

mgr inż. ALEKSANDRA MŁYŃSKA
mgr MAREK BUGALSKI
dr inż. DANUTA DOBROWOLSKA
Główny Urząd Miar
Kontakt: a.mlynska@gum.gov.pl
DOI: 10.5604/01377043.1201799

Badania okresowe tympanometrów – sposób na zapewnienie spójności pomiarowej i wiarygodności badań audiologicznych



Fot. MEDAG Aparatura Medyczna

Audiometria impedancyjna obejmuje najczęściej dwa rodzaje badań: pomiar impedancji / admitancji akustycznej w zewnętrznym przewodzie słuchowym (tympanometria) oraz pomiar odruchów mięśni ucha środkowego. Dostępne obecnie na rynku przyrządy do pomiaru impedancji akustycznej ucha (tympanometry) umożliwiają wykonanie tylko tympanometrii lub obu badań w zależności od klasy przyrządu, określonej zgodnie z normą PN-EN 60645-5. Tympanometria jest obok audiometrii tonowej coraz częściej stosowanym badaniem w diagnostyce audiologicznej w Polsce. Istnieje zatem pilna potrzeba zapewnienia spójności pomiarowej i wiarygodności uzyskiwanych wyników. Można to zapewnić jedynie poprzez wzorcowanie i badania okresowe przyrządów do pomiaru impedancji / admitancji ucha, zgodnie z zaleceniami dla badań okresowych określonymi w PN-EN 60645-5.

W artykule przedstawiono metodykę i stanowisko pomiarowe do wzorcowania i badań okresowych przyrządów do pomiaru impedancji ucha, opracowane w Głównym Urzędzie Miar. Opis uzupełniono o wyniki pomiarów i szacowanie niepewności pomiaru parametrów typowego przyrządu stosowanego w Polsce. Rezultaty tej pracy będą wykorzystane do poszerzenia kompetencji polskich laboratoriów akredytowanych o dziedzinę audiometrii impedancyjnej i rozszerzenia ich zakresu akredytacji.

Słowa kluczowe: audiometria impedancyjna, tympanometry, kalibracja, badanie słuchu

Periodic tests of tympanometers – a way to assure measurement traceability and reliability of audiological tests

Impedance audiometry includes two main tests: determination of the impedance (or admittance) of external ear canal (tympanometry) and acoustic reflex measurements. Instruments for the measurement of aural acoustic impedance, available on the market, provide tympanometry only or both tests depending on the class according to PN-EN 60645-5 standard. In Poland, tympanometry is increasingly used for audiological diagnosis. Therefore there is an urgent need to assure measurement traceability and reliability of results obtained in such tests. The only way to do it is to calibrate and test the equipment for aural acoustic impedance/admittance measurements periodically, according to PN-EN 60645-5. In the paper the methodology and measurement setup developed at the Central Office of Measures for calibration and periodical tests of instruments for the measurement of aural acoustic impedance are presented. They are supplemented by the results of measurements and uncertainty estimation for a typical instrument being in use in Poland. The outcomes of this work will be used to develop the competence of Polish accredited laboratories in the field of impedance audiometry and let them to extend their scope of services.

Keywords: impedance audiometry, tympanometers, calibration, hearing testing

Wstęp

Początki stosowania audiometrii impedancyjnej, czyli obiektywnych metod badania właściwości słuchu, datuje się na połowę XIX w., a pierwszy przyrząd do pomiaru impedancji akustycznej ucha środkowego, zwany tympanometrem (nazwy te są dalej w tekście stosowane zamiennie), został opracowany na początku XX wieku. Znaczący rozwój aparatury pomiarowej w latach 50. XX w. doprowadził do zbudowania w Danii pierwszego ogólnie dostępnego tympanometru [1], umożliwiającego diagnostykę ucha środkowego poprzez pomiar zmian impedancji akustycznej w zależności od zmian ciśnienia w przewodzie słuchowym.

Zasadę działania tympanometru zilustrowano na schemacie blokowym, przedstawionym na rys. 1. W czasie badania ucho jest szczelnie zamknięte sondą posiadającą trzy kanaliki. Za ich pomocą doprowadzany jest do ucha sygnał sondujący, najczęściej o częstotliwości 226 Hz i jednocześnie zmieniane jest ciśnienie powietrza w zewnętrznym przewodzie słuchowym, a także mierzone są zmiany ciśnienia akustycznego. Na ich podstawie wyznaczane są zmiany objętości równoważnej ucha środkowego, a tym samym – zmiany jego impedancji akustycznej [2], wykreslanej często w postaci jej odwrotności, czyli admitancji. Dalsze badania w dziedzinie audiometrii impedancyjnej doprowadziły do wykorzystania odruchów mięśni ucha środkowego do oceny jego stanu. Tympanometry stosowane współcześnie umożliwiają zatem coraz częściej również pomiar zmian impedancji ucha spowodowanych odruchami mięśni ucha środkowego, wywołanymi określonymi bodźcami akustycznymi, najczęściej tonami o częstotliwościach 500 Hz oraz 1, 2 i 4 kHz.

Coraz większa różnorodność przyrządów do pomiaru impedancji ucha, jak też rosnące wykorzystanie tych przyrządów w diagnostyce ucha środkowego doprowadziły do opracowania normy IEC 61027 [3] zastąpionej w 2004 r. przez IEC 60645-5 [4], której celem jest zapewnienie miarodajnych i porównywalnych wyników badań uzyskiwanych za pomocą różnych przyrządów spełniających

jej wymagania. Norma określa zarówno wymagania dotyczące przyrządów, jak też zakres i metody badań wykonywanych przed wprowadzeniem tych przyrządów na rynek, w celu potwierdzenia ich zgodności z wymaganiami, a także podaje zalecenia odnośnie do zakresu badań okresowych.

W 2015 r. jeden z dystrybutorów zwrócił się do Laboratorium Akustyki i Drgań Głównego Urzędu Miar z prośbą o stworzenie w Polsce możliwości badań okresowych tympanometrów. Wychodząc naprzeciw temu zapotrzebowaniu laboratorium podjęło prace związane ze zbudowaniem stanowiska pomiarowego oraz opracowaniem i wdrożeniem metodyki badań okresowych tympanometrów zgodnie z PN-EN 60645-5 [5]. Rezultaty tych prac, jak też przykładowe wyniki pomiarów parametrów jednego z przyrządów stosowanych w Polsce, przedstawiono w artykule.

Wybrane wymagania normatywne dotyczące przyrządów do pomiaru impedancji

Wymagania ogólne

PN-EN 60645-5 [5] rozróżnia trzy klasy przyrządów do pomiaru impedancji (lub admitancji) ucha: klasa 1 – zastosowania diagnostyczne/kliniczne, klasa 2 – tympanometria/badania przesiewowe odruchu, klasa 3 – tympanometria przesiewowa. Wobec każdej z nich określa obowiązkowe funkcje przyrządów. W każdym przyrządzie powinien być dostępny ton sondujący o częstotliwości 226 Hz; mogą też być dostępne tony o innych częstotliwościach. Norma określa wymagania dotyczące poziomu ciśnienia akustycznego, częstotliwości i zniekształceń harmonicznym stosowanych tonów sondujących, wymagania dotyczące zakresu pomiarowego tympanometru, wymagania wobec komór kalibracyjnych, a także wymagania, jakie powinien spełniać układ pneumatyczny, służący do zmiany ciśnienia powietrza w badanym uchu.

Przyrządy klasy 1 i 2 powinny posiadać układ do wywoływania odruchu akustycznego ipsilateralnego (tj. wywoływania odruchu mięśni ucha środkowego w uchu pobudzonym sygnałem bodźca), a przyrządy klasy 1 także kontralateralnego (tj. wywoływania odruchu mięśni ucha środkowego w uchu przeciwnym do ucha pobudzanego sygnałem bodźca). Sygnałami bodźca wywołującego odruch akustyczny powinny być tony o określonych częstotliwościach (klasa 2) oraz tony i szum szerokopasmowy (klasa 1). Norma określa wymagania dotyczące poziomu ciśnienia akustycznego, częstotliwości i zniekształceń harmonicznym tych tonów oraz wymagania względem widma szumu szerokopasmowego. Ponadto wytwórca może wyposażyć przyrząd w inne sygnały sondujące i sygnały bodźca, podając ich parametry.

Zakres badań

PN-EN 60645-5 określa zarówno zakres i metodykę badań w celu wykazania zgodności przyrządu do pomiaru impedancji ucha z jej wymaganiami, jak też zakres badań okresowych, na który składają się: sprawdzenie urządzenia wskazującego impedancję i jego ewentualna adiustacja, sprawdzenie parametrów tonu sondującego oraz parametrów sygnałów bodźców wywołujących odruch ipsilateralny

i kontralateralny oraz sprawdzenie zakresu zmian ciśnienia powietrza w układzie pneumatycznym.

Sprawdzenie urządzenia wskazującego impedancję przeprowadza się za pomocą dostarczonych przez producenta komór kalibracyjnych o sztywnych ściankach i ściśle określonych wartościach objętości, umożliwiającym szczelne połączenie z sondą tympanometru. Norma wymaga stosowania trzech komór o objętości: 0,5 cm³, 2,0 cm³ i 5,0 cm³ w przypadku przyrządów klasy 1. oraz dwóch komór o objętości bliskiej maksymalnej wartości granicznej zakresu pomiarowego przyrządu – w przypadku przyrządów klasy 2 i 3.

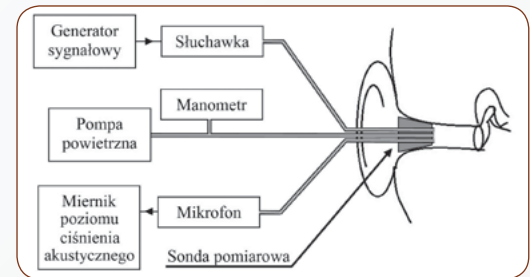
Sprawdzenie parametrów tonu sondującego obejmuje pomiar poziomu ciśnienia akustycznego i częstotliwości. Sprawdzenie parametrów sygnałów bodźców wywołujących odruch ipsilateralny i kontralateralny obejmuje pomiary poziomu ciśnienia akustycznego sygnałów, ich częstotliwości lub widma (w zależności od rodzaju sygnałów), a także czasu narastania i zanikania. Zakres zmian ciśnienia powietrza w układzie pneumatycznym sprawdza się za pomocą układu do pomiaru ciśnienia, o właściwościach określonych w normie [5].

Metodyka badania okresowego przyrządów do pomiaru impedancji i wymagania wobec aparatury pomiarowej

Przeprowadzenie badania okresowego przyrządu do pomiaru impedancji ucha zgodnie z normą [5] wymaga zastosowania co najmniej następujących przyrządów pomiarowych: sprzęgacza akustycznego 2 cm³ zgodnego z PN-EN 60318-5 [6] i dodatkowo, w przypadku przyrządów wyposażonych w słuchawkę nauszną, sprzęgacza akustycznego 6 cm³ zgodnego z PN-EN 60318-3 [7], mikrofonu pomiarowego klasy WS1 [8] z przedwzmacniaczem, analizatora akustycznego umożliwiającego pomiar poziomu ciśnienia akustycznego oraz czasu narastania i zanikania sygnału, miernika częstotliwości, kalibratora akustycznego do wzorcowania akustycznego toru pomiarowego, układu do pomiaru ciśnienia powietrza (manometru), a także przyrządów do pomiaru warunków środowiskowych. Stanowisko pomiarowe powinno być również wyposażone w stosowny osprzęt umożliwiający szczelne połączenie sondy tympanometru ze sprzęgaczem 2 cm³ oraz zapewniający właściwą siłę docisku słuchawki nausznej do sprzęgacza akustycznego 6 cm³.

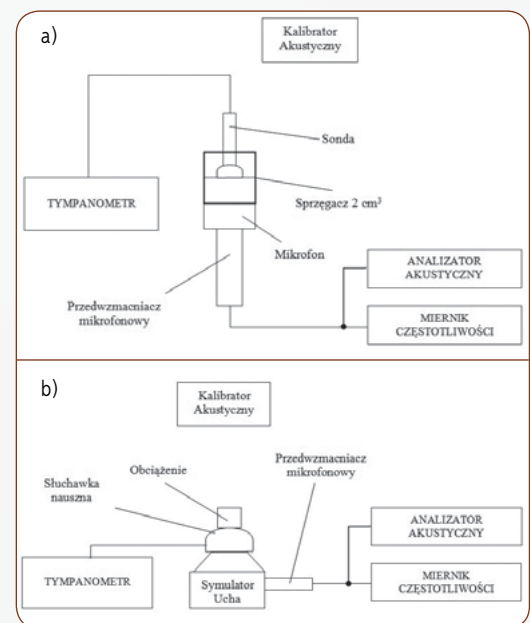
Sprawdzenia wskazania urządzenia wskazującego impedancję (objętość równoważną) dokonuje się, korzystając z komór o różnej objętości. Polega ono na zmierzeniu objętości poszczególnych komór za pomocą sondy badanego tympanometru. W sytuacji, gdy wynik sprawdzenia – różnica między wskazywaną i rzeczywistą wartością objętości – przekracza wartość dopuszczalną, dokonuje się adiustacji tympanometru i ponownie sprawdza wskazanie.

Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego i częstotliwości tonu sondującego wykonuje się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 2a. Przed rozpoczęciem pomiarów układ jest wzorcowany za pomocą kalibratora akustycznego, a w czasie pomiarów sonda jest połączona ze sprzęgaczem 2 cm³ w sposób określony przez wytwórcę. Zapewnienie szczelności połączenia jest zasadniczym problemem do rozwiązania



Rys. 1. Schemat blokowy tympanometru; strzałkami zaznaczono połączenia elektryczne, podwójne linie oznaczają drogi akustyczne sygnału oraz drogę powietrzną, (oprac. własne na podstawie [2])

Fig. 1. Block diagram of tympanometer; electric connections marked with arrows, double lines mean acoustic signal pathways and air pathway (original work, based on [2])



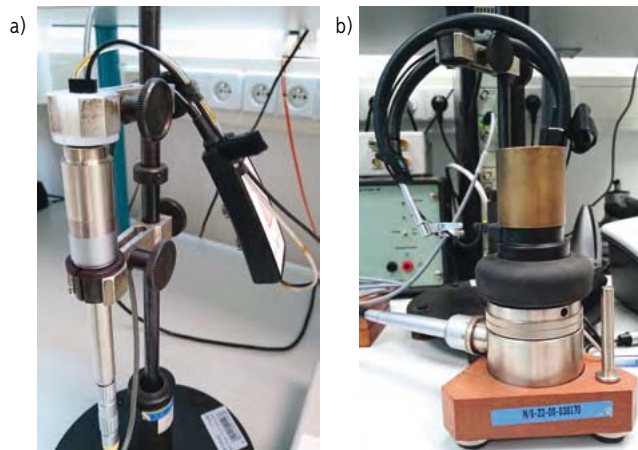
Rys. 2. Układ pomiarowy do sprawdzania sygnałów wytwarzanych przez: a) sondę, b) słuchawkę nauszną

Fig. 2. Measurement setup for checking of signals produced by: a) probe, b) supra-aural earphone

przy pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego tonu sondującego, tym bardziej że informacje producenta na ten temat nie zawsze są dostępne.

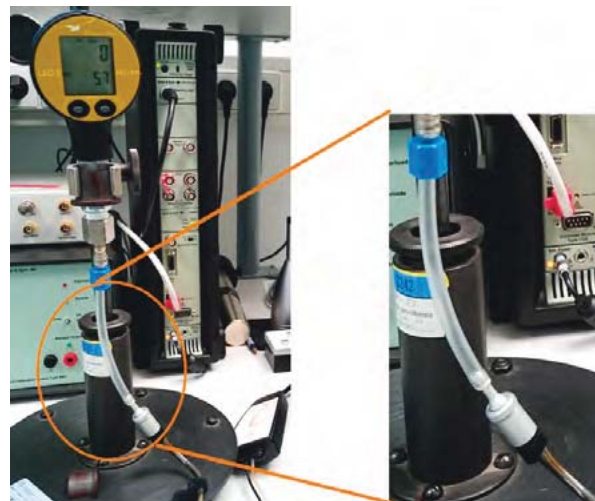
Źródłem sygnałów bodźców wywołujących odruch ipsilateralny jest sonda. Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego, częstotliwości sygnału (lub jego widma) oraz czasu narastania i zanikania sygnałów wykonuje się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 2a, postępując w sposób analogiczny do sposobu sprawdzania parametrów tonu sondującego. Źródłem sygnałów bodźców wywołujących odruch kontralateralny jest typowa słuchawka audiometryczna, najczęściej nauszna. Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego, częstotliwości (lub widma) oraz czasu narastania i zanikania sygnałów wykonuje się w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 2b. Przed rozpoczęciem pomiarów układ jest wzorcowany za pomocą kalibratora akustycznego. W czasie pomiarów słuchawka nauszna jest połączona ze sprzęgaczem akustycznym 6 cm³ z siłą docisku równą 4,5 N, zgodnie z wymaganiami określonymi w PN-EN 60645-1 [9].

Sprawdzenie układu pneumatycznego obejmuje pomiar i sprawdzenie zakresu zmian ciśnienia



Fot. 1. Sposób połączenia: a) sondy tympanometru ze sprzęgaczem 2 cm³, b) słuchawki nausznej ze sprzęgaczem 6 cm³

Photo 1. Method of connection of: a) tympanometer probe to 2 cm³ coupler, b) supra-aural earphone to 6 cm³ coupler



Fot. 2. Sposób połączenia sondy tympanometru z układem do pomiaru ciśnienia
Photo 2. Method of connection of tympanometer probe to pressure measuring system

względne powietrza wymaganego w przyrządach danej klasy oraz sprawdzenie, czy nie zostały przekroczone maksymalne wartości graniczne ciśnienia. Pomiary wykonuje się po szczelnym połączeniu sondy tympanometru z układem do pomiaru ciśnienia (manometrem), wyposażonym w wypełnioną powietrzem komorę o objętości 0,5 cm³ lub 5 cm³, w zależności od wartości mierzonego ciśnienia.

Pomiary i przykładowe wyniki badania tympanometru

Przeprowadzono pomiary parametrów tympanometru klasy 2 zgodnie z przedstawionym wyżej zakresem badań okresowych. W pierwszej kolejności wykonano sprawdzenie, a następnie przeprowadzono adiustację urządzenia wskazującego impedancję (wyniki w tabeli 1.).

Następnie sprawdzono parametry tonów – zarówno sondującego, jak i tonów bodźców akustycznych. Wszystkie pomiary akustyczne wykonano za pomocą analizatora PULSE firmy Brüel & Kjaer typ 3560. Do pomiaru parametrów sygnałów wytwarzanych przez sondę wykorzystano sprzęgacz akustyczny 2 cm³ Brüel & Kjaer typ DB 0138, a sygnałów wytwarzanych przez słuchawkę nauszną – sprzęgacz akustyczny 6 cm³ Brüel & Kjaer typ 4152. Oba sprzęgacze były wyposażone w mikrofon pomiarowy Brüel & Kjaer typ 4144.

W przypadku badanego tympanometru producent nie określił w dokumentacji technicznej sposobu łączenia sondy ze sprzęgaczem, w związku z czym zapewnienie szczelności połączenia w czasie pomiarów stanowiło istotny problem do rozwiązania. W tym celu układ sonda-sprzęgacz-mikrofon umieszczono w statywie wyposażonym w specjalne uchwyty (fot. 1a), a spośród wielu dostarczonych przez producenta uszczeliek, stosowanych do uszczelnienia sondy w czasie badania ucha, wybrano na drodze eksperymentalnej taką, która zapewniała najlepszą szczelność przy połączeniu ze sprzęgaczem. Szczelność sprawdzano przeprowadzając pomiar widma FFT tła akustycznego (sprawdzenie, czy sygnał badany nie jest zakłócany innymi sygnałami, które przenikałyby z zewnątrz układu pomiarowego do toru akustycznego), a także poprzez obserwację urządzenia wskazującego impedancję (objętość) i sprawdzanie, czy wskazywana wartość

Tabela 1. Wyniki sprawdzenia urządzenia wskazującego impedancję

Table 1. Results of checking of impedance measuring system

Objętość komory kalibracyjnej – wartość deklarowana przez producenta, ml	0,50	2,00	5,00
Wskazanie tympanometru po adiustacji, ml	0,50	1,99	5,00
Błąd wskazania, ml	0,00	-0,01	0,00
Wartość dopuszczalna błędów, ml	0,1	0,1	0,25
Niepewność rozszerzona pomiaru, ml	0,10	0,10	0,15
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], ml	0,2		

Tabela 2. Wyniki sprawdzenia parametrów tonu sondującego

Table 2. Results of checking of probe tone parameters

Poziom ciśnienia akustycznego tonu – wartość zmierzona, dB	84,7
Poziom ciśnienia akustycznego tonu – wartość deklarowana przez producenta, dB	85
Poziom ciśnienia akustycznego tonu – wartość maksymalna zgodnie z [5], dB	90
Niepewność rozszerzona pomiaru, dB	0,5
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], dB	0,7
Częstotliwość tonu – wartość zmierzona, Hz	226,0
Częstotliwość tonu – wartość nominalna, Hz	226
Błąd częstotliwości, %	0,0
Błąd dopuszczalny zgodnie z [5], %	2
Niepewność rozszerzona pomiaru, %	0,03
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], %	0,2

Tabela 3. Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego i częstotliwości sygnałów wywołujących odruch ipsilateralny

Table 3. Measurements results of sound pressure level and frequency of ipsilateral signals

Częstotliwość tonu – wartość nominalna, Hz	500	1000	2000	4000
Częstotliwość tonu – wartość zmierzona, Hz	500,0	1000,0	2000,0	4000,0
Niepewność rozszerzona pomiaru częstotliwości, Hz	0,1			
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], Hz	1			
Poziom ciśnienia akustycznego tonu – wartość docelowa określona przez producenta, dB	91,0	85,5	87,0	82,0
Poziom ciśnienia akustycznego tonu – wartość zmierzona po adiustacji, dB	90,9	85,7	87,0	82,0
Niepewność rozszerzona pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego, dB	0,6	0,6	0,6	0,6
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], dB	0,7			

jest stabilna i bliska objętości nominalnej sprzęgacza, wynoszącej 2 cm³.

Badany tympanometr był wyposażony w słuchawkę nauszną Telephonics typ TDH 39, stosowaną do badania odruchów kontralateralnych. Słuchawka ta, w czasie sprawdzania parametrów sygnałów bodźców wywołujących odruch kontralateralny, była połączona ze sprzęgaczem akustycznym 6 cm³ z siłą docisku równą 4,5 N. Odpowiedni docisk słuchawki zapewniano obciążając słuchawkę obciąż-

nikiem o masie 460 g. Sposób połączenia słuchawki ze sprzęgaczem przedstawiono na fot. 1b. Wyniki pomiaru parametrów sygnałów akustycznych przedstawiono w tabelach 2-6.

Sprawdzenie układu pneumatycznego tympanometru wykonano za pomocą manometru cyfrowego Keller typ Leo 2, udostępnionego przez Laboratorium Siły i Ciśnienia Głównego Urzędu Miar. W celu prawidłowego uszczelnienia sondę tympanometru łączono z manometrem za pomo-

Tabela 4. Wyniki pomiarów czasu narastania i zanikania sygnałów wywołujących odruch ipsilateralny

Table 4. Measurements results of rise and decay time of ipsilateral signals

Częstotliwość tonu, Hz	500	1000	2000	4000
Czas narastania od włączenia do wartości -1 dB względem wartości ustalonej, ms	44	38	43	39
Maksymalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	100			
Czas narastania od wartości -20 dB do wartości -1 dB względem wartości ustalonej, ms	32	31	35	33
Minimalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	5			
Czas zanikania do wartości -20 dB względem wartości ustalonej, ms	38	43	41	39
Maksymalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	100			
Czas zanikania od wartości -1 dB do wartości -20 dB wzgl. wartości ustalonej, ms	34	36	35	34
Minimalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	5			
Niepewność rozszerzona pomiaru, ms	1			
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], ms	1			

Tabela 5. Wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego i częstotliwości sygnałów wywołujących odruch kontralateralny

Table 5. Measurements results of sound pressure level and frequency of contralateral signals

Częstotliwość tonu – wartość nominalna, Hz	250	500	1000	2000	4000
Częstotliwość tonu – wartość zmierzona, Hz	250,0	500,0	1000,0	2000,0	4000,0
Niepewność rozszerzona pomiaru częstotliwości, Hz	0,1				
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], Hz	1				
Poziomu ciśnienia akustycznego tonu – wartość docelowa określona przez producenta, dB	105,5	91,5	87,0	89,0	89,5
Poziomu ciśnienia akustycznego tonu – wartość zmierzona po adiustacji, dB	105,3	91,3	87,2	88,8	89,5
Niepewność rozszerzona pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego, dB	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], dB	0,7				

Tabela 6. Wyniki pomiarów czasu narastania i zanikania sygnałów wywołujących odruch kontralateralny

Table 6. Measurements results of rise and decay time of contralateral signals

Częstotliwość tonu, Hz	250	500	1000	2000	4000
Czas narastania od włączenia do wartości -1 dB względem wartości ustalonej, ms	58	31	46	49	47
Maksymalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	100				
Czas narastania od wartości -20 dB do wartości -1 dB względem wartości ustalonej, ms	33	18	32	35	34
Minimalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	5				
Czas zanikania do wartości -20 dB względem wartości ustalonej, ms	46	41	39	41	42
Maksymalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	100				
Czas zanikania od wartości -1 dB do wartości -20 dB wzgl. wartości ustalonej, ms	35	36	34	35	34
Minimalna wartość dopuszczalna zgodnie z [5], ms	5				
Niepewność rozszerzona pomiaru, ms	1				
Wartość maksymalna niepewności zgodnie z [5], ms	1				

Tabela 7. Wyniki pomiaru zakresu zmian ciśnienia powietrza w układzie pneumatycznym

Table 7. Measurement results of rate of change of air pressure in pneumatic system

	Wartość minimalna ciśnienia względnego powietrza, daPa	Wartość maksymalna ciśnienia względnego powietrza, daPa
Wartości deklarowane przez producenta	-600	+400
Wartość przed adiustacją	-600	+406
Wartość po adiustacji	-600	+400
Zakres minimalny ciśnienia określony w [5]	-200	+200

Tabela 8. Wyniki sprawdzenia wartości granicznych ciśnienia powietrza w układzie pneumatycznym

Table 8. Results of checking of air pressure limits in pneumatic system

Zmierzona wartość minimalna ciśnienia względnego powietrza powodująca wyłączenie układu pneumatycznego, daPa	-780
Wartość graniczna ciśnienia określona w [5]	-800
Zmierzona wartość maksymalna ciśnienia względnego powietrza powodująca wyłączenie układu pneumatycznego, daPa	+560
Wartość graniczna ciśnienia określona w [5]	+600

cą rurki z tworzywa sztucznego. Różne objętości komór, wymagane podczas sprawdzania układu do pomiaru ciśnienia powietrza, można uzyskiwać w takim układzie regulując odpowiednio długość rurki. Sposób połączenia sondy z manometrem przedstawiono na fot. 2., natomiast wyniki sprawdzenia układu pneumatycznego tympanometru w tabelach 7 i 8.

Dokładność pomiaru ciśnienia powietrza za pomocą manometru Keller typ Leo 2, deklarowana przez producenta, nie przekracza 0,1% i spełnia wymagania normy dotyczące niepewności pomiaru związanej z układem do pomiaru ciśnienia.

Podsumowanie

W artykule wykazano, że możliwe jest badanie okresowe tympanometrów w Polsce. Większość pomiarów akustycznych może być wykonywana przez laboratoria, które mają wyposażenie i doświadczenie w zakresie wzorcowania i sprawdzania audiometrów. Konieczne jest jedynie uzupełnienie wyposażenia o odpowiedni układ do pomiaru ciśnienia powietrza (manometr). Wykonywanie rutynowych badań okresowych wymaga jednakże współpracy z producentami/dystrybutorami tympanometrów w celu zapewnienia osprzętu niezbędnego do pomiarów, przede wszystkim komór kalibracyjnych do sprawdzania układu do pomiaru impedancji, a także adapterów przeznaczonych do właściwego (gwarantującego dobrą szczelność) połączenia sondy tympanometru ze sprzęgaczem 2 cm³. Badania przeprowadzone w Laboratorium Akustyki i Drgań Głównego Urzędu Miar wykazały, że kontrola szczelności może być realizowana na podstawie obserwacji widma zakłóceń oraz pomiaru objętości sprzęgacza za pomocą sondy badanego tympanometru. Niepewności rozszerzone pomiaru poszczególnych parametrów tympanometru, oszacowane w przypadku uwzględnienia typowego wyposażenia laboratorium i typowego tympanometru, nie przekraczają maksymalnych wartości dopuszczalnych określonych w normie [5].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Trąbka-Zawicki P., Steczko A. *Rozwój audiometrii impedancyjnej*. „Otolaryngologia”, 2004, 3, 4:149-150
- [2] Namysłowski G., Fira R. *Audiometria impedancyjna* [w:] *Audiologia kliniczna* Śliwińska-Kowalska M. (red.), Oficyna Wydawnicza Mediton, Łódź 2005
- [3] IEC 61027:1991 *Instruments for the measurement of aural acoustic impedance/admittance*
- [4] IEC 60645-5:2004 *Electroacoustics – Audiometric equipment – Part 5: Instruments for the measurement of aural acoustic impedance/admittance*
- [5] PN-EN 60645-5 *Elektroakustyka – Urządzenia audiometryczne – Część 5: Przyrządy do pomiaru impedancji lub admitancji akustycznej ucha*
- [6] PN-EN 60318-5:2009 *Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 5: Sprzęgacz 2 cm³ do pomiaru aparatów słuchowych i słuchawek sprzężonych z uchem za pomocą wkładek dousznych*
- [7] PN-EN 60318-3:2015 *Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 3: Sprzęgacz akustyczny przeznaczony do wzorcowania słuchawek nausznych stosowanych w audiometrii*
- [8] PN-EN 61094-4:2000 *Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Część 4: Wymagania dla roboczych mikrofonów wzorcowych*
- [9] PN-EN 60645-1:2015-04 *Elektroakustyka – Urządzenia audiometryczne – Część 1: Urządzenia do audiometrii tonowej*