

Cesta k neistote merania expozície hluku

Milan Drahoš, Ing.,- Roman Drahoš, Ing.
D2R engineering, s.r.o., Poprad
www.d2r.sk

1. Úvod

Meranie expozície hluku zamestnancov pri práci patrí medzi kvantitatívne merania a vykonáva sa za účelom posúdenia zdravotného rizika z expozície hluku a zaradenia prác do kategórií. V zmysle platných predpisov sa pri objektivizácii výsledkov merania expozície hluku uplatňuje hodnota rozšírenej neistoty merania, pričom jej stanovenia má zodpovedať kritériám metrologickej praxe.

Predpis na stanovenie neistoty v technickej praxi je uvedený v TPM 0051-93 [1] a pokyny pre vyjadrovanie neistoty pri kvantitatívnych meraniach sú uvedené v MSA-L/11 [2].

V procese akreditácie podľa STN EN ISO/IEC 17025:2005 [3] musia žiadatelia o akreditáciu (právnické a fyzické osoby) predložiť meracie (skúšobné) postupy a postup analýzy všetkých zložiek neistôt, ktoré sa môžu rozhodujúcim spôsobom podieľať na výsledku daného modelu merania. Pod modelom merania sa rozumie súhrn vzťahov (rovníc) medzi vstupnými a výstupnými veličinami daného merania [1].

2. Model merania expozície hluku

Model merania expozície hluku v prípade, že zamestnanec v priebehu pracovnej zmeny vykonáva pracovné činnosti s rôznym trvaním a s rôznou úrovňou pôsobiaceho hluku je vyjadrený výstupnou veličinou - normalizovanou hladinou expozície hluku $L_{AEX,8h}$, ktorá je daná vzťahom:

$$L_{AEX,8h} = 10 \times \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{T_{e,m}}{T_0} \times 10^{0,1L_{Aeq,T,m}^*} \right]$$

kde

$T_{e,m}$ - priemerné trvanie pôsobenia (expozície) hluku pri vykonávaní pri vykonávaní m-tého pracovného prvku alebo práci na m-tom pracovnom mieste (ďalej len "m-tej pracovnej činnosti"),

T_0 - menovitý (referenčný) časový interval – 8 hodín,

$L_{Aeq,T,m}^*$ - priemerná ekvivalentná hladina A akustického tlaku, ktorá charakterizuje úroveň pôsobiaceho hluku v priebehu vykonávania m-tej pracovnej činnosti,

M - celkový počet pracovných činností.

Z uvedeného vzťahu vyplýva, že model merania expozície hluku zamestnancov za pracovnú zmenu predstavuje nepriame meranie jednej veličiny z dvoch hodnôt vstupných veličín.

3. Pohľad do minulosti

Smernicou [4] bol stanovený postup zisťovania úrovne hluku v pracovnom prostredí a určenia hlukovej záťaže pracujúcich vystavených nadmernému hluku. Presnosť merania a hodnotenia hlukovej záťaže bola vyjadrená tromi triedami presnosti. V tabuľke č. 1 sú uvedené postupy zisťovania dĺžky pôsobenia hluku a merania úrovne premenného hluku vzorkovaním pre splnenie kritéria - výsledok merania, t.j. $L_{Aeq,8h}$ sa od skutočnej hodnoty nelíši o viac ako o 0,5 dB; 2 dB alebo 5 dB.

Tab. č. 1: Postup zisťovania dĺžky pôsobenia hluku a úrovne premenného hluku v závislosti na triede presnosti

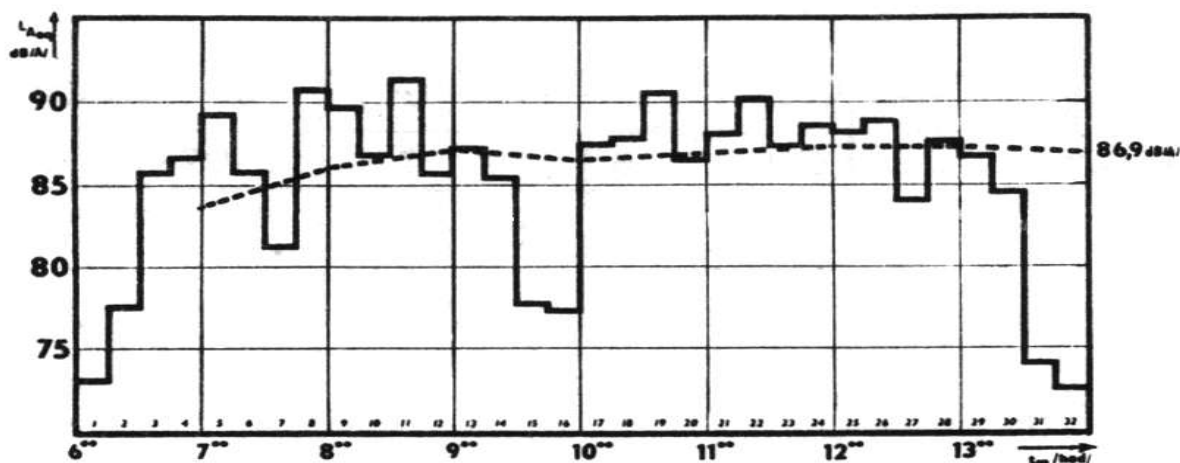
Trieda presnosti	Odchýlka [dB]	Postup zisťovania dĺžky pôsobenia hluku	Postup vzorkovania úrovne premenného hluku
I. Podrobné meranie ¹⁾	0,5	Dĺžka trvania hluku a dĺžka pobytu pracovníkov na jednotlivých pracovných miestach alebo v pracovných priestoroch sa meria v priebehu celej jednej zmeny. Pri priamom meraní hlukovej záťaže jednotlivca sa meria počas celej zmeny	Najmenej v 5 časových úsekoch rovnomerne rozložených v priebehu zmeny, technologického cyklu alebo dĺžky trvania hluku. Celkový čas merania musí byť dlhší ako desatina času zmeny, času technologického cyklu alebo dĺžky trvania hluku
II. Bežné meranie ¹⁾	2	Dĺžka trvania hluku a dĺžka pobytu pracovníkov na jednotlivých pracovných miestach alebo v pracovných priestoroch sa meria aspoň v 5 časových úsekoch v priebehu zmeny alebo technologického cyklu. Celkový čas týchto časových úsekov musí byť väčší ako 10 % pracovnej zmeny. Pri priamom meraní hlukovej záťaže jednotlivca musí celkový čas merania byť dlhší ako 10 % pracovnej zmeny. Meraním sa musia zachytiť všetky typické situácie	Najmenej v 3 časových úsekoch rozložených v priebehu zmeny, technologického cyklu alebo dĺžky trvania hluku. Celkový čas merania musí byť dlhší ako 3 % času zmeny, času technologického cyklu alebo času trvania hluku
III. Orientačné meranie ^{1,2)}	5	Dĺžka trvania hluku a dĺžka pobytu pracovníkov na jednotlivých pracovných miestach alebo v pracovných priestoroch sa zisťuje dopytom u zodpovedných pracovníkov príslušného pracoviska	Jednorázovo počas najmenej 1 % trvania zmeny, technologického cyklu alebo dĺžky trvania hluku. Meranie sa musí robiť v čase, kedy na danom meracom mieste je typická hluková situácia

Poznámka: ¹⁾ Zvukomer triedy 1; ²⁾ Zvukomer alebo osobný expozimeter triedy 2

V reálnych podmienkach sa ukázalo, že meranie úrovne pôsobiaceho najmä premenného hluku vzorkovaním je organizačne a časovo náročné. Z praktického hľadiska sa ukázala potreba stanovenia minimálnej doby kontinuálneho merania úrovne pôsobiaceho hluku pri dodržaní požadovanej odchýlky merania.

Výsledky štúdie meranie hlukovej záťaže pracovníkov na troch pracoviskách so strojárenskou výrobou, kde technologický proces nemá pravidelné cykly boli uverejnené v [5]. Na obrázku č. 1 je znázornený časový priebeh 15-minútových

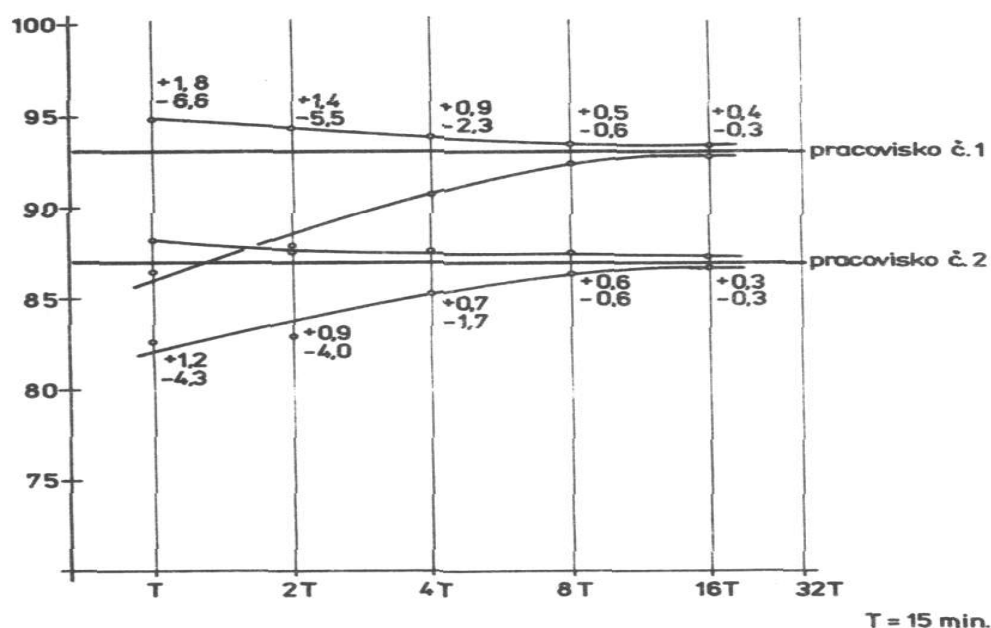
ekvivalentných hladín A akustického tlaku na jednom z pracovísk za 8 hodinovú pracovnú zmenu.



Obr. 1: Časový priebeh 15-minútových ekvivalentných hladín

Zo súboru 15-minútových ekvivalentných hladín sa klzavým priemerovaním vypočítali ekvivalentné hladiny A akustického tlaku pre časový interval $T = 30, 60, 120$ a 240 minút. Pre overenie rozdelenia pravdepodobnosti 15 - minútových hodnôt sa použil Kolmogorov-Smirnovov test, ktorým sa potvrdil predpoklad, že súbor hodnôt má normálne rozdelenie.

Pre predstavu o nádejnosti odhadu hodnoty 8 - hodinovej ekvivalentnej hladiny A akustického tlaku sa stanovila dolná a horná hranica 95 % intervalu spoľahlivosti v závislosti na dobe trvania merania. Na obrázku č. 2 je znázornený 95 % interval spoľahlivosti pre 8 - hodinovú ekvivalentnú hladinu.



Obr. č. 2: 95 % interval spoľahlivosti pre 8 - hodinovú ekvivalentnú hladinu

Na základe získaných výsledkov sa spracoval diagram na určenie minimálneho časového intervalu kontinuálneho merania "vzorky" hlukovej záťaže pre prípustnú odchýlku - dolnú hranicu 95 % intervalu spoľahlivosti. Pre praktické využitie sa diagram doplnil štatistickou dynamikou hluku ($L_{10} - L_{90}$), pretože pri normálnom rozdelení hladín platí vzťah $(L_{10} - L_{90}) = 2,56 \times S_L$.

4. Pohľad do súčasnosti

Všeobecný návod na meranie expozície hluku zamestnancov pri práci je opísaný v STN ISO/DIS 9612:2001 [6]. V prílohe D je uvedený postup stanovenia celkovej neistoty merania, avšak "národnou poznámkou" tento postup nie je možné použiť pri hodnotení expozície hluku z hľadiska ochrany zdravia.

4.1 Zákon šírenia neistôt

Pod zákonom šírenia neistôt sa rozumie vzťah, podľa ktorého sa prenášajú štandardné neistoty vstupných veličín modelu merania na veličiny výstupné. V prípade jednej výstupnej veličiny Y a modelu merania, ktorý je definovaný vzťah:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_k, \dots, X_m) = f(X)$$

sa prenášajú štandardné neistoty vstupných veličín $u(x_j)$, $u(x_k)$ na neistotu výstupnej veličiny $u(y)$ podľa vzťahu:

$$u^2(y) = \sum_{j=1}^m c_j^2 \cdot u(x_j)^2 + 2 \sum_{j=2, k \neq j}^m c_j \cdot c_k \cdot u(x_j) \cdot u(x_k) \cdot r_{j,k}$$

kde $r_{j,k}$ - korelačný koeficient, ktorý ohodnocuje závislosť veličín X_j a X_k ,
 c_j , c_k - citlivostné (prevodové) koeficienty pre ktoré platí

$$c_j = \frac{\partial f(X)}{\partial X_j}, c_k = \frac{\partial f(X)}{\partial X_k}$$

Tento vzťah sa označuje ako všeobecný alebo kovariančný zákon šírenia neistôt. Ak vstupné veličiny nie sú korelované, alebo hodnoty korelačných koeficientov sú blízke nule získa sa klasický tzv. Gaussov zákon šírenia neistôt:

$$u^2(y) = \sum_{j=1}^m c_j^2 \cdot u(x_j)^2$$

Štandardné neistoty vstupných veličín daného modelu merania sa podľa spôsobu ich vyhodnotenia členia na:

- štandardné neistoty typu A (označenie u_A) získané z opakovaných meraní hodnoty tej istej veličiny alebo zo štatistickej analýzy série nameraných hodnôt (výsledkov merania); neistoty typu A sú charakterizované výberovým rozptylom s_i^2 alebo výberovou smerodajnou odchýlkou s_i a počtom stupňov voľnosti n_i ,
- štandardné neistoty typu B (označenie u_B) pochádzajú z rôznych zdrojov a zlučujú sa do výslednej štandardnej neistoty typu B; sú charakterizované príslušným rozptylom u_j^2 alebo smerodajnou odchýlkou u_j ; ak je medzi komponentmi vzájomná korelácia, zahrnie sa do výpočtu kovariancia.

Ekvivalencia ohodnocovania neistôt typu A a typu B umožňuje zlúčiť všetky štandardné neistoty (typu A a typu B) do jednej hodnoty - kombinovanej štandardnej neistoty. Rozšírená neistota sa stanoví vynásobením štandardnej kombinovanej štandardnej neistoty koeficientom pokrytia (rozšírenia) k_u .

$$U = k_u \cdot u(y)$$

Hodnota koeficienta pokrytia sa volí v závislosti na požadovanom intervale spoľahlivosti. Pre $k_u = 2$ je táto pravdepodobnosť približne 95 %, pričom má byť splnená podmienka normality zdrojov neistôt, ktoré tvoria jednotlivé zložky štandardnej neistoty.

4.2 Bilancia zdrojov neistôt

Meranie expozície hluku ako model nepriameho merania výstupnej veličiny $L_{AEX,8h}$ je definovaný vzťahom

$$L_{AEX,8h} = f(L_{Aeq,T,1}, L_{Aeq,T,2}, \dots, L_{Aeq,T,m}, \dots, L_{Aeq,T,M}, T_{e,1}, T_{e,2}, \dots, T_{e,m}, \dots, T_{e,M}) = f(L, T)$$

a štandardné neistoty nekorelovaných vstupných veličín $u(L_{Aeq,T,m})$ a $u(T_{e,m})$ sa prenášajú na neistotu výstupnej veličiny $u(L_{AEX,8h})$.

Pri analýze zdrojov neistôt merania expozície hluku zamestnancov vystavených v priebehu pracovnej zmeny nadmernému hluku prichádzajú do úvahy tieto rozhodujúce zdroje neistôt:

- zlúčená neistota prevádzkových vlastností použitých zvukomerov (expozimetrov) - u_{Bp} ,
- neistota internej kalibrácie meracieho reťazca - u_{Bk} ,
- neistota použitej metódy (postupu) merania expozície, t.j. spôsobu získavania údajov o trvaní pôsobenia hluku a dĺžke kontinuálneho merania vzoriek expozície hluku - u_{Bm} ,
- neistota vplyvom umiestnenia meracieho mikrofónu - u_{Bu} .

Zlúčená štandardná neistota výstupnej veličiny - normalizovanej hladiny expozície hluku je daná vzťahom

$$u^2(L_{AEX,8h}) = u_B^2 = \sum_j u_{Bp,j}^2 + u_{Bk}^2 + u_{Bm}^2 + u_{Bu}^2$$

Problematike neistoty pre uvedený model merania sú venované publikácie uvedené v [8] a [9].

4.3 Postup merania expozície hluku

Uvedený postup merania expozície hluku zamestnancov vychádza z modifikácie postupu uvedenom v STN ISO 9612:2001 o praktické poznatky a skúsenosti. Pre praktické potreby sa zvolili tri metódy merania expozície hluku a im zodpovedajúce štandardné neistoty u_{Bm} . Pre každú metódu je stanovený postup zisťovania trvania pôsobenia hluku a minimálny časový interval kontinuálneho

meranie ekvivalentných hladín A akustického tlaku pri vykonávaní pracovných činností.

V tabuľke č. 2 a č. 3 sú uvedené podmienky uplatňovania jednotlivých metód merania expozície hluku a v tabuľke č. 4 je uvedený príklad bilancie zdrojov neistôt a postup stanovenia zlúčenej štandardnej a rozšírenej neistoty merania.

Tab. č. 2: Štandardné neistoty metód merania expozície hluku

Metóda merania	$ z_{max} $ dB	χ -	u_{Bm} dB	Spôsob zisťovania trvania pôsobenia (expozície) hluku
Podrobná	0,5	1,73	0,289	Snímok pracovného dňa
Bežná	1,0		0,578	Snímok pracovných činností s pôsobením nadmerného hluku
Orientačná	1,5		0,867	Dopytom u zodpovedných pracovníkov

Tab. č. 3: Minimálny časový interval merania T merania vzorky expozície hluku

Metóda merania	Minimálny časový interval merania T v % z trvania pôsobenia hluku pri m-tej pracovnej činnosti v závislosti na $(L_{10}-L_{90})$		
	do 6 dB	od 6 dB do 12 dB	od 12 dB a viac
Podrobná	15	22	37
Bežná	10	15	25
Orientačná	7	10	18

Tab. č. 4: Bilancie zdrojov neistôt a postup stanovenia zlúčenej štandardnej a rozšírenej neistoty pre jednotlivé metódy merania

Zdroj neistoty/podmienky	Zložka neistoty	Hodnota neistoty vo frekvenčnom pásme 20 Hz až 12,5 kHz v dB		
		Podrobné meranie	Bežné meranie	Orientačné meranie
Zvukomer Nor-118/4134	u_{Bp}	0,559	0,559	0,559
Kalibrácia – kalibrátor B&K typ 4231	u_{Bk}	0,103	0,103	0,103
Metóda merania	u_{Bm}	0,289	0,578	0,867
Umiestnenie meracieho mikrofónu ¹⁾	u_{Bu}	0,289	0,289	0,289
Zlúčená štandardná neistota ¹⁾	u_B	0,762	0,883	1,117
Rozšírená neistota ¹⁾ pre $k = 2$	U	1,5	1,8	2,2

Poznámka: Neistota vplyvom umiestnenia meracieho mikrofónu (kvalifikovaný odhad):

¹⁾ 10 cm od okraja zvukovodu vonkajšieho ucha zamestnanca (na upravenom slúchadlovom chrániči), $z_{max} = 0,5$ dB, $u_{Bu} = 0,289$ dB.

5. Pohľad do budúcnosti

V revidovanej norme ISO/DIS 9612 [9] je meranie expozície hluku založené na metóde vzorkovania práce. V prílohe je D uvedený postup určenia kombinovanej štandardnej neistoty a normalizovaná hladina expozície hluku $L_{EX,8h}$ je vyjadrená vzťahom

$$L_{EX,8h} = 10 \times \log \left[\sum_{m=1}^M \frac{T_{e,m}}{T_0} \times 10^{0,1L_{Aeq,T,m}^*} \right]$$

kde

$T_{e,m}$ - priemerné trvanie pôsobenia (expozície) hluku pri vykonávaní m-tej pracovnej činnosti,

T_0 - menovitý (referenčný) časový interval – 8 hodín,

$L_{Aeq,T,m}^* = L_{Aeq,T,m} + K_2 + K_3$ - skutočná ekvivalentná hladina A akustického tlaku za interval merania T , ktorá charakterizuje úroveň hluku pri m-tej pracovnej činnosti,

kde

$L_{Aeq,T,m}$ - priemerná ekvivalentná hladina A akustického tlaku v priebehu vykonávania m-tej pracovnej činnosti,

K_2 - korekcia použitého zvukomera pre hladinu A akustického tlaku,

K_3 - korekcia umiestnenia meracieho mikrofónu pri meraní A váženej hladiny akustického tlaku,

M - celkový počet pracovných činností.

Z tohto modelu merania expozície hluku zamestnancov pri práci je neistota výstupnej veličiny $u(L_{EX,8h})$ daná vzťahom

$$u^2(L_{EX,8h}) = \sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_2^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} \cdot u_{1b,m})^2 \right]$$

kde

$u_{1a,m}$ - štandardná neistota vplyvom "vzorkovania" hladín A akustického tlaku pri vykonávaní m - tej pracovnej činnosti,

$u_{1b,m}$ - štandardná neistota vplyvom "vzorkovania" (odhadu) trvania m - tej pracovnej činnosti,

u_2 - zlúčená štandardná neistota vplyvom použitého zvukomera pri meraní m-tej pracovnej činnosti,

u_3 - štandardná neistota vplyvom umiestnenia mikrofónu pri meraní m-tej pracovnej činnosti,

$c_{1a,m}$ a $c_{1b,m}$ - korešpondujúce citlivostné koeficienty pri m-tej pracovnej činnosti,

M - celkový počet pracovných činností.

Citlivostné koeficienty $c_{1a,m}$ a $c_{1b,m}$ sa vypočítajú podľa vzťahov

$$c_{1a,m} = \frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial L_{Aeq,T,m}^*} = \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1(L_{Aeq,T,m}^* - L_{EX,8h})}$$

$$c_{1b,m} = \frac{\partial L_{EX,8h}}{\partial T_m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{T_m}$$

Štandardná neistota $u_{1a,m}$ vplyvom vzorkovania hladín A akustického tlaku pri m-tej pracovnej činnosti sa vypočíta podľa vzťahu

$$u_{1a,m} = \sqrt{\frac{1}{I(I-1)} \left[\sum_{i=1}^I (L_{Aeq,T,mi} - \overline{L_{Aeq,T,m}})^2 \right]}$$

kde

$L_{Aeq,T,m}$ - aritmeticky priemerná hodnota z I nameraných ekv. hladín A akustického tlaku pri vykonávaní m -tej pracovnej činnosti,
 I - celkový počet vzorkovaných hladín pri vykonávaní m -tej pracovnej činnosti.

Štandardná neistota $u_{1b,m}$ vplyvom trvania m -tej pracovnej činnosti môže byť odhadnutá alebo vypočítaná z nameraných dĺžok trvania podľa vzťahu

$$u_{1b,m} = \sqrt{\frac{1}{J(J-1)} \left[\sum_{j=1}^J (T_{j,m} - \overline{T_m})^2 \right]}$$

kde

$\overline{T_m}$ - priemerná hodnota z nameraných dĺžok trvania m - tej pracovnej činnosti,
 J - celkový počet vzoriek merania (získovania) trvania m -tej pracovnej činnosti.

Za predpokladu, že citlivostné koeficienty $c_{1a,m}$ a $c_{1b,m}$ sú rovné 1, potom neistota výstupnej veličiny je daná vzťahom

$$u^2(L_{AEX,8h}) = \sum_{m=1}^M (u_{1a,m}^2 + u_{1b,m}^2) + u_2^2 + u_3^2$$

6. Záver

Pri aplikácii metódy merania expozície hluku založenej na rôznom spôsobe zistenia trvania pôsobenia hluku a na kontinuálnom meraní ekvivalentných hladín A akustického tlaku pri vykonávaní jednotlivých pracovných činností, do bilancie zložiek neistôt okrem zlúčenej štandardnej neistoty použitého zvucomera, štandardnej neistoty kalibrácie a neistoty umiestnenia mikrofónu vstupuje štandardná neistota typu B použitej metódy merania expozície hluku.

Metóda vzorkovania aplikovaná v revidovanej norme ISO/DIS 9612 znamená, že do bilancie zložiek neistôt okrem zlúčenej štandardnej neistoty použitého zvucomera a štandardnej neistoty umiestnenia mikrofónu (neistoty typu B) vstupujú štandardné neistoty typu A odvodené zo "vzorkovania" hladín A akustického tlaku a "vzorkovania" trvania pôsobenia hluku.

V prípade prevzatia revidovanej normy ISO/DIS 9612 do systému STN, je potrebné rozhodnúť, ako postupovať pri meraní expozície hluku zamestnancov v nadväznosti na spôsob stanovenia hodnoty rozšírenej neistoty.

7. Použitá literatúra

- [1] TPM 0051-93: Stanovenie neistôt pri meraniach, 1. diel, SMÚ Bratislava 1993
- [2] MSA-L/11: Metodická smernica pre akreditáciu, Návod na vyjadrovanie neistoty v kvantitatívnych meraniach, Bratislava 2005
- [3] STN EN ISO/IEC 17025:2005 Všeobecné požiadavky na kompetentnosť skúšobných a kalibračných laboratórií

- [4] Vestník MZ SSR, metodické opatrenia: Smernice č. 1, ktorými sa určuje spôsob merania a hodnotenia hluku a ultrazvuku v pracovnom prostredí, jún 1977
- [5] Drahoš M.: Presnosť jednorazového dlhodobého merania hluku pomocou integračných zvukomerov, AHEM Praha 1983
- [6] STN ISO/DIS 9612:2001: Pokyny na meranie a hodnotenie hlukovej expozície v pracovnom prostredí
- [7] ISO/DIS 9612:xxxx: Pokyny na meranie a hodnotenie hlukovej expozície v pracovnom prostredí
- [8] Drahoš M., Richter K.: Neistota merania imisií hluku a hlukovej expozície, Metrologia a skúšobníctvo č. 4/2004
- [9] Odborné usmernenie ÚVZ SR: Určovanie neistôt merania zvuku, Bratislava 2005
- [10] Nariadenie vlády SR č. 115/2008 Z.z. o minimálnych zdravotných a bezpečnostných požiadavkách na ochranu zdravia pred rizikami súvisiacimi s expozíciou hluku v znení NV SR č. 555/2006 Z.z.