahu pro hladinu intenzity zvuku najděte hodnotu ΔL , o kterou se změní hladina intenzity zvuku L , jestliže se intenzita zvuku zdvojnásobí z hodnoty I na $2I$.

Řešení. Jedná se o zobecnění předchozí úlohy.

$$\Delta L = 10 \log \frac{2I}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \left(\log \frac{2I}{I_0} - \log \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{2I}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I} \right) = 10 \log 2 \doteq 3 \text{ dB}$$

Při zdvojnásobení intenzity zvuku se hladina intenzity zvuku zvětší přibližně o 3 dB.

Úloha 4. Intenzita zvuku je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti od zdroje zvuku. O jakou hodnotu se změní hladina intenzity zvuku, jestliže se vzdálenost od zdroje zvuku zdvojnásobí?

Řešení. Jelikož intenzita zvuku I je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti, dostáváme

$$I = \frac{k}{l^2},$$

kde l je vzdálenost od zdroje zvuku. Při zdvojnásobení vzdálenosti bude intenzita zvuku

$$\tilde{I} = \frac{k}{(2l)^2} = \frac{1}{4} \cdot \frac{k}{l^2} = \frac{1}{4} I.$$

Intenzita zvuku se zmenší na $\frac{1}{4}$ původní hodnoty.

$$\Delta L = 10 \log \frac{\frac{1}{4}I}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \left(\log \frac{\frac{1}{4}I}{I_0} - \log \frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{1}{4}I}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I} \right) = 10 \log \frac{1}{4} \doteq -6 \text{ dB}.$$

Hladina intenzity zvuku se zmenší přibližně o 6 dB, jestliže zdvojnásobíme svou vzdálenost od zdroje zvuku.

Úloha 5. Ze vztahu pro hladinu intenzity zvuku $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$ vyjádřete intenzitu zvuku I .

Řešení. Nejprve musíme osamostatnit logaritmickou funkci $\frac{L}{10} = \log \frac{I}{I_0}$ a následně využijeme inverzní funkci k logaritmické, tj. exponenciální funkci:

$$10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0}.$$

Odtud vyjádříme intenzitu zvuku

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}.$$

Úloha 6. Kolikrát se zvětší intenzita zvuku, jestliže se hladina intenzity zvuku zvýší o 20 dB?

Řešení. Hodnota hladiny intenzity zvuku se změní z hodnoty $L_1 = L$ na $L_2 = L + 20$ dB. Příslušné intenzity označíme I_1 a I_2 . Využijeme vztahu $I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$ a vyjádříme podíl $\frac{I_2}{I_1}$:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{I_0 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}}}{I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}}} = \frac{10^{\frac{L+20}{10}}}{10^{\frac{L}{10}}} = 10^{\frac{L+20}{10} - \frac{L}{10}} = 10^2 = 100.$$

Při vzrůstu hladiny intenzity zvuku o 20 dB se intenzita zvuku zvětší stokrát.

Literatura

1. Kubera, Miroslav; Nečas, Tomáš; Beneš, Vojtěch. *Online učebnice fyziky pro gymnázia - Zvuk*. Dostupné z <https://e-manuel.cz/kapitoly/mechanicke-vlneni/vyklad/zvuk/> [cit. 24.10.2023].