

3.3.3 Intenzita zvuku, infrazvuk, ultrazvuk

Předpoklady: 3302

Jak měřit sílu zvuku?

Hlasitost zvuku: subjektivní veličina, závislá na citlivosti sluchu (sluch je různě citlivý u různých frekvencí, nejvyšší citlivost v rozsahu 700 Hz – 6kHz).

Objektivní přístup: Sílu zvuku vyjádříme pomocí veličiny, která charakterizuje intenzitu zvukového vlnění. Větší intenzita vlnění, když zvuk přenáší více energie (závisí na druhé mocnině výchylky a druhé mocnině frekvence) \Rightarrow intenzitu zvuku určuje kromě změny tlaku i výška tónu.

Intenzita zvuku: $I = \frac{P}{S}$ (P - výkon zvukového vlnění, S - plocha, kterou vlnění prochází)

\Rightarrow jednotka $W \cdot m^{-2}$.

Menší nepříjemnost:

Rozsah intenzit, které slyší lidské ucho:

- velmi slabé zvuky o intenzitě $I = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ (**práh slyšení**, pouze v pásmu frekvencí s nejvyšší citlivostí),
- bolestivý zvuk $I = 1 W \cdot m^{-2}$ (**práh bolesti**),

\Rightarrow obrovský rozsah hodnot $10^{12} \Rightarrow$ máme psát:

- hodnoty slabých intenzit jako strašně malá desetinná čísla typu 0,00000000005 (když použijeme jednotku $W \cdot m^{-2}$),

nebo naopak

- hodnoty velkých intenzit jako obrovská čísla typu 50000000000 (když použijeme jednotku $nW \cdot m^{-2}$, aby malé intenzity nebyly desetinná čísla s obrovským počtem míst)?

\Rightarrow Použijeme logaritmy (při desetinásobném zvýšení argumentu se logaritmus při základu deset zvětší jen o jedna) \Rightarrow **hladina intenzity zvuku B udávaná decibelech [dB]:**

$B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$, kde $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ (práh slyšení).

Jaká je hladina intenzity prahu slyšení?

Dosadíme $I = I_0$: $B = 10 \cdot \log \frac{I_0}{I_0} = 10 \cdot \log 1 \text{ dB} = 10 \cdot 0 \text{ dB} = 0 \text{ dB}$

Př. 1: Urči hladinu intenzity zvuku prahu bolesti.

$I = 1 W \cdot m^{-2}$, $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$, $B = ?$

$B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{-12}} = 10 \cdot \log 10^{12} \text{ dB} = 10 \cdot 12 \text{ dB} = 120 \text{ dB}$

Hladina intenzity zvuku se pro práh bolesti rovná 120 dB.

Př. 2: Urči hladinu intenzity zvuku o intenzitě $I = 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (normální hovor).

$$I = 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}, I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}, B = ?$$

$$B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{10^{-6}}{10^{-12}} = 10 \cdot \log 10^6 \text{ dB} = 10 \cdot 6 \text{ dB} = 60 \text{ dB}$$

Hladina intenzity zvuku normálního hovoru je 60 dB.

Př. 3: Urči intenzitu zvuku 70 dB.

$$B = 70 \text{ dB}, I = ?$$

$$B = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$$

$$70 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}}$$

$$7 = \log \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow 10^7 = \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow I = 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Zvuk 70 dB má intenzitu $10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Dodatek: Můžeme využít i úpravy logaritmických rovnic: $B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad / : 10$

$$\frac{B}{10} = \log \frac{I}{10^{-12}}$$

$$\log 10^{\frac{B}{10}} = \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{levou stranu jsme zapsali jako logaritmus se základem 10})$$

$$10^{\frac{B}{10}} = \frac{I}{I_0}$$

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{B}{10}}$$

Př. 4: Reprodukční soustava má akustický výkon 12 W. Urči hladinu intenzity zvuku ve vzdálenosti 2 m. Předpokládej, že zvuk se šíří rovnoměrně do celého prostoru.

$$r = 2 \text{ m}, P = 12 \text{ W}, B = ?$$

Hladinu intenzity určíme z hodnoty intenzity zvuku \Rightarrow

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{12}{4\pi \cdot 2^2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 0,24 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{0,24}{10^{-12}} \text{ dB} = 114 \text{ dB}$$

Zvuk z reprodukční soustavy má ve vzdálenosti 2 m hladinu intenzity zvuku 114 dB.

Dodatek: Hladina zvuku z předchozího příkladu leží mezi 110 dB (podle tabulek pneumatické kladivo) a 120 dB (hluk letadla ze vzdálenosti asi 20 m). Zvukový vjem asi nebude příliš příjemný. Nálepky na některých přehrávačích 150 W zvukového výkonu jsou z tohoto pohledu zjevně přehnané.

Infrazvuk

- nižší frekvence než 16 Hz,
- dobré šíření ve vodě \Rightarrow „hlas moře“ (předpovídá vlnobití) vnímaný rybami, medúzami.

Poznámka: Šíření zvuku ve vodě využíval během studené války americký systém SOSUS (SOund SURveillance System), který sledoval polohu sovětských ponorek na vzdálenost přesahující stovky kilometrů (hluk, který ponorka vytváří, je z hlediska utajení stejný problém, jako radarový odraz letadel. Jeho potlačení se při konstrukci ponorek věnuje velká pozornost).

Ultrazvuk

vyšší frekvence než 16000 Hz \Rightarrow menší ohyb,
výraznější odraz, menší pohlcování v kapalinách a pevných látkách.
příroda:

- pes slyší do 100 kHz \Rightarrow ultrazvukové píšťalky,
- netopýr: vydává ultrazvukové signály a podle jejich odrazů se orientuje ve tmě (echolokace),
- delfín: komunikace, echolokace.

technika:

- ultrazvukové vyšetření (zachycování odrazů ultrazvuku od vnitřních orgánů, plodu),
- ultrazvuková defektoskopie: sledování odrazů od skrytých vad,
- čištění součástek (optika, jemné mechanismy,..),
- dokonalejší rozptylování pevných látek v kapalinách,
- vypuzování plynů z kapalin a pevných látek.

Př. 5: Vysvětli, proč netopýři používají k echolokaci ultrazvuk a ne zvuk nižších frekvencí.

Ultrazvuk má vyšší frekvenci \Rightarrow kratší vlnová délka \Rightarrow menší ohyb \Rightarrow z odrazů je možné identifikovat menší překážky.

Př. 6: Může mít skutečnost, že člověk vnímá zvuk pouze v omezeném frekvenčním rozsahu i výhody?

Chrání nás před některými zdroji hluku, které působí neustále (například šum vzbuzovaný vlastním krevním oběhem).

Př. 7: Vstupní část lidského ucha tvoří zvukovod – trubice o délce kolem 3 cm, na jednom konci uzavřená ušním bubínkem. Jaké frekvence zvuku tato rezonanční trubice nejlépe zesiluje?

Trubice z jedné strany otevřená a z druhé uzavřená \Rightarrow u bubínku se nachází uzel u vstupu kmitna \Rightarrow délka zvukovodu je jednou čtvrtinou vlnové délky základní frekvence.

$$\lambda = 4 \cdot 3 \text{ cm} = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

$$\text{Vztah pro vlnovou délku: } \lambda = vT = \frac{v}{f} \Rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0,12} \text{ Hz} = 2800 \text{ Hz} .$$

Zvukovod zesiluje nejvíce frekvence okolo 2,8 kHz.

Př. 8: Na mikrofon dopadají dvě zvukové vlny, jedna o hladině 85 dB, druhá o hladině 90 dB. Urči výslednou hladinu zvuku.

$$B_1 = 85 \text{ dB}, B_2 = 90 \text{ dB}, B = ?$$

První nápad: $B = B_1 + B_2 = 85 + 90 = 175 \text{ dB} \Rightarrow$ zvuk o této hladině by zabíjel i hluché \Rightarrow zřejmě není možné sčítat rovnou hladiny zvuku (vždyť zvýšení hladiny o 10 dB znamená 10x větší intenzitu) \Rightarrow převedeme zpět na intenzitu a sečteme intenzity:

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{B_1}{10}} = 10^{-12} \cdot 10^{\frac{85}{10}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10^{-3,5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I_2 = I_0 \cdot 10^{\frac{B_2}{10}} = 10^{-12} \cdot 10^{\frac{90}{10}} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$I = I_1 + I_2 = 10^{-3,5} + 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 1,32 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$B = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{1,32 \cdot 10^{-3}}{10^{-12}} \text{ dB} = 91 \text{ dB}$$

Hladina zvuku dopadajícího na mikrofon bude 91 dB.

Dodatek: Subjektivní jednotkou hladiny hlasitosti je fón [Ph]. Měření probíhá subjektivním srovnáváním s hlasitostí referenčního zvuku o frekvenci 1 kHz. Pokud je srovnávaný zvuk subjektivně stejně hlasitý jako referenční zvuk o hladině hlasitosti n dB, pak říkáme je hladina jeho hlasitosti je n fónů.

Shrnutí: Ucho dokáže registrovat obrovský rozsah intenzit zvuků, k jejich pohodlnějšímu zápisu využíváme logaritmickou stupnici v decibelech.