

# LABORATORIUM ELEKTROAKUSTYKI

## ĆWICZENIE NR 3

### SPRAWDZANIE PARAMETRÓW AUDIOMETRU TONOWEGO. AUDIOMETRIA TONOWA DLA PRZEWODNICTWA POWIETRZNEGO I KOSTNEGO

#### Cel ćwiczenia

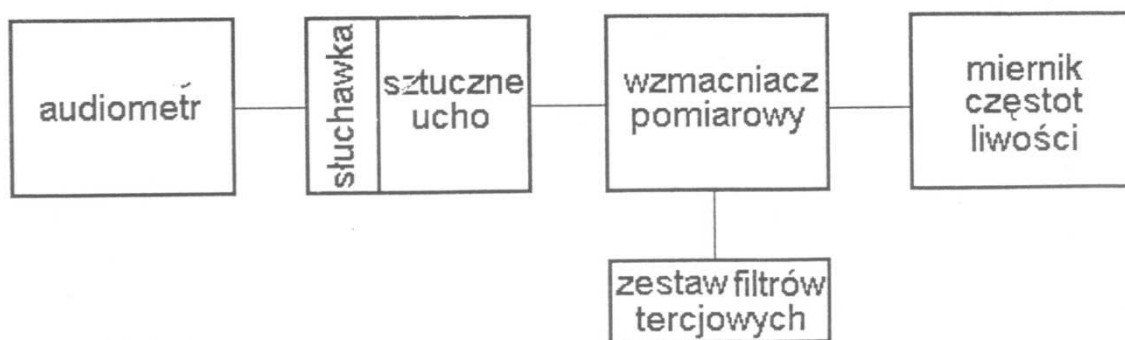
Ćwiczenie składa się z dwóch części. Celem pierwszej części ćwiczenia jest zapoznanie się z budową audiometrów tonowych, ich parametrami i sposobami sprawdzania parametrów elektroakustycznych audiometrów. Celem drugiej części ćwiczenia jest poznanie metodyki pomiarów audiometrycznych, a w szczególności metod wyznaczania progowego poziomu słyszenia dla przewodnictwa powietrznego i kostnego z zastosowaniem audiometru o stałych częstotliwościach.

#### I. Sprawdzanie parametrów audiometru tonowego

##### 1. Zadania laboratoryjne

- 1.1. Zapoznanie się z instrukcją obsługi badanego audiometru i jego parametrami [1]
- 1.2. Zapoznanie się z procedurą sprawdzania parametrów audiometrów tonowego [2]
- 1.3. Zapoznanie się z budową sztucznego ucha wykorzystywanego w pomiarach [3]
- 1.4. Pomiary wybranych parametrów elektroakustycznych badanego audiometru
  - 1.4.1. Pomiar częstotliwości tonów generowanych przez audiometr (rys. 1) i wyznaczenie błędów częstotliwości

a) Zmontować układ pomiarowy zgodny z rysunkiem 1.



Rys.1. Schemat układu do pomiaru częstotliwości tonów generowanych przez audiometr

- b) Umieścić wybraną słuchawkę (przeznaczoną do pomiarów w lewym (niebieska) lub prawym uchu (czerwona)) na sztucznym uchu zapewniając jej właściwy docisk i kierunek promieniowania.
- c) Regulator poziomu słyszenia dla wybranej słuchawki ustawić w pozycji opowiadającej poziomowi 60 dB HL lub większemu (*Uwaga: W przypadku dużych poziomów tła*

akustycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym ustawić regulator tak, by poziom sygnału znacznie przewyższał poziom tła akustycznego)

d) Na wybraną słuchawkę podawać poszczególne tony generowane przez audiometr i zmierzyć ich częstotliwość

e) Wyniki pomiarów przedstawić w tabeli wg poniższego wzoru

Tabela X. Wyniki pomiarów częstotliwości tonów badanego audiometru

Częstotliwość nominalna tonu $f$ [Hz]	Częstotliwość zmierzona tonu $f_m$ [Hz]	Błąd względny częstotliwości $\delta_f$ [%]	Błąd dopuszczalny częstotliwości $\delta_{fd}$ [%]

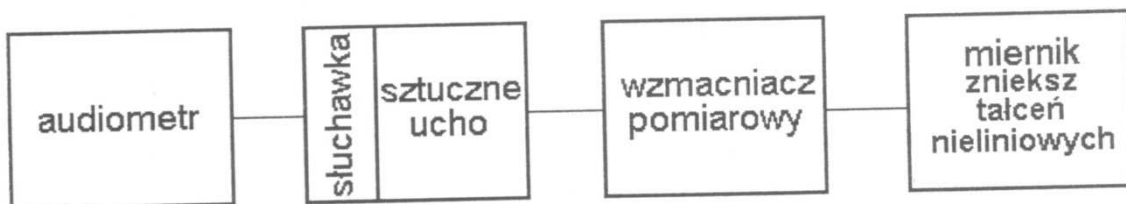
przy czym błąd względny częstotliwości  $\delta_f$  [%] obliczyć wg wzoru (1)

$$\delta_f = (f_m - f)/f \cdot 100 \% \quad (1)$$

natomiast błąd dopuszczalny częstotliwości  $\delta_{fd}$  [%] zależy od klasy badanego audiometru i zgodnie z normą [3] dla audiometrów klasy 1 i 2 nie powinien przekraczać  $\pm 1 \%$ , natomiast dla audiometrów w klasie 3 i 4  $\pm 2 \%$ .

#### 1.4.2. Pomiar współczynnika zniekształceń harmoniczych

a) Zmontować układ pomiarowy zgodny z rysunkiem 2



Rys.2. Schemat układu do pomiaru całkowitych zniekształceń nieliniowych harmoniczych ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez słuchawki audiometru.

b) Umieścić wybraną słuchawkę (przeznaczoną do pomiarów w lewym (niebieska) lub prawym uchu (czerwona)) na sztucznym uchu zapewniając jej właściwy docisk i kierunek promieniowania.

c) Regulator poziomu słyszenia dla wybranej słuchawki ustawić w pozycji opowiadającej poziomom:

- 75 dB HL w przypadku pomiaru współczynnika całkowitych zniekształceń nieliniowych harmoniczych dla sygnałów o częstotliwościach od 125 Hz do 250 Hz;
- 90 dB HL w przypadku pomiaru współczynnika całkowitych zniekształceń nieliniowych harmoniczych dla sygnałów o częstotliwościach od 315 Hz do 400 Hz;
- 110 dB HL w przypadku pomiaru współczynnika całkowitych zniekształceń nieliniowych harmoniczych dla sygnałów o częstotliwościach od 500 Hz do 5000 Hz;

d) Na wybraną słuchawkę podawać poszczególne tony generowane przez audiometr o w/w poziomach i zmierzyć ich współczynnik całkowitych zniekształceń harmoniczych.

- e) Pomiar powtórzyć dla drugiej słuchawki.
- f) Wyniki pomiarów przedstawić w tabeli wg poniższego wzoru

Tabela X. Wyniki pomiarów współczynnika całkowitych zniekształceń harmonicznych badanego audiometru

Częstotliwość nominalna tonu f [Hz]	Całkowite zniekształcenia harmoniczne h [%]	Maksymalne dopuszczalne całkowite zniekształcenia harmoniczne h <sub>d</sub> [%]

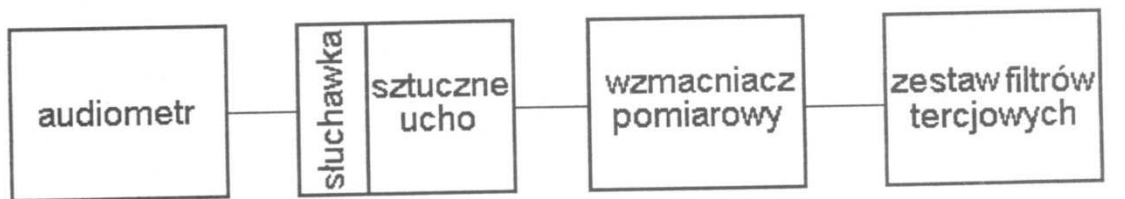
przy czym maksymalne dopuszczalne całkowite zniekształcenia harmoniczne dla przewodnictwa powietrznego wynoszą 2,5 %.

#### 1.4.3. Pomiar poziomu słyszenia tonu dla przewodnictwa powietrznego

Poziom słyszenia tonu jest to poziom ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez słuchawki w określonym symulatorze ucha pomniejszony o odpowiednią wartość równoważnego normalnego progowego poziomu ciśnienia akustycznego przy określonej częstotliwości oraz określonym typie przetwornika (patrz tabela 1).

Błędy poziomu słyszenia należy wyznaczyć dla wszystkich częstotliwości tonu z zakresu 125Hz do 8000 Hz i dla obu kanałów audiometru.

- a) Zmontować układ pomiarowy zgodny z rysunkiem 3



Rys.3. Schemat układu do pomiaru poziomu słyszenia tonu dla przewodnictwa powietrznego.

- b) Umieścić wybraną słuchawkę (przeznaczoną do pomiarów w lewym (niebieska) lub prawym uchu (czerwona)) na sztucznym uchu zapewniając jej właściwy docisk i kierunek promieniowania.
- c) Regulator poziomu słyszenia audiometru należy ustawić w pozycji zapewniającej odstęp co najmniej 20 dB od poziomu tła akustycznego w pomieszczeniu laboratoryjnym.
- d) Poziom ciśnienia akustycznego  $L_m$  należy zmierzyć za pomocą wykalibrowanego wzmacniacza pomiarowego z dołączonym filtrem pasmowym nastrojonym na aktualną częstotliwość tonu generowanego przez audiometr.
- e) Obliczyć błąd poziomu słyszenia  $\delta_L$  według wzoru (2):

$$\delta_L = L_m - L_0 - L, \text{ dB} \quad (2)$$

przy czym:  $L_m$  – zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, dB;

$L_0$  - równoważny normalny progowy poziom ciśnienia akustycznego przy określonej częstotliwości oraz określonym typie przetwornika (patrz tabela 1), dB;

$L$  - poziom słyszenia ustawiony w audiometrze, dB.

Tabela 1. Wartości równoważnego normalnego progowego poziomu ciśnienia akustycznego (zero audiometryczne) dla trzech typów słuchawek audiometrycznych.

a) Beyer DT 48 z płaską muszlą,

**b) Telephonics TDH 39 z muszlą typu MX 41/AR lub MX 51/AR,**

c) Tonsil Sd 307 i Tonsil Sd 307-2,

mierzone za pomocą sztucznego ucha typu 4152 firmy Bruel&Kjaer.

Częstotliwość (Hz)	Równoważny normalny poziom progowy ciśnienia akustycznego (zero audiometryczne), w dB, w zależności od typu słuchawki		
	DT 48	<b>TDH 39</b>	Sd 307 i Sd 307-2
125	47,5	<b>45,0</b>	48,0
160	40,5	<b>37,5</b>	-
200	34,0	<b>31,5</b>	-
250	28,5	<b>25,5</b>	26,5
315	23,0	<b>20,0</b>	-
400	18,5	<b>15,0</b>	-
500	14,5	<b>11,5</b>	11,5
630	11,5	<b>8,5</b>	-
750	9,5	<b>7,5</b>	-
800	9,0	<b>7,0</b>	-
1000	8,0	<b>7,0</b>	6,5
1250	7,5	<b>6,5</b>	-
1500	7,5	<b>6,5</b>	6,5
1600	7,5	<b>7,0</b>	-
2000	8,0	<b>9,0</b>	7,0
2500	7,0	<b>9,5</b>	-
3000	6,0	<b>10,0</b>	8,0
3150	6,0	<b>10,0</b>	-
4000	5,5	<b>9,5</b>	10,0
5000	7,0	<b>13,0</b>	-
6000	8,0	<b>15,5</b>	10,0
6300	9,0	<b>15,0</b>	-
8000	14,5	<b>13,0</b>	14,5

f) Wyniki pomiarów przedstawić w tabeli wg poniższego wzoru

Tabela X. Wyniki pomiarów poziomów słyszenia dla przewodnictwa powietrznego

Częstotliwość	Poziom słyszenia ustawiony w audiometrze	Równoważny normalny progowy poziom ciśnienia akustycznego	Zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, kanał lewy	Zmierzony poziom ciśnienia akustycznego, kanał prawy	Błąd poziomu słyszenia, kanał lewy	Błąd poziomu słyszenia, kanał prawy
f [Hz]	L [dB]	L <sub>0</sub> [dB]	L <sub>mL</sub> [dB]	L <sub>mP</sub> [dB]	δ <sub>LL</sub> [dB]	δ <sub>LP</sub> [dB]

g) Otrzymane wyniki błędu poziomu słyszenia porównać z wymaganiami normowymi, które wynoszą:

- $|\delta_L| \leq 3$  dB przy wskazywanych częstotliwościach z zakresu od 125 Hz do 4 kHz;
- $|\delta_L| \leq 5$  dB przy częstotliwościach większych niż 4 kHz.

#### 1.4.4. Wyznaczenie dokładności regulatora poziomu słyszenia

Niedokładności regulatora poziomu słyszenia audiometru należy wyznaczyć dla częstotliwości 1 kHz i 3 kHz, dla obu kanałów audiometru, w układzie pomiarowym przedstawionym na rys.3.

- Zmontować układ pomiarowy zgodny z rysunkiem 3.
- Regulator poziomu słyszenia audiometru należy ustawić w pozycji odpowiadającej poziomowi słyszenia  $L_i = 60$  dB HL; przełącznik częstotliwości audiometru oraz przełącznik częstotliwości środkowej zestawu filtrów tercjowych ustawić w pozycji 1kHz.
- Zmierzyć poziom ciśnienia akustycznego  $L_{m,i}$ .
- Poziom słyszenia audiometru należy zwiększać o wartość odpowiadającą kolejnej pozycji regulatora poziomu ( $L_{i+1}$ ) i zmierzyć poziom ciśnienia akustycznego  $L_{m,i+1}$
- Obliczyć błąd regulatora poziomu według wzoru (3)

$$\delta_p = (L_{m,i+1} - L_{m,i}) - \delta_i = \delta_{m,i} - \delta_i \quad (3)$$

przy czym:  $\delta_i$  – różnica poziomów słyszenia odpowiadająca dwóm kolejnym pozycjom regulatora poziomu, w dB (skok regulatora poziomu).

- Pomiary według punktów od a do e powtórzyć dla co najmniej trzech pozycji regulatora poziomu słyszenia audiometru.
- Powyższe pomiary powtórzyć dla częstotliwości 3 kHz.
- Powtórzyć pomiary dla drugiego kanału audiometru.
- Wyniki pomiarów przedstawić w tabeli wg poniższego wzoru

Tabela X. Wyniki pomiarów dokładności regulatora poziomu słyszenia

Częstotliwość f [Hz]	Kanał lewy				Kanał prawy			
	$L_{m,i}$ [dB]	$L_{m,i+1}$ [dB]	$\delta_{m,i}$ [dB]	$\delta_p$ [dB]	$L_{m,i}$ [dB]	$L_{m,i+1}$ [dB]	$\delta_{m,i}$ [dB]	$\delta_p$ [dB]

- Otrzymane wyniki błędu regulatora poziomu słyszenia porównać z wymaganiami normowymi, które wynosi:
  - $|\delta_p| \leq 1$  dB lub 0,3 odstępu między wskazywanymi kolejno poziomami słyszenia w dB, w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza.

## II. Pomiary progów słyszenia dla przewodnictwa powietrznego i kostnego

### 2. Zadania laboratoryjne

2.1. Zapoznanie się z metodyką pomiarów audiometrycznych [4,5]

2.2 Wyznaczenie progowego poziomu słyszenia dla przewodnictwa powietrznego z zastosowaniem audiometru o stałych częstotliwościach

#### 2.2.1. Włączanie i wyłączanie tonów pomiarowych

Ton pomiarowy powinien być ciągły, a jego czas trwania powinien wynosić od 1 s do 2 s. Po zasygnalizowaniu przez osobę badaną, że słyszy ton, czas przerwy między kolejnymi prezentacjami tonu powinien być dobierany w sposób przypadkowy, przy czym nie może być krótszy niż czas trwania tonu. Tony pomiarowe powinny być podawane od częstotliwości 1000 Hz w górę. Następnie powinny być podawane tony od częstotliwości 1000 Hz w dół.

#### 2.2.2. Zapoznanie osoby badanej z procedurą pomiarową

Do jednego ucha należy podać ton o częstotliwości 1000 Hz i poziomie słyszenia zapewniającym wyraźną słyszalność np. 40 dB w przypadku osoby badanej o prawidłowym słuchu. Zmniejszać poziom tonu co 20 dB, dopóki osoba badana nie przestanie sygnalizować, że słyszy ton. Zwiększać poziom tonu co 10 dB dopóki osoba badana nie zasygnalizuje, że słyszy ton. Ponownie podać ton o tym samym poziomie. Jeżeli odpowiedzi są zgodne ze sposobami podawania tonu, zaznajomienie z procedurą pomiarową jest zakończone. Jeżeli odpowiedzi nie są zgodne, należy powtórzyć proces zaznajomienia z procedurą pomiarową. Jeśli druga próba jest także nieudana, należy powtórzyć instrukcję osobie badanej.

2.2.3. Pomiary progowego poziomu słyszenia bez stosowania sygnału maskującego metodą uproszczoną z poziomem rosnącym

Etap 1: Po zapoznaniu osoby badanej z tonem pomiarowym 1000 Hz, podaje się ton o poziomie niższym o 10 dB od poziomu, przy którym osoba badana zasygnalizowała słyszenie tonu w pomiarze próbnym. Gdy nie ma odpowiedzi sygnalizującej słyszenie tonu, zwiększa się poziom w krokach co 5 dB, dopóki nie uzyska się odpowiedzi sygnalizującej słyszenie tonu.

Etap 2: Po uzyskaniu odpowiedzi sygnalizującej słyszenie tonu zmniejsza się poziom o 10dB i rozpoczyna następną sekwencję poziomów rosnących. Pomiar kontynuuje się do czasu, gdy dwie z trzech odpowiedzi wskazują na słyszenie tonu na tym samym poziomie.

Najmniejsza wartość poziomu tonu, przy której osoba badana sygnalizowała słyszenie tonu w ponad połowie sekwencji poziomów rosnących jest przyjmowana jako progowy poziom słyszenia. Wartość tę należy nanieść na szablon audiogramu stosując zalecaną symbolikę.

Jeżeli w pomiarze metodą z rosnącym poziomem tonu pomiarowego, przy trzykrotnym powtórzeniu sekwencji, osoba badana zasygnalizuje obecność tonu pomiarowego mniej niż dwa razy na tym samym poziomie, należy podać ton pomiarowy na poziomie o 10 dB wyższym od poziomu, przy którym osoba badana ostatnio sygnalizowała, że słyszy ton. Następnie należy powtórzyć procedurę pomiarową.

Etap 3: Kolejny pomiar należy przeprowadzić przy następnej częstotliwości tonu pomiarowego na poziomie słyszenia wyznaczonym przy poprzedniej częstotliwości, powtarzając etap 2. Wykonać pomiar jednego ucha dla wszystkich częstotliwości.

Na końcu badania należy powtórzyć pomiar dla częstotliwości tonu pomiarowego 1000 Hz. Jeżeli wynik pomiaru powtórnego dla częstotliwości 1000 Hz dla danego ucha nie różni się od pierwszego pomiaru o więcej niż 5dB, można rozpocząć pomiar drugiego ucha. Jeżeli różnica wynosi 10 dB lub jest większa, należy powtórzyć pomiar dla wszystkich częstotliwości, dopóki nie uzyska się zgodności w granicach 5 dB. Badanie nie powinno przekroczyć limitu czasowego (np. 20 min), poza którym uzyskanie wiarygodnych wyników staje się coraz trudniejsze.

Etap 4: Procedurę kontynuować do zakończenia pomiarów obojga uszów.

### 2.3. Wyznaczenie progowego poziomu słyszenia dla przewodnictwa kostnego z zastosowaniem audiometru o stałych częstotliwościach

Progi dla przewodnictwa kostnego otrzymywane są w bardzo podobny sposób, jak dla przewodnictwa powietrznego, ale korzystając z innego typu przetwornika. W tym przypadku stosuje się pobudnik drganiowy do generacji drgań kości czaszki i bezpośredniego pobudzania ślimaka. Teoretycznie progi dla przewodnictwa kostnego stanowią odzwierciedlenie funkcji ślimaka, bez uwzględnienia stanu ucha zewnętrznego i środkowego. Stąd, jeśli dana osoba ma normalną funkcję ucha środkowego jednego dnia i zaburzenia w uchu środkowym następnego, słyszenie dla przewodnictwa kostnego nie ulegnie zmianie, podczas gdy dla przewodnictwa powietrznego te zmiany funkcjonowania będą widoczne.

W przypadku dokładnego wyznaczania progu słyszenia przy słuchaniu jednuszynym, w audiometrii z przewodnictwem kostnym wymagane jest maskowanie ucha nie podlegającego badaniu.

Ze względu na efekt okluzji (zmiana, zazwyczaj zwiększenie, poziomu słyszenia sygnału przenoszonego do ucha wewnętrznego drogą przewodnictwa kostnego, kiedy na lub w przewodzie słuchowym zewnętrznym umieszczona jest słuchawka lub wkładka uszna, tworząc w uchu zewnętrznym zamkniętą przestrzeń powietrzną; zjawisko to występuje najsilniej przy niskich częstotliwościach) ucho podlegające badaniu dla przewodnictwa kostnego nie powinno być zamknięte (patrz rys. 4c).



a)



b)



c)

*Rys.4. Sposób umieszczenia słuchawek przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego: a) bezwzględnego, b) względnego bez maskowania, c) względnego z maskowaniem.*

### 2.3.1. Pomiary progowego poziomu słyszenia z sygnałem maskującym metodą uproszczoną z poziomem rosnącym

Poziom sygnału maskującego dla poszczególnych częstotliwości powinien być równy progowi słyszenia ucha maskowanego dla przewodnictwa powietrznego dla danej częstotliwości powiększonemu o 30 dB.

Procedura pomiaru progowego poziomu słyszenia dla przewodnictwa kostnego jest taka sama jak dla przewodnictwa powietrznego, przy czym zakres częstotliwości pomiarowych jest ograniczony parametrami słuchawki kostnej.

## 3. Zagadnienia do przygotowania

3.1. Budowa ucha

3.2. Percepcja głośności dźwięku

3.3. Budowa audiometru tonowego

.

## Literatura

[1] Instrukcja obsługi badanego audiometru

[2] Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa nr 2/96

[3] Artificial Ear type 4152 Bruel&Kjaer, Instructions and.Applications

[4] PN-EN ISO 8253-1 Akustyka. Metodyka pomiarów audiometrycznych. Część 1: Audiometria tonowa dla przewodnictwa powietrznego i kostnego

[5] PN-EN 26189 Akustyka. Pomiar progów słyszenia tonów w przewodnictwie powietrznym na potrzeby ochrony słuchu

[6] PN-EN 60645-1 Elektroakustyka – Urządzenia audiologiczne. Część 1: Audiometry tonowe

[7] Dobrucki A., Elektroakustyka, Wykład