

mgr inż. ALEKSANDRA MŁYŃSKA (ORCID: 0000-0003-4141-8422)

dr inż. DANUTA DOBROWOLSKA

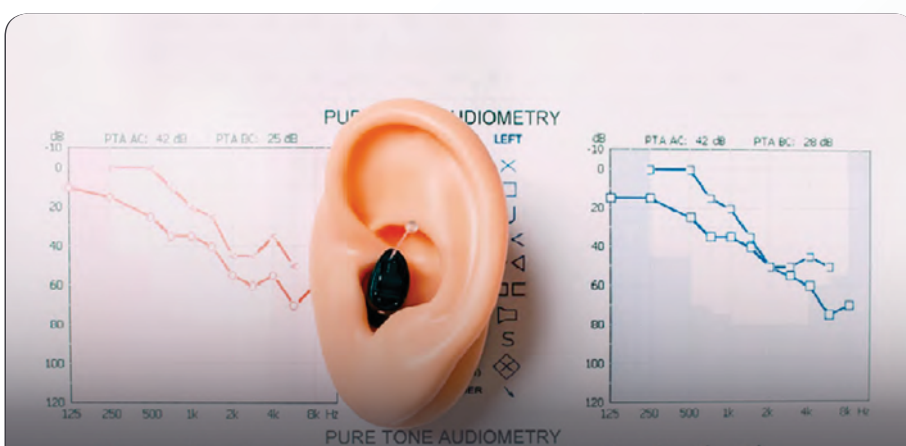
Laboratorium Akustyki i Drgań, Główny Urząd Miar

Kontakt: [aleksandra.mlynska@gum.gov.pl](mailto:aleksandra.mlynska@gum.gov.pl), [danuta.dobrowolska@gum.gov.pl](mailto:danuta.dobrowolska@gum.gov.pl)

DOI: 10.5604/01.3001.0013.1979

# Badania stanu symulatorów ucha używanych w Polsce i wpływu ich parametrów akustycznych na wyniki badań słuchu

Fot. dashkinobruj / Bigstockphoto



Symulatory ucha są używane do wzorcowania i regulacji urządzeń audiometrycznych. Ich parametry akustyczne mogą z czasem ulec zmianie, wpływając na wyniki badań i ocenę słuchu, dlatego symulatory ucha powinny być okresowo wzorcowane. Podczas wzorcowania wyznaczane są dwa parametry akustyczne: poziom skuteczności ciśnieniowej oraz poziom akustycznej impedancji przeniesienia układu symulatora ucha. Wymagania odnoszące się do tego drugiego parametru zostały określone w PN-EN 60318-1:2010. W artykule sprawdzono, jak zmiana poziomu akustycznej impedancji przeniesienia symulatora ucha wpływa na zmiany poziomu ciśnienia akustycznego wytwarzanego w symulatorze ucha przez słuchawkę audiometryczną. Zaprezentowano także wyniki pomiarów parametrów akustycznych symulatorów ucha używanych w Polsce. Przedstawiono wyniki pomiarów poziomu skuteczności i poziomu akustycznej impedancji przeniesienia, a także ocenę badanych symulatorów ucha w zakresie ich przydatności do kalibracji sprzętu audiometrycznego.

*Słowa kluczowe: symulator ucha, wzorcowanie, audiometr, pomiar*

## A measurement study of ear simulators being in use in Poland and the influence of their acoustic parameters on hearing tests

Ear simulators are used for traceable calibration and testing of audiometric equipment. They should be periodically calibrated because their parameters can change over time affecting the results of audiometric equipment calibration and, consequently, the results of hearing tests and assessment. During calibration two acoustic parameters are determined: the overall pressure sensitivity level of the ear simulator system and acoustical impedance of the ear simulator, which is additionally assessed in terms of compatibility with IEC 60318-1:2009. The sensitivity level is used for assuring traceability of measurements while acoustical impedance provides information on the condition of a given ear simulator. There are two objectives of this paper. The first is to show how a change in acoustical impedance influences the response of the ear simulator system to a signal from an audiometric earphone. The other is to present the results of a measurement study on acoustic parameters of ear simulators in use in Poland. The article presents the results of measurements of the sensitivity level and acoustical impedance of ear simulators, and the assessment of simulators in the term of their suitability for calibration of audiometric equipment.

*Keywords: ear simulator, calibration, audiometric equipment, measurements*

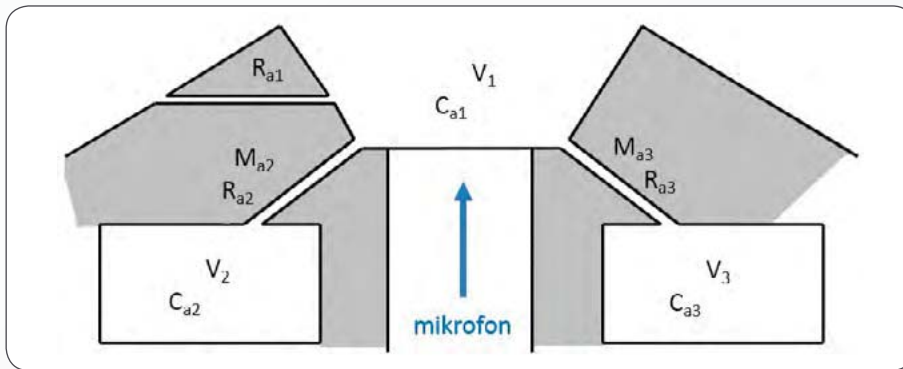
## Wstęp

Rzetelność i wiarygodność badania słuchu, wykonywanego za pomocą audiometrów tonowych, i porównywalność uzyskanych wyników zależą w istotny sposób od właściwości metrologicznych audiometrów i symulatorów ucha stosowanych do ich wzorcowania i regulacji. Audiometry tonowe są wprowadzane do użytkowania na terenie UE zgodnie z dyrektywą dotyczącą wyrobów medycznych [1] i muszą przejść badania potwierdzające ich zgodność z odpowiednią normą zharmonizowaną [2]. Audiometry będące w użytkowaniu powinny być okresowo wzorcowane i w razie potrzeby regulowane z wykorzystaniem symulatorów ucha [3].

Czynności te należy wykonywać z zapewnieniem spójności pomiarowej, a to oznacza, że symulatory ucha, których parametry akustyczne mogą ulec zmianie w czasie, wpływając na wyniki badań i ocenę słuchu, powinny być również okresowo wzorcowane [4]. Do wzorcowania audiometrów ze słuchawkami nausznymi stosuje się dwa rodzaje symulatorów: sprzęgacze akustyczne, dla których wymagania są określone w normie [5] oraz właściwe symulatory ucha (tzw. sztuczne uszy), dla których wymagania są określone w normie [6] i których dotyczy artykuł. Symulator ucha, przedstawiony schematycznie na rys. 1., składa się z trzech wnęk o ściśle określonych parametrach [6], sprzężonych akustycznie. Przy dolnej powierzchni wnęki głównej  $V_1$ , umieszczony jest mikrofon, wnęki dodatkowe  $V_2$  i  $V_3$  są sprzężone z wnęką główną za pomocą elementów o określonych masach i rezystancji akustycznej o średnicach odpowiednio ok. 0,1 mm oraz 0,45 mm.

Po badaniach przeprowadzonych m.in. w W. Brytanii [7] coraz powszechniej stosowane są tylko symulatory ucha, których impedancja akustyczna<sup>1</sup> jest przybliżeniem impedancji akustycznej przeciętnego ucha ludzkiego i w przeciwieństwie do sprzęgaczy, mogą być stosowane z różnymi modelami słuchawek nausznych, a także w poszerzonym zakresie częstotliwości. Wzorcowanie okresowe symulatorów ucha obejmuje [8]:

<sup>1</sup> Impedancja akustyczna - określony dla danej powierzchni iloraz ciśnienia akustycznego i prędkości objętościowej na tej powierzchni (jest to definicja z normy PN-EN 60318-1:2010)



Rys. 1. Schematyczny przekrój symulatora ucha [6]  
Fig 1. Schematic cross-section of the ear simulator [6]

– wyznaczenie poziomu skuteczności ciśnieniowej układu symulatora ucha (w dB w odniesieniu do 1 V/Pa), tj. poziomu skuteczności ciśnieniowej mikrofonu i współpracującego z nim układu pomiarowego,

– wyznaczenie poziomu akustycznej impedancji przeniesienia symulatora ucha (w dB w odniesieniu do 1 Pa·s·m<sup>-3</sup>), zwanej dalej impedancją akustyczną.

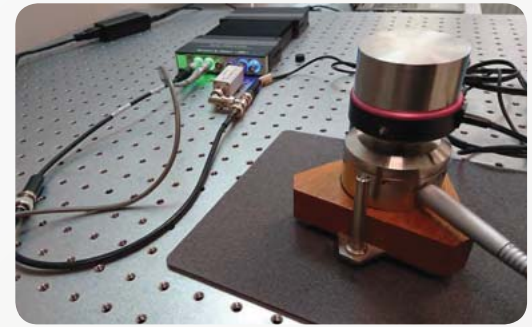
Wartości poziomu skuteczności układu symulatora ucha są bezpośrednio uwzględniane przy wyznaczaniu błędów poziomu słyszenia w torze przewodnictwa powietrznego audiometrów i stanowią powiązanie uzyskanych wyników z wzorcem państwowym ciśnienia akustycznego [2]. Poziom impedancji akustycznej świadczy o stanie symulatora ucha (np. o niedrożności elementów sprzęgających wnęki wskutek zanieczyszczeń) i jego przydatności do wzorcowania audiometrów, przy czym jego wartość zależy też od wartości poziomu skuteczności układu symulatora ucha.

Artykuł przedstawia kolejny etap realizacji projektu „Modernizacja i rozbudowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie audiometrii” prowadzonego w Głównym Urzędzie Miar (GUM) od 2018 r. W pierwszym etapie opracowano metodykę pomiaru skuteczności układu symulatora ucha oraz impedancji akustycznej symulatora ucha, a wyniki przedstawiono w innym artykule [8].

Można określić dwa cele prezentowanego artykułu: sprawdzenie, jak zmiana impedancji akustycznej symulatora ucha wpływa na odpowiedź symulatora ucha na sygnał ze słuchawki audiometrycznej oraz zaprezentowanie wyników badań parametrów akustycznych 10 egzemplarzy symulatorów ucha używanych obecnie w Polsce przez różne instytucje, wyprodukowanych w różnych latach. Podczas badań symulatorów ucha wyznaczano ich poziomy skuteczności i poziom impedancji akustycznej oraz przeprowadzano ocenę pod kątem zgodności z normą [6]. Dokonano także analizy wpływu tych parametrów na wartość ciśnienia akustycznego sygnałów wytwarzanych przez słuchawkę audiometryczną w sprzężonym z nią symulatorze ucha, co przekłada się na rzetelność wzorcowania i regulacji audiometrów wykonywanych z wykorzystaniem symulatorów ucha.

### Wpływ impedancji akustycznej symulatora ucha na jego odpowiedź na sygnał ze słuchawki audiometrycznej

Badania wpływu impedancji akustycznej na rzetelność wzorcowania audiometrów przeprowadzono za pomocą symulatora ucha Brüel & Kjær typ 4153, którego producent deklaruje jego zgodność z wymaganiami normy [6], wyposażonego w mikrofon Brüel & Kjær typ 4192 i przedwzmacniacz

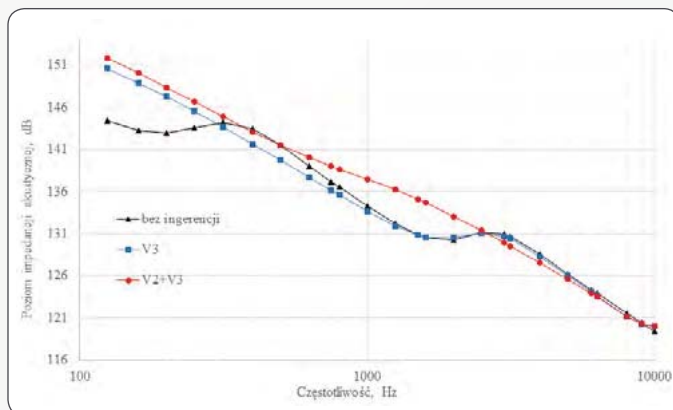


Fot. 1. Układ do wyznaczenia odpowiedzi symulatora ucha na sygnał ze słuchawki audiometrycznej

Photo 1. A setup for determination of the ear simulator response to the signal from the audiometric earphone

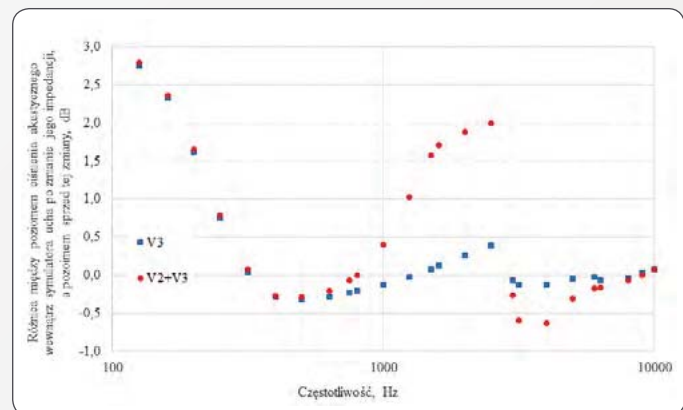
mikrofonowy Brüel & Kjær typ 2669. Badania przeprowadzono w układzie składającym się z analizatora Brüel & Kjær PULSE typ 3160-A-042 z wbudowanym generatorem oraz słuchawki nausznej Beyerdynamic typ DT 48 określonej w punkcie 4.2 normy [9].

Impedancję akustyczną symulatora ucha zmieniano sztucznie poprzez zamykanie otworów prowadzących do dwóch wnek bocznych symulatora ucha [6]: w pierwszej kolejności do większej wneki, a następnie do obu wnek. Po każdej zmianie wyznaczano poziom impedancji akustycznej symulatora ucha oraz poziom ciśnienia akustycznego wytwarzany wewnątrz symulatora przez audiometryczną słuchawkę nauszną. Słuchawka w czasie pomiarów była sprzężona z symulatorem z użyciem siły docisku 4,5 N, wywieranej przez umieszczony na niej obciążnik o masie 460 g (fot. 1.). Wartość napięcia sygnału sinusoidalnego doprowadzanego do słuchawki z generatora była monitorowana i utrzymywana na stałym poziomie 1,4 mV. Wartość tę dobrano w ten sposób, by poziom ciśnienia akustycznego wewnątrz symulatora ucha wynosił 75 dB przy częstotliwości sygnału równej 1 kHz. Wyniki pomiarów impedancji akustycznej przedstawiono na rys. 2., natomiast na rys. 3. wpływ zmiany impedancji akustycznej na odpowiedź symulatora ucha na sygnał ze słuchawki audiometrycznej, wyrażony jako różnica między poziomem ciśnienia akustycz-



Rys. 2. Zmiana poziomu impedancji akustycznej symulatora ucha powodowana niedrożnością otworów prowadzących do jego wnek bocznych [6]: V3 – zamknięte otwory prowadzące do większej wneki bocznej, V2+V3 – zamknięte otwory prowadzące do obu wnek bocznych

Fig. 2. Change of acoustic impedance level due to the blockage of the holes leading to side cavities [6]: V3 – blocked holes leading to the larger cavity, V2+V3 – blocked holes leading to both cavities



Rys. 3. Różnica między poziomem ciśnienia akustycznego wewnątrz symulatora ucha po zmianie jego impedancji spowodowanej niedrożnością otworów prowadzących do większej wneki bocznej (V3) oraz obu wnek bocznych (V2+V3) i poziomem sprzed tej zmiany

Fig. 3. A difference between sound pressure level inside the ear simulator after a change of acoustic impedance level due to the blockage of the holes leading to the larger cavity (V3) and to both cavities (V2+V3), and the level before the change





Fot. 2. Wyznaczanie poziomu skuteczności układu symulatora ucha – sposób łączenia symulatora ucha ze sprzęgaczem aktywnym  
Photo 2. Determination of the sensitivity level of ear simulator system – method of coupling an ear simulator with an active coupler

nego wewnątrz symulatora po zmianie impedancji i poziomem sprzed tej zmiany.

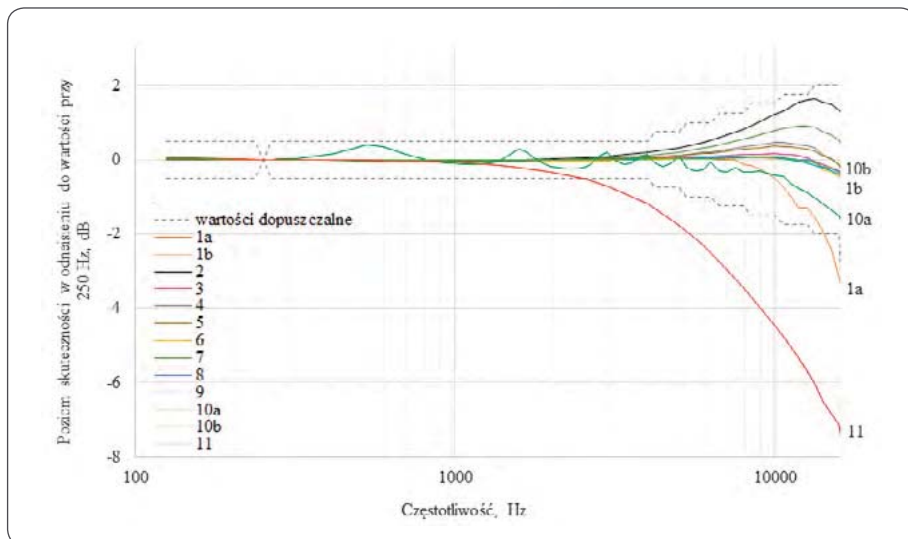
Wyniki badania potwierdziły zauważalny wpływ niedrożności otworów prowadzących do wnęk bocznych na zmianę impedancji akustycznej symulatora ucha. Jednocześnie zauważyć można, że zmiana poziomu impedancji akustycznej skutkuje zmianami mierzonego poziomu ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez słuchawkę audiometryczną przyłożoną do symulatora ucha.

W przeprowadzonym eksperymencie, podczas którego sztucznie zmieniano impedancję akustyczną symulatora ucha, różnice mierzonych wartości poziomu ciśnienia akustycznego osiągają 2,8 dB. Zmiana impedancji wpływa więc na rzetelność wzorcowania ucha i w konsekwencji na wiarygodność badania słuchu. Należy podkreślić, że w warunkach rzeczywistych niedrożność otworów wnęk bocznych symulatora ucha może powstać naturalnie wskutek ich zanieczyszczenia.

## Wyniki badania parametrów akustycznych symulatorów ucha stosowanych w Polsce

### Poziom skuteczności układu symulatora ucha

Poziom skuteczności badanych układów symulatorów ucha wyznaczano metodą porównawczą w warunkach ciśnieniowych z mikrofonem odniesienia klasy LS2 [10] z wykorzystaniem sprzęgacza aktywnego, w sposób opisany w pracy [8]. Pomiar przeprowadzano w zakresie częstotliwości od 125 Hz do 10 kHz. Sposób łączenia symulatora ucha ze sprzęgaczem aktywnym i mikrofonem odniesienia przedstawiono na fot. 2. Elementem układu symulatora ucha wpływającym istotnie na jego skuteczność jest mikrofon, który zgodnie z normą [6] powinien być mikrofonem klasy WS2P, przeznaczonym do stosowania w warunkach ciśnieniowych.



Rys. 4. Wartości poziomu skuteczności badanych układów symulatorów ucha znormalizowane względem wartości przy częstotliwości 250 Hz

Fig. 4. Sensitivity level values of the tested ear simulator systems related to the value at 250 Hz

Badane symulatory ucha były wyposażone we właściwe mikrofony, wyprodukowane w różnych okresach: od lat 70. po współczesne. Jeden symulator ucha był dostarczony dodatkowo z mikrofonem pola swobodnego klasy WS2F. Dodatkowo mikrofon stwarzał okazję do analizy skutków użycia niewłaściwego rodzaju mikrofonu w symulatorze ucha. W związku z tym, że niektóre egzemplarze symulatora ucha były wyposażone w przestarzałe przedwzmacniacze, niekompatybilne ze stosowaną obecnie w GUM aparaturą pomiarową, do pomiarów stosowano przedwzmacniacz będący własnością GUM.

Wyznaczanie poziomu skuteczności układu symulatora ucha jest istotne z dwóch powodów. Po pierwsze, wyznaczone względne wartości poziomu skuteczności, znormalizowane względem wartości przy częstotliwości 250 Hz, są bezpośrednio uwzględniane podczas wzorcowania i regulacji audiometrów przy pomocy zestawu symulatora ucha. Poprawność użytych wartości ma decydujący wpływ na ustawianie poziomu w regulowanym audiometrze. Po drugie, wyznaczenie bezwzględnego poziomu skuteczności umożliwia sprawdzenie stanu mikrofonu będącego elementem układu symulatora ucha. Należy pamiętać, że charakterystyka mikrofonu może zmieniać się znacząco z czasem, ale mogą na nią mieć wpływ również inne czynniki, takie jak warunki użytkowania, przechowywania, a także na przykład upadek mikrofonu – nawet z bardzo małej wysokości. Norma dotycząca symulatorów ucha [6] nie określa wymagań odnośnie skuteczności układu symulatora ucha, stwierdza natomiast, że używany w układzie symulatora ucha mikrofon musi spełniać wymagania dla mikrofonów klasy WS2P, określone w [11].

W tabeli przedstawiono wyniki pomiarów poziomu skuteczności układów symulatorów ucha przy częstotliwości 250 Hz, a na rys. 4. względne charakterystyki częstotliwościowe tych układów, czyli wartości poziomu skuteczności układów symulatorów ucha w badanym zakresie częstotliwości, znormalizowane względem wartości przy częstotliwości 250 Hz. Dodatkowo na rys. 4. zaznaczono granice względnej charakterystyki częstotliwościowej mikrofonów klasy WS2P, określone w [11].

Przebieg charakterystyk częstotliwościowych większości badanych układów symulatorów ucha nie budzi wątpliwości, z wyjątkiem dwóch przypadków (na rys. 4.: pomarańczowa linia – ozn. 1a i zielona linia – ozn. 10a) wskazujących najprawdopodobniej na niewłaściwy stan mikrofonów. Mikrofony te nie były następnie stosowane do przeprowadzania dalszych badań. W takiej sytuacji stosowano właściwy mikrofon będący na wyposażeniu GUM, z którym ponownie wyznaczono poziom skuteczności układu (ozn. w tabeli i na rys. 4. – 1b i 10b) i układy symulatora ucha w takiej konfiguracji były wykorzystywane do dalszych badań. Przebieg charakterystyki układu symulatora ucha wyposażonego w mikrofon pola swobodnego (na rys. 4. czerwona linia – ozn. 11) wskazuje na znaczące ograniczenie pasma częstotliwościowego i potwierdza niepoprawność stosowania takiego mikrofonu do pomiarów z symulatorem ucha.

### Poziom akustycznej impedancji przeniesienia

Poziom akustycznej impedancji przeniesienia symulatorów ucha wyznaczono zgodnie z metodą zaproponowaną w załączniku C normy [6] w sposób opisany szczegółowo w pracy [8]. Po-

Tabela. Wartości poziomu skuteczności układów symulatorów ucha przy częstotliwości 250 Hz

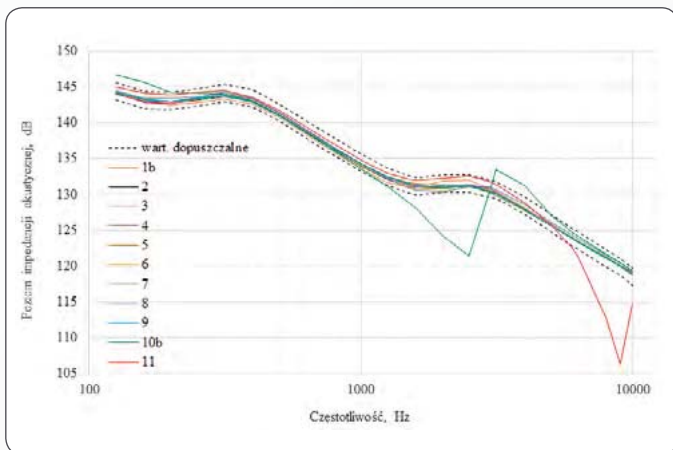
Table. Sensitivity level values of ear simulator systems at frequency of 250 Hz

| Nr badanego układu symulatora ucha  | 1a      | 1b     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10a      | 10b    | 11        |
|-------------------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|-----------|
| Poziom skuteczności, dB wzgl. 1V/Pa | -35,22* | -39,31 | -39,62 | -38,57 | -39,29 | -37,03 | -37,75 | -39,29 | -39,27 | -39,34 | -38,93** | -39,30 | -25,44*** |

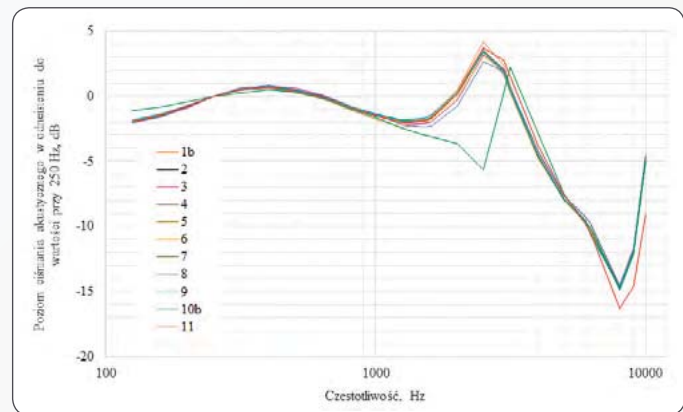
\*wartość wskazująca na uszkodzenie mikrofonu

\*\*wyznaczona wartość średnia poziomu skuteczności jest obciążona dużą niepewnością typu A ze względu na niestabilność krótkoterminową mikrofonu (rozstęp wyników: 0,36 dB),

\*\*\*wartość skuteczności wynika z rodzaju zastosowanego mikrofonu (mikrofon pola swobodnego o wartości nominalnej skuteczności 50 mV/Pa)



Rys. 5. Wartości poziomu impedancji akustycznej badanych symulatorów ucha  
Fig. 5. Acoustic impedance level values of the tested ear simulators



Rys. 6. Wartości względne poziomu ciśnienia akustycznego wewnątrz symulatorów ucha w odniesieniu do wartości przy 250 Hz

Fig. 6. Relative values of sound pressure level inside the tested ear simulators related to the value at 250 Hz

miary przeprowadzono w zakresie częstotliwości od 125 Hz do 10 kHz. Symulatory ucha wyposażone były w mikrofony klasy WS2P dostarczone przez użytkowników, z wyjątkiem dwóch przypadków, opisanych wcześniej, gdy mikrofon o nieprawidłowej skuteczności zastąpiono mikrofonem będącym na wyposażeniu GUM [11]. Dodatkowo w przypadku jednego z symulatorów ucha dostarczonego z mikrofonem zarówno klasy WS2P (ciśnieniowym), jak też z mikrofonem klasy WS2F (pola swobodnego) wykonano pomiary dla każdej z konfiguracji.

Wyniki badania impedancji symulatorów ucha stosowanych w Polsce przedstawiono na wykresie (rys. 5.), dodatkowo czarnymi, przerywanymi liniami zaznaczono wartości dopuszczalnego odchylenia poziomu określone w normie [6], pomniejszone o wartość rozszerzonej niepewności pomiaru. Z satysfakcją należy stwierdzić, że większość dostarczonych układów symulatorów ucha, wyposażonych we właściwy mikrofon, spełnia wymagania określone w normie [6]. Zgodnie z przewidywaniami impedancja symulatora wyposażonego w mikrofon pola swobodnego nie jest zgodna z wymaganiami w zakresie większych częstotliwości (na rys. 5. czerwona linia – ozn. 11) i mikrofon taki nie powinien być stosowany z symulatorem ucha. Należy podkreślić, że poziom impedancji tego samego egzemplarza symulatora ucha z zainstalowanym mikrofonem ciśnieniowym był prawidłowy. Wśród dostarczonych do badań symulatorów ucha tylko jeden zdecydowanie nie spełniał wymagań określonych dla impedancji akustycznej (na rys. 5. zielona linia – ozn. 10b). Był to najstarszy egzemplarz symulatora ucha, wyprodukowany w latach 60., prawdopodobnie silnie zanieczyszczony.

#### Wpływ parametrów akustycznych symulatorów ucha stosowanych w Polsce na rzetelność wzorcowania audiometrów

Kolejny etap badań symulatorów ucha dotyczył wyznaczenia ich odpowiedzi na sygnał ze słuchawki audiometrycznej. Pomiary przeprowadzono w układzie przedstawionym na fot. 1., w sposób opisany wcześniej. Poziom ciśnienia akustycznego wytworzonego przez słuchawkę audiometryczną wewnątrz symulatora ucha był korygowany (przy poszczególnych częstotliwościach pomiarowych) zgodnie z wyznaczonymi wcześniej wartościami poziomu skuteczności badanych układów symulatorów. Wyniki pomiarów, znormalizowane względem wartości przy częstotliwości 250 Hz, przedstawiono na rys. 6.

Wyniki badania odpowiedzi symulatorów ucha na sygnał ze słuchawki audiometrycznej potwierdziły wpływ impedancji akustycznej na poziom ciśnienia akustycznego wewnątrz symulatorów ucha. W przypadku symulatora ucha, którego impedancja akustyczna przy niektórych częstotliwościach różniła się znacznie od wartości dopuszczalnych, zaobserwować można podobną tendencję w wartościach zmierzonego poziomu ciśnienia akustycznego (rys. 5. i rys. 6. – zielona linia, ozn. 10b). Maksymalna różnica poziomu ciśnienia akustycznego zmierzonego w symulatorze o impedancji zgodnej z normą i w symulatorze o impedancji akustycznej znacznie odbiegającej od wymagań tej normy (przy takim samym pobudzeniu akustycznym) wynosiła 9 dB przy częstotliwości 2,5 kHz [6].

Należy podkreślić, że takie różnice, w rejestrowanym za pomocą różnych symulatorów ucha poziomie ciśnienia akustycznego, wiążą się z występowaniem różnic w ustawianych podczas regulacji audiometrów poziomach, a tym samym wpływają na rzetelność wzorcowania audiometrów. Oznacza to, że stosowanie symulatora o niewłaściwych wartościach impedancji akustycznej do wzorcowania i regulacji poziomów słyszenia audiometrów prowadzi do błędów, a w konsekwencji do nierzetelnych badań słuchu.

#### Podsumowanie

Symulatory ucha są podstawowymi przyrządami stosowanymi do wzorcowania i regulacji aparatury audiometrycznej. W artykule pokazano, że parametry akustyczne symulatorów ucha mają znaczący wpływ na rzetelność tych czynności. Wykazano, że znajomość przebiegu skuteczności układu symulatora ucha pozwala zdiagnozować uszkodzenie mikrofonu i jest warunkiem koniecznym nie tylko prawidłowej regulacji i oceny audiometru, ale też zapewnienia spójności pomiarowej.

Udowodniono ponadto, że impedancja akustyczna symulatora ucha wpływa na jego odpowiedź na sygnał akustyczny ze słuchawki audiometrycznej. Zaprezentowane wyniki badań skuteczności układów symulatorów ucha używanych w Polsce pokazują, że niektóre egzemplarze wymagają wymiany mikrofonów. Wyniki badań impedancji akustycznej świadczą natomiast o tym, że w większości przypadków symulatory ucha spełniają wymagania określone w normie [6]. Sy-

mulator ucha, którego wartości poziomu impedancji akustycznej przekraczają wartości dopuszczalne, wymaga być może przeczyszczenia otworów wnęć w serwisie producenta.

Przedstawione wyniki pomiarów potwierdzają konieczność regularnego wzorcowania symulatorów ucha i oceny zgodności ich impedancji akustycznych z wymaganiami normy, bo tylko takie podejście może zapewnić rzetelną ocenę właściwości audiometrów, porównywalność uzyskiwanych wyników badań słuchu i zmniejszyć do minimum ryzyko błędnej oceny słuchu.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa Rady 93/42/EWG z dnia 14 czerwca 1993 r. dotycząca wyrobów medycznych.
- [2] PN-EN 60645-1:2017-12: Elektroakustyka – Urządzenia audiometryczne – Część 1: Urządzenia do audiometrii tonowej i audiometrii słownej.
- [3] DOBROWOLSKA, D. Calibration of audiometers – formal requirement or reasonable necessity. Proc. of 15th International Conference on Noise Control. Książ, Poland, 2010. CIOPIB 2010.
- [4] Przewodnik PKN-ISO/IEC Guide 99:2010 – Międzynarodowy słownik metrologii. Pojęcia podstawowe i ogólne terminy z nimi związane (VIM).
- [5] PN-EN 60318-3:2015-06: Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 3: Sprzęgacz akustyczny przeznaczony do wzorcowania słuchawek nausznych stosowanych w audiometrii.
- [6] PN-EN 60318-1:2010: Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 1: Symulator ucha przeznaczony do pomiaru słuchawek nausznych i wokółusznych.
- [7] SHERWOOD, T., BARHAM, R. A review of the relative technical and practical merits of the IEC reference coupler and artificial ear and their future role in pure-tone audiometry. NPL REPORT DQL-AC-004, July 2004.
- [8] MŁYŃSKA, A., DOBROWOLSKA, D. Acoustic Parameters of IEC 60318-1 Ear Simulators: A Comparison of Measurement Methods Joint Conference – Acoustics, Ustka, Poland, 2018. doi: 10.1109/ACOUSTICS.2018.8502398
- [9] PN-EN ISO 389-1:2018-04: Akustyka – Zero odniesienia do wzorcowania aparatury audiometrycznej – Część 1: Równoważne normalne progowe poziomy ciśnienia akustycznego określone dla sygnałów tonowych i słuchawek nausznych.
- [10] PN-EN 61094-1:2003: Mikrofony pomiarowe – Część 1: Wymagania dla laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych.
- [11] PN-EN 61094-4:2000: Mikrofony pomiarowe – Wymagania dla roboczych mikrofonów wzorcowych.