

*Krzysztof PIETRZAK
Pracownia Akustyki i Drgań Mechanicznych
Okręgowy Urząd Miar w Łodzi*

METODA WZORCOWANIA AUDIOMETRÓW TONOWYCH

W artykule przedstawiono metodę wzorcowania audiometrów tonowych stosowaną w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi. Z szeregu pomiarów wykonywanych podczas wzorcowania audiometrów tonowych w artykule zaprezentowane zostały metody stosowane przy wyznaczaniu błędów torów akustycznych dla przewodnictwa powietrznego. Omówiono również zagadnienie związane z siłą docisku słuchawek.

CALIBRATION METHOD OF TONE AUDIOMETERS

In the paper the calibration method of tone audiometers applied in the Regional Office of Measures in Lodz has been presented. Out of the series of measurements carried out while calibrating of the tone audiometers, the methods applied in setting of the acoustic tracks errors for air conductivity, have been shown. The issue connected with the headphones pressure force has been discussed as well.

1. WSTĘP

Kontrola metrologiczna audiometrów tonowych w pracowni akustyki i drgań mechanicznych OUM przeprowadzana jest od 1992 r. W pierwszych latach formą kontroli metrologicznej była legalizacja audiometrów. Od 1 maja 2004 r. nastąpiły zmiany prawne, związane z wejściem w życie ustawy o wyrobach medycznych, w wyniku czego, przestała obowiązywać konieczność przeprowadzania legalizacji audiometrów. W efekcie zaistniałych zmian, w pracowni akustyki wprowadzona została usługa wzorcowania audiometrów tonowych, a w roku 2006 nasza pracownia uzyskała akredytację udzieloną przez PCA. Metoda wzorcowania audiometrów tonowych oparta jest o normę PN-EN 60645-1 „Elektroakustyka, Urządzenia audiologiczne, Część 1: Audiometry tonowe”.

2. AUDIOMETR TONOWY

Audiometr jest urządzeniem przeznaczonym do oceny słuchu ludzkiego, w szczególności do oceny słyszenia tonów o poziomach progowych lub wyższych. Wykorzystywany przez lekarzy (badania oraz orzecznictwo lekarskie) oraz osoby zajmujące się doбором aparatów słuchowych. Oprócz oceny słuchu poprzez badanie progów słyszenia, możliwa jest również diagnozowanie miejsca wystąpienia zaburzeń słuchu, za pomocą dostępnych w audiometrze specjalistycznych funkcji pomiarowych. Audiometr składa się z jednostki centralnej wyposażonej w generatory sygnałów sinusoidalnych oraz sygnałów maskujących (w większości wzorowanych audiometrów częstotliwość generowanych sygnałów jest zakresu od 125 Hz do 8000 Hz), regulatora poziomu tych sygnałów, wyłączniki sygnału, urządzenia wskazujące. W skład wyposażenia audiometru wchodzi słuchawki przewodnictwa powietrznego oraz kostnego, przycisk odpowiedzi pacjenta.

3. WYZNACZANIE BŁĘDÓW POZIOMU SŁYSZENIA

3.1. Stanowisko pomiarowe.

Stanowisko pomiarowe do pomiarów poziomów ciśnienia akustycznego, wytwarzanego przez słuchawki powietrzne, składa się z symulatora ucha (sprzęgacza akustycznego), wewnątrz którego

zamontowany jest mikrofon pomiarowy pełniącym funkcję wzorca. Sygnał odpowiadający ciśnieniu akustycznemu wytworzonymu przez słuchawkę w komorze sprzęgacza, za pośrednictwem mikrofonu pomiarowego i przedwzmacniacza mikrofonowego przekazywany jest na wejście mikrofonowe analizatora akustycznego, z którego odczytywany jest poziom ciśnienia akustycznego. Poziom ciśnienia akustycznego definiowany jest jako wartość skuteczna ciśnienia akustycznego p w (Pa) odniesiona do wartości ciśnienia akustycznego odniesienia ($p_0=0,00002$ Pa):

$$L = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right). \quad (1)$$

Spójność pomiarowa zachowana jest poprzez zastosowanie kalibratora akustycznego, oraz mikrofonu pomiarowego, zainstalowanego w sprzęgaczu akustycznym.



Rys.1. Sprzęgacz akustyczny typu 4152 oraz stanowisko pomiarowe
Fig. 1. Acoustic coupler type 4152 and the measurement stand

3.2. Kalibracja stanowiska pomiarowego

Kalibracja stanowiska pomiarowego wykonywana jest każdorazowo po wzorcowaniu elementów stanowiska. Tor pomiarowy kalibrowany jest za pomocą kalibratora akustycznego-wzorca roboczego. Wyznaczana jest poprawka kalibracyjna, która wprowadzana jest do pamięci analizatora.

$$\Delta L_p = L_m - L_{p,0} \quad (2)$$

gdzie: L_m - odpowiedź miernika na sygnał z kalibratora akustycznego, w dB, $L_{p,0}$ - poziom ciśnienia akustycznego kalibratora, w dB, w odniesieniu do $20 \mu\text{Pa}$, podany w świadectwie wzorcowania kalibratora. Niepewność wyznaczenia poprawki kalibracyjnej

$$u^2(\Delta L_p) = u^2(L_r) + u^2(L_{p,0}) + u^2(L_d) + u^2(L_{s,0}) + u^2(L_{t,0}) + u^2(L_{H,0}) \quad (3)$$

gdzie: $u(L_r)$ – niepewność związana z rozdzielczością analizatora, $u(L_{p,0})$ – niepewność wyznaczenia poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora, $u(L_d)$ – dryft poziomu kalibratora, pozostałe składniki niepewności związane są z wpływem warunków środowiskowych (ciśnienia statycznego, temperatury oraz wilgotności) na poziom ciśnienia akustycznego kalibratora. Podczas codziennej pracy przed przystąpieniem do wzorcowania audiometru, stan kalibracji jest sprawdzany poprzez badanie odpowiedzi toru pomiarowego na sygnał z kalibratora akustycznego.

3.3. Wyznaczanie błędów poziomu słyszenia dla tonu prostego

Na sprzęgacz mechaniczny nakładana jest słuchawka powietrzna dociskana od góry kapeluszem sprzęgacza z siłą docisku równą 5 N. Z audiometru do słuchawek doprowadzany jest sygnał odpowiadający poziomowi ciśnienia akustycznego 70 dB lub poziomowi maksymalnemu, jeżeli jest on niższy od 70 dB. W analizatorze widma odczytywany jest poziom ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych, odpowiadających ustawionym w audiometrze częstotliwościom. Wzorcowania dokonuje się dla częstotliwości audiometru z zakresu od 125 Hz do 8000 Hz. Błąd obliczany jest z zależności:

$$\Delta L_{p,i} = L_{p,i} - L_{o,i} - L + \delta L_{mic,i} \quad (4)$$

gdzie: $\Delta L_{p,i}$ - błąd poziomu słyszenia, w dB, $L_{p,i}$ - zmierzony poziom ciśnienia akustycznego analizatorem widma, w dB, L - poziom ustawiony w audiometrze (70 dB, lub max.) w dB, $\delta L_{mic,i}$ - poprawka charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu, w dB (wartości podane w świadectwie wzorcowania mikrofonu), $L_{o,i}$ - równoważny normalny progowy poziom ciśnienia akustycznego (zero audiometryczne), i - kolejna częstotliwość z zakresu pomiarowego. Zero audiometryczne jest wartością stałą dla danego typu słuchawek przy zastosowaniu określonego symulatora ucha (sprzęgacza akustycznego lub sztucznego ucha). Jest to wartość poziomu ciśnienia akustycznego wytworzonego w danym symulatorze ucha, dla określonej częstotliwości sygnału, wyrażonego w dB, odpowiadająca progowi słyszenia, wyznaczana na podstawie badań osób otologicznie normalnych obu płci, pomiędzy 18 a 30 rokiem życia. Wartości równoważnych normalnych progowych poziomów ciśnienia akustycznego podane są w normach ISO 389-1 i ISO 389-2.

3.4. Wyznaczanie błędów poziomu słyszenia dla szumu maskującego wąskopasmowego

Błędy poziomu szumów wąskopasmowych wyznacza się w takim samym układzie jak poziom tonu prostego. Do sprzęgacza akustycznego doprowadzany jest sygnał szumu maskującego wąskopasmowego o poziomie 70 dB lub poziomie maksymalnym, jeżeli jest on niższy od 70 dB. Błąd obliczany jest z zależności:

$$\Delta L_{p,i} = L_{p,i} - L_{o,i} - L - L_{os,i} + \delta L_{mic,i} \quad (5)$$

gdzie: $\Delta L_{p,i}$ - błąd poziomu słyszenia, w dB, $L_{p,i}$ - zmierzony poziom ciśnienia akustycznego analizatorem widma, w dB, L - poziom ustawiony w audiometrze (70 dB, lub max.) w dB, $\delta L_{mic,i}$ - poprawka charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu, w dB (wartości podane w świadectwie wzorcowania mikrofonu), $L_{o,i}$ - równoważny normalny progowy poziom ciśnienia akustycznego (zero audiometryczne), i - kolejna częstotliwość z zakresu pomiarowego $L_{os,i}$ - poziom odniesienia dla szumu maskującego wąskopasmowego. Poszczególne składniki zależności (5) są analogiczne jak przy wyznaczaniu błędów poziomu tonu prostego (4), za wyjątkiem wartości poziomu odniesienia charakterystycznej dla szumu. Jest to wartość poziomu, w dB, którą należy dodać do wartości zera radiometrycznego, aby uzyskać poziom skutecznego maskowania równy zero. Wartości odniesienia dotyczące poziomów skutecznego maskowania zawarte są w normie ISO 389-4.

3.5. Składniki niepewności związane z wyznaczeniem błędów poziomu słyszenia tonu i szumu

Niepewności rozszerzone wyznaczonych błędów poziomów słyszenia oszacowane są następująco

$$u^2(\Delta L_{p,i}) = u^2(L_r) + u^2(\Delta L_p) + u^2(L_{sp}) + u^2(L_{mic,i}) + u^2(L_{char,i}) + u^2(L_{lin}) + u^2(L_{zakr}) + u^2(L_{r,o}) \quad (6)$$

gdzie: $u(L_r)$ - niepewność związana z rozdzielczością odczytu poziomym z analizatora; $u(\Delta L_p)$ - niepewnością wyznaczenia poprawki kalibracyjnej; $u(L_{sp})$, $u(\Delta L_{mic,i})$ – niepewności związane z wzorcowaniem (w GUM) symulatora ucha oraz mikrofonu; $u(L_{char,i})$, $u(L_{lin})$, $u(L_{zakr})$ – niepewności uwzględniające wyniki wzorcowania analizatora widma (w OUM7) w zakresie wyznaczenia błędów charakterystyki częstotliwościowej, błędów liniowości zakresu pomiarowego, błędów zakresu pomiarowego, $u(L_{r,o})$ – rozrzut wyników pomiaru.

4. SIŁA DOCISKU PAŁĄKÓW SŁUCHAWEK

Pałaki słuchawek powietrznych powinny charakteryzować się odpowiednią siłą docisku. Normy określają wartości siły docisku pałaków słuchawek powietrznych równą $(4,5 \pm 0,5)$ N. Wymóg powyższy dotyczy słuchawek nausznych bez obudowy, jednak w praktyce stosowane są również słuchawki umieszczone w osłonach. W takim przypadku producent podaje wartości docisku pałaków słuchawek w zastosowanej osłonie. Przy wyznaczaniu siły docisku pałaków słuchawek powietrznych i pałaka słuchawki kostnej stosujemy siłomierz skonstruowany w naszej pracowni przez p. Tomasza Urbańskiego. Konstrukcja miernika siły docisku pałaków zapewnia odpowiednią szerokość rozsunęcia słuchawek (145 mm) w poziomie oraz wysokość pałaka, tj. odległość w pionie pomiędzy wierzchołkiem pałaka a prostą łączącą środki słuchawek (129 mm), zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 60645-1:2004. Urządzenie umożliwia dokonanie pomiaru siły docisku w zakresie od 1,5 N do 20,0 N.



Rys.2. Miernik siły docisku słuchawek
Fig. 2. Headphones pressure force meter

5. PODSUMOWANIE

Zmiany, które nastąpiły w 2004 r., znoszące obowiązek legalizacji audiometrów tonowych spowodowały, że ilość audiometrów zgłaszanych do wzorcowania znacznie zmniejszyła się w porównaniu z liczbą audiometrów legalizowanych przed wprowadzeniem zmian. Jednak u części Klientów istnieje świadomość regularnej kontroli swojej aparatury. Producenci audiometrów w instrukcjach obsługi zalecają ich coroczną kontrolę, przede wszystkim ze względu na przetworniki (słuchawki), których parametry mogą się zmieniać w czasie (na skutek niepożądanych oddziaływań mechanicznych lub w wyniku samoistnego rozmagnesowania się magnesów słuchawek). W naszej pracowni mamy również możliwość regulacji poziomów tonów i szumów dla większości typów audiometrów, co jest dodatkowym atutem świadczonej przez nas usługi.

6. LITERATURA

1. Polska Norma PN-EN 60645-1:2004 Elektroakustyka, Urządzenia audiologiczne. Część 1: Audiometry tonowe.
2. Zarządzenie Prezesa GUM Nr 197 z dnia 29 grudnia 1995 r. w sprawie wprowadzenia przepisów metrologicznych o audiometrach tonu prostego.