



## 17th INTERNATIONAL ACOUSTIC CONFERENCE

XVII. MEDZINÁRODNÝ  
AKUSTICKÝ  
SEMINÁR  
Kočovce, 4. – 5. jún 2012

### Neistota merania stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti

Milan DRAHOŠ, Ing. — Richard DRAHOŠ, Ing.  
D2R engineering, s.r.o., Poprad  
e-mail: d2r@d2r.sk

#### Úvod

Pojem neistoty bol do metrologickej praxe zavedený ako výsledok medzinárodnej konvencie [1] za účelom jednotného vyjadrovania výsledkov akýchkoľvek meraní z ľubovoľného laboratória. Pri stanovení neistôt meraní sa vychádza z teórie pravdepodobnosti, z matematickej štatistiky a zo zákona šírenia neistôt [2] a [3].

Pod modelom merania sa rozumie súhrn vzťahov (rovníc) medzi vstupnými a výstupnými veličinami daného merania [3]. Neistotu modelu merania spôsobujú identifikovateľné a kvantifikovateľné zdroje chýb (systémové chyby), ako aj náhodné chyby, ktoré ovplyvňujú výsledok merania, preto výsledok merania je len odhadom (skutočnej) hodnoty meranej veličiny.

K celkovej neistote modelu merania prispievajú viaceré čiastkové neistoty z rôznych zdrojov, ktoré sa vyhodnocujú metódou typu A alebo metódou typu B. Neistoty stanovené obidvoma metódami sú rovnocenné, aj keď z hľadiska veľkosti sú rôzne a niektoré sa môžu zanedbať. Zlúčením štandardných neistôt  $u$  zo všetkých zdrojov sa získa kombinovaná (celková) štandardná neistota. Rozšírená neistota  $U$  sa stanoví z kombinovanej štandardnej neistoty modelu merania jej vynásobením koeficientom pokrytia (rozšírenia)  $k$ . Ak sa predpokladá normálne rozloženie výsledku merania, volí sa  $k$  ako kvantil normovaného normálneho rozdelenia  $k = 2$  (pravdepodobnosť pokrytia cca 96 %).

Pri meraní vzduchovej nepriezvučnosti vnútorných deliacich stien, stropov a dverí medzi susediacimi miestnosťami v budovách sa postupuje podľa normy STN EN ISO 140-4:2001 [4]. Meranie stupňa vzduchovej nepriezvučnosti sa vykonáva v tretinovo-oktávových pásmach vo frekvenčnom rozsahu od 100 Hz do 3125 Hz (zvukovoizolačnej oblasti).

## Model merania stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti

Model merania stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti je daný vzťahom

$$R' = (L_1 - L_2) + 10 \log \left( \frac{S \cdot T_2}{0,16 \cdot V_2} \right) \quad (1)$$

kde  $L_1$  je energeticky priemerná hladina akustického tlaku vo vysielacej miestnosti,  
 $L_2$  je energeticky priemerná hladina akustického tlaku v prijímacej miestnosti,  
 $S$  je plocha deliaceho prvku v  $m^2$ ,  
 $V_2$  je objem prijímacej miestnosti v  $m^3$ ,  
 $T_2$  je priemerný čas dozvuku v prijímacej miestnosti v sekundách.

Na meranie stupňa vzduchovej nepriezvučnosti (stupňa zdanlivej nepriezvučnosti) stavebných konštrukcií medzi susediacimi miestnosťami v budovách je v norme stanovený rad podmienok. Okrem požiadavky na zdroje ustáleného širokopásmového zvuku (bieleho šumu) vo vysielacej miestnosti a na počet polôh mikrofónov vo vysielacej a v prijímacej miestnosti, rozhodujúcou podmienkou je vytvorenie difúzneho zvukového poľa v oboch miestnostiach.

## Neistota merania

Zo vzťahu (1) vyplýva, že model merania stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti predstavuje nepriame meranie výstupnej veličiny z viacerých vstupných veličín, kde štandardné neistoty vstupných veličín  $u(L_1)$ ,  $u(L_2)$ ,  $u(S)$ ,  $u(V_2)$  a  $u(T_2)$  sa prenášajú na neistotu výstupnej veličiny  $u(R')$ .

Za predpokladu, že medzi vstupnými veličinami nie je korelácia, potom pre kombinovanú štandardnú neistotu  $u(R')$  platí vzťah

$$u(R') = \sqrt{u^2(L_1) + u^2(L_2) + u_B^2(S) + u_B^2(V_2) + u_A^2(T_2)} \quad (2)$$

kde

$$u(L_1) = \sqrt{u_A^2(L_1) + u_B^2(z_1)} \quad u(L_2) = \sqrt{u_A^2(L_2) + u_B^2(z_2)}$$

$u_A(L_1)$  je štandardná neistota odhadu hladín akustického tlaku vo vysielacej miestnosti, vyhodnotená metódou A,

$u_B(z_1)$  je zlúčená štandardná neistota ovplyvnená vlastnosťami zvukomera vo vysielacej miestnosti, vyhodnotená metódou B,

$u_A(L_2)$  je štandardná neistota odhadu hladín akustického tlaku v prijímacej miestnosti, vyhodnotená metódou A,

$u_B(z_2)$  je zlúčená štandardná neistota ovplyvnená vlastnosťami zvukomera v prijímacej miestnosti, vyhodnotená metódou B,

$u_B(S)$  je štandardná neistota stanovenia plochy deliaceho prvku (konštrukcie), vyhodnotená metódou B,

$u_B(V_2)$  je štandardná neistota stanovenia objemu prijímacej miestnosti, vyhodnotená metódou B,

$u_A(T_2)$  je štandardná neistota odhadu času dozvuku v prijímacej miestnosti, vyhodnotená metódou A.

- **Neistoty vyhodnotené metódou A**

Odhad energeticky priemernej hodnoty hladiny akustického tlaku vo vysielacej a v prijímacej miestnosti pre každé tretinovo-oktávové pásmo pri požadovanom počte polôh mikrofónu ( $n \geq 10$ ) je daný vzťahom

$$\bar{L} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{0,1L_j} \right) \quad (3)$$

a štandardná neistota tohto odhadu

$$u_A(L) = \frac{s(L_j)}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

kde  $s(L_j)$  je smerodajná odchýlka z  $n$ -nameraných hodnôt hladín akustického tlaku,  $n$  je celkový počet nameraných hodnôt hladín akustického tlaku.

Odhad priemerného času dozvuku v prijímacej miestnosti pre každé tretinovo-oktávové pásmo pri požadovanom počte polôh mikrofónu ( $m \geq 6$ ) je daný vzťahom

$$\bar{T} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_i \quad (5)$$

a štandardná neistota tohto odhadu

$$u_A(T) = \frac{s(T_i)}{\sqrt{m}} \quad (6)$$

kde  $s(T_i)$  je smerodajná odchýlka z  $m$ -nameraných hodnôt času dozvuku,  $m$  je celkový počet nameraných hodnôt času dozvuku v prijímacej miestnosti.

- **Neistoty vyhodnotené metódou B**

Zdroje chýb zvukomerov vplyvom prevádzkových vlastností sa delia na frekvenčne závislé a frekvenčne nezávislé. Ak sú v certifikátoch o overení, v technickej dokumentácii výrobcov a pod., uvádzané odchýlky  $\Delta_i$  daného zdroja  $Z_i$ , hodnoty rozšírenej neistoty  $U$  a koeficient rozšírenia  $k$ , potom štandardná neistota  $u_B(z_i)$

$$u_B(z_i) = \Delta_i + \frac{U}{k} \quad (7)$$

V prípade, že sú udané len tolerancie dovolených odchýlok  $\pm z_{i,\max}$  od nominálnej hodnoty daného zdroja  $Z_i$ , potom štandardná neistota  $u_B(z_i)$

$$u_B(z_i) = \frac{|z_{i,\max}|}{\chi} \quad (8)$$

kde  $\chi$  je hodnota zvolenej aproximácie rozdelenia pravdepodobnosti odchýlky v tomto intervale.

Pri použití číslicového meracieho prístroja, jedným zo zdrojov neistoty je rozlíšiteľnosť poslednej platnej číslice. Odhad tejto neistoty sa zakladá na predpoklade rovnomerného rozdelenia pravdepodobnosti v intervale, ktorý je vymedzený rozlíšiteľnosťou  $\delta(z_i)$  displeja

$$u_B(z_i) = \frac{\delta(z_i)}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

V tabuľke 1 sú zhrnuté zdroje chýb frekvenčne závislých parametrov a frekvenčne nezávislých parametrov zvukomera a spôsob stanovenia príspevkov štandardných neistôt [5].

**Tabuľka 1 – Zdroje chýb a spôsob stanovenia príspevkov štandardných neistôt.**

Zdroj chyby (parameter)	Označenie	Príspevok štandardnej neistoty
Frekvenčná váhová funkcia Z zvukomera	$\delta_{PFE}$	$u(\delta_{PFE})_f = \left( (\Delta_{RFE})_f + \frac{U_E}{k} \right)$ $(\Delta_{RFE})_f$ odchýlka od funkcie Z na danej frekvencii $U_E$ je neistota elektrickej kalibrácie, $k = 3$
Frekvenčná charakteristika mikrofónu	$\delta_{PFA}$	$u(\delta_{PFA})_f = \left( (\Delta_{RFA})_f + \frac{U_A}{k} \right)$ $(\Delta_{RFA})_f$ odchýlka od normovanej charakteristiky na danej frekvencii $U_A$ je neistota zvukovej kalibrácie, $k = 3$
Smerová charakteristika mikrofónu $\pm 90^\circ$ od referenčného smeru	$\delta_{PMS}$	$u(\delta_{PMS})_f = \frac{(\Delta_{MS})_f}{\sqrt{3}}$ $\Delta_{SM}$ je maximálna odchýlka od normovanej charakteristiky na danej frekvencii, $\chi = \sqrt{3}$
Linearita amplitúdovej charakteristiky zvukomera	$\delta_{LS}$	$u(\delta_{LS}) = s_L$ $s_L$ je smerodajná odchýlka linearity
Časové váženie (RMS detektor)	$\delta_{RMS}$	$u(\delta_{RMS}) = s_R$ $s_R$ je smerodajná odchýlka detektora
Časové váženie (Fast)	$\delta_{PT}$	$u(\delta_{PT})_{Fast} = \frac{\Delta_{PT}}{\sqrt{3}}$ $\Delta_{PT}$ je maximálna odchýlka, $\chi = \sqrt{3}$
Rozlíšenie displeja	$\delta_{ES}$	$u(\delta_{ES}) = \frac{E_s}{2\sqrt{3}}$ $E_s$ je vymedzená rozlíšiteľnosť displeja
Vplyv teploty vzduchu	$\delta_{TS}$	$u(\delta_{TS}) = \frac{\alpha_M \Delta T}{\sqrt{3}}$ $\alpha_M$ je teplotný koeficient, $T_M \pm \Delta T$ , $\chi = \sqrt{3}$
Vplyv zmeny statického tlaku	$\delta_{PS}$	$u(\delta_{PS}) = \frac{\gamma_M \Delta P}{\sqrt{3}}$ $\gamma_M$ je tlakový koeficient, $P_M \pm \Delta P$ , $\chi = \sqrt{3}$

Štandardná neistota stanovenia plochy deliaceho prvku  $u_B(S)$  a objemu prijímacej miestnosti  $u_B(V_2)$  sa spravidla vyjadrujú v percentách (napr. 1 %) a prepočet na dB je podľa vzťahu

$$u(\text{dB}) = 20 \log \left( 1 + \frac{u(\%)}{100} \right) \quad (10)$$

Pri celkovej bilancii zdrojov (zložiek) neistôt akéhokoľvek merania sa musia zohľadniť predovšetkým príspevky neistôt rozhodujúcich zdrojov. Z analýzy zdrojov neistôt súvisiacich s procesom merania stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti vyplýva, že rozhodujúce čiastkové štandardné neistoty sú: štandardné neistoty odhadu hladín akustického tlaku  $u_A(L_1)$ ,  $u_A(L_2)$ , štandardná neistota odhadu času dozvuku  $u_A(T_2)$ , a zlúčená štandardná neistota zvukomera(ov)  $u_B(z_1)$ ,  $u_B(z_2)$ .

V tabuľke 2 je uvedený príklad stanovenia kombinovanej štandardnej a rozšírenej neistoty merania stupňa vzduchovej nepriezvučnosti v tretinovo-oktávových pásmach 100 Hz až 3125 Hz [5].

**Tabuľka 2 – Štandardná a rozšírená neistota nerania stupňa stavebnej vzduchovej nepriezvučnosti**

$f_s$ Hz	$u(R)$ dB	$U(R)$ dB	$f_s$ Hz	$u(R)$ dB	$U(R)$ dB
100	1,052	2,1	630	0,596	1,2
125	0,849	1,7	800	0,689	1,4
160	0,746	1,5	1000	0,791	1,6
200	1,448	2,9	1250	0,846	1,7
250	1,149	2,3	1600	0,789	1,6
315	0,798	1,6	2000	0,796	1,6
400	0,696	1,4	2500	0,646	1,3
500	0,845	1,7	3150	0,648	1,3

## Záver

Stanovenie rozšírenej neistoty v procese merania stupňa vzduchovej nepriezvučnosti medzi susediacimi miestnosťami v budovách znamená, že do bilancie zložiek neistôt okrem štandardných neistôt typu B, tzn. zlúčenej štandardnej neistoty použitého zvukomera (ov) vstupujú aj štandardné neistoty typu A odvodené zo "vzorkovania" hladín akustického tlaku v predpokladanom difúznom poli vo vysielacej a prijímacej miestnosti a zo „vzorkovania“ času dozvuku v prijímacej miestnosti.

## Literatúra

- [1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Revidované vydanie, 2004
- [2] Palečár R., Kureková E., Halaj M.: Meranie a metrológia pre manažérov, STU Bratislava 2007
- [3] TPM 0051-93: Stanovenie neistôt pri meraniach, 1. diel, SMÚ Bratislava 1993
- [4] STN EN ISO140-4:2001 Akustika. Meranie zvukovoizolačných vlastností budov a stavebných konštrukcií. Časť 4: Meranie vzduchovej nepriezvučnosti medzi miestnosťami v budove
- [5] Cid J.C., Sobreira M.S.: Uncertainty evaluation for airborne noise acoustic insulation measurements 19. medzinárodná akustická konferencia, Madrid 2007

## Resumé

**Airborne sound insulation measurement uncertainty.** Uncertainty sources contribution in process of measurement of airborne sound insulation between rooms in buildings according to STN EN ISO 140-4:2001 requirements are mentioned in this article.