

dr inż. EWA KOTARBIŃSKA
mgr inż. EMIL KOZŁOWSKI
Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Metoda badań skuteczności akustycznej nauszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistych

Ochronniki słuchu są stosowane w celu ochrony narządu słuchu człowieka przed skutkami oddziaływania hałasu. Aby ochrona narządu słuchu była prawidłowa, poziom dźwięku A pod ochronnikiem powinien być mniejszy od wartości dopuszczalnej wynoszącej 85 dB. Do obliczeń poziomu dźwięku A pod ochronnikiem, zgodnie z wymaganiami norm [1, 2] wykorzystuje się wartości tłumienia dźwięku zmierzone (w procesie certyfikacji ochronników) w warunkach laboratoryjnych. Pomiar tłumienia dźwięku nauszników przeciwhałasowych wykonuje się metodą subiektywną [3] w odniesieniu do czterech próbek (tego samego wzoru nauszników), przy udziale 16 słuchaczy. Porównuje się progi słyszenia słuchacza bez ochronnika i słuchacza z ochronnikiem, przy tym samym sygnale testowym, w tych samych ściśle zdefiniowanych laboratoryjnych warunkach akustycznych. Średnia różnica pomiędzy progami słyszenia słuchaczy wyznacza tłumienie dźwięku nauszników przeciwhałasowych.

W warunkach rzeczywistych skuteczność akustyczna nauszników przeciwhałasowych jest mniejsza aniżeli w warunkach laboratoryjnych [4]. Powodem różnic jest przede wszystkim fakt różnicowości pomiędzy warunkami badań laboratoryjnych i warunkami rzeczywistymi w jakich użytkowane są ochronniki słuchu. W warunkach laboratoryjnych pole akustyczne, w którym usytuowany jest słuchacz, jest polem dyfuzyjnym (rozproszonym), a sygnałami testowymi jest szum różowy wąskopasmowy*, o niskich poziomach ciśnienia akustycznego, zbliżonych do poziomu progu słyszenia. Sygnały testowe o tak niskich poziomach

ciśnienia akustycznego mogą być maskowane przez szum fizjologiczny słuchacza, co w efekcie może prowadzić do zawyżonych wartości wyników pomiarów. W warunkach rzeczywistych na stanowisku pracy pole akustyczne nie jest dyfuzyjne, widma hałasu są różnorodne, a poziomy ciśnienia akustycznego są zazwyczaj kilkadziesiąt decybeli wyższe od poziomów sygnałów testowych stosowanych w laboratorium. Aby mieć możliwość oceny ilościowej właściwości akustycznych nauszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistego narażenia na hałas, w Zakładzie Zagrożeń Akustycznych CIO-PIB opracowano metodę [5] pomiaru rzeczywistej skuteczności akustycznej nauszników przeciwhałasowych, przy wykorzystaniu sztucznego torsu w warunkach „in situ”.

Metoda badawcza

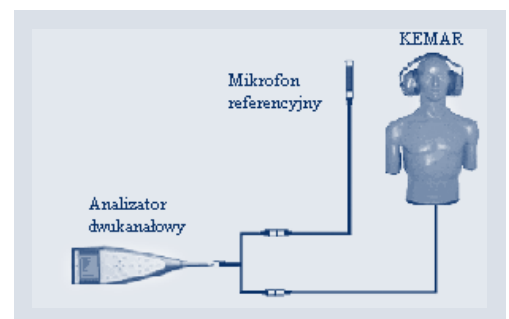
Dla potrzeb metody definiuje się rzeczywistą skuteczność akustyczną nauszników przeciwhałasowych jako różnicę poziomów ciśnienia akustycznego w małżowinie usznej człowieka bez nauszników i po ich nałożeniu, wyznaczanych w odniesieniu do hałasu rzeczywistego w warunkach „in situ”. Wartości poziomów ciśnienia akustycznego w małżowinie usznej człowieka wyznacza się metodą pośrednią – drogą pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego hałasu na stanowisku pracy, skorygowanego odpowiednią poprawką zwaną funkcją przejścia mikrofon–człowiek $F_1(f)$ oraz pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego pod czaszą nausznicą nałożoną na sztuczny tors Kemara, skorygowanego poprawką zwaną funkcją przejścia Kemar–człowiek $F_2(f)$.

Schemat układu pomiarowego do badań właściwości akustycznych na-

Publikacja opracowana w ramach zadania badawczego 3.6 programu wieloletniego pt. „Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów UE”, dofinansowywanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002-2004. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

uszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistych przedstawiono na rysunku 1.

Funkcja $F_1(f)$ (1) stanowi różnicę pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego mierzonym mikrofonem referencyjnym i poziomem ciśnienia akustycznego mierzonym w małżowinie usznej człowieka, w tych samych warunkach akustycznych, bez nauszników przeciwhałasowych. Funkcja $F_2(f)$ (2) stanowi różnicę pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego mierzonym w małżowinie usznej człowieka przy nałożonych nausznikach przeciwhałasowych i poziomem ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym Kemara, mierzonym w tych samych warunkach akustycznych po nałożeniu tych samych nauszników przeciwhałasowych.



Rys. 1. Schemat stanowiska w warunkach „in situ” do pomiaru rzeczywistej skuteczności akustycznej nauszników przeciwhałasowych

* Szumem różowym nazywamy sygnał akustyczny charakteryzujący się jednakową energią we wszystkich pasmach oktawowych.

Funkcje przejścia F_1 i F_2 określane są następującymi wzorami.

$$F_1(f) = \frac{\sum_{i=1}^{n_s} L_{si}(f)}{n_s} - L_m(f) \quad (1)$$

$$F_2(f) = \frac{\sum_{i=1}^{n_n} \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_s} L_{sni}(f)}{n_s} - \frac{\sum_{i=1}^{n_k} L_{kni}(f)}{n_k} \right)}{n_n} \quad (2)$$

gdzie:

$L_{si}(f)$ – poziom ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym słuchacza bez nausznika

$L_m(f)$ – poziom ciśnienia akustycznego zmierzony mikrofonem referencyjnym

$L_{sni}(f)$ – poziom ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym słuchacza pod czaszami nauszników

$L_{kni}(f)$ – poziom ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym Kemara pod czaszami nauszników

n_s – liczba słuchaczy

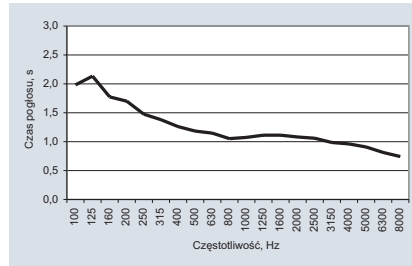
n_k – liczba powtórzeń pomiaru z zastosowaniem Kemara

n_n – liczba próbek nauszników.

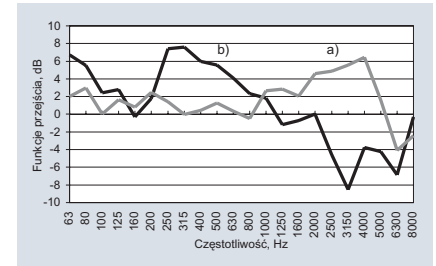
Pomiary funkcji przejścia i weryfikację metodę badań

Pomiary funkcji przejścia dla potrzeb metody prowadzono w komorze pogłosowej CIOP-PIP, w której wprowadzono odpowiednią adaptację akustyczną. Charakterystykę częstotliwościową czasu pogłosu zaadaptowanej komory, zbliżoną do charakterystyk czasu pogłosu typowych wewnątrz przemysłowych, przedstawiono na rysunku 2. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 3.

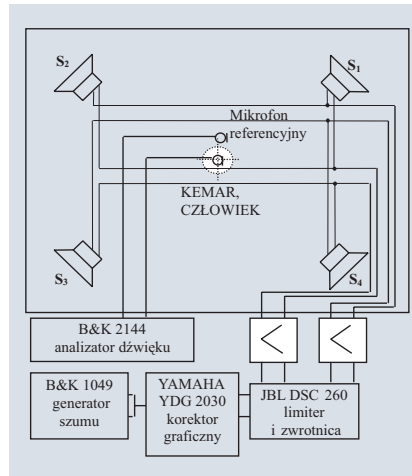
Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym człowieka, w dwóch wariantach – bez ochronnika słuchu i pod czaszami tłumiącymi nauszników przeciwhałasowych, przeprowadzono u ośmiu słuchaczy. Pomiary wykonano kolejno w odniesieniu do 34



Rys. 2. Czas pogłosu zaadaptowanej do badań ochronników słuchu komory pogłosowej CIOP-PIB



Rys. 4. Funkcje przejścia: a) $F_1(f)$ mikrofon referencyjny-człowiek, b) $F_2(f)$ Kemar-człowiek



Rys. 3. Schemat układu do pomiaru funkcji przejścia mikrofon-człowiek F_1 i funkcji przejścia Kemar-człowiek F_2

wzorów nauszników przeciwhałasowych, posiadających certyfikat upoważniający do oznaczenia znakiem bezpieczeństwa. Jako sygnały testowe stosowano szum różowy o dwóch poziomach dźwięku A: 85 dB w przypadku wyznaczania funkcji $F_1(f)$ i 100 dB w przypadku wyznaczania funkcji $F_2(f)$. Na rys. 4. przedstawiono wyznaczone obie funkcje.

Następnie przeprowadzono pomiary rzeczywistej skuteczności akustycznej 34 wzorów nauszników przeciwhałasowych.

Sygnałami testowymi były hałasy wysokoczęstotliwościowe H, średniczęstotliwościowe M i niskoczęstotliwościowe L, symulujące hałasy rzeczywiste, występujące w rzeczywistych warunkach przemysłowych [6]. Widma sygnałów testowych przedstawiono na rysunku 5.

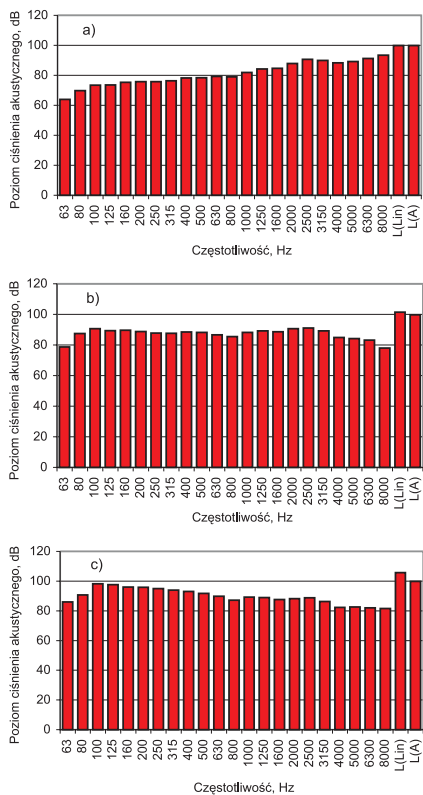
Poziomy ciśnienia akustycznego w punkcie pomiarowym były kolejno zmieniane co 5 dB. W przypadku hałasu H i M poziom zmieniany był w zakresie $60 \div 110$ dB, w przypadku hałasu L $60 \div 100$ dB.

Zmierzoną rzeczywistą skutecznością akustyczną 34 nauszników przeciwhałasowych porównano z wartościami katalogowymi tłumienia dźwięku Na rysunku 6. przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów odnoszących się do hałasu wysokoczęstotliwościowego o poziomie dźwięku A 100 dB, dwóch wzorów nauszników – próbka nr 15 i nr 26, w odniesieniu do których były obserwowane stosunkowo najmniejsze i największe różnice pomiędzy zmierzonymi wartościami rzeczywistej skuteczności i wartościami tłumienia dźwięku [7], zmierzonymi w laboratorium metodą subiektywną zgodnie z PN-EN 24869-1 [3].

Na rysunku 7. przedstawiono średnie różnice wraz z odchyleniami standardowymi pomiędzy katalogowymi wartościami tłumienia dźwięku i średnimi wartościami rzeczywistej skuteczności akustycznej 34 wzorów nauszników przeciwhałasowych, zmierzonej w warunkach trzech hałasów testowych H, M o poziomie dźwięku A zmieniających się w zakresie $60 \div 110$ dB i hałasu L o poziomie $60 \div 100$ dB.

*
* *

W wyniku realizacji podjętego w CIOP-PIB zadania badawczego opracowano metodę badań właściwości akustycznych nauszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistych, na

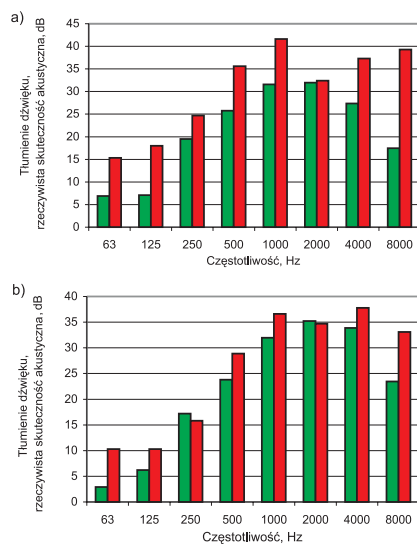


Rys. 5. Widma sygnałów testowych; a) hałas H, b) hałas M, c) hałas L

podstawie nowego parametru akustycznego nauszników – rzeczywistej skuteczności akustycznej, mierzonej z użyciem sztucznego torsu. Opracowaną metodę zweryfikowano w warunkach laboratoryjnych.

W warunkach laboratoryjnych, symulujących warunki rzeczywiste, przeprowadzono pomiary rzeczywistej skuteczności akustycznej 34 wzorów nauszników przeciwhałasowych. Pomiary wykonano w odniesieniu do trzech różnych sygnałów testowych, symulujących rzeczywiste hałasy przemysłowe, o ośmiu (lub dziesięciu) różnych poziomach dźwięku A.

Uzyskane różnice pomiędzy zmierzonymi wartościami rzeczywistej skuteczności akustycznej nauszników przeciwhałasowych i ich wartościami tłumienia dźwięku jednoznacznie wykazały, że właściwości ochronne nauszników prze-



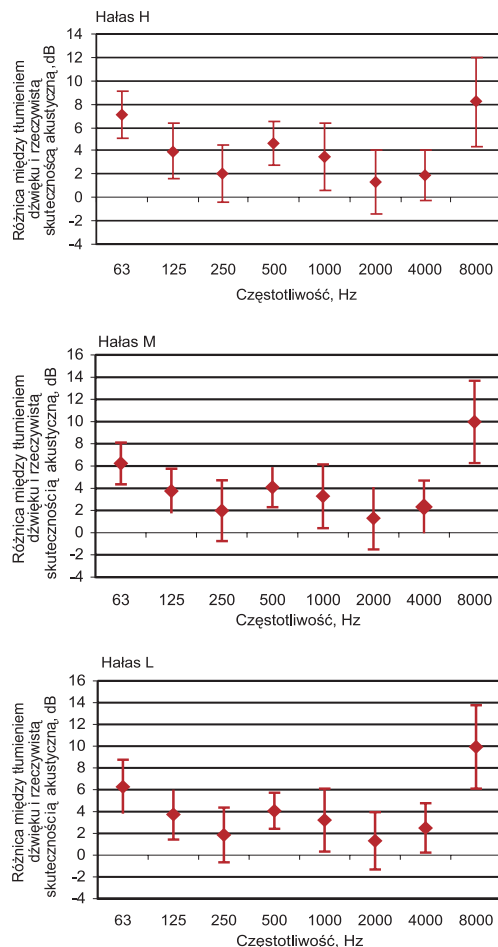
Rys. 6. Wyniki pomiarów rzeczywistej skuteczności akustycznej (kolor zielony) oraz wartości katalogowe tłumienia dźwięku wg PN-EN 24869-1 (kolor czerwony) dwóch wzorów nauszników przeciwhałasowych; a) próbka nr 15; b) próbka nr 26

ciwhałasowych w warunkach rzeczywistych są istotnie mniejsze aniżeli w warunkach laboratoryjnych. Największe różnice między wymienionymi wartościami – około 8 ÷ 10 dB obserwuje się w odniesieniu do pasma o częstotliwości środkowej 8 kHz, a najmniejsze – około 2 dB w odniesieniu do pasma o częstotliwości 250 Hz.

Opracowana metoda badań będzie służyć ilościowej ocenie właściwości ochronnych nauszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistych.

PIŚMIENNICTWO

[1] PN-EN 458 *Ochronniki sluchu. Zalecenia dotyczące doboru, użytkowania, konserwacji codziennej i okresowej. Dokument przewodni*
 [2] PN-EN 24869-2 *Akustyka. Ochronniki sluchu. Szacowanie efektywnych poziomów dźwięku A pod ochronnikiem sluchu*
 [3] PN-EN 24869-1 *Akustyka. Ochronniki sluchu. Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku*
 [4] Rood G. M. *The in-situ measurement of attenuation of hearing protectors by the use of miniature microphones*, in *Personal hearing pro-*



Rys. 7. Średnia różnica pomiędzy katalogowymi wartościami tłumienia dźwięku i zmierzonymi wartościami rzeczywistej skuteczności akustycznej 34 wzorów nauszników przeciwhałasowych, w odniesieniu do trzech różnych hałasów: H – wysokoczęstotliwościowego, M – średniczęstotliwościowego i L – niskoczęstotliwościowego

tection in industry. P.W. Alberti., Raven Press, New York 1982, s. 174-198
 [5] Kotarbińska E., Kozłowski E. *Opracowanie metody badań właściwości akustycznych nauszników przeciwhałasowych w warunkach rzeczywistego narażenia na hałas. Sprawozdanie CIOP, Warszawa 2002*
 [6] pr PN-EN 352-4 *Ochronniki sluchu. Wymagania bezpieczeństwa i badania – Część 4: Nauszniki przeciwhałasowe o regulowanym tłumieniu*
 [7] *Informator – Środki ochrony indywidualnej, INFOCHRON*, wersja 3.0, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa 2001