

# Sposoby uwzględniania wpływu charakterystyk metrologicznych mierników poziomu dźwięku na niepewność pomiaru wielkości charakteryzujących hałas

**Danuta Dobrowolska** (Zakład Promieniowania i Drgań, GUM)

W pracy przedstawiono i porównano trzy różne podejścia do szacowania składowych niepewności pomiaru poziomu dźwięku związanych z niedoskonałymi charakterystykami metrologicznymi mierników poziomu dźwięku, wykorzystujące:

- granice akceptacji dla odchyień poszczególnych charakterystyk od ich wartości docelowych, określone w normie [17],
- dane z analizy statystycznej wyników wzorcowania okresowego mierników danego typu,
- wyniki wzorcowania okresowego określonych egzemplarzy mierników.

Przedstawiono również sposób szacowania niepewności pomiaru związanej z błędem regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego, a także sposób uwzględniania wpływu szumów własnych mierników na niepewność poziomu dźwięku o małych wartościach.

## Wprowadzenie

Ocena hałasu bez wiedzy na temat niepewności przeprowadzonych pomiarów poziomu dźwięku jest niepełna, bowiem niepewność niesie ze sobą informację o jakości wyniku i charakteryzuje możliwy rozrzut wartości, który można w uzasadniony sposób przypisać wielkości mierzonej. Rzetelne oszacowanie niepewności pomiaru wymaga identyfikacji jej źródeł. Na niepewność pomiaru poziomu dźwięku może wpływać wiele czynników: metoda pomiarowa, miejsce wykonywania pomiarów, tło akustyczne, warunki środowiskowe, biegłość operatora, a także aparatura pomiarowa, której wpływ na niepewność jest rozważany w niniejszej pracy.

Miernik poziomu dźwięku jest podstawowym przyrządem do pomiaru wielkości charakteryzujących hałas. Potrzeba obiektywnych pomiarów, uwzględniających jednocześnie sposób percepcji dźwięków przez ucho ludzkie, doprowadziła do standaryzacji i stworzenia już na początku lat 60. XX wieku umownego modelu miernika, który był następnie doskonalony wraz z postępem technologicznym [8, 9, 10, 17]. Rzeczywisty miernik poziomu dźwięku różni się w mniejszym lub większym stopniu od znormalizowanego modelu miernika idealnego. Odchylenia jego charakterystyk metrologicznych od wartości docelowych, zwane również błędami charakterystyk, mogą powstawać już w fazie projektowania, następnie w procesie produkcji, a w końcu wskutek eksploatacji i starzenia się przyrządu.

Aktualne wymagania dotyczące granic akceptacji, jak też dopuszczalnych zmian wskazań miernika wskutek oddziaływania różnych czynników fizycznych są określone w normie [17]. Producenci deklarują zgodność charakterystyk miernika z wymaganiami dla określonej klasy dokładności. W Polsce, zgodnie z ustawą Prawo o miarach [14] i aktami wykonawczymi [15, 16], zgodność ta powinna być dodatkowo potwierdzona w czasie badań typu wykonanych przez Główny Urząd Miar przed wprowadzeniem przyrządu na rynek, zgodnie z normami [11, 18]. Wybrane charakterystyki mierników są wyznaczane i oceniane w czasie badań okresowych [12, 19]. Wyniki badań dostarczają danych na temat rzeczywistych błędów charakterystyk metrologicznych mierników oraz ich zmienności w czasie. Ze względu na złożoność sygnałów rzeczywistych, które mierzy miernik, wyniki te nie mogą jednak służyć do korygowania wyników pomiaru poziomu dźwięku jako poprawki. Natomiast mogą być one wykorzystane do oszacowania wpływu niedoskonałości charakterystyk miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku.

Zagadnienie wpływu aparatury na niepewność pomiaru poziomu dźwięku jest rzadko poruszane w literaturze. W nielicznych przykładach [1, 2] składowe niepewności związane z zastosowanym miernikiem są na ogół szacowane na podstawie błędów dopuszczalnych określonych w normach. Próbę wykorzystania wpływu rzeczywistych charakterystyk miernika na niepewność pomiaru poziomu mocy akustycznej urządzeń zaproponował R. Payne [3].

W niniejszej pracy przedstawiono i porównano trzy różne podejścia do szacowania składowych niepewności pomiaru poziomu dźwięku, związanych z zastosowanym miernikiem, wykorzystujące: wartości granic akceptacji błędów [17], dane wynikające z analizy statystycznej wyników wzorcowania okresowego mierników określonego typu oraz wyniki wzorcowania okresowego określonych egzemplarzy mierników tych typów. Omówiono również sposób szacowania składowej niepewności związanej z błędem regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego, a także sposób uwzględniania wpływu szumów własnych miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku o małych wartościach.

### Równanie pomiaru poziomu dźwięku

Wynik pomiaru poziomu dźwięku można przedstawić za pomocą następującego modelu matematycznego

$$L_{\text{cor},f} = L_m + \delta L_{\text{cal}} + \delta L_m + \delta L_{X_1} + \dots + \delta L_{X_n} \quad (1)$$

gdzie  $L_{\text{cor},f}$  oznacza zmierzony poziom dźwięku skorygowany zgodnie z przebiegiem charakterystyki częstotliwościowej A lub C,  $L_m$  – wskazanie miernika (pojedyncze wskazanie lub wartość średnia wskazań uzyskana na podstawie serii pomiarów),  $\delta L_{\text{cal}}$  – poprawkę związaną z błędem regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego,  $\delta L_m$  – poprawkę uwzględniającą łączny wpływ nieskorygowanych błędów charakterystyk metrologicznych miernika na wynik pomiaru,  $\delta L_{X_1}, \dots, \delta L_{X_n}$  – poprawki uwzględniające wpływy pozostałych czynników na wynik pomiaru.

W artykule wszystkie wielkości są wyrażone w dB w odniesieniu do wartości ciśnienia akustycznego 20  $\mu\text{Pa}$ .

Przedmiotem dalszych rozważań jest niepewność poprawki  $\delta L_{\text{cal}}$ , związanej zarówno z miernikiem, jak i kalibratorem akustycznym stosowanym do jego regulacji i wzorcowania oraz niepewność poprawki  $\delta L_m$  związanej z charakterystykami metrologicznymi miernika, z których najistotniejsze z punktu widzenia wpływu na niepewność to:

- korekcyjne charakterystyki częstotliwościowe miernika A i C, wyznaczone dla warunków pola swobodnego,
- charakterystyki kierunkowości, zależne od częstotliwości,
- charakterystyki czasowe, związane z uśrednianiem sygnału – wykładniczym ze stałą czasową Fast (F) lub Slow (S), albo liniowym,
- poprawność pomiaru wartości szczytowej sygnału,
- liniowość i zakres liniowości,
- poziom szumów własnych miernika,

- przesłuch między kanałami, jeżeli miernik jest urządzeniem wielokanałowym,
- wrażliwość na zmianę temperatury, ciśnienia statycznego i wilgotności,
- wrażliwość na zmianę napięcia zasilania,
- wrażliwość na pola magnetyczne o częstotliwości sieci zasilającej oraz na pola elektromagnetyczne o częstotliwościach radiowych.

Przy obliczaniu estymaty poziomu dźwięku zgodnie z (1) przyjmuje się zerowe wartości poprawek  $\delta L_{\text{cal}}$  i  $\delta L_m$ , a związane z nimi niepewności szacuje się w sposób opisany w dalszej części pracy.

### Szacowanie składowej niepewności związanej z błędem regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego

Wyznaczenie błędu  $\delta L_{\text{cal}}$  regulacji i wzorcowania miernika za pomocą kalibratora akustycznego można przedstawić za pomocą następującego równania pomiaru

$$\delta L_{\text{cal}} = L_m - L_p - \delta L_p - \delta L_{p,ff} - \delta L_{p,ps} - \delta L_{p,t} - \delta L_{p,H} - \delta L_{p,V} \quad (2)$$

gdzie  $L_m$  oznacza odpowiedź miernika na sygnał akustyczny z kalibratora,  $L_p$  – poziom ciśnienia akustycznego kalibratora wyznaczony dla warunków środowiskowych odniesienia,  $\delta L_p$  – poprawkę związaną ze zmianą poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami (dryfem),  $\delta L_{p,ff}$  – poprawkę korygującą poziom ciśnienia akustycznego kalibratora do warunków pola swobodnego, określoną przez producenta [13],  $\delta L_{p,ps}$ ,  $\delta L_{p,t}$ ,  $\delta L_{p,H}$  – poprawki uwzględniające wpływ ciśnienia statycznego, temperatury i wilgotności względnej na poziom ciśnienia akustycznego kalibratora,  $\delta L_{p,V}$  – poprawkę uwzględniającą zmianę poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora przy obciążeniu mikrofonem miernika innym niż mikrofon zastosowany do wzorcowania kalibratora.

Niepewność standardową złożoną związaną z błędem wzorcowania miernika za pomocą kalibratora oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$u_c^2(\delta L_{\text{cal}}) = u^2(L_m) + u^2(L_p) + u^2(\delta L_p) + u^2(\delta L_{p,ps}) + u^2(\delta L_{p,t}) + u^2(\delta L_{p,H}) + u^2(\delta L_{p,V}) \quad (3)$$

natomiast niepewności standardowe związane z poszczególnymi wielkościami wpływającymi są szacowane w sposób opisany wzorami:

$$u(L_m) = \frac{A_{\text{res}}}{2 \cdot \sqrt{3}} \quad (4)$$

gdzie  $\Delta_{res}$  oznacza kwant wskazania równy wartości jednostki ostatniej cyfry urządzenia wskazującego miernika, wyrażony w dB;

$$u(L_p) = \frac{U(L_p)}{2} \quad (5)$$

gdzie  $U(L_p)$  oznacza niepewność rozszerzoną wyznaczenia poziomu ciśnienia akustycznego dla warunków środowiskowych odniesienia, wyrażoną w dB;

$$u(\delta L_p) = \frac{d}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

gdzie  $d$  oznacza maksymalną zmianę (dryf) poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora pomiędzy kolejnymi wzorcownikami, wyrażoną w dB;

$$u(\delta L_{p,ps}) = \frac{c_{p,ps} \cdot \Delta p_{s,max}}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

$$u(\delta L_{p,t}) = \frac{c_{p,t} \cdot \Delta t_{max}}{\sqrt{3}} \quad (8)$$

$$u(\delta L_{p,H}) = \frac{c_{p,H} \cdot \Delta H_{max}}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

gdzie  $\Delta p_{s,max}$ , wyrażone w kPa,  $\Delta t_{max}$ , wyrażone w °C i  $\Delta H_{max}$ , wyrażone w % oznaczają maksymalne odchylenia ciśnienia statycznego, temperatury i wilgotności względnej od ich wartości odniesienia, równych odpowiednio 101,3 kPa, 23 °C i 50 %, a  $c_{p,ps}$  wyrażone w dB/kPa,  $c_{p,t}$  wyrażone w dB/°C i  $c_{p,H}$  wyrażone w dB/% oznaczają współczynniki wrażliwości kalibratora na zmianę odpowiednio ciśnienia statycznego, temperatury i wilgotności;

$$u(\delta L_{p,V}) = \frac{\Delta L_{p,V}}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

gdzie  $\Delta L_{p,V}$  oznacza oszacowaną różnicę między wartościami poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora przy aktualnej objętości obciążenia i przy obciążeniu, dla którego wykonano jego wzorcowanie.

Oszacowana w powyższy sposób niepewność standardowa  $u(\delta L_{cal})$  może wynosić od 0,06 dB – przy rozdzielczości miernika 0,1 dB, wzorcowaniu w warunkach środowiskowych zbliżonych do laboratoryjnych i dobrej jakości kalibratora, do 0,15 dB – przy wzorcowaniu w warunkach różniących się znacznie od warunków odniesienia ( $\Delta p_{s,max} = 5$  kPa,  $\Delta t_{max} = 15$  °C i  $\Delta H_{max} = 50$  %) i przy zastosowaniu gorszej jakości kalibratora.

### Szacowanie składowej niepewności związanej z niedoskonałością charakterystyk metrologicznych miernika poziomu dźwięku

Odchylenie  $\delta L_m$  wskazania miernika od wskazania miernika idealnego, wynikające z niedoskonałości charakterystyk metrologicznych rzeczywistego miernika poziomu

dźwięku można przedstawić za pomocą następującego równania pomiaru:

$$\delta L_m = \delta L_{cor,f} + \delta L_{lin} + \delta L_{linR} + \delta L_{time} + \delta L_{noise} + \delta L_{dir} + \delta L_{ps} + \delta L_t + \delta L_H + \delta L_{sup} + \delta L_{EMC} \quad (11)$$

gdzie  $\delta L_{cor,f}$  oznacza poprawkę uwzględniającą wpływ błędów częstotliwościowej charakterystyki korekcyjnej A lub C,  $\delta L_{lin}$  i  $\delta L_{linR}$  – poprawki uwzględniające odpowiednio wpływ błędów liniowości na zakresie odniesienia miernika i przy zmianie zakresu poziomu,  $\delta L_{time}$  – poprawkę uwzględniającą wpływ błędów uśredniania wykładniczego ze stałą czasową F lub S, albo uśredniania liniowego, albo wpływ błędów pomiaru wartości szczytowej,  $\delta L_{noise}$  – poprawkę uwzględniającą wpływ szumów własnych miernika,  $\delta L_{dir}$  – poprawkę uwzględniającą odchylenie rzeczywistej charakterystyki kierunkowości mikrofonu miernika od charakterystyki wszechkierunkowej,  $\delta L_{ps}$ ,  $\delta L_t$ ,  $\delta L_H$  – poprawki uwzględniające wpływ zmian ciśnienia statycznego, temperatury i wilgotności na wskazanie miernika,  $\delta L_{sup}$  – poprawkę uwzględniającą wpływ zmiany napięcia zasilania na wskazanie miernika,  $\delta L_{EMC}$  – poprawkę uwzględniającą wrażliwość miernika na zakłócenia elektromagnetyczne.

Poprawki można podzielić na dwie kategorie:

- 1) poprawki dotyczące błędów charakterystyk metrologicznych związanych z działaniem miernika ( $\delta L_{cor,f}$ ,  $\delta L_{lin}$ ,  $\delta L_{linR}$ ,  $\delta L_{time}$ ,  $\delta L_{noise}$ ), wyznaczanych w ramach wzorcowań okresowych w ściśle określonym zakresie i za pomocą ściśle określonych sygnałów pomiarowych [12, 19];
- 2) poprawki związane z warunkami, w jakich miernik jest stosowany ( $\delta L_{dir}$ ,  $\delta L_{ps}$ ,  $\delta L_t$ ,  $\delta L_H$ ,  $\delta L_{sup}$ ,  $\delta L_{EMC}$ ), przy czym wpływ warunków na wskazanie miernika nie jest badany podczas wzorcowań okresowych. Niepewności poprawek związanych z tym wpływem mogą być szacowane jedynie na podstawie granic akceptacji z ewentualnym uwzględnieniem wiarygodnych danych producenta. Szczególnym przypadkiem jest poprawka  $\delta L_{dir}$  związana charakterystyką kierunkowości mikrofonu, zależna od częstotliwości mierzonego sygnału, wzajemnego usytuowania miernika i źródła dźwięku, a także właściwości kierunkowych źródła dźwięku i miejsca wykonywania pomiarów.

Niepewność standardową złożoną związaną z łącznym oddziaływaniem niedoskonałych charakterystyk metrologicznych miernika poziomu dźwięku szacuje się zgodnie ze wzorem:

$$u_c^2(\delta L_m) = u^2(\delta L_{cor,f}) + u^2(\delta L_{lin}) + u^2(\delta L_{linR}) + u^2(\delta L_{time}) + u^2(\delta L_{noise}) + u^2(\delta L_{dir}) + u^2(\delta L_{ps}) + u^2(\delta L_t) + u^2(\delta L_H) + u^2(\delta L_{sup}) + u^2(\delta L_{EMC}) \quad (12)$$

### Szacowanie niepewności poprawek na podstawie granic akceptacji

Niepewności standardowe poprawek przedstawionych w (11) szacuje się, przyjmując prostokątny rozkład prawdopodobieństwa, zgodnie ze wzorem:

$$u(\delta L_x) = \frac{|\Delta L_{x,g} - \Delta L_{x,d}|}{\sqrt{12}} \quad (13)$$

gdzie  $u(\delta L_x)$  oznacza niepewność standardową poprawki związanej z określoną charakterystyką metrologiczną miernika, natomiast  $\Delta L_{x,g}$  i  $\Delta L_{x,d}$  to granice akceptacji dla błędów rozpatrywanej charakterystyki, określone dla danej klasy we właściwej normie.

Aby oszacować wpływ błędów korekcyjnych charakterystyk częstotliwościowych miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku należy wyznaczyć granice akceptacji zmian poziomu dźwięku  $\Delta L_{x,g}$  i  $\Delta L_{x,d}$ , wynikające z dopuszczalnych odchyżeń tych charakterystyk od wartości docelowych – przykładowo dla charakterystyki A wzory (14) ÷ (17). Ponieważ poziom dźwięku hałasu zależy od jego rozkładu widmowego, dla uproszczenia przyjęto, że hałas ma widmo o przebiegu płaskim.

$$\Delta L_{\Lambda,d} = 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{d,dop}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] - 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{doc}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] \quad (14)$$

$$A_{d,dop}(f_i) = A_{doc}(f_i) + \Delta A_{d,dop}(f_i) \quad (15)$$

$$\Delta L_{\Lambda,g} = 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{g,dop}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] - 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{doc}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] \quad (16)$$

$$A_{g,dop}(f_i) = A_{doc}(f_i) + \Delta A_{g,dop}(f_i) \quad (17)$$

gdzie  $A_{doc}(f_i)$  oznacza wartość docelową charakterystyki korekcyjnej A przy częstotliwości  $f_i$ , natomiast  $\Delta A_{d,dop}(f_i)$  i  $\Delta A_{g,dop}(f_i)$  – granice akceptacji dla odchyżeń charakterystyki korekcyjnej A od wartości docelowej.

Jeżeli moduł błędu  $\Delta L_x$  jest większy od 0,5 dB, to obliczenia przeprowadza się zgodnie ze wzorami:

$$\Delta_x = 10^{\frac{\Delta L_x}{20}} - 1 \quad (18)$$

$$u(\delta_x) = \frac{|\Delta_{x,g} - \Delta_{x,d}|}{\sqrt{12}} \quad (19)$$

$$u(\delta L_x) = 20 \cdot \log [u(\delta_x) + 1] \quad (20)$$

### Szacowanie niepewności poprawek na podstawie badań statystycznych wyników wzorcowania okresowego mierników danego typu

Niepewności standardowe poprawek  $\delta L_{cor,f}$ ,  $\delta L_{lin}$ ,  $\delta L_{linR}$ ,  $\delta L_{time}$ ,  $\delta L_{noise}$  przedstawionych w (11) można oszacować na

podstawie badań statystycznych wyników wzorcowania okresowego określonej populacji mierników w obrębie danego typu, obejmujących wyznaczenie wartości średnich, maksymalnych i minimalnych błędów oraz ich odchyżeń standardowych eksperymentalnych. Taki sposób postępowania pozwala uwzględniać procesy zmian charakterystyk metrologicznych mierników danego typu w trakcie używania. Ze względu na brak możliwości wykorzystania wyników wzorcowania do korekcji wyniku pomiaru poziomu dźwięku przyjęto, że niepewność związaną z nieskorygowanymi błędami określonej charakterystyki metrologicznej mierników wyznacza się jako odchylenie standardowe eksperymentalne  $s(\Delta L_{x0})$  tych błędów, przy wymuszeniu ich wartości średniej równej zeru, zgodnie ze wzorem:

$$u(\delta L_x) = s(\Delta L_{x0}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta L_{xj})^2} \quad (21)$$

gdzie  $\Delta L_{xj}$  oznacza błąd określonej charakterystyki  $j$ -tego miernika w populacji, wyrażony w dB, a  $n$  – liczbę mierników danego typu poddanych badaniom statystycznym.

Aby w powyższy sposób oszacować niepewność związaną z niedoskonałością korekcyjnych charakterystyk częstotliwościowych mierników należy najpierw oszacować wpływ błędów charakterystyki rzeczywistego miernika na błąd pomiaru poziomu dźwięku zgodnie ze wzorem (dla charakterystyki A i widma o przebiegu płaskim):

$$\Delta L_{\Lambda,j} = 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \left( 10^{\frac{A_j(f_i)}{20}} \right)^2} \right] - 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^{10} \left( 10^{\frac{A_{doc}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] \quad (22)$$

$$A_j(f_i) = A_{doc}(f_i) + \Delta A_j(f_i) \quad (23)$$

gdzie  $A_j(f_i)$  oznacza wartość charakterystyki częstotliwościowej A  $j$ -tego miernika w populacji przy częstotliwości  $f_i$ , a  $\Delta A_j(f_i)$  – odchylenie tej wartości od wartości docelowej  $A_{doc}(f_i)$ .

### Szacowanie niepewności poprawek na podstawie wyników wzorcowania okresowego określonego egzemplarza miernika

Niepewności standardowe poprawek  $\delta L_{lin}$ ,  $\delta L_{linR}$ ,  $\delta L_{time}$ ,  $\delta L_{noise}$  można oszacować na podstawie wyników wzorcowania określonego egzemplarza miernika, stosując jeden ze wzorów:

$$u(\delta L_x) = \frac{|\Delta L_x| + U(\Delta L_x)}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

$$u(\delta L_x) = \sqrt{(\Delta L_x)^2 + \left( \frac{U(\Delta L_x)}{k} \right)^2} \quad (25)$$

gdzie  $U(\Delta L_x)$  oznacza niepewność rozszerzoną wyznaczenia błędu  $\Delta L_x$  określonej charakterystyki metrologicznej

miernika, a  $k$  – współczynnik rozszerzenia przy poziomie ufności  $p$  równym około 95 %. Stosowanie wzoru (24) jest dobrym rozwiązaniem w sytuacji, gdy wartość błędu jest bliska zeru lub znacznie mniejsza od wartości niepewności rozszerzonej. W pozostałych przypadkach lepszym rozwiązaniem jest stosowanie wzoru (25).

Oszacowanie niepewności poprawki  $\delta L_{\text{cor},f}$  musi być poprzedzone oszacowaniem wpływu błędów charakterystyki częstotliwościowej miernika i związanych z nimi niepewności na błąd pomiaru poziomu dźwięku zgodnie ze wzorami (dla charakterystyki A i widma o przebiegu płaskim):

$$\Delta L_{A,g} = 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_g}{20}} \right)^2} \right] - 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{\text{doc}}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] \quad (26)$$

$$A_g(f_i) = A_{\text{doc}}(f_i) + \Delta A(f_i) + \frac{U[\Delta A(f_i)]}{k} \quad (27)$$

$$\Delta L_{A,d} = 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_d}{20}} \right)^2} \right] - 20 \cdot \log \left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{A_{\text{doc}}(f_i)}{20}} \right)^2} \right] \quad (28)$$

$$A_d(f_i) = A_{\text{doc}}(f_i) + \Delta A(f_i) - \frac{U[\Delta A(f_i)]}{k} \quad (29)$$

gdzie  $\Delta L_{A,d}$ ,  $\Delta L_{A,g}$  oznaczają odpowiednio dolną i górną granicę błędu pomiaru poziomu dźwięku. Niepewność związaną z błędami charakterystyki korekcyjnej szacuje się (dla charakterystyki A) zgodnie ze wzorem:

$$u(\delta L_A) = \max(|\Delta L_{A,d}|, |\Delta L_{A,g}|) \quad (30)$$

### Sposób uwzględnienia wpływu szumów własnych miernika na niepewność pomiaru poziomu dźwięku o małych wartościach

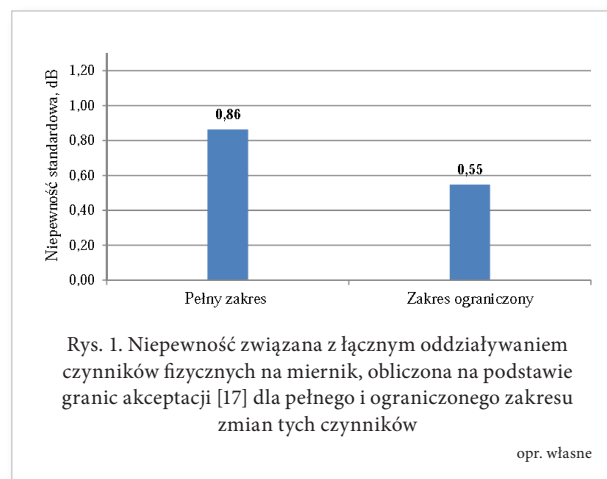
Jeżeli dysponujemy wiarygodnymi danymi na temat szumów własnych miernika z zainstalowanym mikrofonem, to mogą być one wykorzystane do obliczenia błędu wskazania miernika, powodowanego obecnością szumów własnych, według wzoru:

$$\Delta L_{A,\text{noise}} = 20 \cdot \log \frac{10^{\frac{\Delta L}{20}}}{\sqrt{\left( 10^{\frac{\Delta L}{20}} \right)^2 - 1}} \quad (31)$$

gdzie  $\Delta L_{A,\text{noise}}$  oznacza błąd wskazania miernika powodowany wpływem szumów własnych, a  $\Delta L$  – różnicę między wskazaniem  $L_A$  miernika, a poziomem dźwięku  $A$  szumów własnych miernika. Błąd ten może być następnie uwzględniony przy szacowaniu niepewności pomiaru poziomu dźwięku jako nieskorygowany błąd systematyczny [4].

## Porównanie wyników szacowania składowej niepewności związanej z niedoskonałością charakterystyk metrologicznych miernika poziomu dźwięku

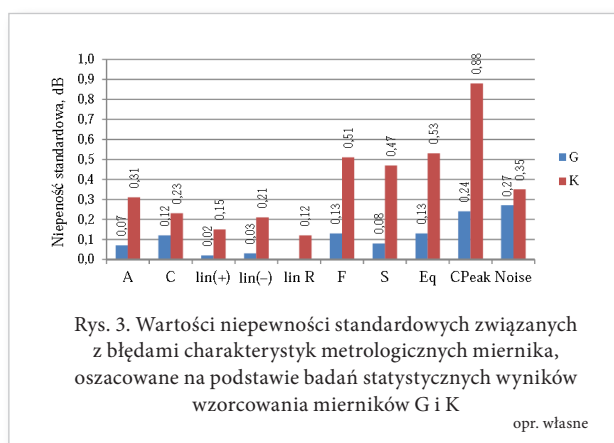
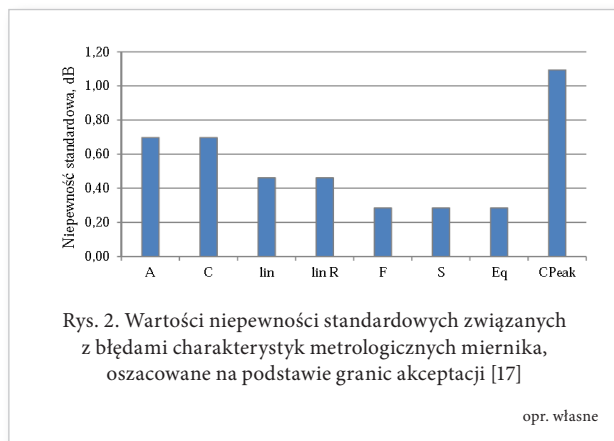
Niepewność związaną z łącznym oddziaływaniem czynników fizycznych na miernik oraz wpływem kierunkowości charakterystyki mikrofonu szacowano zgodnie ze wzorami (6) ÷ (10) na podstawie granic akceptacji określonych w [17] dla klasy dokładności 1. Obliczenia przeprowadzono zarówno dla pełnego dopuszczalnego zakresu zmian wielkości oddziałujących na miernik, tj. ciśnienia statycznego (85 ÷ 108) kPa, temperatury (-10 ÷ 50) °C i wilgotności (25 ÷ 90) % oraz przy maksymalnym dopuszczalnym wpływie zakłóceń elektromagnetycznych i napięcia zasilania, jak też w ograniczonym zakresie zmian tych wielkości, tj. ciśnienia statycznego (95 ÷ 105) kPa, temperatury (0 ÷ 30) °C oraz przy braku wpływu zakłóceń elektromagnetycznych i napięcia zasilania. W obu przypadkach do obliczeń przyjęto wartości dopuszczalne błędów charakterystyki kierunkowości określone dla kątów padania z przedziału ±30° i częstotliwości do 4 kHz. Wyniki obliczeń przedstawiono graficznie na rys 1.



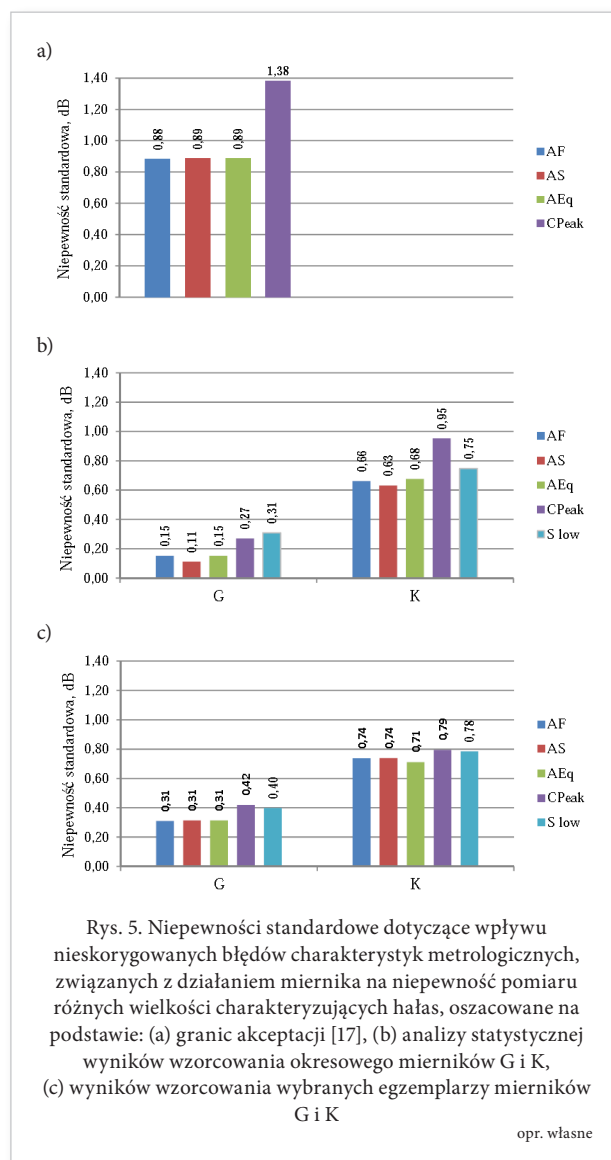
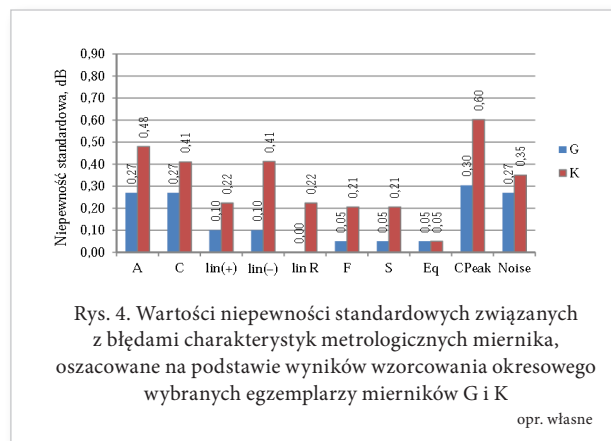
Niepewność dotyczącą łącznego oddziaływania błędów charakterystyk metrologicznych związanych z działaniem miernika szacowano dla różnych wielkości charakteryzujących hałas, tj. poziomu dźwięku A uśrednionego wykładniczo ze stałą czasową F (AF) lub S (AS), w tym poziomu dźwięku o małej wartości (Slow), a także równoważnego poziomu dźwięku A (Aeq) oraz szczytowego poziomu dźwięku C (CPeak). Do obliczeń wykorzystano:

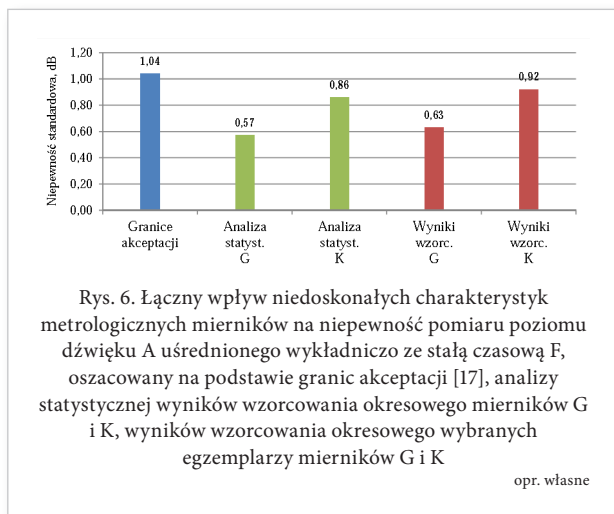
- 1) wartości niepewności standardowych (rys. 2) oszacowane zgodnie ze wzorami (13) ÷ (17) na podstawie gra-

- nic akceptacji dla błędów poszczególnych charakterystyk metrologicznych określonych w [17];
- 2) wartości niepewności standardowych związane z nieskorygowanymi błędami określonych charakterystyk metrologicznych (rys. 3), oszacowane zgodnie ze wzorami (21) ÷ (23) na podstawie badań statystycznych wyników wzorcowania okresowego mierników dwóch różnych typów oznaczonych literami G i K, uzyskanych w Głównym Urzędzie Miar w latach: 2008–2010 oraz wartości niepewności związane z wpływem szumów własnych mierników, oszacowane zgodnie ze wzorem (31) dla pomiaru poziomu dźwięku A o wartości 30 dB i przy uwzględnieniu szumów własnych mierników G i K deklarowanych przez ich producentów.
  - 3) wartości niepewności standardowych związane z nieskorygowanymi błędami określonych charakterystyk metrologicznych (rys. 4), oszacowane na podstawie wyników wzorcowania okresowego wybranych egzemplarzy mierników G i K – wzory (24) ÷ (30) oraz wartości niepewności związane z wpływem szumów własnych mierników oszacowane zgodnie ze wzorem (31) dla poziomu dźwięku A o wartości 30 dB i zmierzonych wartości szumów własnych mierników.



Wyniki obliczeń niepewności standardowych dotyczących łącznego wpływu nieskorygowanych błędów charakterystyk metrologicznych związanych z działaniem mier-





nika na niepewność pomiaru różnych wielkości charakteryzujących hałas przedstawiono na rys 5.

Na rys. 6 przedstawiono uzyskane różnymi metodami wyniki oszacowania łącznego wpływu niedoskonałych charakterystyk metrologicznych mierników, związanych zarówno z ich działaniem (rys. 5), jak i oddziaływaniem na nie czynników fizycznych (rys. 1), na niepewność pomiaru poziomu dźwięku A uśrednionego wykładniczo ze stałą czasową Fast.

## Podsumowanie

W pracy wykazano, że szacowanie składowej niepewności pomiaru poziomu dźwięku uwzględniającej niedoskonałe charakterystyki metrologiczne mierników, można przeprowadzić na podstawie różnych dostępnych informacji: granic akceptacji określonych we właściwej normie, badań statystycznych wyników wzorcowania okresowego mierników, a także wyników wzorcowania okresowego określonego egzemplarza miernika. Indywidualnego podejścia w zależności od stosowanej metody, widma hałasu, wzajemnego usytuowania miernika i źródła dźwięku wymaga oszacowanie niepewności związanej z charakterystyką kierunkowości miernika. Przy szacowaniu niepewności związanych z oddziaływaniem różnych czynników fizycznych na miernik warto skorzystać z wiarygodnych danych producenta, o ile są dostępne.

Składowa niepewności pomiaru poziomu dźwięku, związana z miernikiem, zależy od jakości zastosowanego miernika. Przyjęcie wartości niepewności oszacowanej na podstawie granic akceptacji może w przypadku miernika dobrej jakości prowadzić do znacznego przeszacowania niepewności pomiaru poziomu dźwięku.

## Bibliografia

- [1] O. H. Bjor, *On the uncertainty of measurements made by sound level meters*, Proc. of 3th International Congress and Exposition on Noise Controlling Engineering, Istanbul, Turkey, 2007.
- [2] P. V. Brüel, *Precision Noise Measurement System*, Technical Review, 97-05, Dostępny w Internecie: <http://www.bruel-ac.com/tr/tr9705/TR9705.html>
- [3] R. Payne, *Uncertainties associated with the use of a sound level meter*, NPL Report DQL-AC 002, Teddington, 2004.
- [4] S. D. Phillips, K. R. Eberhardt, *Guidelines for Expressing the Uncertainty of Measurement Results Containing Uncorrected Bias*, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol. 102, No 5, 1997, 577-585.
- [5] S. D. Philips, W. T. Estler, M. S. Levenson, K. R. Eberhardt, *Calculation of Measurement Uncertainty Using Prior Information*, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 103, 1998, s. 625-632.
- [6] EA-4/02 *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, European co-operation for Accreditation (EA), 1999.
- [7] ISO/IEC Guide 98-3:2008 *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*.
- [8] PN-EN 60651(U) *Mierniki poziomu dźwięku*.
- [9] PN-EN 60804(U) *Całkująco uśredniające mierniki poziomu dźwięku*.
- [10] PN-EN 61672-1:2005 *Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania*.
- [11] PN-EN 61672-1:2005 *Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 2: Badania typu*.
- [12] PN-EN 61672-3:2007 *Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 3: Badania okresowe*.
- [13] IEC/CDV 62585 *Electroacoustics – methods to determine corrections to obtain the free-field response of a sound level meter*.
- [14] Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach (Dz. U. z 2013 r. poz. 1069).
- [15] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 maja 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać mierniki poziomu dźwięku, oraz szczegółowego zakresu badań i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych. (Dz. U. Nr 105, poz. 717).
- [16] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 27 grudnia 2007 r. w sprawie rodzajów przyrządów pomiarowych podlegających prawnej kontroli metrologicznej oraz zakresu tej kontroli (Dz. U. z 2008 r. Nr 3, poz. 13, z późn. zm.).
- [17] IEC 61672-1:2013 *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*.
- [18] IEC 61672-1:2013 *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*.
- [19] IEC 61672-1:2013 *Electroacoustics – Sound level meters – Part 3: Periodic tests*.
- [20] ISO/IEC Guide 98-4 *Uncertainty of measurement – Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment*.