

mgr inż. WITOLD MIKULSKI
mgr inż. PIOTR TADZIK
Centralny Instytut Ochrony Pracy

Niepewność wyznaczania poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu

Praca wykonana w ramach Programu Wieloletniego (b. SPR-1) pn. „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych

Dyrektywa europejska 98/97/WE dotycząca bezpieczeństwa maszyn [4] wymaga wyznaczenia poziomu mocy akustycznej jako wielkości oceniającej emisję hałasu maszyn. Metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej określają zharmonizowane z wymienioną dyrektywą normy europejskie z serii EN ISO 3740 i 9614 [1].

Laboratorium Zakładu Zagrożeń Akustycznych i Elektromagnetycznych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy wykonuje badania poziomu mocy akustycznej maszyn i urządzeń metodami określonymi w normach polskich będących oficjalnym tłumaczeniem wymienionych norm. Badania te stanowią część badań certyfikacyjnych maszyn objętych obowiązkiem certyfikacji na znak bezpieczeństwa oraz obowiązkiem wystawienia przez producenta deklaracji zgodności [3]. Wśród stosowanych metod, ze względu na stosunkowo prostą procedurę badawczą, często wykorzystywane są metody opisane w normach: PN-EN ISO 3744:1999 *Akustyka. Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda techniczna w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk* oraz PN-EN ISO 3746:1999 *Akustyka. Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk* [5, 6].

Niepewność wyznaczania poziomu mocy akustycznej maszyn zależy od odchylenia standardowego odtwarzalności oraz wymaganego poziomu ufności. Na przykład dla poziomu ufności 90% niepewność pomiarów wynosi $\pm 1,645\sigma_R$. Oznacza to, że prawdopodobieństwo wynosi 90%, iż spodziewana wartość poziomu mocy akustycznej źródła mieści się w przedziale $\pm 1,645\sigma_R$ wartości zmierzonej [5, 6]. Zgodnie z PN-EN 27574-1:1997 [7] odchylenie standardowe odtwarzalności jest definiowane jako odchylenie standardowe wartości poziomów mocy akustycznej otrzymane w warunkach odtwarzalności, tzn. przy powtórnych zastosowaniach tej samej metody pomiaru, tego samego źródła, w różnych odstępach czasu i w odmiennych warunkach pomiaru (inne laboratorium, inny operator, inna aparatura).

Odchylenie standardowe odtwarzalności wyników badań poziomu mocy akustycznej określonej metody związane jest z warunkami badań i przyjętymi procedurami pomiarowymi, a nie z samym źródłem. Wynika ono częściowo z różnic między laboratoriami pomiarowymi związanych ze zmianą warunków atmosferycznych (w przypadku przestrzeni otwartej), geometrią pomieszczenia badawczego lub przestrzeni otwartej, akustycznymi właściwościami powierzchni odbijających dźwięk, pochłanianiem dźwięku przez ściany pomieszczenia pomiarowego, hałasem tła, typem i wzorcowaniem aparatury pomiarowej. Wynika ono również z różnic w procedurach pomiarowych obejmujących położenie badanego źródła, wielkość i kształt powierzchni pomiarowej, liczbę i rozmieszczenie pozycji mikrofonu na powierzchni pomiarowej, czas całkowania oraz wyznaczanie poprawek środowiskowych [5, 6]. Wartości odchylenia standardowego odtwarzalności po-

dane w normach PN-EN ISO 3744 i 3746 są wartościami maksymalnymi. W przypadku określonej rodziny źródeł hałasu, o podobnych wymiarach i podobnych widmach mocy akustycznej oraz podobnych warunkach pracy, odchylenia standardowe odtwarzalności mogą być mniejsze. Dlatego też procedura badania hałasu danego typu maszyn może zakładać odchylenia standardowe mniejsze, jeśli jest to uzasadnione wynikami odpowiednich badań międzylaboratoryjnych.

W artykule przedstawimy wyniki badań poziomu mocy akustycznej wzorcowego źródła dźwięku (typ 4204 firmy Brüel&Kjaer) w celu wyznaczenia rzeczywistego odchylenia standardowego odtwarzalności wyników badań tego źródła w różnych warunkach pomiarowych. Do badań poziomu mocy akustycznej, wzorcowego źródła dźwięku zastosowano metodę orientacyjną i metodę techniczną. Badania przeprowadzono w następujących warunkach:

- w przestrzeni otwartej i w dwóch pomieszczeniach badawczych o różnych właściwościach akustycznych,
- stosując prostopadłościenną i półkulistą powierzchnię pomiarową,
- stosując różną odległość powierzchni pomiarowej od źródła.

Wymagania metod dotyczące m.in. środowiska badawczego, aparatury pomiarowej i dokładności metody zestawiono w tabeli. Jako środowiska badawcze przyjęto przestrzeń otwartą oraz dwa pomieszczenia pomiarowe: pomieszczenie nr 1 o objętości $V = 139 \text{ m}^3$ i powierzchni całkowitej $S_v = 175 \text{ m}^2$ oraz pomieszczenie nr 2 o objętości $V = 180 \text{ m}^3$ i powierzchni całkowitej $S_v = 222 \text{ m}^2$.

Zastosowano następujące powierzchnie pomiarowe:
– półkulę (o promieniu pomiarowym

WYMAGANIA METOD DOTYCZĄCE M.IN. ŚRODOWISKA BADAWCZEGO, APARATURY POMIAROWEJ, DOKŁADNOŚCI METOD [5, 6]

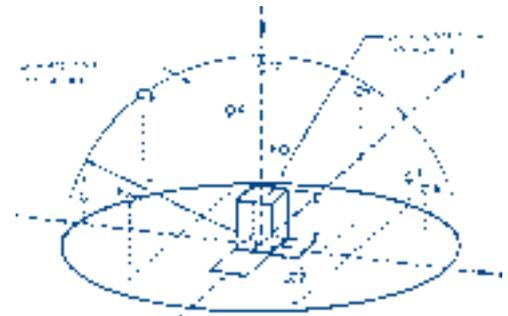
Parametr	Norma ISO 3744 Metoda techniczna Klasa dokładności 2	Norma ISO 3746 Metoda orientacyjna Klasa dokładności 3
Środowisko badawcze	przestrzeń otwarta lub pomieszczenie	przestrzeń otwarta lub pomieszczenie
Kryterium przydatności środowiska badawczego ¹⁾	$K_2 \leq 2$ dB	$K_2 \leq 7$ dB
Objętość źródła dźwięku	brak ograniczeń; ograniczona tylko warunkami środowiska badawczego	brak ograniczeń; ograniczona tylko warunkami środowiska badawczego
Charakter hałasu	dowolny (ustalony, nie ustalony, impulsowy, o widmie szerokopasmowym, wąskopasmowym, dyskretnym)	
Ograniczenia zależne od hałasu tła ¹⁾	$\Delta L \geq 6$ dB (jeśli to możliwe przekraczające 15 dB) $K_1 \leq 1,3$ dB	$\Delta L \geq 3$ dB $K_1 \leq 3$ dB
Liczba punktów pomiarowych	≥ 9 ²⁾	≥ 4 ²⁾
Aparatura pomiarowa: a) miernik poziomu dźwięku spełniający co najmniej wymagania b) całkujący miernik poziomu dźwięku spełniający co najmniej wymagania c) zestaw filtrów pasmowych spełniających co najmniej wymagania	a) klasy dokładności 1 zgodnie z normą IEC 651 b) klasy dokładności 1 zgodnie z normą IEC 804 c) klasy dokładności 1 zgodnie z normą IEC 1260	a) klasy dokładności 2 zgodnie z normą IEC 651 b) klasy dokładności 2 zgodnie z normą IEC 804 —
Odchylenia standardowe odtwarzalności wyznaczania poziomów mocy akustycznej	częstotliwość środkowa pasm oktaowych w Hz	σ_R $\sigma_R \leq 3$ dB (jeśli $K_2 < 5$ dB) $\sigma_R \leq 4$ dB (jeśli $5 \text{ dB} \leq K_2 \leq 7$ dB) jeśli dominują tony wartość σ_R jest większa o 1 dB
	63 125 250 od 500 do 4000 8000 charakterystyka częstotliwościowa A	5 3 2 1.5 2.5 1.5

¹⁾ W celu wyznaczenia widma mocy akustycznej, K_1 – poprawka uwzględniająca hałas tła i K_2 – poprawka środowiskowa – powinny spełniać podane kryteria w każdym paśmie częstotliwości w badanym zakresie częstotliwości. W celu wyznaczenia skorygowanych poziomów mocy akustycznej A te same kryteria stosuje się do K_{1A} i K_{2A} .

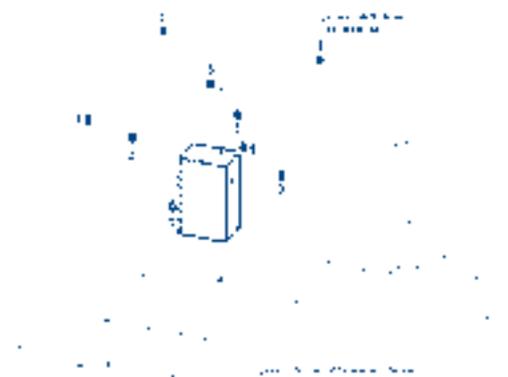
²⁾ W pewnych warunkach dopuszcza się stosowanie mniejszej liczby pozycji mikrofonu.

r równym 1 m) – w przestrzeni otwartej nad powierzchnią odbijającą (rys. 1),
– prostopadłością (z odległością pomiarową d równą 0,5 m, 1 m i 1,5 m) – w przestrzeni otwartej nad powierzchnią odbijającą oraz w dwóch pomieszczeniach (rys. 2).

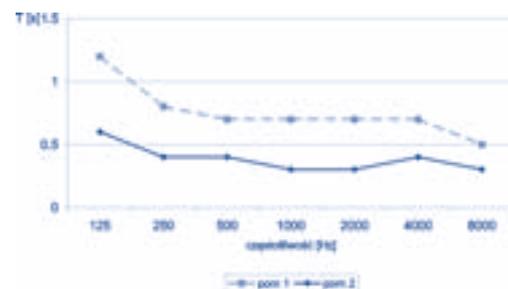
Przyjęto następujące liczby punktów pomiarowych:
– w metodzie technicznej 10 dla półkulej powierzchni pomiarowej i 9 dla prostopadłościowej powierzchni pomiarowej,
– w metodzie orientacyjnej 4 dla pół-



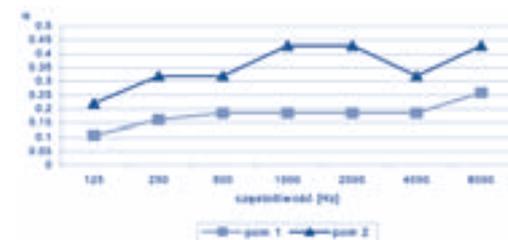
Rys. 1. Półkulista powierzchnia pomiarowa. Punkty pomiarowe: 1, 2, 3, 10 metoda orientacyjna; 1–10 metoda techniczna



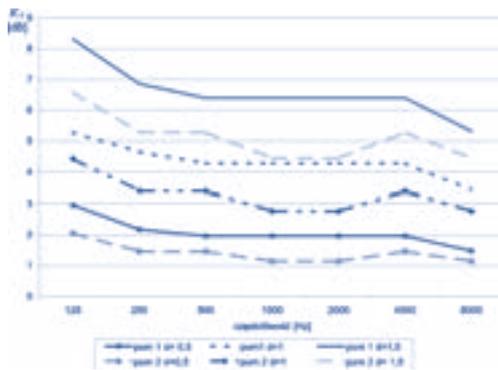
Rys. 2. Prostopadłościenna powierzchnia pomiarowa. Punkty pomiarowe: 1–5 metoda orientacyjna; 1–9 metoda techniczna



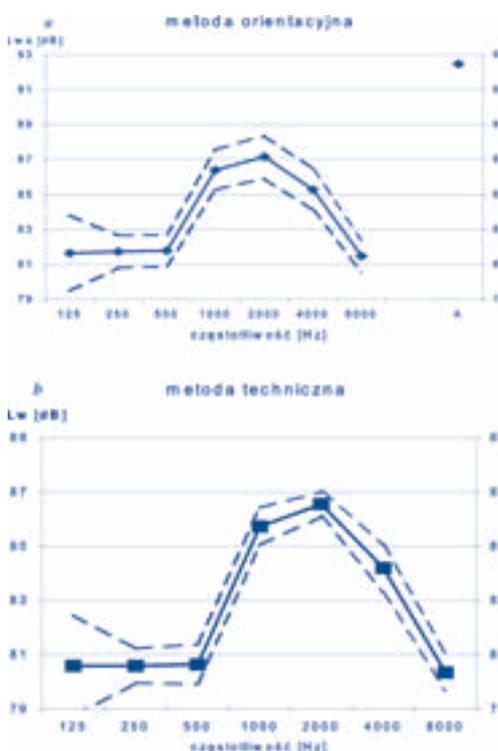
Rys. 3. Czas pogłosu w pasmach oktaowych w dwóch pomieszczeniach badawczych



Rys. 4. Średni współczynnik pochłaniania dźwięku w pasmach oktaowych w dwóch pomieszczeniach badawczych



Rys. 5. Poprawka środowiskowa K , w pomieszczeniach badawczych dla różnych odległości pomiarowych d (pom 1 – pomieszczenie nr 1, pom 2 – pomieszczenie nr 2)



Rys. 6. Poziomy mocy akustycznej (wraz z odchyleniem standardowym odtwarzalności wyników badań) w pasmach oktaowych oraz skorygowany poziom mocy akustycznej A wzorcowego źródła dźwięku wyznaczone metodami: a – orientacyjną, b – techniczną

kulistej powierzchni pomiarowej i 5 dla prostopadłościenną powierzchni pomiarowej.

Właściwości akustyczne pomieszczeń, w których badano wzorcowe źródło dźwięku określono na podstawie pomiarów czasu pogłosu oraz obliczeń chłonności akustycznej.

Metoda orientacyjna w zasadzie dotyczy wyznaczania skorygowanego poziomu mocy akustycznej A (na podstawie zmierzonego na powierzchni pomiarowej poziomu dźwięku A). Jednakże dla określonych celów (np. porównywanie wyników badań) można stosować tę metodę do wyznaczania poziomów mocy akustycznej w pasmach częstotliwości.

Wyniki badań poziomu mocy akustycznej wzorcowego źródła dźwięku przedstawiono na rys. 3–8. Na rys. 3 przedstawiono czas pogłosu w obu pomieszczeniach pomiarowych, który mieści się w zakresie 0,3–1,2 s. Na rys. 4 – średni współczynnik pochłaniania dźwięku w oktaowych pasmach częstotliwości, wyznaczony w obu badanych pomieszczeniach badawczych (określony z pomiarów czasu pogłosu). Średni współczynnik pochłaniania dźwięku wynosi: w pomieszczeniu pierwszym 0,1–0,2, w pomieszczeniu drugim 0,2–0,43. Jak z tego wynika, właściwości akustyczne obu pomieszczeń pomiarowych różnią się dość znacznie.

Wyznaczone wartości poprawki środowiskowej uwzględniającej wpływ dźwięków odbitych K , w obu badanych pomieszczeniach dla różnych odległości pomiarowych przedstawiono na rys. 5. Wartości te wahają się w zakresie 1–8 dB. Wartości poprawki środowiskowej K , wyznaczonej dla odległości 1,5 m w pomieszczeniu nr 1 przekraczają wartość 7 dB dla częstotliwości 125 Hz, nie spełniają więc wymagań metody (rys. 5). W związku z tym, dla tej częstotliwości nie można wyznaczyć wiarygodnych wartości poziomu mocy akustycznej na podstawie pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w odległości większej lub

równej 1,5 m. Wymagania metody technicznej ($K_s \leq 2$ dB) spełnione są jedynie dla odległości pomiarowej $d = 0,5$ m w pomieszczeniu nr 2 (dla częstotliwości 250–8000 Hz), a w pomieszczeniu nr 1 dla częstotliwości 500–8000 Hz.

Poziom mocy akustycznej w pasmach oktaowych oraz skorygowany poziom mocy akustycznej A wzorcowego źródła dźwięku wyznaczone metodami: techniczną i orientacyjną przedstawiono na rys. 6a i 6b. Jak wynika z tych rysunków, wartości poziomu mocy akustycznej w pasmach oktaowych, określone metodą orientacyjną, są większe średnio o ok. 1,5 dB od wartości określonych metodą techniczną. Różnice w poziomach wynikają przede wszystkim z mniej dokładnego oszacowania wartości średniej ciśnienia akustycznego na powierzchni pomiarowej w metodzie orientacyjnej (mniejsza liczba punktów pomiarowych niż w metodzie technicznej).

Poziom mocy akustycznej źródła L_w w pasmie oktaowym o częstotliwości środkowej 1000 Hz wyznaczony metodą techniczną oraz skorygowany poziom mocy akustycznej A źródła L_{wA} wyznaczony metodą orientacyjną na podstawie pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w różnych odległościach powierzchni pomiarowej od źródła przedstawiono na rys. 7a i 7b. Na obu wykresach widać podobną tendencję, polegającą na tym, że wyznaczony w przestrzeni otwartej poziom mocy akustycznej źródła wzorcowego jest niezależny od odległości pomiarowej, natomiast wyznaczony w pomieszczeniach pomiarowych nr 1 i 2 maleje wraz ze wzrostem odległości pomiarowej. Wskazuje to na zawyżoną wartość poprawki środowiskowej K , uwzględniającej wpływ dźwięków odbitych od ścian pomieszczenia, która może wynikać z niedokładności procedury jej wyznaczania.

Odchylenie standardowe odtwarzalności poziomów mocy akustycznej wzorcowego źródła dźwięku w pasmach oktaowych wyznaczonych metodą techniczną oraz odchylenie standardowe odtwa-

rzalności skorygowanego poziomu mocy akustycznej A wzorcowego źródła dźwięku uzyskane metodą orientacyjną przedstawiono na rys. 8. Waha się ono w granicach 0,5–2 dB, a więc jest o ponad 2-krotnie mniejsze od wartości maksymalnych (1,5–3 dB) określonych w normach. Wartości niepewności wyznaczania poziomu mocy akustycznej omawianego źródła wynoszą ±1 dB do ±3,5 dB.

* * *

Jak wykazały przeprowadzone badania, odchylenia standardowe odtwarzalności poziomów mocy akustycznej – wyznaczonych na podstawie badań tego samego źródła dźwięku w różnych warunkach pomiarowych: różne środowiska badawcze (przestrzeń otwarta, pomieszczenia pomiarowe o różnych geometriach) oraz przy zastosowaniu metody technicznej o klasie dokładności 2 i metody orientacyjnej o klasie dokładności 3 – są co najmniej o połowę mniejsze od podanych w normach PN-EN ISO 3744 i PN-EN ISO 3746.

Przewiduje się prowadzenie dalszych badań nad wpływem warunków pomiarowych na niepewność wyznaczania poziomu mocy akustycznej na obiektach rzeczywistych.

Wyznaczona niepewność pomiaru dla określonych źródeł hałasu może być wykorzystana przy deklarowaniu wartości emisji hałasu tych źródeł. Na przykład zgodnie z pr PN-EN ISO 4871 [8] dla pojedynczej maszyny deklarowana jednoliczbowa wartość emisji hałasu może być obliczona ze wzoru:

$$L_d = L + K$$

gdzie:

L_d – deklarowana wartość emisji hałasu (skorygowany poziom mocy akustycznej A),

$K = 1,645\sigma_r$ – niepewność pomiarów.

Może być również przedstawiona deklarowana dwuliczbowa wartość emisji hałasu zawierająca dwie wartości L i K , przedstawione jako dwie oddzielne liczby. Wartość σ_r , czyli odchylenia standar-

dowego odtwarzalności można znaleźć w procedurze badania hałasu danego typu maszyn. Jeśli taka procedura nie istnieje, przybliżona wartość K , którą można stosować dla poziomu mocy akustycznej określonego metodą techniczną (klasa dokładności 2) wynosi 2,5 dB, natomiast dla poziomu mocy akustycznej określonego metodą orientacyjną (klasa dokładności 3) wynosi 4 dB [8].

PIŚMIENNICTWO

[1] Augustyńska D., Pleban D., Mikulski W.: *Hałas maszyn – znormalizowane metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej*. Bezpieczeństwo Pracy 2, 3/2000

[2] Mikulski W., Augustyńska D.: *Hałas maszyn – wyznaczanie poziomu mocy akustycznej obrabiarek do drewna*. Bezpieczeństwo Pracy 7-8/2000

[3] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 1999 r. w sprawie wykazu wyrobów wyprodukowanych w Polsce, a także wyrobów importowanych do Polski po raz pierwszy, mogących stwarzać zagrożenie albo służących ochronie lub ratowaniu życia, zdrowia lub środowiska, podlegających obowiązkowi certyfikacji na znak bezpieczeństwa i oznaczania tym znakiem oraz wyrobów podlegających obowiązkowi wystawienia przez producenta deklaracji zgodności. Dz.U. nr 5, poz. 53

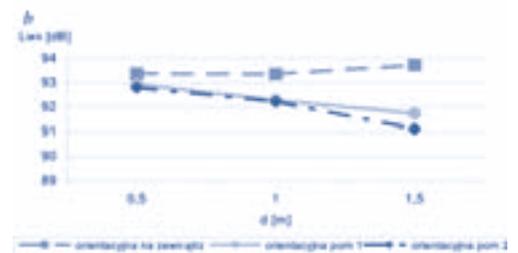
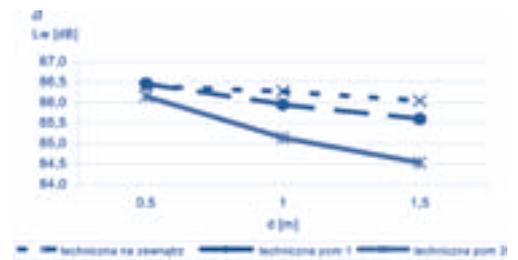
[4] Directive 98/37/EC of European Parliament and of Council of 22 June 1998 on the approximation of laws of the Member States relating to machinery. Official Journal of the European communities. L 207, 23.07.1998

[5] PN-EN ISO 3744:1999 *Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda techniczna w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk*

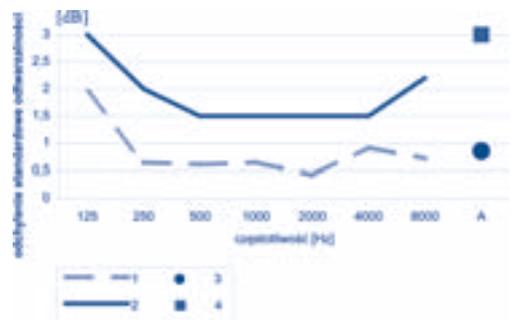
[6] PN-EN ISO 3746:1999 *Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk*

[7] PN-EN 27574:1997 *Akustyka – statystyczne metody określania i weryfikacji deklarowanych wartości emisji hałasu maszyn i urządzeń. Arkusze 1. Informacje ogólne i definicje*

[8] pr PN-EN ISO 4871 *Akustyka – Deklarowanie i weryfikowanie wartości emisji hałasu maszyn i urządzeń*



Rys. 7. Poziom mocy akustycznej źródła dla różnej odległości powierzchni pomiarowej, wyznaczone w pomieszczeniach pomiarowych nr 1 i nr 2 oraz w otwartej przestrzeni: a – w pasmie 1000 Hz (metoda techniczna), b – skorygowany charakterystyką częstotliwościową A (metoda orientacyjna)



Rys. 8. Odchylenie standardowe odtwarzalności poziomu mocy akustycznej w pasmach oktaowych: 1 – wyznaczone z wyników badań wg PN-EN ISO 3744 (metoda techniczna), 2 – podane w normie PN-EN ISO 3744; odchylenie standardowe odtwarzalności skorygowanego poziomu mocy akustycznej A; 3 – wyznaczone z badań wg PN-EN ISO 3746 (metoda orientacyjna) oraz 4 – podane w PN-EN ISO 3746