



dr inż. EMIL KOZŁOWSKI (ORCID: 0000-0003-4685-1145)

dr inż. RAFAŁ MŁYŃSKI (ORCID: 0000-0002-0500-0638)

inż. KRZYSZTOF ŁADA (ORCID: 0000-0002-9207-8897)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: emkoz@ciop.pl

DOI: 10.54215/BP.2024.10.21.Kozlowski

Parametry akustyczne ochronników słuchu i metody ich pomiaru

Fot. fotoliza/Bigstockphoto



W artykule przedstawiono sposób wyznaczania podstawowego parametru ochronników słuchu, jakim jest tłumienie dźwięku, z wykorzystaniem metody opartej na czynnym udziale ludzi (metody subiektywnej). Opisano także metody obiektywne służące do pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu, zwłaszcza tłumienia wtrącenia, z zastosowaniem mikrofonu miniaturowego, umieszczonego w uchu osoby uczestniczącej w badaniach, lub testera akustycznego. Ponadto zaprezentowano wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikiem słuchu, przeprowadzonych z użyciem testera akustycznego odwzorowującego kształt anatomiczny ludzkiej głowy (w tym małżowin usznych), służącego standardowo do pomiarów parametrów akustycznych ochronników słuchu w sytuacji występowania hałasu impulsowego. Pomiary te wykonano w celu sprawdzenia możliwości wykorzystania tego testera do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego dźwięku pod ochronnikiem słuchu w przypadku hałasu ustalonego. Badania potwierdziły, że w przypadku hałasu ustalonego zastosowanie mikrofonów stanowiących standardowe wyposażenie testera, przeznaczonych do hałasu impulsowego, jest ograniczone jedynie do sygnału o względnie wysokim poziomie ciśnienia akustycznego. Rozwiązaniem bardziej odpowiednim w przypadku hałasu ustalonego jest zastosowanie mikrofonów będących opcjonalnym wyposażeniem testera akustycznego.

Słowa kluczowe: hałas, ochronniki słuchu, tłumienie dźwięku, tester akustyczny, poziom ciśnienia akustycznego

Acoustic parameters of hearing protectors and methods of their measurement

The article presents how the basic parameter of hearing protectors, i.e. sound attenuation, is determined using a method based on the active participation of people (subjective method). In addition, objective methods for measuring acoustic parameters of hearing protectors, such as insertion loss, based on the use of miniature microphones and acoustic test fixture are described. The results of measurements of sound pressure level under hearing protectors carried out using an acoustic test fixture reproducing anatomical shape of a human head (including concha and ear canal), used as a standard for measuring acoustic parameters of hearing protectors in impulse noise situations are also presented. These measurements were carried out to verify the possibility of using this acoustic test fixture, to measure the sound pressure level reaching under the hearing protectors in the case of continuous noise. The tests showed that in the case of measurements with microphones that are standard equipment of the acoustic test fixture, dedicated to impulse noise, the use of these microphones is limited to high-level continuous signals. Microphones that are optional equipment on the acoustic test fixture were a more suitable solution for the intended purpose.

Keywords: noise, hearing protectors, sound attenuation, acoustic test fixture, sound pressure level

Wstęp

Przebywanie w środowisku pracy, w którym występuje hałas, wiąże się z ryzykiem uszkodzenia słuchu. Uszkodzenie to może się objawiać ubytkiem słuchu lub szumami usznymi. Niestety, ubytek słuchu jest procesem nieodwracalnym, a utrata słuchu zazwyczaj rozwija się powoli w ciągu wielu lat ekspozycji na hałas. Zdarza się jednak, że hałas powoduje natychmiastowy ubytek słuchu – np. wtedy, gdy hałas ma charakter impulsowy i jego poziom jest względnie wysoki (powyżej 140 dB). W przypadku ubytku słuchu wywołanego przez hałas charakterystyczne jest to, że najwcześniej pojawia się przesunięcie progu słyszenia przy częstotliwościach 2, 3 i 4 kHz. Możliwą konsekwencją takiego rodzaju ubytku słuchu jest pogorszenie zrozumiałości mowy. Jednym z podstawowych sposobów ochrony pracowników przed negatywnym wpływem hałasu na narząd słuchu jest stosowanie środków ochrony indywidualnej słuchu, zwanych ochronnikami słuchu. Należy jednak pamiętać, że zanim pracownik otrzyma ochronnik słuchu, pracodawca powinien skorzystać z innych sposobów eliminowania lub ograniczania ryzyka wynikającego z narażenia na hałas – np. zastosować środki ochrony zbiorowej lub zmienić organizację pracy.

Ze względu na konstrukcję ochronniki słuchu dzieli się na nauszniki przeciwhałasowe, wkładki przeciwhałasowe oraz nauszniki przeciwhałasowe przymocowane do środków ochrony głowy i/lub twarzy. Niestety, ochronniki słuchu ograniczają wprawdzie niepożądany hałas, lecz jednocześnie wpływają na odbiór sygnałów użytecznych, np. mowy czy sygnałów ostrzegawczych. Zatem tam, gdzie ze względów bezpieczeństwa niezbędne jest słyszenie sygnałów użytecznych, standardowe ochronniki słuchu mogą być niewystarczające. W takich sytuacjach pracowników można wyposażyć w zaawansowane ochronniki słuchu, w których zastosowano układy elektroniczne. Najczęściej spotykanymi ochronnikami słuchu z układami elektronicznymi są ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem. Działają one w ten sposób, że dostarczany pod nie dźwięk jest częściowo wzmocniony przy użyciu toru audio. Tor ten składa się z mikrofonu umieszczonego na zewnątrz ochronnika słuchu oraz ze wzmacniacza i z głośnika, które znajdują się wewnątrz tego ochronnika. Wzmocnienie sygnału docierającego pod ochronnik słuchu zależy od poziomu ciśnienia akustycznego dźwięków obecnych na zewnątrz ochronnika. Jeżeli poziom ciśnienia akustycznego na zewnątrz ochronnika słuchu jest niski, to sygnał docierający pod ochronnik słuchu jest silniej wzmacniany niż w przypadku dźwięków o wyższym poziomie ciśnienia akustycznego. W rezultacie zmienia się tłumienie ochronnika słuchu, tj. wartości tłumienia są coraz większe wraz ze wzrostem poziomu ciśnienia akustycznego na zewnątrz ochronnika słuchu. Dzięki temu rozwiązaniu pracownik może lepiej odbierać mowę czy sygnał ostrzegawczy – zwłaszcza w warunkach hałasu o niskich wartościach poziomu ciśnienia akustycznego.

Obecnie w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym

(CIOP-PIB) opracowywane są wkładki przeciwhałasowe z funkcją regulowanego tłumienia, formowane indywidualnie dla użytkownika. Zaletą takich personalizowanych wkładek jest to, że są dopasowane do zewnętrznego przewodu słuchowego danej osoby, dzięki czemu nie ma problemu z ich prawidłowym umieszczaniem w uchu. Natomiast zastosowany we wkładkach układ elektroniczny, oprócz typowego układu regulacji wzmocnienia, będzie zawierał regulację tłumienia w poszczególnych oktaowych pasmach częstotliwości. Dostępne na rynku ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem są zazwyczaj wyposażone w prostą regulację wzmocnienia bez możliwości regulacji w pasmach częstotliwości.

Aby móc poprawnie dobrać ochronniki słuchu oraz sprawdzić, czy są one bezpieczne dla użytkownika (np. podczas badania typu UE na zgodność z zasadniczymi wymaganiami rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1]) lub jak tłumią hałas w warunkach rzeczywistych bądź laboratoryjnych, na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat opracowano metody pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu. Metody badań ochronników słuchu można podzielić na subiektywne (z czynnym udziałem osób) oraz obiektywne (z wykorzystaniem mikrofonów pomiarowych i towarzyszącego osprzętu).

Celem artykułu jest popularyzacja metod pomiaru właściwości ochronników słuchu, z różnicowaniem celu ich stosowania, tj. w zakresie doboru ochronników słuchu w przypadku hałasu ustalonego lub w obecności hałasu impulsowego oraz podczas oceny ochronników słuchu, takiej jak badania typu UE. W artykule przedstawiono podstawowe parametry akustyczne ochronników słuchu (takie jak tłumienie dźwięku i tłumienie wtrącenia) i metody ich pomiaru (metodę subiektywną oraz metody obiektywne z wykorzystaniem mikrofonów miniaturowych lub testera akustycznego). Ponadto w artykule przedstawiono badania sprawdzające możliwość wykorzystania testera akustycznego (służącego standardowo do pomiarów parametrów akustycznych ochronników słuchu w warunkach występowania hałasu impulsowego) do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego docierającego pod ochronnik słuchu w przypadku hałasu ustalonego, m.in. podczas projektowania nowych rozwiązań ochronników słuchu.

Metody pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu

Subiektywna metoda pomiaru tłumienia dźwięku

Tłumienie dźwięku jest podstawowym parametrem akustycznym ochronników słuchu, a jego wartości są wyznaczane podczas badania typu UE na zgodność z zasadniczymi wymaganiami rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1]. Pomiar tego parametru jest niezbędny podczas wspomnianego badania typu UE, jak również podczas przeprowadza-

nia doboru ochronników słuchu. Producent na podstawie wyników pomiarów otrzymanych podczas badania typu UE podaje w informacji dla użytkownika wartości średnie i odchylenia standardowe tłumienia dźwięku ochronnika słuchu, wartości APV tłumienia dźwięku (różnicę pomiędzy wartościami średnimi i odchyleniami standardowymi tłumienia dźwięku) wraz z powiązаныmi parametrami H , M , L i SNR , tj. odpowiednio z wartościami tłumienia wysoko-, średnio- i niskoczęstotliwościowego oraz z jednoliczbową oceną tłumienia [2]. Na podstawie wartości APV tłumienia dźwięku lub parametrów H , M , L i SNR oraz odpowiednich parametrów hałasu zmierzonych na stanowisku pracy można obliczyć, jaki będzie poziom dźwięku A pod ochronnikiem słuchu, i w dalszej kolejności dobrać do danej sytuacji te ochronniki słuchu, które będą odpowiednio chroniły narząd słuchu pracownika.

Pomiary tłumienia dźwięku przeprowadza się metodą REAT (ang. *real ear attenuation at threshold*), tj. na podstawie pomiaru progu słyszenia, wykonywanego w laboratorium zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 4869-1:2018-12 [3]. Ze względu na czynny udział osób w pomiarach metoda REAT jest metodą subiektywną. Pomiary tłumienia dźwięku przeprowadza się z udziałem 16 osób. Wyznacza się próg słyszenia osoby uczestniczącej w badaniu – z ochronnikiem słuchu i bez ochronnika słuchu. Algebraiczna różnica w decybelach pomiędzy zmierzonymi progami słyszenia jest tłumieniem dźwięku ochronnika słuchu. Sygnałem testowym, w obecności którego wyznacza się próg słyszenia, jest szum różowy filtrowany w pasmach 1/3-oktaowych o częstotliwościach środkowych pasm odległych o oktawę, w zakresie od 125 do 8000 Hz lub – opcjonalnie – od 63 do 8000 Hz. Pomiary tłumienia dźwięku przeprowadza się w specjalnej kabinie. Zarówno tor pomiarowy, jak i warunki panujące w kabinie służącej do badań ochronników słuchu powinny spełniać odpowiednie wymagania opisane w PN-EN ISO 4869-1:2018-12 [3].

Na fot. 1 przedstawiono badanie tłumienia dźwięku w kabinie do pomiarów parametrów akustycznych ochronników słuchu.



Fot. 1. Badanie tłumienia dźwięku w kabinie do pomiarów parametrów akustycznych ochronników słuchu

Photo 1. Sound attenuation test in hearing protection testing chamber

Obiektywna metoda pomiaru tłumienia wtrącenia z użyciem testera akustycznego

Drugim akustycznym parametrem ochronników słuchu, którego wartości są wyznaczone podczas badania typu UE na zgodność z zasadniczymi wymaganiami rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1], jest tłumienie wtrącenia. Ten parametr służy do oceny jakości produktu. Pomiar tłumienia wtrącenia przeprowadza się w laboratorium zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 4869-3:2009 [4] i w tym przypadku dotyczą one jedynie nauszników przeciwhałasowych. Metoda pomiaru tłumienia wtrącenia polega na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego sygnału testowego w określonym polu akustycznym za pomocą mikrofonu umieszczonego w testerze akustycznym, przy mikrofonie niezamkniętym i zamkniętym przez czasze tłumiące nausznika przeciwhałasowego. Tłumienie wtrącenia wyznacza się, obliczając algebraiczną różnicę (w decybelach) między zmierzonymi w obu sytuacjach wartościami poziomu ciśnienia akustycznego. Ze względu na zastosowanie w pomiarach testera akustycznego wyposażonego w mikrofon pomiarowy metoda pomiaru tłumienia wtrącenia zalicza się do obiektywnych metod pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu. Tester taki powinien być wykonany z materiału niemagnetycznego i mieć kształt walca o horyzontalnie zorientowanej osi. Wewnątrz testera powinien się znajdować mikrofon pomiarowy o osi pokrywającej się z osią walca testera. Tester akustyczny musi się charakteryzować odpowiednio wysoką izolacyjnością akustyczną. Przykładowy tester akustyczny, stosowany do pomiarów w CIOP-PIB, zaprezentowano na fot. 2. Pomiar tłumienia wtrącenia należy przeprowadzać w kabinie, w której panuje pole dyfuzyjne lub pole bieżącej fali płaskiej oraz jest zapewniony odpowiednio niski poziom tła akustycznego.



Fot. 2. Tester akustyczny służący do pomiaru tłumienia wtrącenia nauszników przeciwhałasowych według PN-EN ISO 4869-3:2009 [4]

Photo 2. Acoustic test fixture for measuring insertion loss of earmuffs according to PN-EN ISO 4869-3:2009 [4]

W CIOP-PIB opracowano metodę pomiaru tłumienia wtrącenia także w odniesieniu do wkładek przeciwhałasowych [5], bazującą na metodzie pomiaru tłumienia wtrącenia nauszników przeciwhałasowych określonej w normie PN-EN ISO 4869-3:2009 [4], oraz wykonano tester akustyczny, który jest specjalnie przeznaczony do badań tłumienia wtrącenia wkładek przeciwhałasowych. Przeprowadzone w CIOP-PIB badania wykazały, że opracowana metoda może być stosowana – podobnie jak w przypadku nauszników przeciwhałasowych – do weryfikacji jakości produkcji, w tym oceny jednorodności produkcji wkładek przeciwhałasowych.

Badania tłumienia wtrącenia są również podstawą oceny skuteczności ograniczania hałasu impulsowego przez wkładki oraz nauszniki przeciwhałasowe. W zakresie hałasu impulsowego badania są przeprowadzane według zaleceń zawartych w normie ANSI/ASA S12.42-2010 [6].

Obiektywna metoda MIRE z wykorzystaniem mikrofonów miniaturowych

Kolejną metodą służącą do charakteryzowania właściwości ochronników słuchu jest metoda MIRE (ang. *microphone in a real ear*), w której wykorzystuje się mikrofony miniaturowe umieszczone w uszach. Metoda ta jest odpowiednia zarówno dla pomiaru tłumienia wtrącenia, jak i dla pomiarów parametrów hałasu w przypadku używania ochronników słuchu. Można ją stosować w badaniach pasywnych ochronników słuchu (niewyposażonych w układy elektroniczne), jak również nauszników przeciwhałasowych wyposażonych w układy elektroniczne.

Metoda MIRE polega na tym, że za pomocą mikrofonu o odpowiednio małych wymiarach, umieszczonego u wejścia zewnętrznego przewodu słuchowego lub wewnątrz zewnętrznego przewodu słuchowego, przeprowadza się pomiar poziomu ciśnienia akustycznego sygnału testowego lub hałasu. Następnie otrzymane wyniki koryguje się tak, aby można było się odnieść do warunków pola swobodnego lub pola dyfuzyjnego [7]. Metoda MIRE jest często stosowana podczas pomiarów parametrów hałasu generowanego przez źródła znajdujące się blisko ucha, np. zestawy słuchawkowe stosowane na infoliniach [8]. Metodę tę zaadaptowano też do pomiarów parametrów akustycznych – np. nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem, nauszników przeciwhałasowych z aktywną redukcją hałasu, nauszników przeciwhałasowych do odtwarzania audycji rozrywkowych – które również są przeprowadzane podczas badania typu UE na zgodność z zasadniczymi wymaganiami rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [1]. Za pomocą metody MIRE przeprowadza się np. pomiar poziomów granicznych H , M , L , które określają poziom ciśnienia akustycznego sygnału pod czaszami nauszników przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem w sytuacji występowania różnych typów hałasu charakteryzującego się różnymi wartościami poziomu ciśnienia akustycznego [9]. Stosując technikę MIRE, można ponadto określić tłumie-



Fot. 3. Przykład umieszczenia mikrofonu miniaturowego w uchu osoby uczestniczącej w pomiarach parametrów akustycznych nauszników przeciwhałasowych

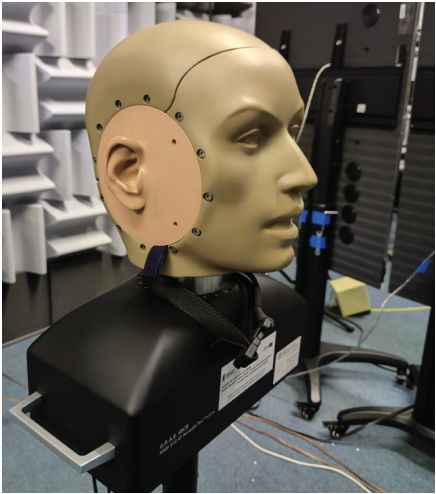
Photo 3. Example of placement of a miniature microphone in the ear of a subject participating in the measurement of acoustic parameters of noise protection ear muffs

nie w przypadku trybu aktywnego użytkowania nauszników przeciwhałasowych wyposażonych w aktywną redukcję hałasu [10], jak również maksymalną wartość poziomu ciśnienia akustycznego pod czaszami nauszników przeciwhałasowych do odtwarzania audycji rozrywkowych [11]. Przykład umieszczenia mikrofonu miniaturowego w uchu osoby uczestniczącej w pomiarach parametrów akustycznych nauszników przeciwhałasowych przedstawiono na fot. 3. Oprócz pomiarów przeprowadzanych podczas badania typu UE metodą MIRE stosuje się ponadto podczas badań tłumienia hałasu przez nauszniki przeciwhałasowe w warunkach rzeczywistych, tj. podczas ich używania [12].

Metoda MIRE jest rzadko wykorzystywana w badaniach wkładek przeciwhałasowych – ze względu na ich mały rozmiar i trudności z umieszczaniem mikrofonu w uchu w sąsiedztwie badanej wkładki. W tej sytuacji lepszym rozwiązaniem jest zdecydowanie się na metodę pomiaru z użyciem testera akustycznego. W ten sposób przeprowadzane są m.in. pomiary parametrów akustycznych wkładek przeciwhałasowych z układami elektronicznymi w ramach badania typu UE. Analogicznie do tych przypadków pomiarów nauszników przeciwhałasowych, w których stosuje się metodę MIRE, pomiary poziomów granicznych H , M , L [13] wkładek przeciwhałasowych oraz poziomu ciśnienia akustycznego pod wkładkami przeciwhałasowymi do odtwarzania audycji rozrywkowych [14] przeprowadza się z wykorzystaniem testera akustycznego.

Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego hałasu pod ochronnikiem słuchu z wykorzystaniem testera akustycznego

Przeprowadzona analiza metod pomiaru właściwości akustycznych ochronników słuchu pokazała, że jednym z popularnych sposobów

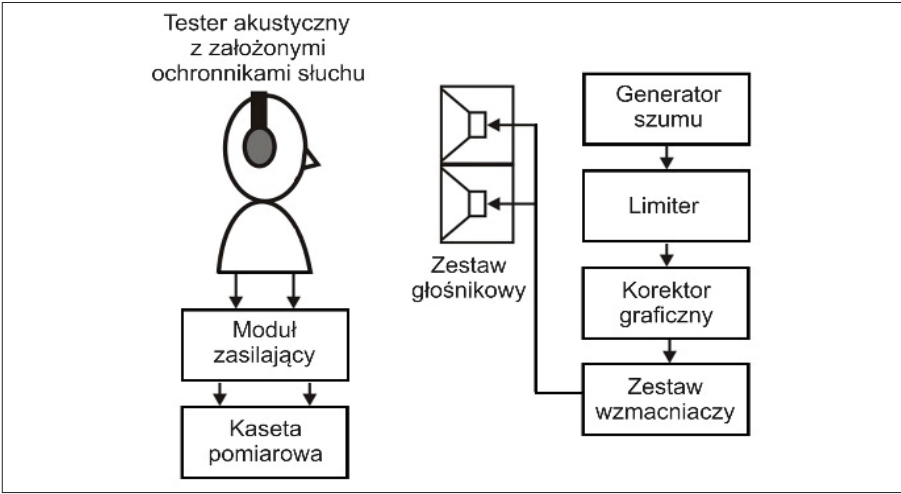


Fot. 4. Tester akustyczny służący do pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu
Photo 4. Acoustic test fixture for measuring the acoustic parameters of hearing

zbierania danych pomiarowych, zwłaszcza w przypadku wkładek przeciwhałasowych, jest wykorzystanie testera akustycznego. W ramach realizowanej obecnie w CIOP-PIB pracy badawczej, dotyczącej opracowania formowanych indywidualnie wkładek przeciwhałasowych z regulowanym tłumieniem, tester akustyczny zwerifikowano pod kątem możliwości zastosowania go w pomiarach poziomu ciśnienia akustycznego hałasu docierającego pod wkładki przeciwhałasowe w sytuacji występowania hałasu ustalonego, charakteryzującego się różnymi wartościami poziomu dźwięku. Badanie w obecności takiego sygnału jest niezbędne do określenia, czy zastosowany w projektowanych wkładkach układ elektroniczny w odpowiedni sposób przenosi dźwięk pod te wkładki. Istotne jest zatem sprawdzenie, czy za pomocą testera akustycznego będzie można zmierzyć zarówno sygnały testowe charakteryzujące się wysokim poziomem ciśnienia akustycznego, np. w sytuacji, gdy wkładka przeciwhałasowa będzie pracować w trybie pasywnym, jak i sygnały charakteryzujące się niskim poziomem ciśnienia akustycznego, np. w sytuacji, gdy wkładka przeciwhałasowa będzie pracować w trybie regulowanego tłumienia.

Tester akustyczny zastosowany w realizowanych badaniach

Zastosowany tester akustyczny spełnia wymagania wspomnianej normy ANSI/ASA S12.42-2010 [6]. Spełnienie tych wymagań powoduje m.in., że tester musi być wyposażony w mikrofony służą-



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego stosowanego do badań poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu
Fig. 1. Diagram of measurement setup for measurements of the sound pressure level under hearing protectors

ce do pomiarów w obecności sygnału o względnie dużej wartości poziomu ciśnienia akustycznego (fot. 4). Podstawowym zastosowaniem tego rodzaju wyposażenia pomiarowego jest bowiem ocena ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu w celu ich prawidłowego doboru. Tester ten charakteryzuje się ponadto tym, że odwzorowuje kształty anatomiczne głowy i małżowin usznych oraz jest wyposażony w symulatory uszu kształtujące charakterystyki częstotliwościowe testera na wzór charakterystyk obserwowanych u osób. Pomiar ochronników słuchu nie wymaga odwzorowania całego ciała człowieka. W celu odwzorowania parametrów ludzkiej skóry odpowiednie powierzchnie testera wykonane są z silikonowej gumy o twardości 55 (Shore OO) [15]. Utrzymanie temperatury powierzchni testera, stykających się z elementami ochronników słuchu, na poziomie 37°C jest zapewnione przez układ podgrzewania, w który wyposażono tester. Dzięki temu w trakcie pomiaru uzyskuje się warunki możliwie najbardziej zbliżone do warunków użytkowania ochronników słuchu przez osobę.

Mikrofony pomiarowe i sygnał testowy

Pomiary, w trakcie których sprawdzano możliwość zastosowania testera akustycznego do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego docierającego pod ochronniki słuchu w przypadku hałasu ustalonego, charakteryzującego się szerokim zakresem wartości poziomu ciśnienia

akustycznego, zostały przeprowadzone z dwoma różnymi parami mikrofonów pomiarowych, które umieszczano w symulatorach uszu tego testera. Były to wymienione wcześniej mikrofony, stanowiące standardowe wyposażenie testera akustycznego, charakteryzujące się zakresem dynamiki od 50 do 172 dB, oraz mikrofony pomiarowe stosowane jako wyposażenie opcjonalne, które charakteryzowały się zakresem dynamiki od 27 do 164 dB. W przedstawionych badaniach w torze akwizycji danych wykorzystano ponadto kasety pomiarową, służącą do rejestrowania sygnału docierającego pod ochronniki słuchu, oraz moduł zasilający mikrofony i wzmacniający sygnał pomiarowy.

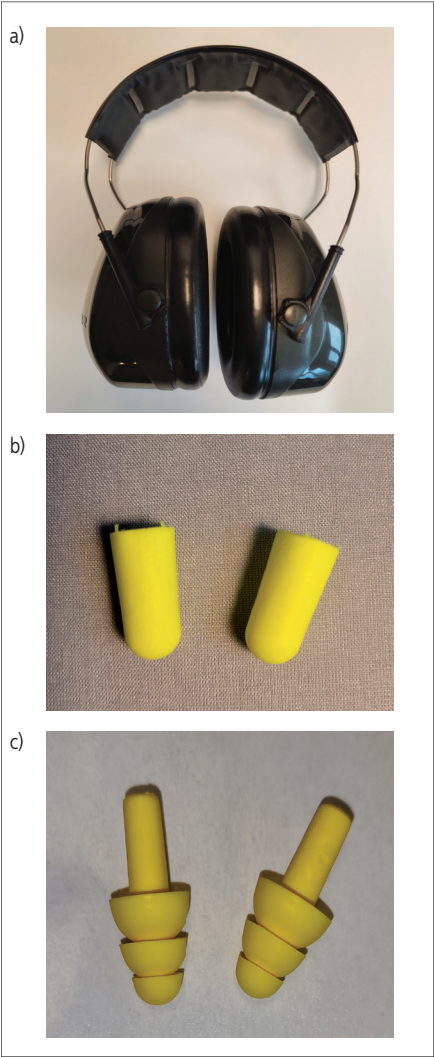
Sygnałem testowym był szum różowy, wzmacniany przez zestaw wzmacniaczy mocy i podawany na zestaw głośnikowy za pośrednictwem korektora graficznego oraz limitera. Poziom dźwięku A sygnału testowego był zmieniany z krokiem 5 dB w zakresie od 65 do 110 dB. Schemat stosowanego układu pomiarowego, identyczny dla wariantu z mikrofonami standardowymi i opcjonalnymi, przedstawiono na rys. 1.

Badane ochronniki słuchu

Badania poziomu ciśnienia akustycznego przeprowadzono w odniesieniu do trzech popularnych, używanych w przemyśle modeli ochronników słuchu, w tym: wkładek przeciwhałasowych kształtowanych przez użytkownika (piankowych), wkładek przeciwhałasowych kształtowanych przez producenta (skrzydełkowych) oraz nauszników

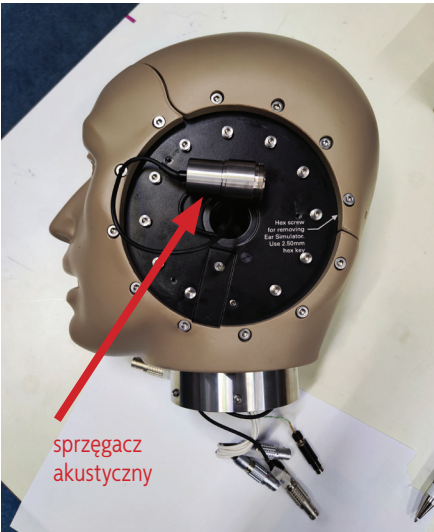
Tabela. Nominalne wartości tłumienia dźwięku APV badanych ochronników słuchu, podane przez producentów w informacjach dla użytkownika
Table. Provided by manufacturers in the information for the user nominal APV sound attenuation values of the tested hearing protectors

Ochronnik słuchu	APV [dB] przy częstotliwości:						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Nauszniki przeciwhałasowe	13,0	17,7	30,2	37,2	34,0	30,4	37,9
Piankowe wkładki przeciwhałasowe	24,3	29,4	34,5	35,6	30,9	39,0	42,8
Skrzydełkowe wkładki przeciwhałasowe	22,0	22,7	26,9	27,3	32,8	38,3	38,4



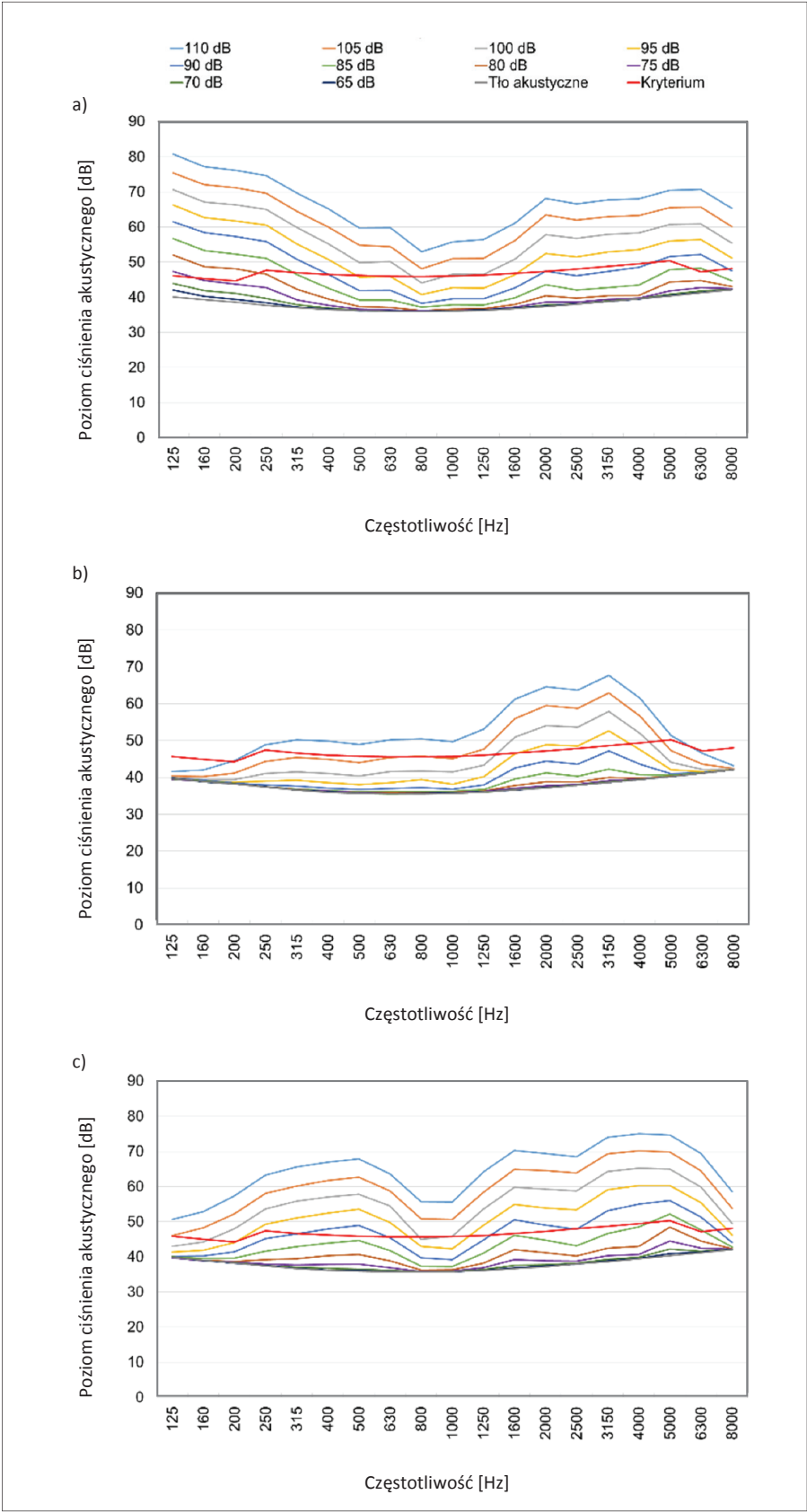
Fot. 5. Badane ochronniki słuchu: a) nauszники przeciwhałasowe, b) piankowe wkładki przeciwhałasowe, c) skrzydełkowe wkładki przeciwhałasowe

Photo 5. Tested hearing protectors: a) earmuffs, b) foam earplug, c) winged earplug



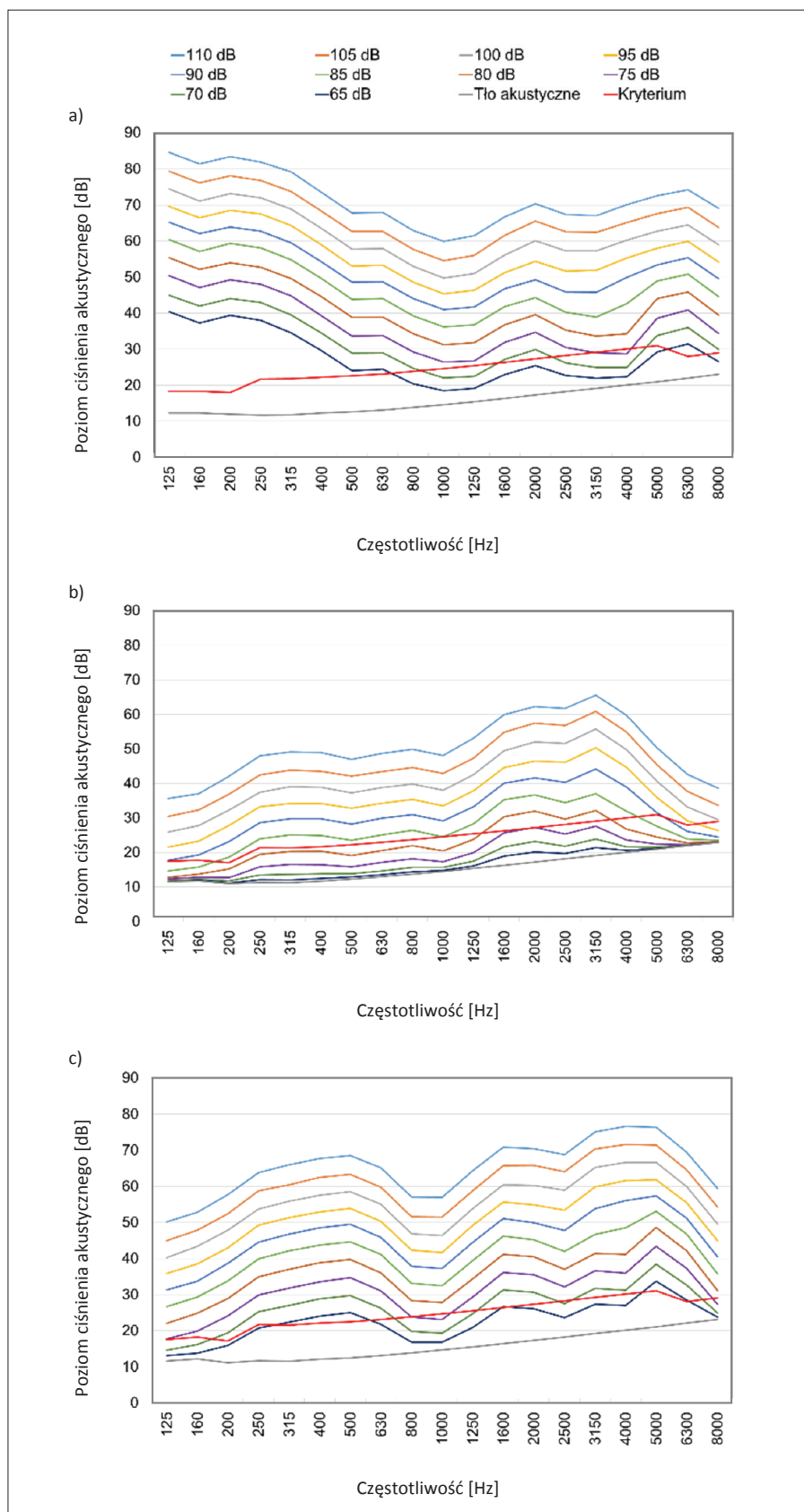
Fot. 6. Tester akustyczny z widocznym wyjętym sprzęgaczem akustycznym

Photo 6. Acoustic test fixture with visible acoustic coupler removed



Rys. 2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu zmierzone w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości. Pomiar z użyciem mikrofonów o zakresie dynamiki od 50 do 172 dB, będących standardowym wyposażeniem testera akustycznego: a) nauszники przeciwhałasowe, b) piankowe wkładki przeciwhałasowe, c) skrzydełkowe wkładki przeciwhałasowe. Parametrem jest równoważny poziom dźwięku A sygnału testowego

Fig. 2. Sound pressure level under hearing protectors measured in 1/3 octave frequency bands. Measurement with microphone with dynamic range from 50 to 172 dB, that are standard equipment of the acoustic test fixture: a) earmuffs, b) foam earplugs, c) winged earplugs. The parameter is the A-weighted equivalent sound pressure level of the test signal



Rys. 3. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu zmierzone w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości. Pomiar z użyciem mikrofonów o zakresie dynamiki od 27 do 164 dB, będących opcjonalnym wyposażeniem testera akustycznego: a) nauszники przeciwhałasowe, b) piankowe wkładki przeciwhałasowe, c) skrzydełkowe wkładki przeciwhałasowe. Parametrem jest równoważny poziom dźwięku A sygnału testowego

Fig. 3. Sound pressure level values under hearing protectors measured in 1/3 octave frequency bands. Measurement with microphone with dynamic range from 27 to 164 dB, that are optional equipment of the acoustic test fixture: a) earmuffs, b) foam earplugs, c) winged earplugs. The parameter is the A-weighted equivalent sound pressure level of the test signal

przeciwhałasowych ze sprężyną dociskową przystosowaną do umieszczenia na szczycie głowy. Ochronniki te poza oczywistymi różnicami w konstrukcji różnią się też nominalnym tłumieniem dźwięku. W tabeli na s. 17 przedstawiono nominalne wartości tłumienia dźwięku APV (ang. *assumed protection value*) badanych ochronników słuchu, pokazanych na fot. 5.

Sposób przeprowadzania badań

Ochronniki słuchu były kolejno badane z użyciem testera akustycznego. Po założeniu ochronników słuchu generowano sygnał testowy – po dziesięć razy w przypadku każdego ochronnika słuchu – o równoważnym poziomie dźwięku A od 65 do 110 dB, zmienianym z krokiem 5 dB. Sygnał docierający pod ochronniki słuchu rejestrowano w prawym i lewym uchu testera. Pomiar powtarzano w ten sam sposób w przypadku każdego rodzaju badanego ochronnika słuchu. W pierwszej kolejności przeprowadzono pomiary za pomocą mikrofonów pomiarowych stanowiących standardowe wyposażenie testera akustycznego, charakteryzujące się wyższym zakresem pomiarowym, a następnie wymieniono je na mikrofony będące wyposażeniem opcjonalnym, charakteryzujące się niższym zakresem pomiarowym. Wymiana polegała na wymontowaniu sprzęgacza akustycznego zawierającego mikrofon i przedwzmacniacz mikrofonowy oraz na zamontowaniu drugiego takiego zestawu z mikrofonem o innych parametrach (fot. 6). Po tej czynności powtórzono pomiary tych samych ochronników słuchu przy identycznie generowanych sygnałach testowych. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości w zakresie od 125 do 8000 Hz, czyli w zakresie, który jest standardowo rozpatrywany w przypadku badań tłumienia dźwięku ochronników słuchu, otrzymano na podstawie analizy zarejestrowanego przebiegu czasowego dźwięku.

Wyniki badań

Na rys. 2 przedstawiono wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3-oktawowych sygnału testowego, zmierzonego pod badanymi ochronnikami słuchu za pomocą testera akustycznego z zamontowanymi mikrofonami pomiarowymi będącymi jego standardowym wyposażeniem, a na rys. 3 – analogiczne wyniki pomiaru za pomocą testera akustycznego wyposażonego w mikrofony pomiarowe będące jego opcjonalnym wyposażeniem. Na rysunkach zaznaczono linię wyznaczającą poziom tła akustycznego¹ oraz linię kryterium określającego, które wyniki (tj. przewyższające wartości kryterium) można uznać za prawidłowe. Wartości kryterium wyznaczone na podstawie poziomu

¹ Zgodnie z zapisami normy PN-EN ISO 3745:2012 hałas tła mogą tworzyć: dźwięki powietrzne, hałas pochodzący od drgań konstrukcji i szum elektryczny aparatury pomiarowej. W przypadku przedstawionych badań hałasem tła jest szum elektryczny aparatury pomiarowej.

tła akustycznego, dodając 10 dB – w zakresie częstotliwości 250–5000 Hz, 6 dB – w przypadku częstotliwości 125, 160, 6300 i 8000 Hz. Jest to kryterium podane w normie PN-EN ISO 3745:2012 [16], odnoszące się do minimalnej wymaganej różnicy pomiędzy tłem akustycznym i hałasem generowanym przez badane urządzenie. W przypadku obu omawianych rysunków wykreślono średnie wartości poziomu ciśnienia akustycznego, zmierzone w obu uszach testera akustycznego.

Na podstawie wyników pomiaru przedstawionych na rys. 2 można uznać, że pomiar poziomu ciśnienia akustycznego pod nausznikami przeciwhałasowymi i skrzydełkowymi wkładkami przeciwhałasowymi jest prawidłowy – biorąc pod uwagę całe analizowane pasmo częstotliwości – jedynie wtedy, gdy równoważny poziom dźwięku A generowanego sygnału testowego wynosi przynajmniej 105 dB. W przypadku pozostałych sygnałów testowych poziom ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu przynajmniej w jednym paśmie częstotliwości przyjmuje wartości poniżej ustalonego kryterium. W przypadku piankowych wkładek przeciwhałasowych, ze względu na ich duże tłumienie, wartość poziomu dźwięku A generowanego sygnału testowego, nawet przy ustawieniu największego wzmocnienia w torze odtwarzania dźwięku, jest za mała, aby uznać wynik pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego pod tymi wkładkami przeciwhałasowymi za prawidłowy. W tym przypadku zmierzony poziom tła akustycznego jest zbyt wysoki. Przedstawione wyniki pomiarów przeprowadzonych za pomocą testera z zamontowanymi mikrofonami pomiarowymi, stanowiącymi jego standardowe wyposażenie, świadczą zatem o ograniczonej możliwości stosowania tak wyposażonego testera w badaniach ochronników słuchu w sytuacji, gdy sygnałem testowym jest hałas ustalony. Takie pomiary musiałyby się bowiem ograniczać jedynie do ochronników słuchu charakteryzujących się małymi wartościami tłumienia dźwięku i do przypadku, gdy generowany sygnał testowy jest odpowiednio wzmocniony.

Sytuacja była inna, gdy w testerze akustycznym umieszczono mikrofony pomiarowe o zakresie pomiarowym 27–164 dB. Wyniki przedstawione na rys. 3 wskazują, że w przypadku nauszników przeciwhałasowych i skrzydełkowych wkładek przeciwhałasowych wystarczy, że równoważny poziom dźwięku A sygnału testowego wynosi 80 dB, aby uznać wynik pomiaru za prawidłowy. W tym przypadku można więc generować sygnały testowe o poziomie niższym o 15 dB niż w przypadku zastosowania mikrofonów stanowiących standardowe wyposażenie testera akustycznego. Natomiast w przypadku piankowych wkładek przeciwhałasowych i zastosowania mikrofonów będących opcjonalnym wyposażeniem testera akustycznego możliwe jest przeprowadzenie prawidłowych pomiarów, gdy równoważny poziom dźwięku A sygnału testowego wynosi co najmniej 100 dB.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono różne metody badań ochronników słuchu, mające różny zakres zastosowania. Między innymi zwrócono uwagę, że w przypadku hałasu ustalonego do doboru ochronników słuchu niezbędna jest znajomość wartości tłumienia dźwięku wyznaczonego z udziałem ludzi. Natomiast w przypadku pomiarowej oceny ograniczania hałasu impulsowego przez ochronniki słuchu w trakcie ich doboru wykorzystuje się wyniki pomiarów przeprowadzonych z użyciem testera akustycznego. Tłumienie dźwięku oraz tłumienie wtrącenia są parametrami pasywnych ochronników słuchu, wyznaczanymi również w ramach badania typu UE na zgodność z zasadniczymi wymaganiami rozporządzenia 2016/425 [1].

Zaprezentowano także metody pomiaru parametrów akustycznych ochronników słuchu wyposażonych w układy elektroniczne, w przypadku których pomiar tłumienia dźwięku i tłumienia wtrącenia jest niewystarczający. W takiej sytuacji trzeba użyć metod pomiarowych wykorzystujących mikrofon umieszczony w uchu uczestnika badań lub zastosować tester akustyczny.

Ponadto przedstawiono badania przeprowadzone w celu zweryfikowania możliwości zastosowania testera akustycznego do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu w sytuacji, gdy sygnałem testowym jest hałas ustalony. Badania te wykazały, że w przypadku pomiarów z użyciem mikrofonów będących standardowym wyposażeniem testera, tj. o zakresie dynamiki od 50 do 172 dB, przeznaczonych do hałasu impulsowego, zastosowanie tych mikrofonów jest ograniczone. Do tego rodzaju pomiarów lepszym rozwiązaniem okazały się mikrofony o zakresie dynamiki od 27 do 164 dB. Umożliwiły one wykonanie pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego pod ochronnikami słuchu w szerszym zakresie pomiarowym, obejmującym sygnały testowe charakteryzujące się względnie niższymi wartościami równoważnego poziomu dźwięku A. Na tej podstawie można stwierdzić, że tester akustyczny z umieszczonymi w nim mikrofonami pomiarowymi, stanowiącymi jego opcjonalne wyposażenie, jest odpowiednim przyrządem do przeprowadzania wszelkich badań akustycznych wkładek przeciwhałasowych, gdzie sygnałem testowym jest hałas ustalony. Przykładowym obszarem zastosowania przetestowanego zestawu wyposażenia jest testowanie nowo projektowanych wkładek przeciwhałasowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG (Dz.Urz. UE L 89/686 z 9 marca 2016 r.).
- [2] PN-EN ISO 4869-2:2018-12. Akustyka – Ochronniki słuchu – Część 2: Szacowanie efektywnych poziomów dźwięku A pod ochronnikami słuchu.

- [3] PN-EN ISO 4869-1:2018-12. Akustyka – Ochronniki słuchu – Część 1: Metoda subiektywna pomiaru tłumienia dźwięku.

- [4] PN-EN ISO 4869-3:2009. Akustyka – Ochronniki słuchu – Część 3: Pomiary tłumienia wtrącenia nauszników przeciwhałasowych wykonane z użyciem testera akustycznego.

- [5] KOTARBIŃSKA E., KOZŁOWSKI E., MŁYŃSKI R. Objective tests and assessment of acoustic properties of ear-plugs. Archives of Acoustics. 2006, 31(4S): 275–280.

- [6] ANSI/ASA S12.42-2010. Methods for the measurement of insertion loss of hearing protection devices in continuous or impulsive noise using microphone-in-real-ear or acoustic test fixture procedures.

- [7] PN-EN ISO 11904-1:2008. Akustyka – Wyznaczanie emisji dźwięku od źródeł umieszczonych bezpośrednio przy uchu – Część 1: Technika z zastosowaniem mikrofonu umieszczonego w uchu (technika MIRE).

- [8] SMAGOWSKA B. Noise at workplaces in the call center. Archives of Acoustics. 2010, 35(2): 253–264.

- [9] PN-EN 352-4:2021-04. Ochronniki słuchu – Wymagania bezpieczeństwa – Część 4: Nauszniki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem.

- [10] PN-EN 352-5:2021-05. Ochronniki słuchu – Wymagania bezpieczeństwa – Część 5: Nauszniki przeciwhałasowe z aktywną redukcją hałasu.

- [11] PN-EN 352-8:2021-04. Ochronniki słuchu – Wymagania bezpieczeństwa – Część 8: Nauszniki przeciwhałasowe do odtwarzania audycji rozrywkowych.

- [12] KOTARBIŃSKA E., KOZŁOWSKI E. Measurement of effective noise exposure of workers wearing ear-muffs. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2009, 15(2): 135–142.

- [13] PN-EN 352-7:2021-04. Ochronniki słuchu – Wymagania bezpieczeństwa – Część 7: Wkładki przeciwhałasowe z regulowanym tłumieniem.

- [14] PN-EN 352-10:2021-04. Ochronniki słuchu – Wymagania bezpieczeństwa – Część 10: Wkładki przeciwhałasowe do odtwarzania audycji rozrywkowych.

- [15] ASTM D2240-15(2021). Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness.

- [16] PN-EN ISO 3745:2012. Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej i poziomów energii akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metody dokładne w komorach bezechowych i w komorach bezechowych z odbijającą podłogą.

Opracowano na podstawie wyników VI etapu programu wieloletniego pn. „Rządowy Program Poprawy Bezpieczeństwa i Warunków Pracy” (projekt nr I.PN.08 pt. „Opracowanie wkładek przeciwhałasowych indywidualnie formowanych dla użytkownika z mikroprocesorowym układem regulowanego tłumienia”), finansowanego w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.