

Šíření zvuku přes překážku



Ústav techniky prostředí

Sound Spreading over Barrier

Recenzent

Doc. Ing. Richard Nový, CSc.

Článek se zabývá ochranou proti hluku aplikací bariér v blízkosti zařízení techniky prostředí, která jsou instalována ve venkovním prostoru. Seznamuje s prakticky použitelnými výpočtovými postupy pro stanovení útlumu zvuku šířícího se přes překážku. Porovnává jednotlivé postupy na konkrétní aplikaci. Dále uvádí vliv šířky bariéry na celkový útlum bariérou.

Klíčová slova: hluk, zvuk, útlum překážkou, ohyb zvuku, útlum zvuku

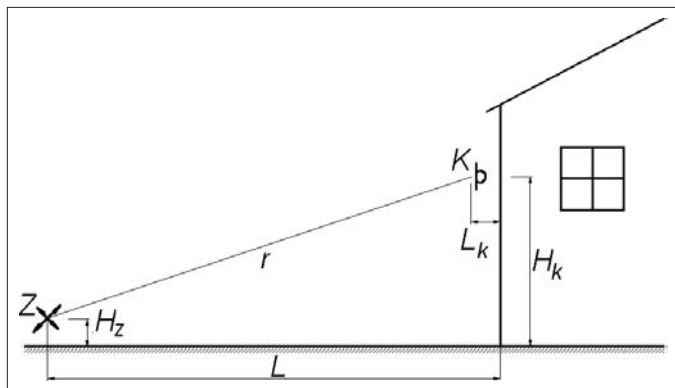
The author describes the protection against noise with the installation of barriers situated close at the equipment of the environmental engineering installed outside, in his article. He introduces with practically usable calculation processes for the determination of the sound loss spreading over the barrier and compares individual processes applied to a specific application. Further, he specifies the effect of the barrier width to the total loss caused with the barrier.

Key words: noise loss over barrier, sound bend, sound loss

ÚVOD

Při šíření zvuku mezi zdrojem a pozorovatelem dochází k postupnému snižování akustické energie. Úbytek této energie je dán řadou dílčích útlumů, mezi které se řadí útlum vlivem absorpce ve vzduchu, útlum vlivem větru a teplotních gradientů, turbulencí a přízemního efektu, dále pak útlum vlivem mlhy, deště a sněhu. Tyto útlumy nazýváme přenosové a jsou významné zejména pro větší vzdálenosti, se kterými není možno v technickém návrhu počítat.

Další možnosti útlumu jsou skryty v pohltivém terénu, odrazivém terénu, v zástavbě (např. sklady a jiné akusticky nenáročné stavby), případně vzrostlé zeleni, která však dobře tlumí až od kmitočtů 5 kHz a její vlastnosti jsou ovlivněny roční dobou.



Obr. 1 Schéma šíření zvuku ve volném prostoru (Z – zdroj, K – kontrolní místo)

Spektrum hladin akustického tlaku v oktávovém či třetino oktávovém pásmu v kontrolním místě K je dáno vztahem

$$L_{pi} = L_{wi} + 10 \log \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (1)$$

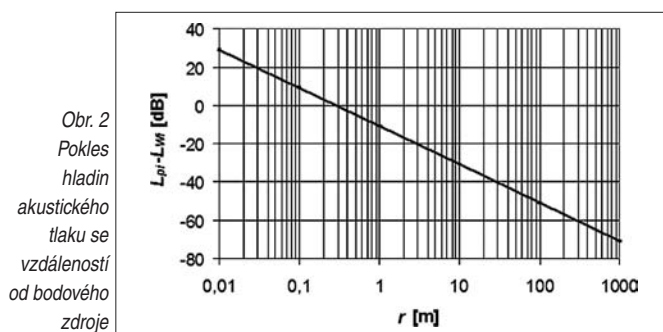
kde

L_{wi} [dB] je hladina akustického výkonu v i -tém kmitočtovém pásmu,

Q [-] činitel směrovosti zdroje,

r [m] přímá vzdálenost mezi bodem Z a K viz obr. 1.

V případě, že není známa hladina akustického výkonu zdroje, ale pouze hladina akustického tlaku zdroje L_{pzi} určená ve vzdálenosti r_p , je možné stanovit pro bodový zdroj hladinu akustického tlaku v kontrolním místě K podle vztahu

Obr. 2
Pokles
hladin
akustického
tlaku se
vzdáleností
od bodového
zdroje

$$L_{pi} = L_{pzi} + 20 \log \frac{r_p}{r}, \quad (2)$$

kde r_p [m] je vzdálenost, v níž je známa hladina akustického tlaku L_{pzi} .

Druhý člen rovnice (1) a (2) představuje útlum zvuku vlivem vzdálenosti. Změnu tohoto útlumu, v případě bodového zdroje, prezentuje obr. 2. Z této závislosti je patrný pokles hladiny akustického tlaku při zdvojnásobení vzdálenosti o 6 dB.

První možností, jak tedy snížit akustickou energii v kontrolním místě je zajistit dostatečnou vzdálenost mezi zdrojem a kontrolním místem. Typickým příkladem jsou např. letiště. V případě, že není možné zajistit dostatečnou vzdálenost zdroje od chráněného místa a není možné uplatnit některý z výše uvedených principů, je třeba hledat jinou možnost snížení akustické energie.

Jednou z řady možností, jak snížit intenzitu zvuku šířícího se od zdroje do kontrolního místa, je umístění překážky mezi zdroj a kontrolní místo. V tom případě vznikne tzv. dodatečný útlum vlivem překážky. Snížení energie je dosaženo ohybem akustické vlny přes vloženou bariéru. Princip ohybu zvukové vlny se nejvíce uplatňuje v pozemní dopravě při návrhu clon, bariér, valů atd. U stacionárních zdrojů je použití bariér méně časté, avšak také s výhodou uplatnitelné. Častější řešení je instalace stacionárního zdroje do objektu. Zde je pak třeba počítat s dalšími technologiemi, které zaručí spolehlivý chod zdroje. Takovou technologií je např. vzduchotechnika zajišťující dostatečný přívod vzduchu, u níž je pak třeba také řešit snížení hlučnosti, neboť tato využívá k průtoku vzduchu ventilátory, které jsou samy o sobě významnými zdroji aerodynamického hluku. Je však celá řada zařízení, která není možné do objektu umístit, jako např. kondenzační jednotky, či např. kontejnerové kotelny apod. V takovém případě je nutné najít řešení k potlačení nadměrného hluku a tím může být instalace protihlukové bariéry.

Hladinu akustického tlaku v kontrolním místě sníženu o útlum vlivem ohybu zvukové vlny přes bariéru pak stanovíme ze vztahu

$$L_{pi} = L_{wi} + 10 \log \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot (a+b)^2} - D_i, \quad (3)$$

kde

$(a+b)$ [m] přímá dráha mezi bodem Z a K viz obr. 4,

D_i [dB] útlum vyvolaný ohybem přes bariéru v i -tém kmitočtovém pásmu.

Přímá vzdálenost mezi zdrojem Z a kontrolním místem K v obr. 1 značená r je shodná se vzdáleností $(a+b)$ ve vztahu (3). Označení $(a+b)$ je zavedeno pro popis jednotlivých úseků ve schématu na obr. 4.

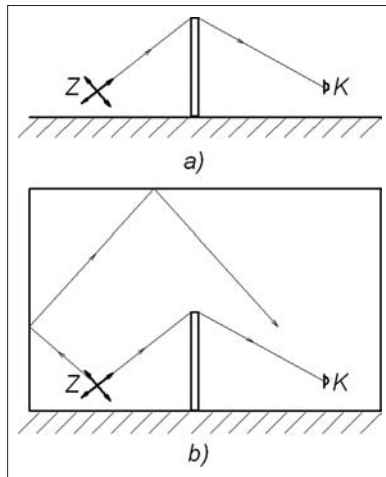
K tomu, aby bariéra účinně snižovala akustickou energii, musí být splněny některé zásady. Neprůzvučnost bariéry musí být významně vyšší než vlastní útlum ohybem přes bariéru. Tento požadavek je ovlivněn volbou materiálu. Rozhodujícím parametrem je plošná hmotnost zvoleného materiálu a samozřejmě tloušťka konstrukce.

Obvykle se můžeme setkat s těmito materiály bariér – betonové, zděné (cihlářské prvky), ocelové systémy, dále pak zejména v dopravě s konstrukcemi z plastů, průhledných výplní (skla, plexikla), dřeva, hliníku, případně kombinované.

Zvýšení pohltivosti odrazivých povrchů je možné zlepšit instalací pohltivých materiálů na straně zdroje, mezi než patří porézní keramické materiály, minerální vata pokrytá latěmi, cementové směsi s dřevěnými třískami atd.

Dalším požadavkem je nepřítomnost otvorů v bariéře, a když, tak akusticky zatlučených.

Bariéru je možné instalovat též v uzavřených prostorech, kde je ovšem třeba počítat se snížením útlumu vlivem odrazu od stěn, jak dokumentuje obr. 3. V takovém případě je třeba přílehající stěny obložit zvuk pohltivým materiálem.



Obr. 3 Bariéra ve vnějším a) a vnitřním b) prostředí

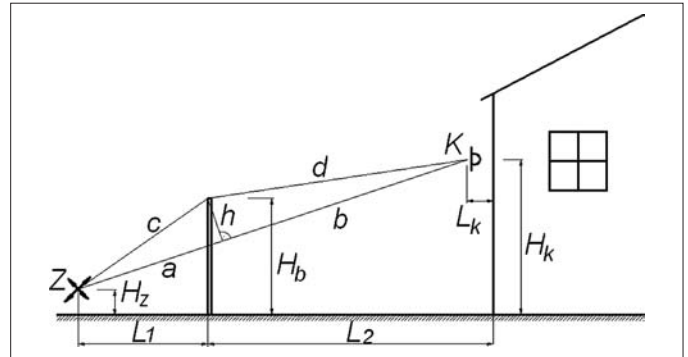
Při návrhu překážky je nutné mít na paměti, že většina vztahů byla odvozena za předpokladu nekonečné stěny a útlum takto stanovený počítá pouze s šířením vertikálně přes překážku a zanedbává postranní cesty, se kterými je třeba v praxi počítat. Chyby, které se můžeme dopustit tím, že nebudeme do výpočtu zahrnovat konečnou délku překážky, bude uvedena dále.

VZTAHY PRO URČENÍ ÚTLUMU ZVUKU

V následující části budou prezentovány některé z možných postupů stanovení útlumu zvuku ohybem přes překážku. Výčet si nečiní nároky na úplnost, pouze seznamuje s několika možnostmi výpočtu.

Nejznámější princip výpočtu někdy též nazývaný „přesný výpočet“ nese jméno Augustina Jeana Fresnela, který doplnil Huygensův princip ve smyslu interference vlnění.

V následujícím textu budou uvedeny stěžejní body postupu, které vedou k praktickému použití. Podrobné odvození nalezne čtenář v dostupné literatuře, např. [3].



Obr. 4 Schéma šíření zvuku přes bariéru (Z – zdroj, K – kontrolní místo)

Útlum zvuku obecně roste s délkovým rozdílem drah, jak dokumentuje obr. 4. Útlum dále roste s kmitočtem, což je vyjádřeno tzv. Fresnelovým číslem

$$N = \frac{2 \cdot z}{\lambda}, \quad (4)$$

kde z je rozdíl drah daný vztahem

$$z = (c+d) - (a+b), \quad (5)$$

kde

f [Hz] je kmitočet,

a, b, c, d [m] vzdálenosti viz. obr. 4.

Vztah (4) je možno dále upravit substitucí

$$\lambda \cdot f = c \quad (6)$$

na tvar

$$N = \frac{2 \cdot z}{\lambda} = \frac{2 \cdot f}{c} \cdot [(c+d) - (a+b)], \quad (7)$$

kde

c [m/s] (ve jmenovateli) je rychlost zvuku,

λ [m] vlnová délka.

Útlum zvuku je dán obecně známým vztahem

$$D_i = 10 \log \left[\left(\frac{1}{2} - X \right)^2 + \left(\frac{1}{2} - Y \right)^2 \right], \quad (8)$$

kde X, Y jsou hodnoty Fresnelových integrálů.

Pro výpočet Fresnelových integrálů se užívá parametr q , který je možno dále upravit s využitím vztahu (6)

$$q = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)} = h \sqrt{\frac{f}{c} \frac{2(a+b)}{ab}}, \quad (9)$$

kde h [m] je efektivní výška bariéry.

Fresnelovy integrály se řeší ve tvaru

$$X = \int_0^q \cos \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) dx, \quad (10)$$

$$Y = \int_0^q \sin \left(\frac{\pi}{2} x^2 \right) dx. \quad (11)$$

Hodnoty těchto integrálů je možné získat jako součet konvergentních číselných řad [3].

Náročnost stanovení Fresnelových integrálů vedla řadu autorů k vytvoření zkrácených metod výpočtu použitelných v technické praxi. Jedním z nich byl na Fakultě stavební ČVUT docent Čechura, který navrhl zjednodušující vztah mezi hodnotou Fresnelova čísla N a útlumem D ve tvaru

$$D_i = 10 \log \left[\left(9|N| + \sqrt[3]{|N| + 1} \right)^{\frac{N}{|N|}} + 10^{-\frac{3|N|+1}{5|N|}} \right] \quad (12)$$

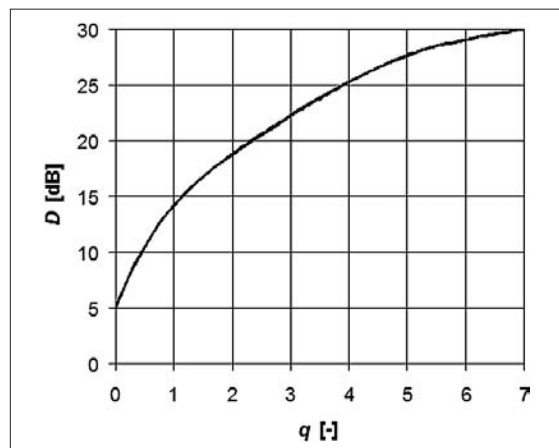
Ze vztahu je patrné, že pro hodnotu $N = 0$ je $D = 6$ dB. Což nastane v případě, že rozdíl drah ve vztahu (7) je 0.

Pro záporné hodnoty q nerespektuje tento vztah periodické kolísání útlumu, jak dokumentuje lit. [3]. V oblasti kladných hodnot je patrná významná shoda. Jak je dále uvedeno v [3], při práci se zvukem v kmitočtových pásmech poskytuje Čechurův vztah reálnější hodnoty v porovnání s přesným výpočtem Fresnelových integrálů.

Další z výpočtových postupů uvádí lit. [2]. Metodika vychází z přesného výpočtu Fresnelových integrálů. Na podkladě těchto výsledků vznikl zjednodušující vztah mezi parametrem q a útlumem zvuku překážkou ve tvaru

$$D_i = 14,22 \cdot q^{0,396} \quad (13)$$

Popsanou závislost reprezentuje obr. 5.



Obr. 5 Útlum zvuku vlivem překážky [2]

Posledním ze zde prezentovaných výpočtových postupů je stanovení útlumu bariérou, který předložil Maekawa (1968) [1]. Hladina akustického tlaku v kontrolním místě je dána vztahem

$$L_{pi} = L_{Wl} - 20 \log(c + d) - 10 \log \left(\frac{1}{a_b + a_t} \right) - 10,9 \quad (14)$$

Veličina a_b je tzv. koeficient bariéry daný vztahem

$$a_b = \frac{\tanh^2 \left[\left(2 \cdot \pi \cdot N \right)^{1/2} \right]}{2 \cdot \pi^2 \cdot N} \quad (15)$$

kde N [-] je Fresnelovo číslo dané vztahem (7).

Platnost vztahu je omezena hodnotou Fresnelova čísla $N < 12,7$.

$$\text{(pro } N \geq 12,7) a_b = 0,004. \quad (16)$$

Veličina a_t je tzv. koeficient neprůzvučnosti bariéry daný vztahem

$$a_t = 10^{-0,1 \cdot R}, \quad (17)$$

kde R [dB] je vzduchová neprůzvučnost stěny.

Vztah (17) je jediným z výše prezentovaných postupů, který zahrnuje vliv materiálu překážky. Je otázkou, jak významně se vliv neprůzvučnosti stěny projeví na celkovém útlumu. V úvodní části byl specifikován požadavek, aby neprůzvučnost bariéry byla významně vyšší než vlastní útlum ohybem přes bariéru. V takovém případě by pak měla být bariéra postavena z materiálu, který tento požadavek zajistí a dále s touto veličinou nebude třeba uvažovat. Dalším požadavkem, který je specifikován, je plošná hmotnost překážky, která by měla být min. 10 kg/m². Srovnáme-li vybrané materiály z hlediska plošné hmotnosti, dospějeme k následujícím závěrům uvedeným tab. 1.

Tab. 1 Plošná hmotnost vybraných materiálů (t [m] tloušťka, ρ [kg/m³] hustota, m'' [kg/m²] plošná hmotnost stěny bariéry)

Materiál	t [m]	ρ [kg/m ³]	m'' [kg/m ²]
Sklo	0,004	2700	10,8
Beton	0,05	2300	115
Beton	0,1	2300	230
Cihla	0,05	2000	100
Dřevo	0,01	1000	10

Z tabulky je patrné, že požadavek plošné hmotnosti splní 4 mm tlusté sklo, v případě dřeva by potřebná tloušťka stěny byla 100 mm. V případě betonové stěny by pro splnění tohoto požadavku postačovala tloušťka 4,5 mm, což je z hlediska konstrukčního nevhodné, neboť od bariéry požadujeme současně z hlediska konstrukce rozměrovou a tvarovou stálost.

Budeme-li chtít posoudit vliv materiálu stěny na celkový útlum bariérou, který reprezentuje třetí člen ve vztahu (14), musíme tak učinit pro konkrétní rozměry bariéry, které jsou určující pro stanovení Fresnelova čísla N (7). Zvolme tedy rozměry podle schématu obr. 4. Vzdálenost $a = 5$ m, $b = 20$ m, $h = 1$ m.

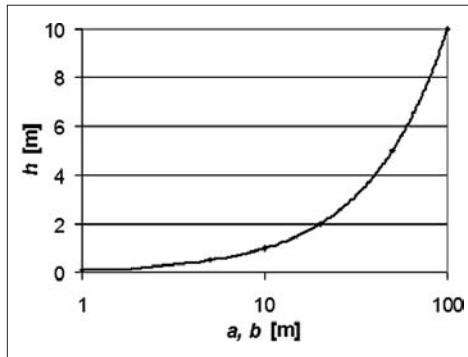
Výsledky porovnání podává tab. 2. První řádek tabulky uvádí útlum D_i s respektováním koeficientů a_b i a_t . Druhý řádek pak útlum D_{abi} zjištěný pouze z hodnoty a_b . Třetí řádek uvádí rozdíl mezi oběma metodami ΔD_i .

Z výsledků je patrné, že na celkový útlum bariérou, podle vztahu (14) třetí člen rovnice, nemá volba materiálu významný vliv v případě, že plošná hmotnost zvolené konstrukce je vyšší než 100 kg/m². Pak je možno koeficient a_t při výpočtu zanedbat. Tento předpoklad si nemůžeme dovolit pro konstrukce, které nesplňují výše uvedenou podmínku, jak dokumentuje poslední materiál v tab. 2.

Tab. 2 Vliv materiálu na celkový útlum bariérou (útlum D [dB])

	f [Hz]	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Beton 50 mm	D_i	5.77	6.58	7.84	9.74	12.23	15.09	18.07	21.08	24.09
	D_{abi}	5.84	6.6	7.85	9.75	12.24	15.09	18.07	21.08	24.09
	ΔD_i	0.07	0.02	0.007	0.01	0.012	0.002	0.001	0.001	0
Beton 100 mm	D_i	5.82	6.59	7.84	9.74	12.24	15.09	18.07	21.08	24.09
	D_{abi}	5.84	6.6	7.85	9.75	12.24	15.09	18.07	21.08	24.09
	ΔD_i	0.02	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0
Sklo 4 mm	D_i	1.31	4.68	7.1	9.45	12.1	14.92	17.74	20.43	23.99
	D_{abi}	5.84	6.6	7.85	9.75	12.24	15.09	18.07	21.08	24.09

Pro to, abychom mohli vzájemně porovnat jednotlivé popsané metodiky stanovení útlumu bariérou, je nutné analyzovat vztah (14) a vysvětlit jednotlivé členy této rovnice.



Obr. 6 Závislost efektivní výšky bariéry h na vzdálenostech

Druhý člen ve vztahu (14) představuje útlum vzdáleností. Porovnáním s druhým členem rovnice (3) je zřejmé, že výpočet pracuje s delší drahou (obr. 4) a tedy s vyšší hodnotou útlumu. Obr. 6 ukazuje limitní hodnoty efektivní výšky bariéry h v závislosti na vzdálenostech a a b v případě, kdy se rozdíl drah ve výpočtu útlumu vzdáleností neprojeví. Jinak řečeno, bude-li splněna podmínka $h < 0,1 \cdot a$ a současně $h < 0,1 \cdot b$ je rozdíl v hodnotě útlumu vzdáleností zanedbatelný. V praxi ovšem není možné tento limitující požadavek nadřazovat nad ostatní a proto ho berme pouze jako informaci. Rozdíl drah je tedy nutné při srovnání jednotlivých metod vzít v úvahu.

Třetí člen vztahu (14) představuje již diskutovaný vliv útlumu bariérou.

Poslední čtvrtý člen rovnice, označme ho např. e , prezentovaný konstantou 10,9 představuje plochu zářiče o poloměru $r = 1$ daný vztahem

$$e = 10 \log S = 10 \log 4 \cdot \pi \cdot r^2. \quad (18)$$

Nyní je možno ze vztahu (14) vyjádřit útlum srovnatelný s útlumy z ostatních metod. Vztah (14) je možno přepsat na tvar

$$L_{pi} = L_{wi} - 10 \log(c + d)^2 - 10 \log\left(\frac{1}{a_b}\right) - 10 \log 4 \cdot \pi \cdot 1^2. \quad (19)$$

Třetí člen byl podle výše diskutovaných výsledků zjednodušen. Výpočet nyní předpokládá neprůzvučnou konstrukci bariéry. Další úpravou přejde vztah na tvar

$$L_{pi} = L_{wi} + 10 \log \frac{1}{4\pi(c + d)^2} - 10 \log\left(\frac{1}{a_b}\right). \quad (20)$$

Porovnáním se vztahem (3), pro $Q = 1$, dospějeme po nezbytných úpravách ke hledanému útlumu

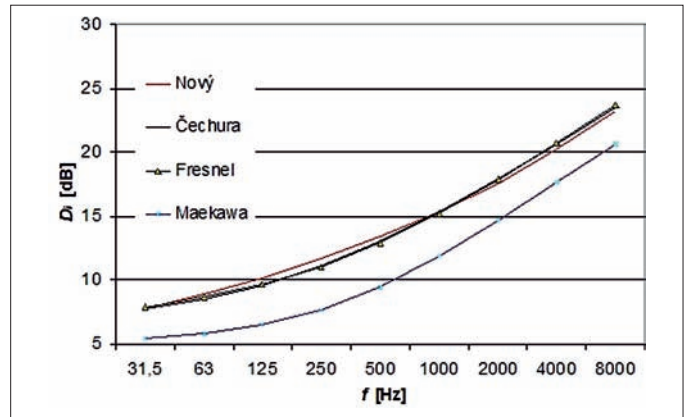
$$D_i = 10 \log\left(\frac{1}{a_b} \cdot \frac{(c + d)^2}{(a + b)^2}\right) \quad (21)$$

Tento vztah představuje útlum ohybem zvuku přes překážku podle Maekawa.

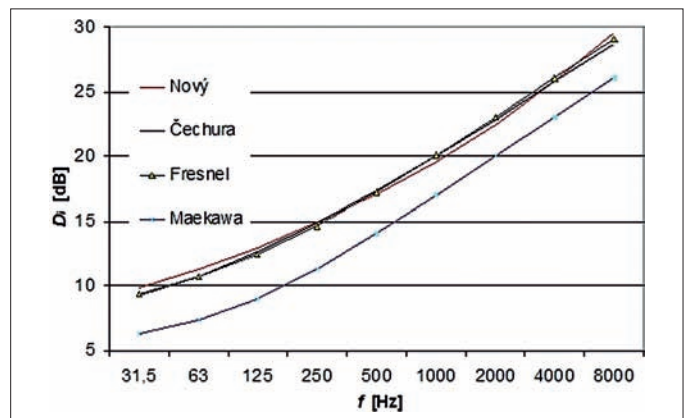
Srovnání jednotlivých metod výpočtu útlumu přes bariéru předkládá obr. 7. Výsledky jsou zpracovány pro zvolené parametry $a = 5$ m, $b = 20$ m, $h = 1$ m. Druhý případ zadání je na obr. 8, $a = 0$ m, $b = 50$ m, $h = 3,5$ m.

V obou případech je patrný odstup výsledků podle metodiky, kterou předložil Maekawa. Tři ostatní metodiky vykazují srovnatelné výsledky. Důvod rozdílných výsledků čtvrté metodiky je nejasný. Pravděpodobně byl výpočet sestaven na základě praktických zkušeností autora při návrhu bariér.

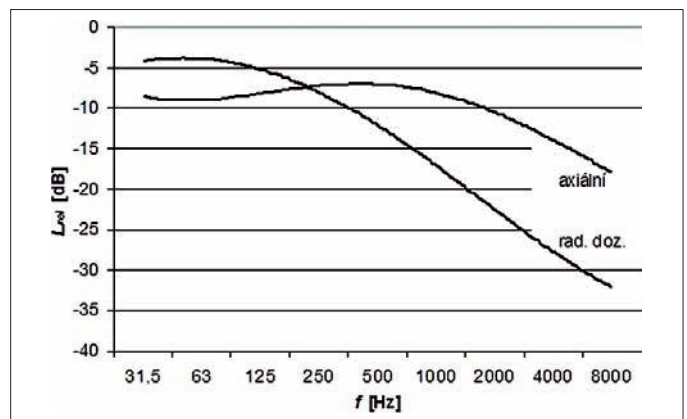
V technice prostředí je nejčastějším zdrojem tlakového vzduchu ventilátor, ať jako součást složitějšího systému, či jako součást samostatně stojících chladících jednotek atd. Podle požadavků na dopravní parametry použijeme buď axiální, či radiální ventilátory, které se ještě dělí na radiální nízkotlaké, středotlaké či vysokotlaké.



Obr. 7 Závislost útlumu bariéry na kmitočtu ($a = 5$ m, $b = 20$ m, $h = 1$ m)



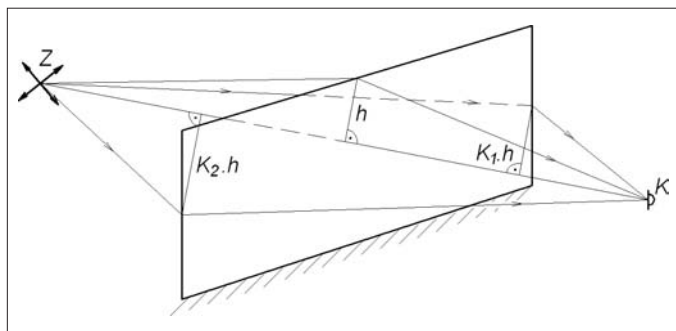
Obr. 8 Závislost útlumu bariéry na kmitočtu ($a = 20$ m, $b = 50$ m, $h = 3,5$ m)



Obr. 9 Tvar relativního spektra radiálního a axiálního ventilátoru v závislosti na kmitočtu

Provedme srovnání pro dva konstrukčně rozdílné ventilátory. První axiální a druhý radiální s dozadu zahnutými lopatkami. S výhodou využijeme znalosti relativního spektra daného typu ventilátoru obr. 9. Z obrázku je patrné, že srovnáním obou typů s přihlédnutím k váhovému filtru A bude pro lidský sluchový orgán hlučnější axiální ventilátor, neboť má akustický výkon soustředěn do oblasti středních a vyšších kmitočtů.

Vezmeme-li tyto dva ventilátory, oba se shodnou hladinou akustického výkonu A (např. 95 dB), a umístíme-li je do schématu (obr. 4) s parametry $a = 5$ m, $b = 20$ m, $h = 1$ m, bude útlum dán křivkami obr. 7. Vypočteme-li spektrum hladin akustického tlaku podle vztahu (3) (pro $Q = 1$) a útlum např. podle (13) zjistíme, že v kontrolním místě bude hladina akustického tlaku L_{pA} od axiálního ventilátoru o 2,4 dB nižší (nezávisle na L_{WA}) než od radiálního s dozadu zahnutými lopatkami, i když se radiální zdál na první pohled tišší. Nezávislost na vstupní hodnotě L_{WA} je dána tvarem spektra ventilátoru L_{rel} (obr. 9), které je pro jakékoliv vstupní hodnoty dopravního



Obr. 10 Cesty šíření zvuku přes bariéru konečných rozměrů

tlaku a dopravovaného množství stejné. To proto, že tvar spektra je dán typem ventilátoru.

To, že je axiální ventilátor méně hlučnější je dáno tvarem spektra útlumu zvuku bariérou (obr. 7). Z tohoto grafu je patrné, že s rostoucím kmitočtem roste i útlum a tedy bariéra lépe tlumí zdroje s akustickým výkonem soustředěným do vyšších kmitočtů, jaký reprezentuje právě axiální ventilátor.

VLIV ŠÍŘKY BARIÉRY NA CELKOVÝ ÚTLUM V KONTROLNÍM MÍSTĚ

Dosud prezentované metodiky výpočtu útlumu zvuku bariérou nerespektovaly vliv šířky bariéry. Jakým způsobem je do výpočtu možné zapracovat vliv šířky ukáže následující část. Vyjděme ze schématu na obr. 10. Je zde zakreslena bariéra konečných rozměrů. Je patrné, že pro šíření zvuku jsou možné tři cesty. První přes bariéru vertikálně a dvě zbývající cesty v horizontální rovině po stranách bariéry. Pak je tedy možné v kontrolním místě očekávat působení tří signálů.

Celková hladina akustického tlaku L_{pic} v kontrolním místě bude dána součtem třech hladin akustického tlaku od jednotlivých signálů podle vztahu

$$L_{pic} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^3 10^{0,1 \cdot L_{pi i}} \right) = 10 \log \left(10^{0,1 \cdot L_{pi 1}} + 10^{0,1 \cdot L_{pi 2}} + 10^{0,1 \cdot L_{pi 3}} \right), \quad (22)$$

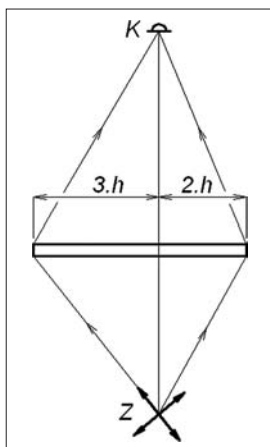
kde jednotlivé hladiny akustického tlaku L_{pin} jsou dány vztahem (3).

Dosazením vztahu (3) do (22) a po nezbytných úpravách získáme vztah pro výsledný útlum bariérou s konečnými rozměry ve tvaru

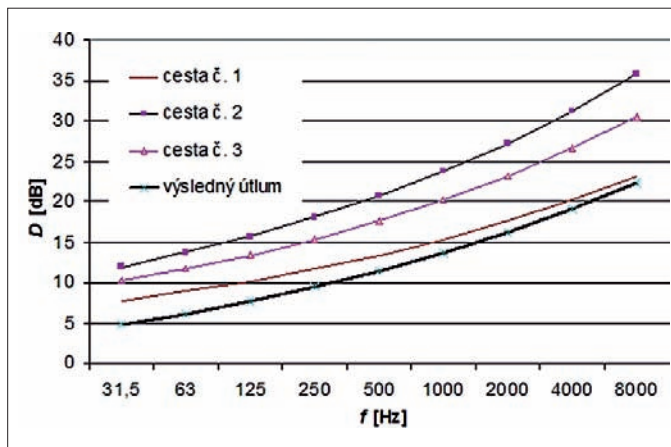
$$D_{ic} = 10 \log \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^3 10^{-0,1 \cdot D_{pi i}}} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{10^{-0,1 \cdot D_{pi 1}} + 10^{-0,1 \cdot D_{pi 2}} + 10^{-0,1 \cdot D_{pi 3}}} \right) \quad (23)$$

Celkovou hladinu akustického tlaku v kontrolním místě L_{pic} pak můžeme stanovit ze vztahu (3), kde za útlum D_i dosadíme hodnotu útlumu stanovenou podle vztahu (23). Dílčí útlumy můžeme stanovit podle kterékoliv výše popsané metodiky. Rozdíl je pouze v tom, že grafické schéma (obr. 4) chápeme vertikálně nebo horizontálně a do příslušného výpočtu dosazujeme odpovídající efektivní výšku bariéry.

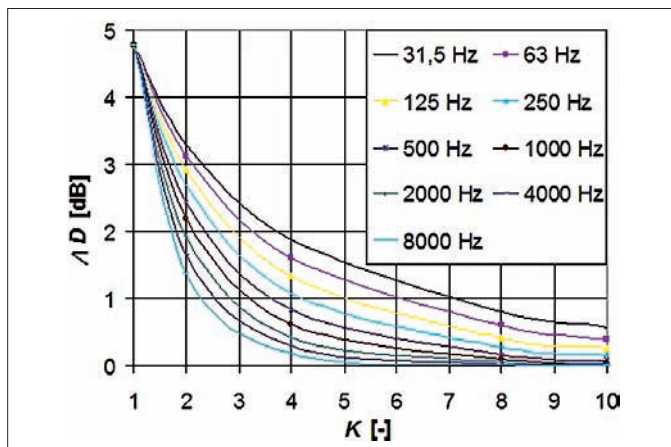
Uvedme příklad, kde uvažujeme situaci podle obr. 11. Je zde zobrazena situace, kdy efektivní výška bariéry pro cestu šíření z levé strany bariéry (cesta č. 2) od-



Obr. 11 Cesty šíření zvuku půdorysné schéma – příklad



Obr. 12 Útlum bariérou konečných rozměrů – příklad



Obr. 13 Snížení útlumu vlivem konečné délky bariéry ($a = 5 \text{ m}$, $b = 20 \text{ m}$, $h = 1 \text{ m}$)

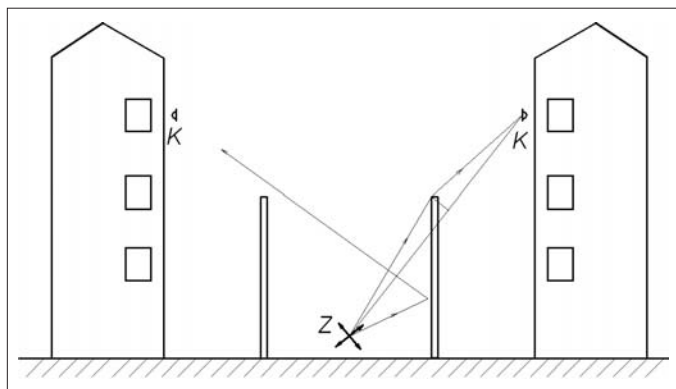
povídá trojnásobku efektivní výšky ve vertikálním směru (cesta č. 1). Pro šíření signálu z pravé strany bariéry (cesta č. 3) uvažujeme efektivní výšku bariéry dvojnásobnou. Vertikální schéma (obr. 4) ponechme shodné s předchozími příklady ($a = 5 \text{ m}$, $b = 20 \text{ m}$, $h = 1 \text{ m}$).

Změnu útlumu zvuku bariéry konečných rozměrů zobrazuje graf na obr. 12. Výpočet útlumu byl proveden podle vztahu (13). Křivka odpovídající cestě č. 1 reprezentuje útlum zvuku ohybem přes horní hranu bariéry a současně útlum, který podle popsaných metodik výpočtu vykazuje bariéra nekonečných rozměrů. Výsledný útlum vlivem postranních cest poklesne na hodnotu odpovídající nejnižší křivce v grafu.

Jak se tedy změní útlum vlivem konečné délky bariéry? V případě, že uvažujeme pro všechny tři možné cesty šíření shodnou efektivní výšku bariéry h zjistíme, že útlum poklesne o hodnotu $10 \cdot \log(3) = 4,77 \text{ dB}$. To je dáno tím, že v kontrolním místě působí v tu chvíli tři pomyslné shodné zdroje.

Kdybychom předpokládali pro jednoduchost symetrii bariéry a efektivní výšku h uvažovali pro obě postranní cesty stejnou, získáme následující výsledky (obr. 13). Graf na obr. 13 představuje snížení útlumu bariérou vlivem její konečné délky o hodnotu ΔD [dB] v závislosti na parametru K , který představuje násobek efektivní výšky bariéry h . Tzn., že efektivní výšky pro cesty šíření 2 a 3 jsou násobeny parametrem K . Jednotlivé křivky v grafu reprezentují oktávová kmitočtová pásma.

Je patrné, že nejnepříznivější je hodnota nejnižší oktávy 31,5 Hz. Z grafu je možno odečíst o kolik se zmenší útlum bariérou pro zvolené frekvence a šířku bariéry oproti případu nekonečné bariéry.



Obr. 14 Šíření zvuku v obytné zástavbě

V konkrétním případě je vhodné pro danou geometrii využít přímo výpočtové vztahy (3), (23) ad.

ZÁVĚR

Prezentované metodiky výpočtu řeší pouze jediný směr šíření zvukové vlny. V praxi je problematika mnohonásobně složitější. Rozšíření problému jsme již naznačili zohledněním postraních cest při uvažování překážky konečných rozměrů.

Další problém, který může nastat, uvádí obr. 14, kdy je zdroj hluku situovaný v obytné zástavbě. Když jsme v úvodu hovořili o využití bariéry v uzavřeném prostoru, vyvstal problém s odrazem od blízkých stěn a předmětů. Stejná situace nastala zde. Budeme-li chránit dům vpravo, postavíme do cesty signálu překážku. Problém nastane, bude-li třeba chránit i dům vlevo, což je běžná situace. V takovém uspořádání bude docházet k odrazu zvuku od ploch bariéry přiléhající ke zdroji. Od stěny odražený signál se pak bude šířit na opačnou stranu do chráněného místa. Protože je případ symetrický, budou se do chráněných míst šířit signály odražené od protilehlé bariéry a signály utlumené ohybem přes přilehlou bariéru.

Možným řešením je zvýšení bariéry tak, aby bylo zamezeno odrazu od vnitřních ploch, resp. odklonit zvukovou vlnu od chráněných míst. V takovém případě však případ může přejít na geometrii, blízkici se tvaru potrubí (zdroj obklopují čtyři bariéry). Pak by na řešení bylo třeba nahlížet jako případ šíření zvuku z potrubí (komínů). Zde je pak třeba uvážit vhodnou volbu směrových charakteristik. Směrnost zdroje je významně ovlivněna kmitočtem, jak uvádí např. [2].

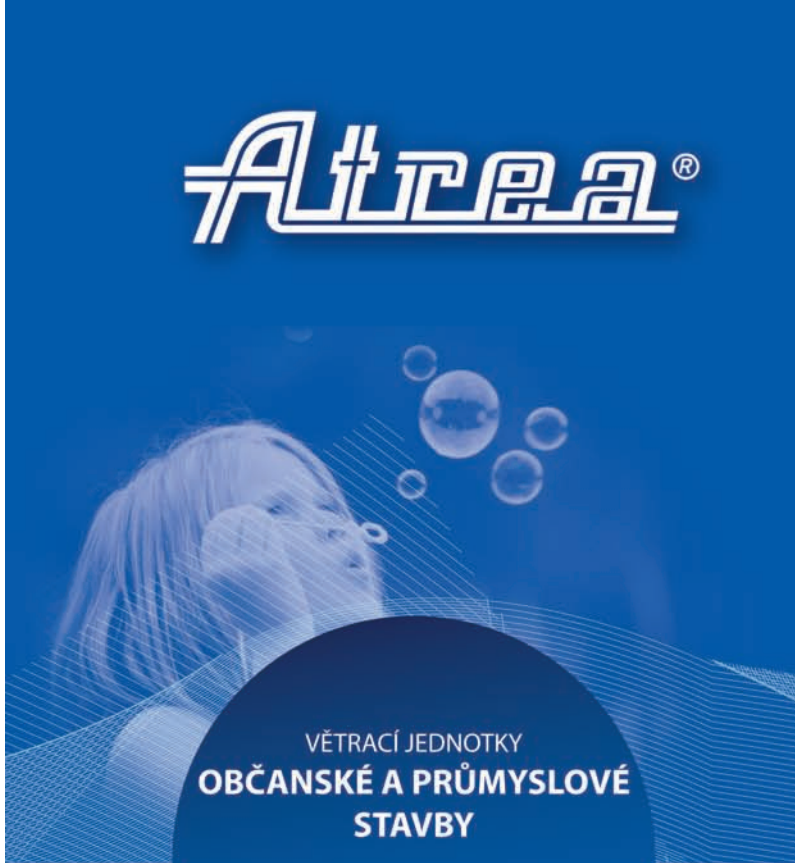
V současnosti je na Ústavu techniky prostředí připravován experiment, jehož cílem je měření směrových charakteristik signálu šířícího se z konce potrubí, neboť tato problematika je v literatuře uváděna velmi zřídka.

Neúměrné zvyšování bariér není v řadě případů možné, jak z důvodů architektonických, tak konstrukčních. Možným řešením je eliminovat odrazy zvuku od vnitřních ploch bariéry instalací zvuk pohltivých materiálů.

Kontakt na autora: miroslav.kucera@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] Barron, R., Industrial Noise Control and Acoustics. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. 534 s. ISBN 0-8247-0701-X
- [2] Nový, R., Hluk a chvění. Vydavatelství ČVUT v Praze, 2000. 389 s. ISBN 80-02246-3.
- [3] Kaňka, J., O výpočtech útlumu zvuku ohybem. TZB info, 10. 3. 2012. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-hluk/6618-o-vypoctech-utlumu-zvuku-ohybem>.



VĚTRACÍ JEDNOTKY OBČANSKÉ A PRŮMYSLOVÉ STAVBY

Vysoká účinnost, malá hmotnost
a rozměry, vysoká variabilita



DUPLEX-S



DUPLEX-N



SYSTÉMY VĚTRÁNÍ RODINNÉ DOMY, BYTY A BAZÉNY

Kompletní řešení pro nízkoenergetické
a pasivní objekty



DUPLEX-R



IZT



Tepelná čerpadla



VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE velko KUCHYNĚ

Větrací a osvětlovací stropy
a digestoře

Digestoře

SKV, TPV