

Akustika: poznámky DJ

Intenzita zvuku

Pre objektívne meranie definujeme veličinu **intenzita zvuku** I ako energiu zvukového vlnenia, ktorá prejde za dobu jednej sekundy plochou 1m^2 , orientovanou kolmo na smer šírenia zvuku

$$I = \frac{P}{S},$$

Kde P je výkon zvukového vlnenia a S je obsah plochy, ktorou vlnenie prechádza. Jednotkou intenzity zvuku je $\text{W}\cdot\text{m}^2$.

Zo vzťahu pre energiu kmitavého pohybu možno pre rovinnú zvukovú vlnu odvodiť:

$$I = \frac{1}{2} p_{\max} \cdot v_{\max} = \frac{1}{2} v_{\max}^2 \cdot \rho \cdot c = \frac{1}{2} p_{\max}^2 / (\rho \cdot c).$$

Pri odvodení sme použili sme vzťah medzi maximálnou hodnotou akustického tlaku a maximálnou hodnotou akustickej rýchlosti:

$$p_{\max} = \rho \cdot c \cdot v_{\max}, \quad \rho \text{ je hustota prostredia a } c \text{ je rýchlosť šírenia vlnenia.}$$

Tlakové zmeny **nazývame akustickým tlakom**.

Celkový tlak v danom mieste je daný súčtom kludového (stáleho) tlaku a akustického tlaku a kolíše okolo kludovej hodnoty s rovnakou frekvenciou ako akustická výchylka a rýchlosť.

Rovnica pre akustickú výchylku vo vzdialenosti X od zdroja má pre rovinnú vlnu harmonického priebehu tvar.

$$y = y_m \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot (t - x/c))$$

Pomocou efektívnych hodnôt pre I platí:

$$I = p_{ef} \cdot v_{ef} = v_{ef}^2 \cdot \rho \cdot c = \frac{1}{2} p_{ef}^2 / (\rho \cdot c)$$

Tento vzťah sa využíva k meraniu intenzity zvuku.

Hladina intenzity zvuku

Za referenčnú hodnotu pre ľudské ucho považujeme hodnotu $I_0 = 10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, ktorá sa nazýva **prah počuteľnosti** a odpovedá najnižšej počuteľnej intenzite pri frekvencii 1 kHz. Tejto hodnote odpovedá akustický tlak $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$.

Najsilnejšie zvuky, ktoré môžu spôsobovať bolesť, majú intenzitu $1 \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, **prah bolesti**. Rozdiel je tu 12 rádov.

Z pozorovania našich vnemov v závislosti na intenzite I vyplynulo, že vnímanie rozdielov v sile dvoch zvukov odpovedá približne logaritmu pomeru ich intenzít. Ináč povedané: rast intenzity geometrickou radou, spôsobí rast vnímania sily zvuku aritmetickou radou. Alebo: Sluchový orgán teda vníma skôr rád intenzity (logaritmus) než jej hodnotu.

Súvislosť subjektívneho vnemu a objektívnej intenzity formuluje ako tzv. psychofyzikálny **Weber-Fechnerov zákon**:

Zmena vnemu (hlasitosti ΔH) je priamo úmerná relatívnej zmene podnetu (intenzity zvuku I)

$$\Delta H \approx \Delta I / I.$$

S ohľadom na predchádzajúce sa zavádza **hladina intenzity zvuku**. Ako jednotka **rozdielu** hladiny intenzity zvuku je zavedený 1 bel (1 B), ktorý odpovedá pomeru intenzít zvuku 1:10. Rozdiel hladín hlasitosti zvuku v beloch potom odpovedá dekadickému logaritmu pomeru intenzít. Ak definuje ako referenčnú hodnotu $I_0 = 10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, potom môžeme zaviesť absolútnu hladinu hlasitosti nasledovne:

$$L_{(B)} = \log_{10} \frac{I}{I_0},$$

kde I je intenzita posudzovaného zvuku a I_0 je prah počutia.
V praxi sa používa jednotka desaťkrát menšia, decibel (1dB), teda

$$L_{(B)} = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{resp.} \quad L_{(B)} = 20 \cdot \log_{10} \frac{P_{ef}}{P_0}$$

Zvýšenie hladiny intenzity zvuku o 1 dB znamená zvýšenie intenzity zvuku približne **o 26%**, čo je práve najmenší rozdiel, ktorý normálne ucho postrehne. Hladina intenzity zvuku je tiež objektívne merateľná.

Intenzitám zvuku I vnímaným ľudským uchom v rozsahu

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{až} \quad 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \text{resp.}$$

Priradzujeme **hladiny intenzity zvuku L** v rozmedzí

$$0 \text{ dB (ak } I=I_0) \quad \text{až} \quad 130 \text{ dB (ak } 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$$

Príčinou schopnosti sluchu spracovať obrovské rozsahy podnetov sú adaptačné mechanizmy sluchu (podobne u zraku).

Fyziologická akustika. Hladina hlasitosti

Vnímanie zvuku sluchovým orgánom je individuálne a i medzi zdravými ľuďmi môžu byť rozdiely. Taktiež sa mení s vekom. Vnímanie zvuku je od 16 Hz do 20000 kHz. Ucho je najcitlivejšie v oblasti frekvencií 1-5 kHz.

Pre každú frekvenciu je rozdielny rozsah intenzít, ktoré počujeme.

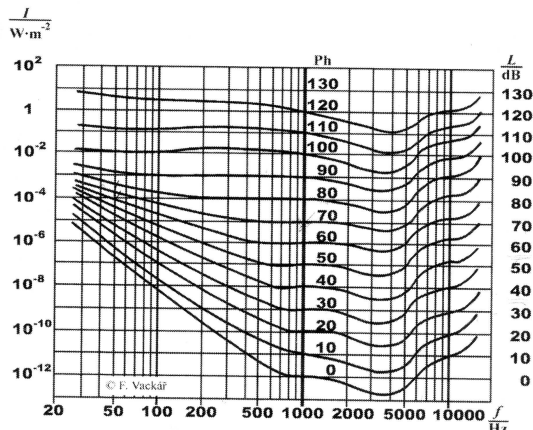
Vzhľadom k tomu, že človek je schopný posúdiť, kedy počuje dva zvuky rovnako silne, môžeme si do grafu vyniesť krivky, pre ktoré platí, že body na tej istej krivke, t.j. zvuky príslušnej frekvencie a intenzity, vnímame ako rovnako silné. Tieto krivky nazývame **izofóny**.

Vedľa objektívnej, fyzikálne merateľnej hladiny intenzity zvuku L bola zavedení ešte ďalšia, teraz subjektívna a iba experimentom popísaná veličina – **hladina hlasitosti A** , udávaná vo fónoch (Ph).

Pre zvuky frekvencie 1 kHz sa zhoduje stupnica hladiny hlasitosti A so stupnicou hladiny intenzity L . Teda pri frekvencii 1 kHz má zvuk s hladinou intenzity 30 dB hladinu hlasitosti 30 Ph.

Pre zvuky s inou frekvenciou určíme hladinu hlasitosti A z grafu alebo experimentom. Porovnáme daný zvuk, čo do sily, a rôzne silné zvuky frekvencie 1 kHz a určíme, ktorý zvuk z rady počujeme rovnako silne ako náš skúmaný zvuk. Potom hladina hlasitosti A vo fónoch je rovná intenzity vybraného zvuku. Napríklad: skúmaný zvuk počujeme rovnako silne ako zvuk frekvencie 1 kHz a hladiny intenzity $L=30$ dB. Potom náš skúmaný zvuk má hladinu hlasitosti 30 Ph.; pritom nameraná hladina intenzity môže byť napr. 40 dB pre frekvenciu 300 Hz alebo 60 dB pri 80 Hz.

Najmenší rozdiel hlasitosti, ktoré ľudské oko postrehne pri 1 kHz je 1 Ph.



NL,RJ: MB. A. P. 04.