

3. Decibelové veličiny v akustice, kmitočtová pásma

V předchozí kapitole byly definovány základní akustické veličiny, jako např. akustický výkon, akustický tlak a intenzita zvuku. Tyto veličiny ve v praxi mění o mnoho řádů. Např. vyzařovaný akustický výkon může dosahovat hodnot od 10^{-9} W (tj. velmi tichý šepot) až do 10^6 W (tj. velký raketový motor). Na tomto příkladu je zřejmý velký rozsah akustického výkonu. Podobné příklady by se daly uvést i pro ostatní akustické veličiny. Z těchto důvodů (tzn. pro lepší názornost člověka) byly zavedeny decibelové veličiny, které přepočítávají základní akustické veličiny na decibelové hladiny na základě jejich referenčních hodnot. Jejich jednotkou je tedy „decibel“ [dB]. Potom rozsah hladin v decibelové stupnici je podstatně menší. Tím je dosaženo podstatně názornější představy o dané akustické veličině v decibelové stupnici ve srovnání s jejich hodnotami uvedenými v základních jednotkách. Pro frekvenční analýzu akustických signálů se používají kmitočtová pásma.

Decibelové veličiny se používají nejen v technické akustice, ale i v jiných oborech, např. elektrotechnice nebo při dynamickém namáhání v mechanice.

3.1 Základní decibelové veličiny

3.1.1 Hladina akustického výkonu

Hladina akustického výkonu L_w [dB] je definována vztahem:

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0}, \quad (3.1)$$

kde P je sledovaný akustický výkon [W] a P_0 – referenční hodnota akustického výkonu ($P_0 = 10^{-12}$ W). Z rovnice (3.1) je zřejmé, že každému zvýšení akustického výkonu o jeden řád odpovídá zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB. Konkrétní příklady akustických výkonů a jejich hladin jsou uvedeny na obr. 3.1.

3.1.2 Hladina akustického tlaku

Hladina akustického výkonu L_p [dB] je definována vztahem:

$$L_p = 20 \cdot \log \frac{P}{p_0}, \quad (3.2)$$

kde P je efektivní hodnota sledovaného akustického tlaku [Pa] a p_0 – referenční hodnota akustického tlaku (pro vzduch $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa). Referenční hodnota akustického tlaku je přitom taková minimální hodnota akustického tlaku, kterou je ještě schopen zaznamenat nepoškozený lidský sluchový orgán. Z rovnice (3.2) je zřejmé, že každému zvýšení akustického tlaku o jeden řád odpovídá zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB. Konkrétní příklady akustických tlaků a jejich hladin jsou uvedeny na obr. 3.2.

3.1.3 Hladina intenzity zvuku

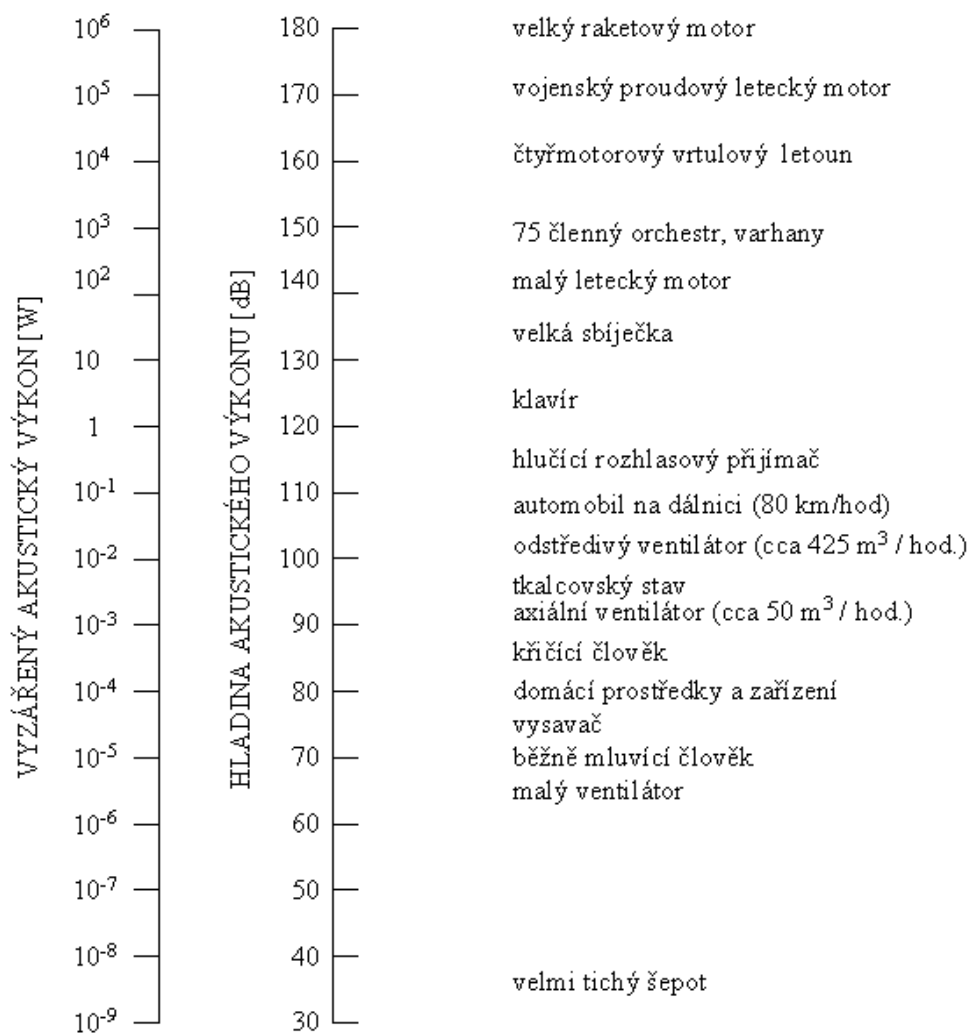
Hladina akustického výkonu L_I [dB] je definována vztahem:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}, \quad (3.3)$$

kde I je intenzita zvuku sledovaného akustického signálu [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] a I_0 – referenční hodnota intenzity zvuku ($I_0 = 10^{-12}$ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$). Z rovnice (3.3) je zřejmé, že každému zvýšení intenzity zvuku o jeden řád odpovídá zvýšení hladiny intenzity zvuku o 10 dB.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



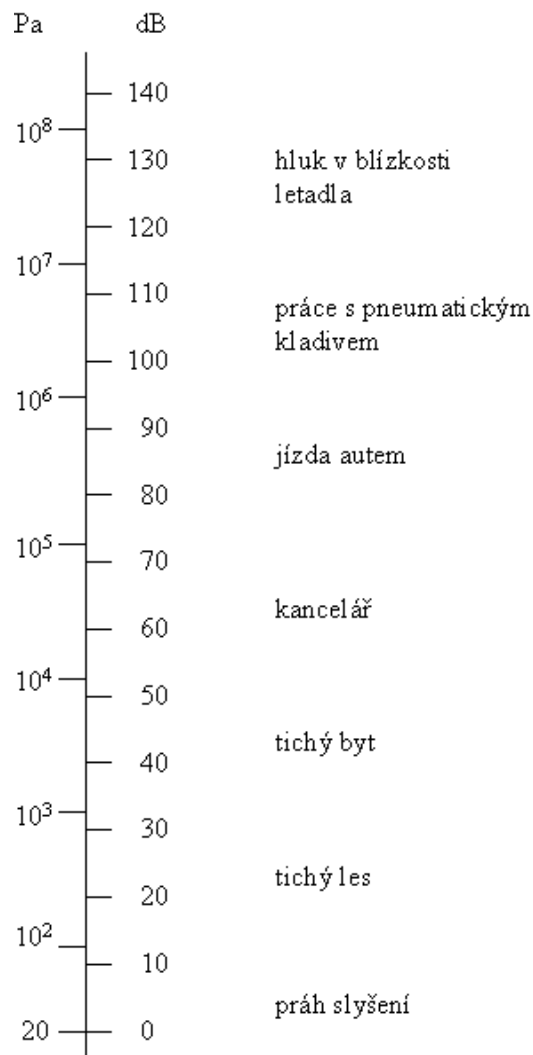


Obr. 3.1: Akustický výkon a jeho přepočtená hladina

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 3.2: Akustický tlak a jeho přepočtená hladina

3.2 Vzájemná souvislost základních decibelových veličin

3.2.1 Souvislost hladiny intenzity zvuku a hladiny akustického tlaku

Dosadí-li se vztah (2.35) pro intenzitu zvuku do rovnice (3.3), potom platí:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \cdot \log \frac{\frac{p^2}{\rho \cdot c}}{\frac{p_0^2}{\rho_0 \cdot c_0}} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} + 10 \cdot \log \frac{\rho_0 \cdot c_0}{\rho \cdot c} \quad (3.4)$$

Poslední člen rovnice (3.4) při běžných klimatických podmínkách je přítom roven:

$$10 \cdot \log \frac{\rho_0 \cdot c_0}{\rho \cdot c} = -0,2 \quad (3.5)$$

Potom lze tedy rovnici (3.4) po zanedbání posledního členu upravit do tvaru:

$$L_I = L_p - 0,2 \approx L_p \quad (3.6)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Z poslední rovnice je zřejmé, že na základě měření hladiny akustického tlaku lze přímo stanovit hladinu intenzity zvuku, aniž bychom podstatným způsobem ovlivnili přesnost výpočtů a měření zvuku.

Hladina akustického tlaku L_p a hladina intenzity zvuku L_I jsou přibližně stejné.

3.2.2 Souvislost hladiny akustického výkonu a hladiny akustického tlaku

Předpokládejme zdroj zvuku Z o akustickém výkonu P vyzařující akustickou energii rovnoměrně do všech směrů (viz obr. 3.3). Tento zdroj se nyní obklopí měřicí plochou S s intenzitou zvuku I . Je zřejmé, že veškerý akustický výkon projde plochou S a platí:

$$P = I \cdot S. \quad (3.7)$$

Tento vztah se nyní dosadí do rovnice (3.1):

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0} = 10 \cdot \log \frac{I \cdot S}{I_0 \cdot S_0} = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} + 10 \cdot \log \frac{S}{S_0}. \quad (3.8)$$

Zvolíme-li v posledním členu rovnice (3.8) velikost referenční plochy $S_0 = 1 \text{ m}^2$, získá se tím závislost hladiny akustického výkonu na hladině akustického tlaku:

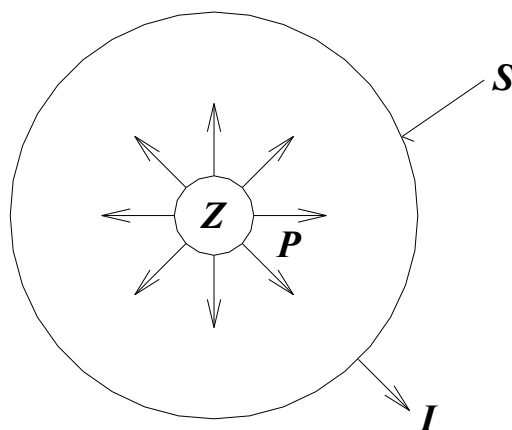
$$L_w = L_p + 10 \cdot \log S, \quad (3.9)$$

resp.:

$$L_p = L_w - 10 \cdot \log S, \quad (3.10)$$

Z předchozí rovnice je zřejmé, že s rostoucí vzdáleností od zdroje zvuku dochází k poklesu hladiny akustického tlaku, protože se zvětšuje velikost měřicí plochy S . To je v souladu s platnými fyzikálními zákony.

Hladina akustického tlaku L_p klesá s rostoucí vzdáleností od bodového zdroje zvuku s hladinou akustického výkonu L_w .



Obr. 3.3: Zdroj zvuku vyzařující rovnoměrně do všech směrů

3.2.3 Souvislost hladiny akustického výkonu a hladiny intenzity zvuku

Protože hladiny akustického tlaku a intenzity zvuku jsou podle rovnice (3.6) přibližně stejné, potom mezi hladinou intenzity zvuku a hladinou akustického výkonu platí vztah analogický rovnici (3.10):

$$L_I = L_w - 10 \cdot \log S. \quad (3.11)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



Hladina intenzity zvuku L_I klesá s rostoucí vzdáleností od bodového zdroje zvuku s hladinou akustického výkonu L_W .

3.3 Hladinové vyjádření dalších decibelových veličin

Kromě základních hladinových veličin (tzn. hladiny akustického tlaku, hladiny akustického výkonu a hladiny intenzity zvuku) se používají další decibelové veličiny. Přehled všech hladinových veličin používaných v oblasti akustiky a vibrací je uveden v tab. 3.1. Kromě hladinových veličin uvedených v tab. 3.1 se používají ještě další decibelové veličiny, např. vložný útlum, přenosový útlum, ekvivalentní hladina a hladina hlukové expozice.

Veličina	Definice hladiny	Referenční hodnota
Akustický výkon	$L_W = 10 \log(W/W_0)$	$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$
Akustická intenzita	$L_I = 10 \log(I/I_0)$	$I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$
Akustická energie	$L_E = 10 \log(E/E_0)$	$E_0 = 10^{-12} \text{ J}$
Hustota ak. energie	$L_w = 10 \log(w/w_0)$	$w_0 = 10^{-12} \text{ Jm}^{-3}$
Akustický tlak vzduch	$L_p = 20 \log(p/p_0)$	$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$
Akustický tlak jiná prostředí	$L_p = 20 \log(p/p_0)$	$p_0 = 10^{-6} \text{ Pa}$
Akustická rychlost	$L_v = 20 \log(v/v_0)$	$v_0 = 10^{-9} \text{ ms}^{-1}$
Zrychlení vibrací	$L_a = 20 \log(a/a_0)$	$a_0 = 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$
Výchylka vibrací	$L_d = 20 \log(d/d_0)$	$d_0 = 10^{-9} \text{ m}$
Síla	$L_F = 20 \log(F/F_0)$	$F_0 = 10^{-6} \text{ N}$

Tab. 3.1: Přehled hladinových veličin používaných v oblasti akustiky a vibrací

3.3.1 Vložný útlum

Vložný útlum D_v [dB] je veličina, která vyjadřuje schopnost tlumičeho prvku, jehož vložením dojde k určitému tlumení hluku. Příkladem může být vložení tlumiče hluku do vzduchotechnického potrubí. Potom vložný útlum je definován vztahem:

$$D_v = L_{w1} - L_{w2} = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2}, \quad (3.12)$$

kde: L_{w1} je hladina akustického výkonu vyzařovaného z potrubí bez použití tlumiče, L_{w2} - hladina akustického výkonu potrubí vyzařovaného z potrubí s použitím tlumiče. Protože se jedná o poměr dvou akustických výkonů, není zde potřeba žádná referenční hodnota.

3.3.2 Přenosový útlum

Veličina přenosový útlum D_p [dB] charakterizuje schopnost materiálů tlumit mechanické vibrace, které se šíří od vstupu 1 směrem k výstupu 2 daného materiálového vzorku. Potom pro přenosový útlum platí vztah:

$$D_p = 20 \cdot \log \frac{v_1}{v_2} = 20 \cdot \log \frac{F_1}{F_2}, \quad (3.13)$$

kde: v_1 je amplituda rychlosti na vstupu 1 do kmitavé soustavy, v_2 - amplituda rychlosti na výstupu 2 z kmitavé soustavy, F_1 je amplituda síly na vstupu 1 do kmitavé soustavy, F_2 - amplituda síly na výstupu 2 z kmitavé soustavy. Mohou nastat (obecně při určité frekvenci kmitání) tři případy z hlediska velikosti přenosového útlumu:

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



- $D > 0$, kdy amplituda výstupní veličiny je menší ve srovnání s amplitudou vstupní veličiny a tím dochází k tlumení mechanických vibrací.
- $D = 0$, kdy amplituda výstupní veličiny je rovna amplitudě vstupní veličiny a tím nedochází k žádnému přenosovému tlumení.
- $D < 0$, kdy amplituda výstupní veličiny je větší ve srovnání s amplitudou vstupní veličiny a tím dochází k tzv. rezonanci.

3.3.3 Ekvivalentní hladina

V praxi se setkáváme s proměnnými zvukovými poli, kdy dochází k časovým změnám příslušných hladin. Příklad časové závislosti hladiny akustického tlaku je uveden na obr. 3.4. Z hlediska závislosti hladiny akustického tlaku na čase se rozlišují následující druhy hluku:

- Ustálený hluk – takový hluk, u něhož se hladina akustického tlaku nemění o více než 5 dB.
- Proměnný hluk – takový hluk, u něhož se hladina akustického tlaku v daném místě a daném časovém intervalu mění v závislosti na čase o více než 5 dB.
- Proměnný přerušovaný hluk – hluk, který je po většinu času ustálený, ale v krátkých časových okamžicích se náhle mění. Typickým příkladem tohoto hluku je kompresor.

Právě v případech, kdy se hluk výrazněji mění s časem, se zavádí ekvivalentní (neboli trvalá konstantní) hladina L_{eq} [dB]. Ekvivalentní hladina je fiktivní ustálená hladina zvolené veličiny (především akustického tlaku nebo intenzity zvuku), která má stejný účinek na člověka jako proměnný hluk během stejného časového úseku. Tuto definici splňuje nejlépe střední energetická hodnota, která pro akustický tlak je definována vztahem:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{p^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right], \quad (3.14)$$

kde: T je doba trvání proměnného hluku. Kromě toho se v praxi setkáváme s časovým rozložením hladin, kdy daná hladina L_i se vyskytovala po dobu měření t_i . Potom ekvivalentní hladina je pro tyto případy určena vztahem:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (3.15)$$

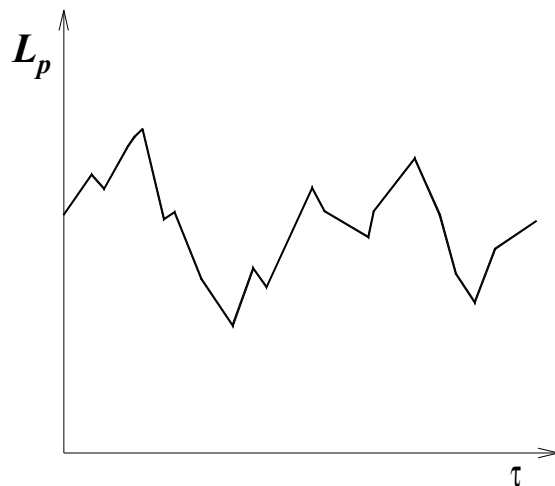
kde n je počet měřených časových úseků.

Ekvivalentní hladina je fiktivní ustálená hladina zvolené veličiny, která má stejné účinky na člověka v daném časovém intervalu jako proměnný hluk.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 3.4: Příklad časového průběhu hladiny akustického tlaku

3.3.4 Hladina hlukové expozice SEL

Při hodnocení proměnného hluku se používá též jako veličina hladina hlukové expozice SEL [dB] (tj. sound exposure level). Z hygienického hlediska se zavádí sekundová hladina expozice, která se ve srovnání s ekvivalentní hladinou vztahuje pouze na čas 1 s místo na celý čas sledovaného děje:

$$SEL = 10 \cdot \log \left[\int_0^T \frac{p^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right]. \quad (3.16)$$

3.4 Stanovení hladiny dvou a více zvuků

Předpokládejme interferenci zvuků o různých frekvencích. V takovém případě lze výslednou intenzitu zvuku stanovit jednoduchým součtem dílčích intenzit pomocí rovnice (2.57). Potom výsledná hladina intenzity více zvuků bude dána vztahem:

$$L_I = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0}, \quad (3.17)$$

kde I_i je intenzita zvuku i -tého zdroje.

Rovnici (3.17) lze dále upravit do následujícího tvaru:

$$L_I = 10 \cdot \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} + \dots + \frac{I_n}{I_0} \right) = 10 \cdot \log \left(10^{0,1L_{I1}} + 10^{0,1L_{I2}} + \dots + 10^{0,1L_{In}} \right), \quad (3.18)$$

který se dá zjednodušit výrazem:

$$L_I = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n \left(10^{0,1L_{Ii}} \right), \quad (3.19)$$

kde L_{Ii} je hladina intenzity zvuku i -tého zdroje.

Podobně pro výslednou hladinu akustického tlaku lze na základě platnosti rovnice (2.35) psát rovnici:

$$L_p = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{p_0^2}, \quad (3.20)$$

Kterou lze dále zjednodušit do tvaru:

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



$$L_p = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n \left(10^{0,1 L_{pi}} \right), \quad (3.21)$$

kde L_{pi} je hladina akustického tlaku i -tého zdroje. Analogický vztah lze aplikovat i pro výslednou hladinu akustického výkonu na základě znalosti dílčích hladin. Z rovnice (3.20) dále plyne, že při interferenci více zvuků lze stanovit výsledný efektivní akustický tlak ze vztahu:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}. \quad (3.22)$$

3.5 Kmitočtová pásma

Velikosti akustických veličin (např. hladin) jsou obecně závislé na frekvenci f . Výsledkem jsou frekvenční spektra příslušných akustických veličin. Pokud by se měřila frekvenční spektra s frekvenčním krokem $\Delta f = 1$ Hz, tak by jejich zhotovení bylo příliš pracné. V praxi se však obvykle nepožaduje přesná znalost spekter k určení celkové hlučnosti. V těchto případech se zavádí kmitočtová pásma o procentuelní konstantní šířce. Tuto podmínku splňují oktávová nebo třetinooktávová kmitočtová pásma.

Oktávová (resp. třetinooktávová) pásma se zavádí z důvodu zjednodušení frekvenčních spekter akustických veličin, aniž se tím příliš změní přesnost spekter k určení celkové hlučnosti.

3.5.1 Oktávové kmitočtové pásmo

Příklad oktávového pásma (neboli oktávy) je znázorněn na obr. 3.5. Každá oktáva (celkem jich je 10) je charakterizována poměrem krajních frekvencí:

$$\frac{f_2}{f_1} = 2, \quad (3.23)$$

kde f_1 je dolní frekvence oktávy a f_2 - horní frekvence oktávy. Každou oktávu přitom označujeme střední frekvencí f_m , pro kterou platí:

$$f_m = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \quad (3.24)$$

Střední frekvence se odvíjí od frekvence $f = 1000$ Hz a jsou standardně zaokrouhleny podle tab. 3.2. Matematickými úpravami posledních dvou rovnic lze vyjádřit dolní a horní frekvenci pomocí střední frekvence:

$$f_1 = \frac{f_m}{\sqrt{2}}, \quad (3.25)$$

$$f_2 = f_m \cdot \sqrt{2}. \quad (3.26)$$

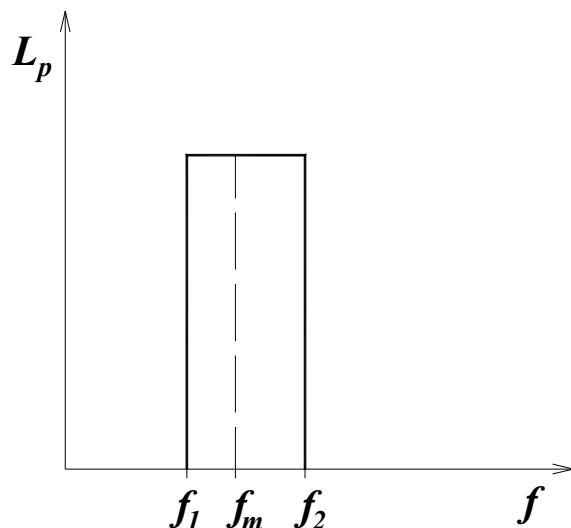
Šířka oktávy jako rozdíl horní a dolní frekvence je určena střeňí frekvencí daného oktávového pásma:

$$f_2 - f_1 = f_m \cdot \left(\sqrt{2} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{f_m}{\sqrt{2}}. \quad (3.27)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obr. 3.5: Příklad oktávového pásma

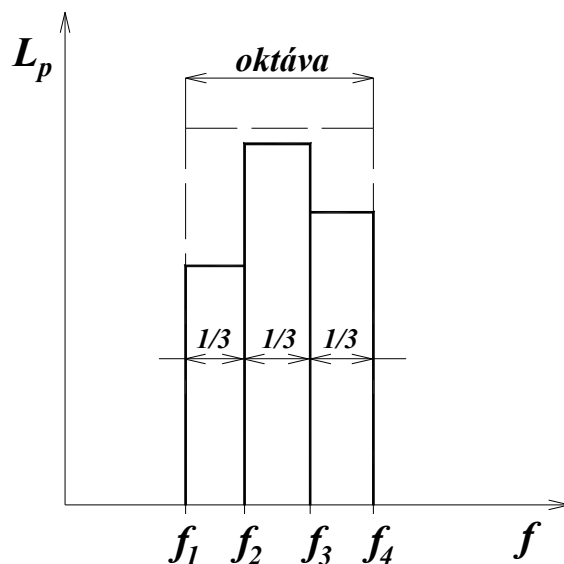
Velikost střední frekvence v příslušném oktávovém pásmu lze popsat matematickou závislostí:

$$f_m = 15,625 \cdot 2^n \quad (3.28)$$

kde n je číslo oktávy ($n = 1, 2, \dots, 10$). Z rovnice (3.22) je zřejmé, že střední frekvence příslušné oktávy je dvojnásobkem střední frekvence předchozí oktávy:

$$f_{mi+1} = 2 \cdot f_{mi}, \quad (3.29)$$

kde $i = 1, 2, \dots, n - 1$.



Obr. 3.6: Příklad třetinooktávového pásma

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Střední frekvence pásma f_m [Hz]		Mezní frekvence	
oktávového	třetinooktávového	dolní f_1 [Hz]	horní f_2 [Hz]
31,5	25	22	28
	31,5	28	35
	40	35	44
63	50	44	57
	63	57	71
	80	71	88
125	100	88	113
	125	113	141
	160	141	176
250	200	176	225
	250	225	283
	315	283	353
500	400	353	440
	500	440	565
	630	565	707
1000	800	707	880
	1000	880	1130
	1250	1130	1414

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

2000	1600	1414	1760
	2000	1760	2250
	2500	2250	2825
4000	3150	2825	3530
	4000	3530	4400
	5000	4400	5650
8000	6300	5650	7070
	8000	7070	8800
	10000	8800	11300
16000	12500	11300	14140
	16000	14140	17600
	20000	17600	22500

Tab. 3.2: Přehled oktávových a třetinoctávových pásem

3.5.2 Třetinoctávové kmitočtové pásmo

Třetinoctávové pásmo vznikne rozdělením oktávového pásma na třetiny (v logaritmických souřadnicích). Proto je celkem $n = 30$ třetinoctávových pásem (viz tab. 3.2). Frekvence f_1 a f_4 přitom ohraničují pásmo jedné oktávy, frekvence f_2 a f_3 jsou krajními frekvencemi vnitřní třetiny oktávy (viz obr. 3.6). Potom platí rovnice:

$$\log \frac{f_2}{f_1} + \log \frac{f_3}{f_2} + \log \frac{f_4}{f_3} = \log \frac{f_4}{f_1} = \log 2, \quad (3.30)$$

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{f_3}{f_2} = \frac{f_4}{f_3} = \sqrt[3]{2} \cong 1,26. \quad (3.31)$$

Ze vztahu (3.31) plyne, že poměr krajních kmitočtů v libovolné třetině oktávy je konstantní. Pro krajní frekvence třetinoctávového pásma (např. 1. třetinoctávového pásma z obr. 3.6) platí následující závislosti na střední frekvenci f_m tohoto pásma:

$$f_1 = \frac{f_m}{\sqrt[6]{2}}, \quad (3.32)$$

$$f_2 = f_m \cdot \sqrt[6]{2}. \quad (3.33)$$

Podobně mezi středními frekvencemi dvou po sobě následujících třetinoctávových pásem platí tato závislost:

$$f_{m_{i+1}} = \sqrt[3]{2} \cdot f_{m_i}, \quad (3.34)$$

kde $i = 1, 2, \dots, n - 1$.

3.5.3 Přepočty hladin na jinou šířku pásma

Máme-li k dispozici např. hodnoty hladin akustického tlaku v třetinoctávových pásmech, lze stanovit hladinu akustického tlaku v oktávovém pásmu na základě rovnice (3.21):

$$L_p = 10 \cdot \log(10^{0,1L_{p1}} + 10^{0,1L_{p2}} + 10^{0,1L_{p3}}), \quad (3.35)$$

kde L_{p1} , L_{p2} , L_{p3} jsou hladiny akustického tlaku v jednotlivých třetinách oktávy. Rovnici (3.35) lze analogicky použít pro stanovení hladiny akustického výkonu a hladiny intenzity zvuku v oktávovém pásmu.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Podstatně složitější je případ, kdy známe rozložení hladin hluku v širších pásmech (např. v oktávách) a zajímáme se o hladiny uvnitř tohoto pásma (např. hladiny v třetinooktávových pásmech). V tomto případě je buď známý nebo se odhadne směrnice sklonu spojitého spektra, tzv. přírůstek S [dB/oktáva] hladiny akustického tlaku mezi dvěma sousedními oktávami. Předpokládejme znalost hladiny v první třetině oktávy L_{p1} a směrnici sklonu S . Potom hladiny akustického tlaku ve druhé a třetí třetině oktávy se určí z rovnic:

$$L_{p2} = L_{p1} + \frac{S}{3}, \quad (3.36)$$

$$L_{p3} = L_{p1} + \frac{2 \cdot S}{3}. \quad (3.37)$$

Po dosazení předchozích dvou rovnic do rovnice (3.35) a následných matematických úpravách lze stanovit hladinu akustického tlaku v oktávě na základě znalosti hladiny akustického tlaku v první třetině oktávy a sklonu směrnice:

$$L_p = L_{p1} + 10 \cdot \log \left(1 + 10^{\frac{S}{30}} + 10^{\frac{2S}{30}} \right). \quad (3.38)$$

3.6 Váhové filtry

Lidský sluch má všeobecně nestejnou citlivost při různých kmitočtech. Při vnímání zvuku tedy dochází ke zkreslení. Z tohoto důvodu se zavádí váhové filtry A, B a C, které jsou inverzní ke křivkám stejné hlasitosti při hladinách 40 dB, 80 dB a 120 dB. V mezinárodním měřítku se nejčastěji používá váhový filtr typu A. U váhových filtrů jsou zavedeny tzv. korekce. Hlukoměry jsou běžně vybaveny některým z těchto filtrů. Ke každé skutečně změřené hladině zvuku přičte příslušnou korekci a přepočte hladinu zvuku tak, jak ji vnímá lidský sluch. Na obr. 3.7 jsou uvedeny frekvenční závislosti korekcí filtrů A, B a C. V tab. 3.3 jsou uvedeny konkrétní hodnoty korekcí těchto filtrů v závislosti na střední frekvenci. Pro korekce K_i [dB] jednotlivých typů filtrů platí následující vztahy:

$$K_A(f) = 20 \cdot \log \frac{R_A(f)}{R_A(1000)}, \quad (3.39)$$

$$K_B(f) = 20 \cdot \log \frac{R_B(f)}{R_B(1000)}, \quad (3.40)$$

$$K_C(f) = 20 \cdot \log \frac{R_C(f)}{R_C(1000)}, \quad (3.41)$$

kde:

$$R_A(f) = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 12200^2) \cdot \sqrt{(f^2 + 107,7^2) \cdot (f^2 + 737,9^2)}}, \quad (3.42)$$

$$R_B(f) = \frac{12200^2 \cdot f^3}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 12200^2) \cdot \sqrt{(f^2 + 158,5^2)}}, \quad (3.43)$$

$$R_C(f) = \frac{12200^2 \cdot f^2}{(f^2 + 20,6^2) \cdot (f^2 + 12200^2)}. \quad (3.44)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



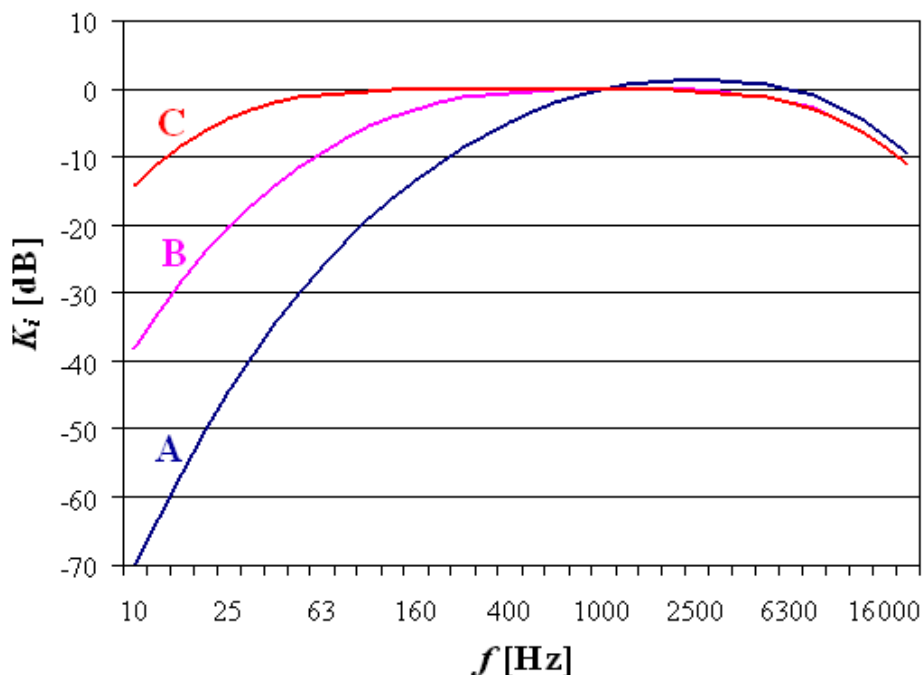
Váhové filtry se používají k přepočítávání skutečně naměřených hodnot hladin zvuku na jiné hodnoty hladin zvuku z důvodu zkreslené citlivosti lidského sluchu při různých kmitočtech.

Lidský sluch je nejcitlivější v oblasti okolo $f = 1000$ Hz. Proto při této frekvenci jsou nulové korekce u jednotlivých filtrů (viz tab. 3.3). Ze známých hladin lze následně pro dané pásmo přepočítat hladinu zvuku s vlivem korekcí, tzn. hladinu, kterou skutečně vnímá lidský sluch. Např. pro hladinu akustického tlaku váženou filtrem typu A platí rovnice:

$$L_{pA} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi} + K_{Ai}}{10}}, \quad (3.45)$$

kde L_{pi} je hladina akustického tlaku v příslušném pásmu, K_{Ai} - korekce při dané střední frekvenci v daném pásmu.

Kromě váhových filtrů A, B a C se v letecké dopravě používá i filtr typu D.



Obr. 3.7: Průběhy váhových křivek filtrů typů A, B a C

3.7 Testové otázky ke kapitole 3

1. Z jakého důvodu se zavádí decibelové veličiny?
2. Vyjmenujte tři základní decibelové veličiny, které se používají v akustice. Napište jejich rovnice včetně významu jednotlivých veličin. Dále pomocí rovnic definujte vzájemnou souvislost mezi těmito základními decibelovými veličinami.
3. Vyjmenujte další decibelové veličiny, které se používají v oblasti vibrací a akustiky.
4. Jaký je rozdíl mezi vložným a přenosovým útlumem? Definujte tyto dvě veličiny rovnicemi včetně významu jednotlivých veličin.
5. Vyjmenujte tři druhy hluku a vysvětlete tyto pojmy. Proč se zavádí ekvivalentní hladina? Definujte tuto veličinu. Napište rovnici ekvivalentní hladiny včetně významu jednotlivých veličin.
6. K čemu se používá hladina hlukové expozice? Napište její definiční vztah s významem veličin. Jak se liší hladina hlukové expozice od ekvivalentní hladiny?

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



7. Jak se stanoví výsledná hladiny hluku při interferenci více hluků o různých kmitočtech. Odvoďte vztahy pro výslednou hladinu intenzity zvuku a hladinu akustického tlaku při interferenci tří různých hluků.
8. Proč se zavádí oktávová a třetinooktávová pásma? Kolik je oktávových, resp. třetinooktávových pásem?
9. Napište vzájemné vztahy mezi střední frekvencí a dolní (resp. horní) frekvencí oktávového pásma. Jaký je poměr horní a dolní frekvence jedné oktávy? Dále napište rovnici závislosti střední frekvence a čísla oktávy.
10. Napište vzájemné vztahy mezi střední frekvencí a dolní (resp. horní) frekvencí třetinooktávového pásma. Jaký je poměr horní a dolní frekvence jedné třetiny oktávy? Dále napište rovnici závislosti středních frekvencí dvou sousedních oktáv.
11. Jakým způsobem se přepočítávají hladiny zvuku na jinou šířku pásma, konkrétně z třetinooktávových pásem na oktávové pásmo a naopak? Popište to.
12. K jakému účelu se používají váhové filtry? Jaké typy znáte a který z nich se používá nejvíce? Nakreslete přibližný průběh váhové křivky tohoto filtru.

f_m [Hz]	filtr A [dB]	filtr B [dB]	filtr C [dB]
10	-70,4	-38,2	-14,3
12,5	-63,4	-33,2	-11,2
16	-56,7	-28,5	-8,5
20	-50,5	-24,2	-6,2
25	-44,7	-20,4	-4,4
31,5	-39,4	-17,1	-3,0
40	-34,6	-14,2	-2,0
50	-30,2	-11,6	-1,3
63	-26,2	-9,3	-0,8
80	-22,5	-7,4	-0,5
100	-19,1	-5,6	-0,3
125	-16,1	-4,2	-0,2
160	-13,4	-3,0	-0,1
200	-10,9	-2,0	0
250	-8,6	-1,3	0
315	-6,6	-0,8	0
400	-4,8	-0,5	0
500	-3,2	-0,3	0
630	-1,9	-0,1	0
800	-0,8	0	0
1000	0	0	0
1250	0,6	0	0
1600	1,0	0	-0,1
2000	1,2	-0,1	-0,2

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky



2500	1,3	-0,2	-0,3
3150	1,2	-0,4	-0,5
4000	1,0	-0,7	-0,8
5000	0,5	-1,2	-1,1
6300	-0,1	-1,9	-2,0
8000	-1,1	-2,9	-3,0
10000	-2,5	-4,3	-4,4

Tab. 3.3: Korekce K_i váhových filtrů typů A, B a C

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ