

# Vlastnosti zvuku

**Zvuk** je mechanické (akustické) vlnění šířící se pružným prostředím. Je vymezeno konvenčním frekvenčním rozsahem lidského ucha, tedy 16 Hz–20 kHz. Akustické vlnění s nižší frekvencí se nazývá infrazvuk, s vyšší pak ultrazvuk.

**Fyzikální akustika** se zabývá zákonitostmi šíření akustického vlnění včetně jejich matematického popisu a technických aplikací. Velmi hrubě lze říci, že fyzikální akustika se zabývá chováním, které lze popsat pomocí údajů jako je frekvence nebo intenzita.

**Fyziologická akustika** se naproti tomu zabývá spíše sluchem a řečí z fyzikálního hlediska, ovšem se zohledněním vlastností sluchových receptorů a fyziologickými účinky. Fyziologická akustika se zabývá např. studiem prahu citlivosti, prahu bolesti či vnímáním barvy tónů, zavádí nové veličiny jako je zejm. hladina intenzity.

## Fyzikální vlastnosti

### Frekvence

Frekvence udává počet kmitů za sekundu. Ve slyšitelné oblasti udává výšku tónu. Její převrácenou hodnotou je perioda, udává trvání jednoho kmitu.

### Rychlost šíření zvukové vlny

Pro rychlost šíření akustického vlnění platí v obecném prostředí obecný vztah:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

kde  $K$  je modul objemové pružnosti prostředí a  $\rho$  je hustota prostředí.

Pro rychlost šíření akustického vlnění v plynech platí:

$$c = \sqrt{\frac{\kappa p}{\rho}}$$

kde  $\kappa$  je Poissonova konstanta,  $\rho$  je hustota plynu,  $p$  je tlak plynu

Pro ilustraci, rychlost zvuku se pohybuje od cca 330 m/s ve vzduchu (silně teplotně závislé), přes 1450 m/s v tuku a 1570 m/s v krvi až po 4080 m/s v lebečních kostech.

### Vlnová délka

Vlna se šíří prostředím konečnou rychlostí. Vlnová délka je vlastně vzdálenost dvou maxim. S rychlostí vlny a s frekvencí je spojena vztahem:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Někdy se používá převrácená hodnota vlnové délky, *vlnocet* (vyjadřující, kolik vln se vejde do délky 1 m), ale v akustice to není obvyklé.

### Akustická rychlost

Protože je zvuk mechanickým kmitáním částic kolem rovnovážné polohy, kmitají tyto s nějakou rychlostí  $v$ .

## Akustický tlak

Šířením vlny v prostředí vznikají místa s nařazením resp. nahloučením částic. Makroskopicky se to projevuje kolísáním tlaku. Velikost akustického tlaku závisí mimo jiné na hustotě prostředí, rychlosti vlny a frekvenci vlnění.

S akustickou rychlostí  $v$  je akustický tlak  $p$  spojen veličinou **akustická impedance  $Z$** , která je charakteristikou prostředí:

$$Z = \frac{p}{v}$$

Akustický tlak se ve výsledku pochopitelně superponuje na atmosférický tlak.

Maximální akustický tlak  $p_{MAX}$  je obtížně měřitelný, proto se v praxi používá, podobně jako např. v elektrotechnice, hodnota tlaku efektivního. Zavedení efektivní hodnoty souvisí s přenášenou energií a matematické odvození, i když není složité, přesahuje potřeby studentů medicíny. Pro harmonické vlnění platí:

$$p_{EF} = \frac{\sqrt{2}}{2} p_{MAX}$$

Ještě jednou je třeba zdůraznit, že toto platí jen pro harmonické průběhy. V případě neharmonického průběhu záleží na konkrétním měřidle, někdy může být hodnota správná, ale zejména u starších nebo špatně navržených přístrojů může být silně zavádějící.

Pro další potřeby se stanovuje **prahový akustický tlak**  $p_0$  jako do jisté míry konvencí stanovená hodnota akustického tlaku, jakou ještě může lidské ucho při použití čistého tónu o frekvenci  $1 \text{ kHz}$  ještě zaregistrovat:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

## Intenzita vlnění

Intenzita vlnění (zvuku) je definována jako množství energie, které projde jednotkovou plochou kolmou na směr šíření na jednotku času.

Podobně jako u akustického tlaku, je i u intenzity vlnění zaváděna prahová intenzita  $I_0$  jako nejnižší ještě registrovatelná intenzita čistého tónu o frekvenci  $1 \text{ kHz}$ :

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

## Hladina intenzity zvuku

Protože intenzita běžných zvuků kolísá v rozsahu několika dekád, zavádí se logaritmická škála, která prahové intenzitě přiřadí nulovou hodnotu:

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

Hladina intenzity vychází z poměru dvou stejných veličin a proto je v SI bezrozměrná. Pro označení takto definovaných hladin (nejen v akustice, ale i např. v elektrotechnice) se používá jednotka decibel (dB). Jednotka je pojmenovaná po skotském vědci a vynálezci prvního prakticky použitelného telefonu A.G.Bellovi, předpona deci-pak značí vynásobení desítkou.

Protože je intenzita vlnění přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku, platí současně:

$$L = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0}$$

## Fyziologické vlastnosti

### Akustické spektrum

V obecném případě není akustický signál tvořen jedním tónem o harmonickém („sinusovém“) průběhu, ale průběh má složitější tvar. Pokud je tento průběh periodický, vnímáme jej jako čistý tón. Čistý tón rozložit na součet případně různě posunutých sinusových průběhů s frekvencemi  $f_0, 2f_0=f_1, 3f_0=f_2, \dots$  (Fourierův teorém). Vynesení amplitud těchto sinusovek za sebe představuje amplitudové spektrum akustického signálu. Takovéto spektrum se nazývá diskrétní, protože je tvořeno jen diskrétními body. Základní frekvence  $f_0$  určuje výšku tónu. Další frekvence  $f_1, \dots$  se nazývají vyšší harmonické, určují barvu tónu.

Pokud zvuk není periodický, tedy pokud jde o jednorázový děj typu exploze nebo souhlásky nebo pokud jde o šum, lze na něj pohlížet jako na periodický děj s nekonečně velkou periodou a tedy nekonečně malou frekvencí. Spektrum takového neperiodického signálu je pak spojitě.

### Hlasitost

Protože vztah mezi intenzitou vlnění a intenzitou počitku závisí mimo jiné i na frekvenci, je třeba hodnotit pro každou frekvenci (výšku) tónu vztah individuálně. K porovnání se používají veličiny hlasitost a hladina hlasitosti, které kvantifikují případné rozdíly ve vnímané intenzitě.

Hladina hlasitosti  $L_N$  je definována pomocí srovnání s hladinou intenzity při frekvenci  $1 \text{ kHz}$ . Tón na libovolné frekvenci má právě takovou hladinu hlasitosti, jakou má hladinu intenzity zvuku tón o frekvenci  $1 \text{ kHz}$ , který vnímáme jako stejně silný. Jednotkou hladiny hlasitosti je fón (Ph).

Hlasitost  $N$  byla definována z toho důvodu, že hladina hlasitosti nekvantifikuje příliš dobře rozdíly ve vnímání. Referenčním bodem je tón o hladině intenzity  $40 \text{ dB}$  při frekvenci  $1 \text{ kHz}$ , kterému je přiřazena hodnota  $1$ . Jednotkou hlasitosti je son. Hlasitost lze určit z hladiny hlasitosti podle následujícího vztahu:

$$N = 2^{\frac{L_N - 40}{10}}$$

Ve skutečnosti závisí vnímaná intenzita i na tom, zda je použit skutečně čistý tón. Při měření hlasitosti zvuků, které nemají sinusový průběh (jednobodové spektrum), je třeba dále zohlednit frekvenční závislost jednotlivých složek. Běžným přístupem je zapojení frekvenčního filtru, který v měřeném signálu přesně definovaným způsobem potlačí nevnímané složky a omezí vliv jednotlivých frekvencí.

## Odkazy

### Zdroje

- KUBATOVA, Senta. *Biofot* [online]. [cit. 2011-01-31]. <<https://uloz.to/!CM6zAi6z/biofot-doc>>.
- HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vydání. Brno : Neptun, 2001. 396 s. ISBN 80-902896-1-4.
- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Lékařská biofyzika*. 1. vydání. Manus, 2001 (1. dotisk). 357 s. ISBN 80-902318-5-3.
- SCHAUER, Pavel. *Vybrané statě z akustiky* [online]. Ústav fyziky, Fakulta stavební, VUT Brno, [cit. 2013-08-20]. <[http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka\\_schauer/vybrane\\_state\\_z\\_akustiky.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_state_z_akustiky.pdf)>.

### Související články

- Audiometrie (biofyzika) • Audiometrie (fyziologie)
- Sluch • Klasifikace sluchových poruch • Vyšetření sluchu
- Hluk • Hluková zátěž