

Šíření zvuku dělicími stěnami

Miroslav Kučera

Autor popisuje metody hodnocení hluku v bytové zástavbě se zaměřením na šíření hluku přes stěny. Článek popisuje základní veličiny a metody jejich výpočtu. Autor tak předkládá základní přehled výpočtů. Dále uvádí problematiku šíření zvuku skrze otvory ve stěnách, které mohou představovat např. okna, dveře, nebo větrací otvory. Na tento článek naváže další část, ve které budou uvedeny jednotlivé příklady šíření zvuku jednoduchou i složenou stěnou.

Recenzent: Roman Vavříčka

Úvod

Problematika šíření zvuku přes dělicí příčky nebo nosné stěny mezi sousedními prostory ve stavbách, nebo do vnějšího prostoru je doménou stavební akustiky. Projektanti systémů, vytápění či klimatizace, zajišťujících ve vnitřních prostorech požadované mikroklima, stojí v mnoha případech před problémem, jak stanovit množství akustické energie, které se bude ze strojovny šířit do ostatních částí objektu. V řadě případů je v těsné blízkosti strojovny chráněný prostor a od projektanta strojního zařízení je požadováno navrhnout taková akustická opatření, aby byl v chráněném prostoru splněn hygienický limit daný nařízením vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací [2]. V takovém případě musí projektant vědět, jaké spektrum hluku se bude dělicí konstrukcí do sousedního prostoru šířit. Za tím účelem by měl od projektanta stavaře získat spektrum vzduchové neprůzvučnosti dané konstrukce (příčky, stěny).

Ve stavební akustice je běžné uvádět tuto informaci v 1/3 oktávovém pásmu v rozsahu kmitočtů 100–3150 Hz, případně ve formě vážené neprůzvučnosti R_w [dB]. Vážená neprůzvučnost je však pro přesnější výpočty, zvláště pak pro návrh zvukoizolačních opatření, nevhodná. Po projektantu vzduchotechniky, či vytápění, je mnohdy požadováno provést akustické výpočty např. od kmitočtu 31,5 Hz do 8000 Hz. V takovém případě jsou pro něho výše uvedené informace nedostačující.

V tomto článku se pokusím seznámit čtenáře se základními pojmy z oboru stavební akustiky a na řešených příkladech ukázat způsob, jak počítat hluk šířící se přes stěny do sousedních prostorů.

Základní pojmy

Akustické pole ve vnitřním prostoru je možné rozdělit na dvě oblasti. První pole blízké zdroji je tzv. pole přímých vln, v němž se významně projevuje vliv umístění zdroje dané směrovým činitelem Q a vzdáleností od zdroje r . Druhým je pole odražených vln, kde se významnou měrou projevuje vliv prostoru vyjádřen středním činitelem zvukové pohltivosti α a plochou obklopujících stěn S .

Hladinu akustického tlaku ve vnitřním prostoru L_{p1} [dB] stanovíme podle vztahu

$$L_{p1} = L_w + 10 \cdot \log \left[\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_m)}{\sum S_i \cdot \alpha_m} \right] \quad (1)$$

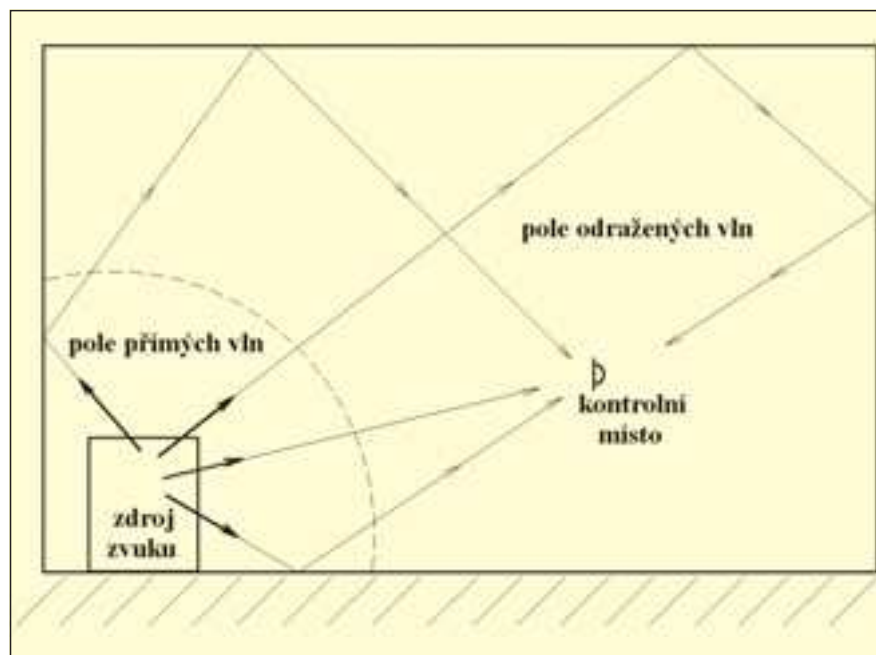
kde je

L_w [dB]	hladina akustického výkonu zdroje,
Q [–]	směrový činitel zdroje,
r [m]	vzdálenost mezi zdrojem a kontrolním místem,
$\sum S_i$ [m ²]	plocha všech stěn ohraničujících chráněnou místnost,
α_m [–]	střední činitel pohltivosti stěn.

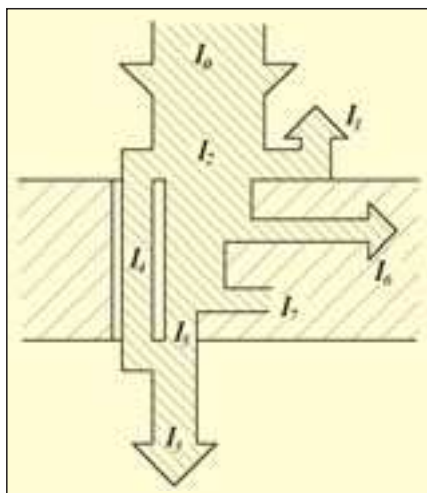
V poli odražených vln, nazývaném též difuzním, je akustické pole vyrovnané tzn., že v jakémkoliv místě je hladina akustického tlaku stejná, jak dokumentuje druhý člen v závorce ve vztahu (1). Pomyslnou hranici mezi polem přímých a odražených vln reprezentuje v obr. 1 čárkovaná čára. Ve větších vzdálenostech od zdroje je možné vliv přímých vln zanedbat. V praktických výpočtech bychom však měli hladinu akustického tlaku v uzavřeném prostoru zjišťovat jako kombinaci účinků obou akustických polí podle vztahu (1).

Akustické chování vnitřního prostoru je významně ovlivněno

▼ Obr. 1 ● Akustické pole v uzavřeném prostoru



schopností pohlcovat akustickou energii dopadající na jeho obklopující plochy. Pohltivost plochy charakterizujeme činitelem zvukové pohltivosti α . Provedeme-li bilanci akustického výkonu dopadajícího na stěnu o definované ploše 1 m^2 , zjistíme, že se energie rozdělí na následující složky obr. 2.



▲ Obr. 2 ● Bilance akustické energie při dopadu zvukové vlny na stěnu

Část zvuku odrazí intenzita zvukové vlny I_1 , pohltí I_2 , vyzáří za stěnu I_3 , projde za stěnu otvory a štěrbinami I_4 , projde za stěnu vlivem ohybového kmitání stěny I_5 , projde do ostatních částí konstrukce ve formě chvění I_6 a přemění ve stěně v teplo I_7 .

Činitel pohltivosti pak můžeme definovat vztahem

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0} \quad (2)$$

Tedy poměr energie pohlcené stěnou ku energii dopadající. Je jasné, že činitel pohltivosti může nabývat hodnot v rozsahu 0 stěna dokonale odrážející až 1 stěna zcela pohlcující zvuk. Hodnoty blízké 0 reprezentují, keramické obklady, betonové plochy atd. naopak hodnotu blízkou 1 materiály pro pohlcování zvuku, porézní látky jako např. molitan. Dalším případem $\alpha = 1$ je otevřené okno. Činitel α je veličina kmitočtově závislá, a je tedy třeba ji uvádět ve spektru. Některé konkrétní hodnoty činitele pohltivosti předkládá tab. 1.

Střední činitel pohltivosti prostoru je možné stanovit ze vztahu

Materiál	Kmitočet f_m [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hladký beton	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
Dlaždice	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Cihelná zeď neomítnutá	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07
Vápenná omítka na drátěném pletivu	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
Cihlová stěna s hladenou omítkou	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Obkládačky, mramor, kachle	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Sádrová omítka na zdi	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Papírové tapety nalepené na zdi	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09
Stěny obložené dřevem	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
Parkety na asfaltu	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Linoleum přímo na betonu	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Korková podlaha cl. 20 mm	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Okenní sklo	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Koberec	0,15	0,07	0,10	0,19	0,28	0,79
Akustický stěnový obklad Sonit PK10	0,18	0,38	0,77	0,75	0,66	0,51
Akustický materiál Polyson	0,18	0,37	0,7	0,83	0,95	1,00

▲ Tab. 1 ● Hodnoty činitele pohltivosti vybraných materiálů

$$\alpha_m = \frac{\sum (\alpha_i \cdot S_i)}{\sum S_i} \quad (3)$$

Kde hodnoty α_i odečteme např. z tab. 1 a plochy S_i reprezentují dílčí plochy stěn o pohltivosti α_i . V případě prostorů s vyšší vybaveností, kde by bylo obtížné definovat jednotlivé povrchy s jejich pohltivostmi, je možné stanovit střední činitel pohltivosti z doby dozvuku podle vztahu

$$\alpha_m = 0,164 \cdot \frac{V}{\sum (S_i \cdot T)} \quad (4)$$

kde je
 V [m³] objem místnosti,
 T [s] doba dozvuku.

Doba dozvuku je čas, za který poklesne hladina akustického tlaku v prostoru o 60 dB. V reálných prostorech je doba dozvuku obvykle v rozsahu 0,5 až 2 s v závislosti na kmitočtu.

▼ Tab. 2 ● Příklad doby dozvuku školní tělocvičny bez akustických úprav T_1 a po jejich realizaci T_2

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
T_1 [s]	3,15	4,75	5,80	5,48	4,40	3,10
T_2 [s]	1,35	1,62	1,85	1,55	1,70	1,42

Druhým důležitým pojmem, který dále uplatníme, je činitel průzvučnosti definovaný vztahem

$$\tau = \frac{I_3}{I_0} = \frac{I_4 + I_5}{I_0} \quad (5)$$

Tedy energie, která za stěnu projde otvory a netěsnostmi a dále je vyzářena stěnou v důsledku ohybového kmitání vztažená k celkové dopadající energii.

Celkovou průzvučnost stěny získáme podobně jako ve vztahu (3) sumací dílčích průzvučností násobených plochou

$$\tau_m = \frac{\sum \tau_i \cdot S_i}{\sum S_i} \quad (6)$$

Neprůzvučnost

Při výpočtech šíření zvuku přes stěny uplatníme další pojem, tzv. „neprůzvučnost“ konstrukce. Neprůzvučnost dělicí stěny vyjadřuje

schopnost stěny nepropouštět na druhou stranu akustické vlnění. V praxi rozeznáváme dva druhy: vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost. Akustickou kvalitu stěny budeme vyjadřovat vzduchovou neprůzvučností danou vztahem

$$R = 10 \cdot \log \frac{1}{\tau} \quad (7)$$

Tato veličina je tedy vlastností stěny, je kmitočtově závislá a budeme ji proto uvádět v oktávovém či třetinooktávovém spektru.

Ve schématu na obr. 3 je zakreslena vysílací místnost, kterou může být např. kotelna v objektu, s níž sousedí dělicí příčkou chráněný prostor. Obvykle je známé spektrum hladin akustického tlaku v poli odražených vln od zdroje hluku L_{p1} , kterým je např. kotel, čerpadlo atd., nebo jejich kombinace. Hladinu akustického tlaku L_{p2} v přilehlém vnitřním chráněném prostoru ve vzdálenosti přibližně rovné polovině šířky dělicí stěny určíme podle vztahu

$$L_{p1} - L_{p2} = R + 10 \cdot \log \frac{A_2}{S} \quad (8)$$

kde je

R [dB] vzduchová neprůzvučnost dělicí stěny v kmitočtovém pásmu,

A_2 [m²] celková pohltivost přijímacího prostoru daná vztahem (9),

S [m²] plocha dělicí stěny,

$$A_2 = \sum (\alpha_i \cdot S_i) \quad (9)$$

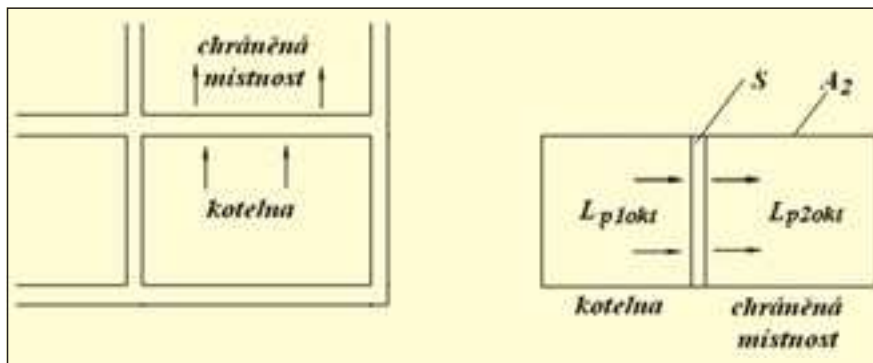
kde je

α_i [-] činitel pohltivosti dílčí části dělicí stěny,

S_i [m²] dílčí plocha dělicí stěny.

Levou část vztahu (8) nazýváme stupněm zvukové izolace D [dB], který vyjadřuje zvukoizolační schopnost stěny a závisí na vzduchové neprůzvučnosti R , celkové pohltivosti přijímacího prostoru a velikosti dělicí stěny.

Využitím vztahu (8), jak bylo výše uvedeno, získáme informaci o hladině akustického tlaku v určité vzdálenosti od stěny. Co však v případě, že nás zajímá hladina akustického tlaku těsně za stěnou?



▲ Obr. 3 ● Schéma vysílacího a přijímacího prostoru

Podle [1] je třeba vztah (8) upravit do tvaru

$$L_{p1} - L_{p2} = R - 10 \cdot \log \left[\frac{1}{4} + \frac{S \cdot (1 - \alpha_2)}{S_2 \cdot \alpha_2} \right] \quad (10)$$

V případě šíření zvuku stěnou do venkovního prostoru je hladina akustického tlaku na vnější straně stěny (vně budovy) dána vztahem

$$L_{p2} = L_{p1} - R - 6 \quad (11)$$

Tento vztah jsme získali ze vztahu (10) dosazením hodnoty činitele pohltivosti α přijímacího prostoru (vnější prostředí) blízkém jedné.

Pro následné akustické výpočty ve venkovním prostoru je vhodné stanovit hladinu akustického výkonu, kterou stěna vyzařuje

$$L_w = L_{p2} + 10 \cdot \log S \quad (12)$$

kde je

L_{p2} [dB] hladina akustického tlaku vně kotelny,

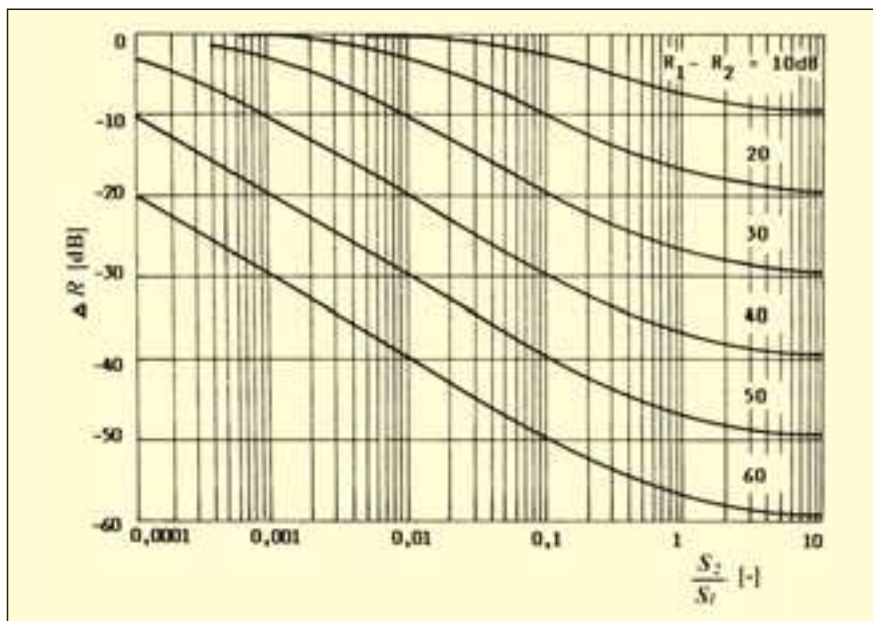
S [m²] plocha dělicí stěny.

Stavební konstrukce běžně vykazuje rozdílné vlastnosti, tzn. stěna nemá stejnou tloušťku v celé ploše, jednotlivé části mohou být z různých materiálů, ve stěně jsou okna, dveře atd. V takové případě je nutné stanovit spektrum vzduchové neprůzvučnosti kombinované stěny. Z energetické bilance je podle [3] vzduchová neprůzvučnost kombinované stěny

$$R = 10 \cdot \log \frac{\sum S_i}{\sum (10^{-0,1 R_i} \cdot S_i)} \quad (13)$$

Bude-li stěna složena ze dvou dílčích ploch o rozdílných hodnotách R , je ze vztahu (13) patrné, že výsledná zvukoizolační schopnost složené stěny poklesne, jak dokumentuje obr. 4.

▼ Obr. 4 ● Pokles vzduchové neprůzvučnosti [1]



V případě návrhu zvukoizolační stěny je třeba uvážit možné cesty šíření zvuku mezi řešenými prostory. Ve stavební akustice jsou rozlišovány dva pojmy, laboratorní neprůzvučnost R a stavební neprůzvučnost R' . Rozdíl je v tom, že při měření v laboratoři vypovídá hodnota neprůzvučnosti o cestě šíření signálu pouze stěnou, kdežto stavební neprůzvučnost je hodnota nižší přibližně o 2 až 3 dB, protože na stavbě se projeví vliv zabudování dělicí stěny do stavby, a tedy i možné cesty přenosu signálu se zvýší. V tom případě je vhodné stupň zvukové izolace zvýšit o přídavnou hodnotu cca 3 dB. Výpočet pak provedeme podle vztahu (14) což je nám již známý vztah (8) rozšířený pouze o 3 dB.

$$R = L_{p1} - L_{p2} + 10 \cdot \log \frac{S}{A_2} + 3 \quad (14)$$

Vliv otvorů na neprůzvučnost

Nejslabšími prvky obvodového pláště budovy jsou otvory. Ať jde o dveře, okna, větrací otvory ad. Okna, zvláště s jednoduchým zasklením, patří např. v kotelnách k nejslabším prvkům obvodového pláště.

Vliv otvorů na celkovou vzduchovou neprůzvučnost stěny podává obr. 5. Uvedeme-li příklad pro stěnu o ploše 60 m^2 , jenž vykazuje vzduchovou neprůzvučnost $R =$

60 dB, v případě realizace otvoru o ploše $0,6 \text{ m}^2$ poklesne celková vzduchová neprůzvučnost stěny na 20 dB.

Větrací otvory, u nichž je požadavek na malé tlakové ztráty, tj. např. aerační otvory, je třeba uvažovat s nulovou neprůzvučností. Tyto otvory vykazují nulovou zvukoizolační schopnost ($R = 0 \text{ dB}$).

Hladina akustického výkonu vyzařovaná takovýmto otvorem je dána vztahem

$$L_W = L_{p1} + 10 \cdot \log S_{ot} \quad (15)$$

kde je

L_{p1} [dB] hladina akustického tlaku uvnitř kotelny,

S_{ot} [m^2] plocha větracího otvoru.

Vzduchová neprůzvučnost stěny, v níž je otvor, je dána vztahem

$$R = R_1 - 10 \cdot \log \left[1 + \frac{S_o}{S} \cdot (10^{0,1 \cdot R_1} - 1) \right] \quad (16)$$

kde je

R_1 [dB] vzduchová neprůzvučnost stěny bez otvoru,

S_o [m^2] plocha otvoru,

S [m^2] plocha stěny včetně otvoru

Uvedený vztah platí pro otvory, jejichž rozměr je srovnatelný s vlnovou délkou signálu $t = 1$. U malých otvorů, jako jsou štěrby v oknech, dveřích apod., je rozměr mnohoná-

sobně menší, průzvučnost nabývá hodnot vyšších než 1, což může být dáno rezonancí v otvoru a tedy zesílením. Výsledná neprůzvučnost stěn s malým otvorem je pak dána vztahem

$$R = R_1 - \log \left[1 + \frac{S_o}{S} \left(\frac{10^{0,1 \cdot R_1}}{10^{0,1 \cdot R_0}} - 1 \right) \right] \quad (17)$$

kde vzduchovou neprůzvučnost štěrby stanovíme podle vztahu

$$R_0 = 10 \cdot \log(b \cdot f) - 9,3 \quad (18)$$

kde je

b [m] je šířka štěrby,

f [Hz] kmitočet.

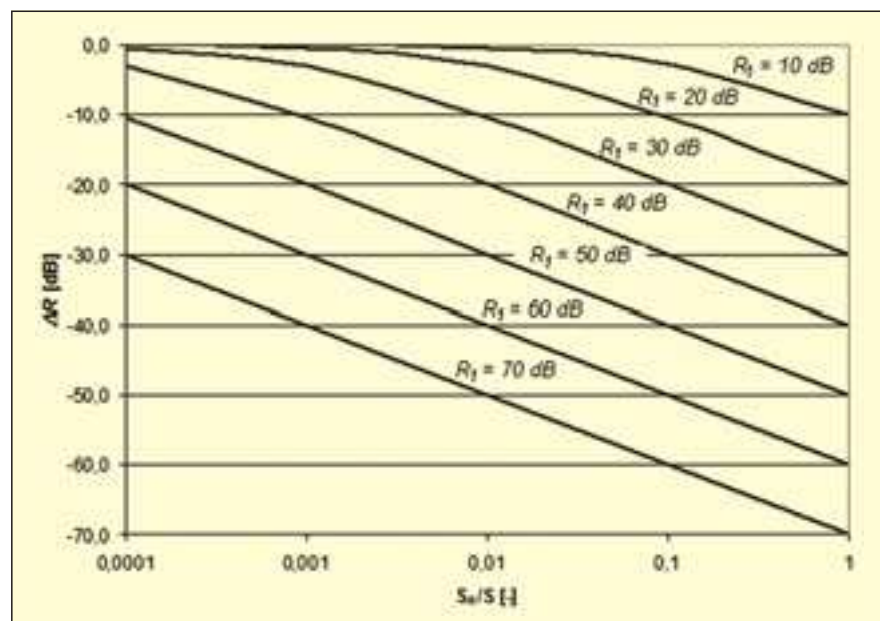
Jak uvádí [1] platí vztah (18) pro jednoduché štěrby. U tvarově komplikovaných vznikají dodatečné útlumy zvyšující vzduchovou neprůzvučnost, což nás přiklání na stranu bezpečnosti výpočtu.

Dosud jsme se seznámili s principem výpočtu šíření zvuku přes dělicí stěny s otvory či bez nich, ale v tuto chvíli nám schází to nejdůležitější, a to spektrum vzduchové neprůzvučnosti jednotlivých konstrukcí. Jak bylo naznačeno v úvodu, měla by tato informace přijít od projektanta stavební části. V mnoha případech není možné tuto informaci získat. Stanovení neprůzvučnosti jednoduché stěny se bude věnovat budoucí článek, kde se seznámíme s postupem, jak kvalifikovaně odhadnout průběh vzduchové neprůzvučnosti jednoduché stěny.

Literatura

- [1] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 389 s. ISBN 80-02246-3.
- [2] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [3] KAŇKA, J.: *Stavební fyzika 31*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 121 s. ISBN 80-01-02861-5.
- [4] KAŇKA, J.: *Stavební fyzika 1*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2013. 118 s. ISBN 978-80-01-05209-9.
- [5] ČECHURA, J.: *Stavební fyzika 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 173 s. ISBN 80-01-01593-9.

▼ Obr. 5 ● Pokles vzduchové neprůzvučnosti vlivem otvorů [1]



Autor: **Ing. Miroslav Kučera, Ph.D.,**
*Ústav techniky prostředí,
Fakulta strojní, ČVUT v Praze*

Recenzent: **Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.,**
*Ústav techniky prostředí,
Fakulta strojní, ČVUT v Praze;
člen redakční rady Topenářství instalace*

Propagation of sound through separating walls

The author focuses on the method of calculation of sound propagation through simple interior walls and into the outside environment. In the introduction he acquaints us with basic terms which are further used in investigating sound propaga-

tion. The main section is focused on the method of assessment of the air transmission loss of a combined wall and on the effect of openings on the air transmission loss of the separating structure.

Keywords: Sound propagation, structural acoustics, noise, transmission loss

INTERSOLAR INDIA 2014: Solární průmysl vkládá velké naděje do trhu v Indii

Silná účast 160 předních světových dodavatelů solárních zařízení na veletrhu INTERSOLAR INDIA, který proběhl v listopadu Bombaji, potvrzuje silnou a stále rostoucí poptávku. V Indii nemá přibližně 400 milionů lidí přípojku na zdroj elektřiny tak, jak to pokládáme za standard v Evropě. Jednou z cest je využití fotovoltaiky, která je k životnímu prostředí ohleduplnější, než jsou diesela agregáty, které se, pro nedostatky v rozvodu a výrobě elektřiny, v Indii hojně využívají. Příkladem může být projekt oceněný cenou veletrhu Intersolar, v jehož rámci společnost Tata Power Solar Systems Ltd. realizovala 50MW fotovoltaickou elektrárnu v Madhya Pradesh, která zásobuje 90 000 domácností.

Veletrh, respektive signály z něj, se mohou příznivě promítnout do stability produkce fotovoltaických zařízení a celosvětově příznivého vývoje cen.

Ze současného (leden 2015) významného poklesu cen ropy lze usuzovat, že za ním může částečně stát i strach producentů ropných produktů ze ztráty trhu přechodem spotřebitelů na jiné neropné zdroje energií, který bude nevratný a snaha rozkolísat podmínky pro investice do jiných energetických zdrojů a rovněž ekonomiku jejich výrobců.

□ JH

Vyšší účinnost ventilátorů

Jak informovala společnost Remak, tak od 1. ledna 2015 jsou platné nové vyšší hodnoty předepsané mini-

mální účinnosti na základě vyhlášky (ES) č. 327/2011 Komise ze dne 30. března 2011 k provádění směrnice 2009/125/ES (směrnice ErP), konkrétně ErP 2015, pro ventilátory ve výkonnostním rozsahu 125 W až 500 kW. Řada výrobků společnosti Remak splňovala vyšší hodnoty již dříve. Změny se týkají některých výrobků z řad Vento, DoorMaster a střešních ventilátorů RF a projeví se v technické dokumentaci a návrhovém softwaru AeroCAD.

Striktní dodržení předepsané účinnosti ventilátorů je základním předpokladem pro označení CE a je nutnou podmínkou pro použití v členských státech EU.

□ podle REMAK

Starým kotlům odzvonilo

Půl milionu českých domácností bude muset vyměnit v následujících letech starý kotel za nový. Toho, kdo by se neřídil novelou zákona o životním prostředí, čekají od roku 2022 desetitisícové sankce.

Vzhledem k odbornosti, kterou „topenařina“ bezesporu je, se určitě vyplatí poradit se před nákupem nového kotle s odborníkem. Ten pomůže nejen se správným výběrem zdroje tepelné energie, ale také poradí, jaký výkon kotle nebo velikost těles bude nejvhodnější podle základních informací, ale i konkrétních projektů. Potřebné odborné rady mohou lidé najít na jednom místě, na veletrhu FOR THERM, jehož šestý ročník se bude konat v září 2015 na výstavišti PVA EXPO PRAHA v Letňanech.

Vysokou úroveň veletrhu garantuje také odborná organizace REHVA – Evropská společnost pro techniku prostředí, která bude veletrh FOR THERM v letošním roce zaštiťovat.

Více informací: www.for-therm.cz



Tradiční specialista na teplou vodu

- Nízké tepelné ztráty
- Odolnost proti korozi
- Hygienická nezávadnost
- Nadstandardní záruky

 Druhá generace vláknité tepelné izolace z polyesterových vláken s mimořádně vysokou izolační vlastností

brilon Vyberte si své řešení pro ohřev a zásobu teplé vody www.austria-email.cz