

Hodnocení tlumičů hluku

Evaluation of Sound Attenuators

Recenzent
Ing. Marcel Kadlec

Článek hodnotí absorpční tlumiče hluku. Uvádí základní teoretické vztahy útlumu hluku ve vazbě na geometrické řešení tlumiče a pohltivost použitého materiálu. Je uveden příklad návrhu tlumiče hluku typického vzduchotechnického zařízení. Hlavní část je zaměřena na optimalizaci tlumiče vzduchu z hlediska vlastního útlumu a hydraulického odporu. Autor zavádí číselný koeficient kvality tlumiče, který by měl být rozhodující při návrhu tlumiče hluku projektantem. V tabulkách jsou hodnoty koeficientu kvality tlumiče pro různé typy kulisových tlumičů.

Klíčová slova: vzduchotechnika, útlum hluku, hodnocení tlumičů hluku, číselný koeficient kvality tlumiče

The article is devoted to the evaluation of sound attenuators evaluation. The article describes the basic theoretical relations of sound attenuation are indicated in connection with attenuator geometrical design and the absorption capacity of the used material. An example is given of sound attenuator design is indicated for a typical HVAC installation. The main topic concentrates on sound attenuator optimization in terms of actual attenuation and hydraulic resistance. The author introduces a coefficient of attenuator quality that should be utilized in attenuator design by designer. Tables of other values of attenuator quality coefficients are also given for different types of multiple frames attenuators in tables.

Key words: HVAC, sound attenuation, evaluation of sound attenuators, attenuator quality coefficient

1. ÚVOD

Řada strojních zařízení produkuje hluk, který je v místech pobytu osob hodnocen podle Nařízení vlády č. 502/2000Sb. a jeho novely, vyhlášky č. 88/2003 Sb. jako nadměrný. Pokud je hluk do chráněného prostoru generován z potrubního systému, je možné zajistit potřebné snížení hluku vložením tlumiče. Tlumič do potrubí je ve své podstatě kanál nebo trubka, kladoucí odpor přenosu zvuku. Zároveň však tlumič nesmí klást neúměrně vysoký odpor proudění tekutiny.

Při konstrukci tlumiče, resp. při jeho návrhu v průběhu projektování např. vzduchotechnického potrubí, je nezbytné brát ohled na základní podmínky, které zajistí jeho úspěšnou aplikaci ve strojním zařízení:

A. *Akustická podmínka*, vyžadující potlačení hladiny akustického výkonu v jednotlivých kmitočtových pásmech. Nejčastěji se pracuje se spektrem hladiny akustického výkonu v oktávových nebo 1/3 oktávových pásmech.

B. *Aerodynamická podmínka*, která vyžaduje minimalizaci hydraulických odporů tlumiče na úroveň, která neovlivní významným způsobem funkci vlastního strojního zařízení. Obvykle je zadána maximálně přípustná tlaková ztráta Δp_{max} [Pa] stanovená pro jmenovitý průtok tekutiny.

C. *Geometrická podmínka*, bere ohled na prostorové možnosti zabudování tlumiče do potrubního systému. Jedná se nejenom o celkový objem tlumiče, ale především o maximálně povolený průřez, resp. délku tlumiče.

D. *Podmínka odolnosti prostředí*, ve kterém bude tlumič pracovat. Rozdíl je samozřejmě mezi tlumičem zabudovaným do klimatizačního zařízení, kterým protéká čistý vzduch a tlumičem, který má zatlumit hluk generovaný spalovacím zařízením do kouřovodu.

E. Nezanedbatelnou podmínkou je i *otázka údržby tlumiče*, pokud je vystaven působení nečistot např. v odsávacích systémech u dřevobráběcích strojů, kde hrozí jeho zanesení nečistotami.

F. *Cenová podmínka*, je v dnešní době neodmyslitelným parametrem při návrhu tlumiče. Souvisí se shora uvedenými podmínkami. Rozhodující bývá nutnost použití určitého kvalitního materiálu, který bude odolný např. korozi.

Tlumiče je možno rozdělit podle principu jejich funkce na tlumiče reflexní a absorpční. Zásadní rozdíl mezi těmito tlumiči spočívá v pohledu na šíření akustické energie potrubním systémem. Při použití reflexního tlumiče dojde v místě jeho instalace k odrazu akustické energie nazpět ke zdroji. Tzn., že akustická energie není přeměněna na energii tepelnou, ale v potrubním systému mezi tlumičem a zdrojem hluku vytvoří částečně stojaté vlnění, které může být příčinou zhoršené funkce stroje. Typickým případem použití reflexních tlumičů jsou spalovací pístové motory, jejichž tlumiče je nutno naladit tak, aby nedošlo ke zhoršenému odvodu spalin ze spalovacího prostoru stroje.

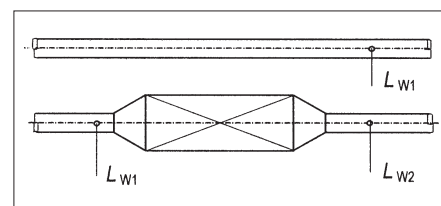
Absorpční tlumiče hluku se vyznačují tím, že převážná část vykazovaného útlumu je vyvolána přeměnou akustické energie na energii tepelnou. K této přeměně dochází ve vrstvě absorpčního materiálu, jehož kvalita je základním předpokladem úspěšného návrhu tlumiče.

Akustické vlastnosti tlumičů hluku se mohou vyjadřovat v podstatě dvojím způsobem. Existuje pojem **přenosový útlum**, který je definován jako rozdíl hladin akustického výkonu před tlumičem L_{W1} [dB] a za tlumičem L_{W2} [dB]

$$D = L_{W1} - L_{W2} \quad (1)$$

Vložený útlum je dán rozdílem hladin akustického výkonu ve stejném místě potrubí před instalací tlumiče

L_{W1} [dB] a po instalaci tlumiče L_{W2} [dB], viz obr. 1. U vzduchotechnických zařízení se používá pojem vložený útlum, protože je tím dána projektantovi jistota předpokládaného snížení hluku instalací zvoleného tlumiče. Přenosový útlum v sobě nese vliv přeladění potrubního systému před tlumičem, což může vyvolat odlišný akustický výsledek za tlumičem.



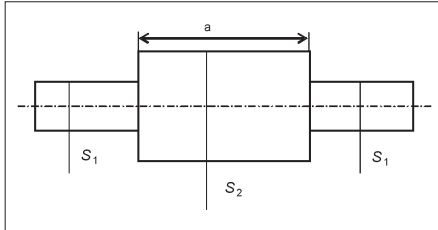
Obr. 1 Určování přenosového a vloženého útlumu tlumičů hluku do potrubí

Na obr. 1 je dokumentováno umístění mikrofonů při experimentálním ověření vloženého a přenosového útlumu.

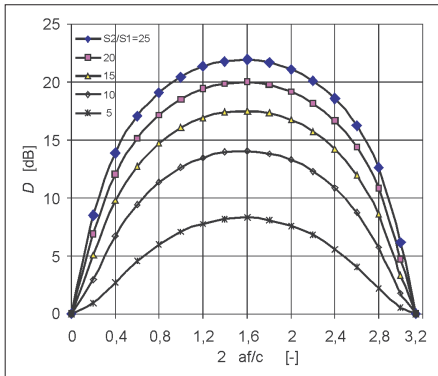
2. REFLEXNÍ TLUMIČE HLUKU

Používají se zejména u pístových strojů, u nichž je předem známo diskrétní spektrum hladiny akustického výkonu, zejména co do kmitočtového složení. Reflexní tlumič se potom navrhne pro rezonanční kmitočet, na kterém je třeba dosáhnout maximálního útlumu. Projektant z oboru Technika prostředí se s tímto typem tlumiče setkává výjimečně a to zejména v případech, kdy zajišťuje komplexní projekt technických zařízení, jehož součástí je stroj, který vyzařuje diskrétní spektrum hluku (spalovací motory, pístové kompresory apod.). Útlum reflexí se v některých případech významněji uplatní i v potrubních systémech. Ve vzduchotechnických zařízeních dojde k odrazu zvuku zejména v místech náhlé změny průřezu potrubí, v kolenech, rozbočkách, přechodech apod., což se běžně započítává do tzv. vlastního útlumu potrubní sítě.

V některých případech vzduchotechnických potrubních rozvodů, zejména u technologických zařízení, dochází k náhlému rozšíření potrubí, jak ukazuje obr. 2. Jedná se ve své podstatě opět o reflexní tlumič, jehož kmitočtový průběh útlumu je obsahem diagramu na obr. 3. Na ose x je a [m] délka komory, f [Hz] kmitočty, c [m/s] rychlost šíření zvuku.



Obr. 2 Expanzní komora jako reflexní tlumič hluku

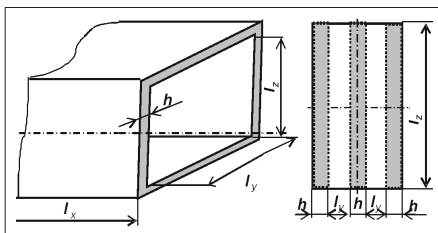


Obr. 3 Útlum expanzní komory

Tento typ tlumiče navrhuje projektant často jako do-datečný tlumič, pokud profesionálně dodávaný tlumič např. ke kogenerační jednotce nebo dmychadlu nevykazuje dostatečný útlum. Otázka tlakových ztrát expanzní komory souvisí do značné míry s tlakovou ztrátou při náhlém rozšíření a náhlém zúžení průřezu potrubí [1].

3. ABSORPČNÍ TLUMIČE HLUKU

Nejjednodušší konstrukce absorpčních tlumičů je založena na použití materiálů vhodných pro pohlcování zvuku, které se umísťují na stěny potrubí, jak ukazuje obr. 4.



Obr. 4 Absorpční tlumič hluku s obloženými stěnami a praktické řešení kulisových tlumičů

Útlum hluku absorpčních tlumičů je nutno rozdělit na dvě základní kmitočtové oblasti. Pokud jsou příčné rozměry vzduchovodu větší než polovina vlnové délky přenášeného zvukového signálu ($\lambda > l_y$), tak se potrubím bude šířit vlna rovinná. Pro tento případ platí výpočetní vztah, kterým lze vyjádřit útlum hluku

$$D = 1,1\alpha \frac{O}{S} l_x \quad (2)$$

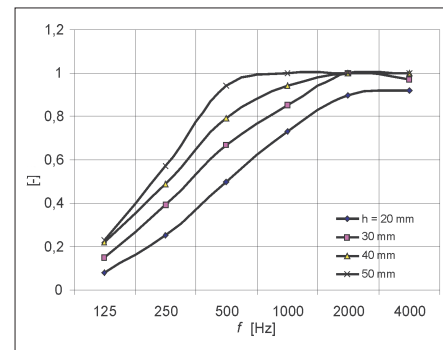
kde je

- α [-] činitel pohltivosti materiálu stěn,
- O [m] omočený obvod průřezu potrubí,
- $O = 2(l_y + l_z)$,
- S [m²] průřez potrubí, $S = l_y l_z$,
- l_x [m] délka tlumiče.

Toto řešení se v praxi nejvíce používá. Obloženy jsou pouze delší strany potrubí, resp. uvnitř průřezu potrubí jsou vloženy další pohltivé kulisy, jak je dokumentováno v obr. 6. Pro případ, kdy rozměr l_z je výrazně větší než mezera mezi pohltivými kulisami l_y , tak lze výraz (2) zjednodušit na tvar

$$D = 2,2\alpha \frac{l_x}{l_y} \quad (3)$$

Z posledního vztahu vyplývá jednoznačná hyperbolická závislost útlumu hluku v absorpčním tlumiči na šířce mezery l_y mezi absorpčními deskami. Činitel pohltivosti α je kmitočtově závislá veličina, jak je pro porézni materiály ukázáno na diagramu v obr. 5.

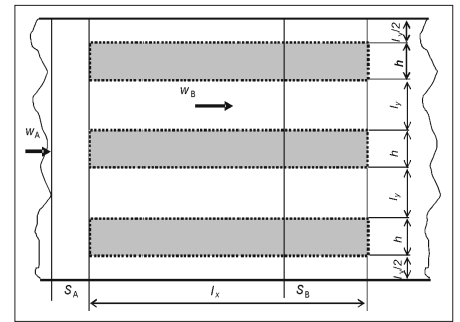


Obr. 5 Kmitočtový průběh činitele pohltivosti materiálu ISOVER SSP2

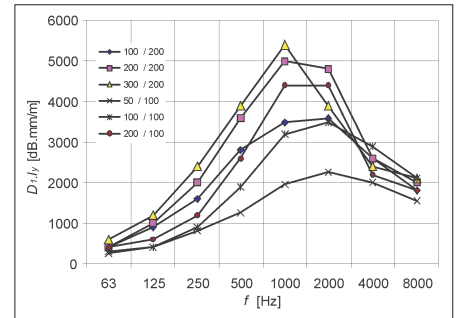
Z diagramu vyplývá také závislost na tloušťce pohltivého materiálu h [mm]. Obecně platí, že činitel pohltivosti porézni materiálů dosahuje nízkých hodnot v oblasti nízkých kmitočtů. To vše se promítá i do průběhu vložného útlumu absorpčního tlumiče. Doporučuje se volit tloušťku absorpční vrstvy materiálu h tak, aby na nejnižším kmitočtu f_{min} vykazoval tlumič útlum 3 až 5 dB/m. Pro tloušťku h [m] potom platí přibližný vztah

$$h \geq \frac{c}{10f_{min}} \quad (4)$$

Změna průřezu průtočného kanálu vlivem vložených pohltivých kulis, jak dokumentuje schéma tlumiče na obr. 6, vyvolává částečný reflexní útlum, který se k absorpčnímu útlumu přičítá. Z toho důvodu dochází k navýšení vložného útlumu zejména v případě úzkých kanálů mezi kulisami a při použití širších kulis, jak je dokumentováno diagramem na obr. 7, který je zakreslen pro násobek útlumu šířkou mezery $D_1 \cdot l_y$ [dB.mm/m]. U delších tlumičů hluku se vliv náhlé změny průřezu kanálu neprojevuje již v tak vysoké míře.



Obr. 6 Schéma absorpčního tlumiče bez náběhových



Obr. 7 Vložný útlum tlumiče o délce 1 m a různých rozměrech vestavby l_y/h , korigovaný šířkou mezery l_y

V oblasti vyšších kmitočtů nedávají shora uvedené vztahy spolehlivé výsledky, protože již není dodržena podmínka pro šíření rovinných vln. Pokud je vlnová délka srovnatelná, nebo větší než příčný rozměr kanálu, počnou se šířit vlny různé směrovanými paprsky (módy). Výpočtové vztahy (2), (3) platí do hodnoty kmitočtu, který je určen vztahem

$$f = \frac{4c}{3l_y} \quad (5)$$

Od tohoto kmitočtu začínají útlumy absorpčních tlumičů vykazovat výrazný pokles. Podle Cremera [3] je možno stanovit útlum hluku pro kmitočty, pro které platí $f \gg c/l_y$, ze vztahu

$$D = 4,35(n+1)^2 \frac{c^2}{l_y^3 f^2} \Theta \quad (6)$$

kde je

- Θ [-] reálná složka poměrné akustické impedance materiálu,
- n [-] číslo módu (1,2,3,...),
- c [m/s] rychlost šíření zvuku ve vzduchu.

4. POUŽITÍ ABSORPČNÍCH TLUMIČŮ VE VZDUCHOTECHNICE

Z předložených informací vyplývá, že pro útlum absorpčního tlumiče v nízkých kmitočtových pásmech rozhoduje o útlumu především tloušťka absorpčního materiálu h a šířka mezery l_y . V oblasti vyšších kmitočtů má rozhodující vliv šířka mezery l_y . Pro odhad měrného útlumu $D_1 \cdot l_y$ možno použít diagram na obr. 7.

Problematika hluku vzduchotechnických zařízení používajících radiální ventilátory bývá většinou soustředěna do kmitočtových pásem 63 až 500 Hz.

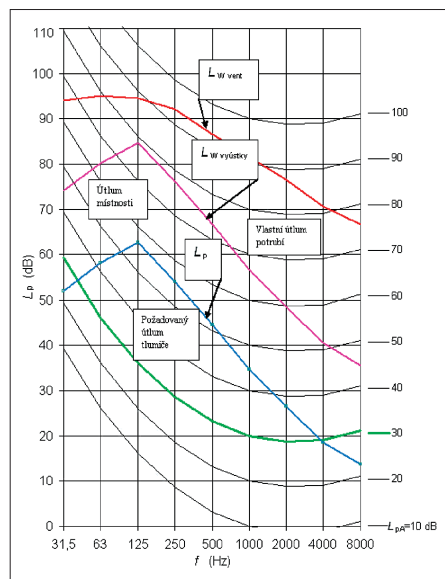
Je to vyvoláno tvarem spektra hladiny akustického výkonu zdroje hluku, kterým je většinou radiální nebo axiální ventilátor.

Příklad

Na diagramu v obr. 8 je uveden grafický výstup řešení hluku vzduchotechnického zařízení, které obsahuje radiální ventilátor s dozadu zahnutými lopatkami pro:

průtok vzduch $V = 5\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$,
dopravní tlak $p_c = 800\ \text{Pa}$.

V diagramu je zakresleno spektrum hladiny akustického výkonu ventilátoru v oktávních pásmech $L_{w\text{ocf}}$ [dB], které bylo zadáno výrobcem. Pro potrubní síť mezi ventilátorem a koncovým prvkem byly určeny vlastní útlumy hluku v potrubní síti (byl zanedbán vlastní aerodynamický hluk elementů potrubní sítě), po jejichž odečtení bylo získáno spektrum hladiny akustického výkonu $L_{w\text{ocfk}}$ [dB], který je vyzařován do chráněného prostoru. Následně je od tohoto spektra odečten útlum hluku v místnosti, čímž bylo získáno spektrum hladiny akustického tlaku $L_{p\text{ocf}}$ [dB] v kontrolním místě. Podrobnější údaje o výpočtu vlastních útlumů elementů potrubní sítě a informace o šíření zvuku v uzavřeném prostoru najde čtenář v publikaci [3].



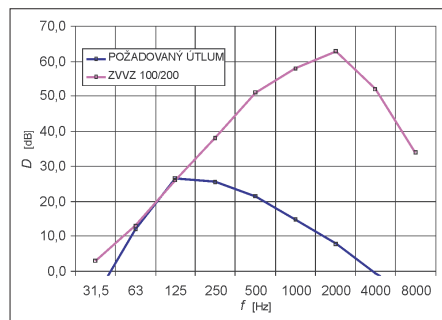
Obr. 8 Výpočet šíření hluku vzduchotechnickým zařízením a požadavek na dodatečný útlum tlumiče dokumentovaný grafickou formou

Pro hodnocení hluku je třeba použít ustanovení obsažená v Nařízení vlády č. 502/2000 Sb. a jeho novely ve vyhlášce č. 88/2003 Sb. V příkladu se předpokládá povinnost dodržet maximálně přípustnou hladinu akustického tlaku $A\ L_{pA\text{max}} = 30\ \text{dB}$, což je jedno číselné vyjádření hygienického limitu. Výpočty lze výhodně řešit kvalifikovaným odhadem mezního tvaru oktávnového spektra hladiny akustického tlaku. V diagramu na obr. 8 jsou zakresleny čáry $L_{pA\text{max}}$ [dB], respektující kmitočtový průběh filtru A (v záporné hodnotě). Maximálně povolená hladina akustického tlaku A nebude bezpečně překročena pokud shora vypočítané spektrum hladiny akustického tlaku (pro kontrolní bod v chráněném pro-

storu) bude pod úrovní křivky $L_{pA\text{max}} = 30\ \text{dB}$. Z tohoto předpokladu vychází požadavek na dimenzování tlumiče hluku.

Rozdíl pořadnic mezi křivkou hladiny akustického tlaku v kontrolním místě a čarou maximálně povolené hladiny akustického tlaku $A\ L_{pA\text{max}} = 30\ \text{dB}$ udává požadavek na vložný útlum tlumiče hluku. Z diagramu je zřejmé, že nejvyšší požadovaný útlum tlumiče je v oktávách 125 a 250 Hz.

Pokud se tyto hodnoty požadovaného útlumu absorpčního tlumiče překreslí do diagramu vyjadřující vložný útlum tlumiče, je možno činit určité závěry, viz obr. 9. V diagramu uvedené útlumy tlumiče od firmy ZVVZ jsou pro typ s kulisami o tl. 200 mm, mezerou mezi kulisami 100 mm a délkou 3 m.



Obr. 9 Porovnání požadovaného útlumu dle řešení příkladu s tlumičem ZVVZ $l_x/h = 100/200$ o délce 3 m

Z příkladu je zřejmé, že kvůli splnění požadavků na nízkou hluchost v oblasti nízkých kmitočtů je pro vyšší kmitočtová pásma než je oktáva 125 Hz tlumič velmi předimenzován.

5. OPTIMALIZACE TLUMIČE

S ohledem na shora uvedené skutečnosti se nabízí otázka, jak splnit základní požadavky na požadovaný tlumič, což je vysoký útlum hluku, nízké hydraulické odpory a minimální rozměry (kromě jiných požadavků uvedených v úvodu článku). Při dále prezentovaných výpočtech byly použity údaje o absorpčních tlumičích, které dodává firma ZVVZ Milevsko a.s (viz katalogový list KM 0047/97c). Celkový útlum tlumiče v určitém oktávnovém pásmu je možno vyjádřit jako součin měrného útlumu tlumiče D_1 (dB/m) a délky tlumiče l_x (m)

$$D = D_1 l_x \tag{7}$$

Maximálně přípustný hydraulický odpor tlumiče Δp_{max} [Pa] se obvykle určuje jako místní tlaková ztráta podle vztahu

$$\Delta p_{\text{max}} = \xi l_x \frac{w_A^2}{2} \rho = \xi l_x \frac{V^2}{S_A^2} \frac{\rho}{2} \tag{8}$$

kde je
 ξ_1 [1/m] součinitel měrné tlakové ztráty,
 l_x [m] délka tlumiče,
 w_A [m/s] rychlost proudění vzduchu v průřezu S_A ,
 V [m³/s] průtok vzduchu,
 S_A [m²] průtočný průřez tlumiče.

K uvedenému vztahu nutno poznamenat o možnosti vyjadřovat tlakové ztráty buď pro rychlost v průřezu S_A nebo S_B , viz obr. 6. Z hlediska hodnocení velikosti tlumiče preferuje autor výpočty pro průřez S_A .

Na základě zadaného potřebného útlumu hluku v daném kritickém oktávnovém pásmu, průtoku vzduchu a maximálně povolené tlakové ztráty tlumiče, lze stanovit potřebný průřez tlumiče řešením rovnic (7) a (8). Průřez tlumiče se stanoví ze vztahu

$$S_A = \sqrt{\frac{\rho}{2}} \sqrt{\frac{D}{\Delta p_{\text{max}}}} \sqrt{\frac{\xi_1}{D_1}} = \sqrt{\frac{\rho}{2}} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_{\text{max}}}} \frac{1}{K} \tag{9}$$

Rozborem vztahu (9) lze dojít k poznání, že kvalitu tlumiče pro daný kmitočtový rozsah lze určit podle hodnoty parametru, který lze nazvat činitelem kvality tlumiče

$$K = \sqrt{\frac{D_1}{\xi_1}} = \sqrt{\frac{D}{\xi}} \tag{10}$$

kde je
 D [dB] útlum tlumiče v kritickém kmitočtovém pásmu,
 ξ [-] celkový součinitel místní tlakové ztráty tlumiče.

Ze vztahu jasně vyplývá schopnost tlumiče tlumit hluk při minimálních tlakových ztrátách. V následujících tabulkách je porovnání kulisových tlumičů ZVVZ (KM 0047/97c) pro jejich různé varianty. Základní rozdíl v tlakových ztrátách nastává při použití náběhových a odtokových plechů, které snižují hydraulické odpory. Jejich tvar je však u výrobce ZVVZ omezen pouze na jedno řešení. Na druhou stranu tyto aerodynamické úpravy poněkud snižují útlum reflexí.

6. ZÁVĚR

Podrobným rozбором uvedených hodnot v tabulkách možno dojít k několika konkrétním poznatkům. Je zcela zřejmé, že stejný tlumič (stejná šířka kulisy a stejná mezera mezi kulisami) při různých svých délkách vykazuje rozdílné hodnoty činitele kvality. Je to způsobeno částečným útlumem reflexí a u tlakových ztrát existencí tlakové ztráty náhlým zúžením a náhlým rozšířením. Celkový reálný útlum kulisového tlumiče možno vyjádřit jako součet útlumu reflexí D_{reflex} (vyskytuje se u každého tlumiče pouze jednou) a útlumu absorpcí D_{abspr} , který je funkcí délky tlumiče

$$D = D_{\text{reflex}} + D_{\text{abspr}} l_x \tag{11}$$

Podobně lze určit celkový součinitel místní tlakové ztráty tlumiče ξ jako součet součinitele vlastní místní tlakové ztráty ξ_m (náhlé rozšíření, náhlé zúžení) a vlivu tlakové ztráty třením

$$\xi = \xi_m + \frac{\lambda l_x}{d_{\text{ekv}}} \tag{12}$$

Tab. 1 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 100 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	BEZ náběhových a odtokových plechů							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	50/100	0,69	0,87	1,23	1,53	1,92	2,06	1,94	1,71
2	50/100	0,74	0,98	1,38	1,61	1,83	1,90	1,86	1,73
3	50/100	0,77	1,01	1,41	1,58	1,71	1,79	1,78	1,65
1	75/100	0,89	1,09	1,54	2,04	2,63	2,81	2,59	2,22
2	75/100	0,95	1,22	1,81	2,25	2,59	2,71	2,68	2,41
3	75/100	0,98	1,34	1,93	2,30	2,47	2,62	2,57	2,38
1	100/100	0,98	1,13	1,70	2,47	3,20	3,35	3,05	2,59
2	100/100	1,12	1,41	2,12	2,83	3,20	3,35	3,35	2,87
3	100/100	1,19	1,63	2,30	2,89	3,12	3,28	3,25	2,92
1	150/100	1,35	1,35	2,07	3,12	4,06	4,21	3,31	2,71
2	150/100	1,39	1,71	2,51	3,62	4,30	4,47	3,82	3,12
3	150/100	1,56	1,91	2,77	3,92	4,17	4,41	4,02	3,24
1	200/100	1,36	1,67	2,36	3,47	4,51	4,51	3,19	2,89
2	200/100	1,74	1,94	2,74	4,07	4,91	4,99	3,88	3,01
3	200/100	1,78	2,11	3,09	4,44	4,91	5,16	4,06	3,29

Tab. 2 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 100 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	S náběhovými a odtokovými plechy							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	50/100	0,78	0,98	1,39	1,74	2,17	2,33	2,20	1,93
2	50/100	0,81	1,07	1,51	1,76	1,99	2,07	2,03	1,89
3	50/100	0,82	1,08	1,50	1,69	1,83	1,91	1,90	1,76
1	75/100	1,02	1,25	1,77	2,35	3,03	3,24	2,99	2,56
2	75/100	1,05	1,36	2,01	2,50	2,87	3,00	2,97	2,68
3	75/100	1,06	1,46	2,09	2,49	2,68	2,84	2,79	2,58
1	100/100	1,14	1,31	1,97	2,86	3,71	3,88	3,54	3,01
2	100/100	1,25	1,58	2,37	3,16	3,58	3,75	3,75	3,21
3	100/100	1,30	1,78	2,51	3,15	3,41	3,59	3,55	3,19
1	150/100	1,58	1,58	2,42	3,66	4,75	4,93	3,88	3,17
2	150/100	1,58	1,93	2,84	4,09	4,86	5,04	4,32	3,52
3	150/100	1,72	2,11	3,06	4,33	4,60	4,87	4,44	3,58
1	200/100	1,59	1,95	2,76	4,06	5,29	5,29	3,74	3,38
2	200/100	1,97	2,20	3,11	4,61	5,56	5,65	4,40	3,41
3	200/100	1,97	2,34	3,42	4,92	5,44	5,72	4,50	3,64

Tab. 3 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 200 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	BEZ náběhových a odtokových plechů							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	100/200	0,68	1,02	1,36	1,80	2,01	2,04	1,73	1,44
2	100/200	0,87	1,30	1,59	2,13	2,23	2,30	1,94	1,62
3	100/200	1,01	1,43	1,73	2,00	2,14	2,23	2,02	1,64
1	150/200	0,84	1,28	1,75	2,28	2,66	2,66	2,06	1,75
2	150/200	1,09	1,60	2,13	2,88	3,14	3,20	2,35	1,99
3	150/200	1,24	1,89	2,37	2,80	3,06	3,19	2,58	2,10
1	200/200	0,87	1,38	1,95	2,61	3,08	3,02	2,22	1,95
2	200/200	1,27	1,88	2,47	3,44	3,80	3,63	2,59	2,26
3	200/200	1,50	2,19	2,80	3,43	3,78	3,75	2,80	2,37
1	300/200	1,18	1,66	2,50	3,00	3,53	3,00	2,35	2,20
2	300/200	1,56	2,07	3,12	3,91	4,42	3,66	2,59	2,47
3	300/200	1,94	2,64	3,52	4,40	5,03	3,95	2,93	2,54
1	400/200	1,45	2,06	2,91	3,09	3,85	2,72	2,52	2,30
2	400/200	1,92	2,36	3,60	4,08	5,27	3,73	2,72	2,72
3	400/200	2,22	2,72	4,06	4,89	5,95	4,16	3,01	2,87

Tab. 4 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 200 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	S náběhovými a odtokovými plechy							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	100/200	0,80	1,20	1,61	2,12	2,37	2,41	2,05	1,70
2	100/200	0,98	1,47	1,81	2,41	2,53	2,60	2,20	1,84
3	100/200	1,13	1,59	1,92	2,23	2,38	2,48	2,25	1,82
1	150/200	1,00	1,53	2,08	2,71	3,17	3,17	2,45	2,08
2	150/200	1,25	1,85	2,46	3,32	3,62	3,69	2,71	2,29
3	150/200	1,39	2,13	2,67	3,15	3,45	3,60	2,90	2,37
1	200/200	1,04	1,65	2,33	3,13	3,69	3,61	2,66	2,33
2	200/200	1,47	2,18	2,86	3,99	4,40	4,20	3,01	2,63
3	200/200	1,70	2,48	3,19	3,90	4,30	4,26	3,19	2,69
1	300/200	1,41	2,00	3,00	3,61	4,24	3,61	2,83	2,65
2	300/200	1,83	2,42	3,66	4,57	5,18	4,29	3,03	2,89
3	300/200	2,22	3,03	4,03	5,04	5,76	4,52	3,36	2,91
1	400/200	1,75	2,48	3,50	3,71	4,63	3,28	3,03	2,77
2	400/200	2,25	2,76	4,22	4,78	6,17	4,36	3,19	3,19
3	400/200	2,58	3,16	4,71	5,68	6,91	4,83	3,50	3,33

Tab. 5 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 300 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	BEZ náběhových a odtokových plechů							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	100/300	0,73	0,98	1,17	1,24	1,48	1,40	1,20	1,04
2	100/300	0,91	1,13	1,38	1,50	1,68	1,51	1,25	1,13
3	100/300	0,96	1,19	1,38	1,54	1,61	1,54	1,35	1,15
1	200/300	1,02	1,37	1,77	1,93	2,32	2,19	1,58	1,44
2	200/300	1,41	1,80	2,24	2,54	2,94	2,58	1,85	1,59
3	200/300	1,50	2,04	2,50	2,77	3,02	2,80	2,04	1,74
1	300/300	1,26	1,78	2,09	2,27	2,67	2,44	1,78	1,67
2	300/300	1,58	2,24	2,80	2,93	3,22	2,99	1,98	1,89
3	300/300	1,79	2,53	3,20	3,35	3,35	3,15	2,26	1,96
1	400/300	1,36	1,92	2,35	2,48	2,83	2,72	2,08	1,92
2	400/300	1,84	2,71	3,18	3,18	3,27	3,18	2,25	2,12
3	400/300	2,02	3,03	3,64	3,64	3,50	3,35	2,37	2,26

Tab. 6 Činitel kvality tlumičů ZVVZ s kulisami h = 300 mm pro různá kmitočtová pásma

Délka l_k [m]	l_f/h	S náběhovými a odtokovými plechy							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	100/300	0,87	1,15	1,38	1,47	1,76	1,66	1,41	1,22
2	100/300	1,04	1,29	1,58	1,71	1,92	1,73	1,43	1,29
3	100/300	1,07	1,33	1,55	1,72	1,80	1,72	1,51	1,29
1	200/300	1,23	1,65	2,13	2,33	2,80	2,64	1,90	1,74
2	200/300	1,65	2,10	2,63	2,98	3,44	3,02	2,16	1,86
3	200/300	1,72	2,34	2,87	3,18	3,46	3,21	2,34	2,00
1	300/300	1,52	2,16	2,53	2,75	3,23	2,95	2,16	2,02
2	300/300	1,87	2,65	3,32	3,46	3,81	3,54	2,35	2,24
3	300/300	2,08	2,94	3,71	3,88	3,88	3,66	2,63	2,27
1	400/300	1,65	2,33	2,86	3,01	3,43	3,30	2,52	2,33
2	400/300	2,19	3,22	3,79	3,79	3,89	3,79	2,68	2,52
3	400/300	2,36	3,54	4,25	4,25	4,08	3,91	2,76	2,64

kde je d_{ekv} [m] ekvivalentní průměr odpovídající průtočnému průřezu mezi kulisami.

Z předložených výsledků vyplývá poznatek o výhodnosti použití náběhových plechů. U tlumičů ZVVZ je na vstupu tlumiče náběhový plech ve tvaru poloviny kruhového válce. Na odtokové straně je pokus o vytvoření difusoru, který však nemá optimální tvar.

U malých tlumičů (pro malé průtoky vzduchu) není návrh optimálního průřezu tlumiče až tak rozhodující. Naopak u tlumičů pro velké průtoky vzduchu je možno ušetřit nejenom na investičních nákladech, ale zejména na elektrických příkonech ventilátorů. V takových případech se vyplatí návrh netradičního aerodynamického opatření na vstupu a výstupu z tlumiče.

Publikované výpočtové vztahy umožňují projektantovi lepší rozhodování při návrhu průřezu tlumiče. Na základě hodnot uvedených v tabulkách lze dospět i k optimalizaci tlumiče z hlediska celkového objemu a následně i ceny tlumiče.

Obecně je výhodné potřebný tlumič dělit do dvou částí. První tlumič se umístí těsně za ventilátor (obecně zdroj hluku) a druhý před koncový element potrubní sítě. Toto řešení je nutné v případech, kde vychází požadavek na větší délky tlumiče než 3 m.

Pro delší tlumiče se obvykle v technických podmínkách výrobců tlumičů jejich útlumy neuvádějí.

Článek byl vypracován s podporou výzkumného záměru MSM 684077001.

Použití zdroje:

- [1] Nový R.: Hluk a chvění, ČVUT Praha, Praha 2000
- [2] Němec J., Ransdorf J., Šnědrlé M.: Hluk a jeho snížení v technické praxi, SNTL Praha, 1972
- [3] Cremer L., Hechl M.: Körperschall – Physikalische Grundlagen und Technische Anwendungen, Springer Verlag 1967. ■

*** Dobrý vzduch pro kanceláře**

Kdo chce v kancelářích a shromažďovacích místnostech zajistit hygienicky nezávadnou kvalitu vzduchu, neobejde se bez vzduchotechniky. Jen kontrolovaným přívodem filtrovaného, klimatizovaného venkovního vzduchu a současným odvodem znečištěného vnitřního vzduchu je možné připravit a udržovat v místnostech co nejlepší prostředí pokud se týče teploty, vlhkosti a koncentrace škodlivin a pachů.

V roce 2005 vyšla nová norma DIN EN 13 799 „Větrání nebytových budov (Nichtwohnggebäuden)“, kde se vychází ze čtyř stupňů kvality vnitřního vzduchu RAL. RAL 1 znamená = vysokou kvalitu, RAL 2 = střední, RAL 3 = mírnou, RAL 4 = nízkou. V souvislosti s ní jsou orientačně uvedeny i koncentrace CO₂ ve vnitřním vzduchu.

Tab. 1 DIN EN 13 799 „Větrání neobytných budov“

Kategorie	Objemový průtok venkovního vzduchu na osobu [m ³ /h]		Koncentrace CO ₂ vzduchu v místnosti nad koncentrací venkovního vzduchu [ppm]
	zóna		
	nekuřácká	kuřácká	
RAL 1	72	144	< 350
RAL 2	45	90	< 500
RAL 3	29	58	< 800
RAL 4	18	36	< 1200

Dále udává norma DIN EN 13 779 také třídy filtrace v závislosti na požadované kvalitě vnitřního vzduchu, kde: AUL 1 znamená = čistý vzduch, který smí být jen občas zaprášen, AUL 2 = venkovní vzduch s vysokou koncentrací aerosolu, AUL 3 = venkovní vzduch s vysokou koncentrací plynných nečistot, AUL 4 = venkovní vzduch s vysokou koncentrací aerosolu a plynných nečistot, AUL 5 = venkovní vzduch s velmi vysokou koncentrací aerosolu a plynných nečistot, GF = plynový filtr (aktivní uhlí) a/nebo chemický filtr.

Tab. 2

Kvalita venkovního vzduchu	Kvalita vnitřního vzduchu			
	RAL 1	RAL 2	RAL 3	RAL 4
AUL 1	F 9	F 8	F 7	F 6
AUL 2	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
AUL 3	F7/F9	F 8	F 7	F 6
AUL 4	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
AUL 5	F6/GF/F9	F6/GF/F9	F6/F7	G4/F6

V tabulkách uvedené hodnoty je třeba brát jako minimální a u objemového průtoku venkovního vzduchu jde o tepelné a čichové normálně zatížené místnosti (teploty 20 až 26 °C, rel. vlhkosti 30 až 70 %). V praxi půjde často ještě o jiné specifické podmínky z hlediska projektu, které je třeba respektovat, jako např. vyšší zátěže vnitřního vzduchu škodlivými látkami apod. Norma DIN EN 13 779 vychází dále z toho, že vzduchovody jsou těsné a že dochází jen k minimálnímu úniku vzduchu.

CCI 5/2005

(Ku)

Ze zahraniční literatury

□ Issever H., Disci, R., Hapcioglu, B., Vatansever, S., Karan, A., Akkaya, V., Erk, O.: **The Effect of Air Pollution and Meteorological Parameters in Istanbul on Hospital Admissions for Acute Coronary Syndrome** (Vliv znečištění ovzduší a meteorologických parametrů v Istanbulu na hospitalizaci s diagnózou akutní koronární syndrom).

Indoor Built Environ, 14, 2005, č. 2, s. 157–164.

Istanbulští autoři zkoumali vztah mezi počtem pacientů, kteří byli v období 1997 až 2001 přijati k hospitalizaci s diagnózou akutní koronární syndrom a znečištěním ovzduší a meteorologickými parametry ve sledovaném období. Byly sledovány teplota, vlhkost a atmosférický tlak vzduchu, CO, SO₂, NO, NO₂ a počet částic frakce PM₁₀. Za sledované období bylo hospitalizováno celkem 2889 osob.

Byl nalezen významný vztah mezi aktuálním atmosférickým tlakem a teplotou vzduchu (ta byla vůbec nejvýznamnějším faktorem), naopak žádný vztah nebyl nalezen mezi počty hospitalizovaných a vlhkostí vzduchu.

Všechny znečišťující látky s hospitalizací korelovaly, nejvýznamnější byla korelace mezi počty hospitalizovaných a koncentrací SO₂. Statisticky významně stoupala hospitalizace v zimě a na jaře ve srovnání se stavem v létě.

Autoři upozorňují, že meteorologické parametry nejsme schopni ovlivnit, ale velké rezervy jsou v oblasti znečištění ovzduší, kterým by měla být věnována větší pozornost.

(Laj)

*** Vnitřní prostředí nemocnic**

Ve dnech 6. až 7. 10. 2005 se bude v Praze konat pod patronací hlavního hygienika ČR 2. mezinárodní konference o kvalitě vnitřního prostředí nemoc. První mezinárodní konference na toto téma se uskutečnila v Praze v říjnu 2002. Místem konání jsou Kongresové centrum IKEM a 1. Lékařská fakulta KU. Prezidentem konference je prof. MUDr. Vladimír Bencko, DrSc. z Ústavu hygieny a epidemiologie 1. lékařské fakulty KU v Praze. Ta je spolu se Společností nemocniční hygieny, Společností komunitní hygieny a International Society for the Built Environment hlavním organizátorem.

Více informací o konferenci, jejíž jedna sekce se týká větrání operačních sálů a péči o kvalitu vnitřního ovzduší čistých nemocničních prostorů, poskytne sekretář konference MUDr. Miriam Schejbalová na adrese: rsche@lf1.cuni.cz.

(Laj)

*** Regulace čerpadel bez senzorů**

Německá firma Lowara uvedla na trh novou patentovanou regulaci čerpadel, vyvinutou speciálně pro oběhová zařízení, bez potřeby externího měření tlaku či teploty. Měření se zde děje na základě příkonu motoru čerpadla. Charakteristika zařízení se programuje buď přímo na přístroji nebo ručně. Přitom není nutné znát charakteristiku daného zařízení či čerpadla. Tento bezsenzorový regulační systém se především montuje přímo na motor. Přitom není třeba vyměňovat čerpadlo nebo jeho motor, čímž odpadá instalace práce na hydraulickém systému. Do konce roku 2004 měly být k dispozici přístroje pro motory až do výkonu 11 kW.

CCI 11/2004

(Ku)