

LABORATORIUM ELEKTROAKUSTYKI

ĆWICZENIE NR 3

AUDIOMETRIA TONOWA DLA PRZEWODNICTWA POWIETRZNEGO I KOSTNEGO

Cel ćwiczenia

Celem 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.

1. Zadania laboratoryjne

- 1.1. Zapoznanie się z instrukcją obsługi badanego audiometru i jego parametrami [1]
- 1.2. Zapoznanie się z metodyką pomiarów audiometrycznych [2,3]
- 1.3. Pomiary progów słyszenia dla przewodnictwa powietrznego
- 1.4. Wyznaczenie progowego poziomu słyszenia dla przewodnictwa kostnego z zastosowaniem audiometru o stałych częstotliwościach

2. Zadania do wykonania w sprawozdaniu

W sprawozdaniu należy wykonać analizę otrzymanych audiogramów wyznaczając:

1. Wartość średnią ubytków słuchu PTA (Pure Tone Average) dla przewodnictwa powietrznego na podstawie wartości progów (HTL) dla trzech częstotliwości: 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz:

$$PTA = \frac{HTL_{500} + HTL_{1000} + HTL_{2000}}{3} \text{ dB HL}$$

2. Na podstawie wyznaczonej wartości PTA dokonać klasyfikacji ubytku słuchu korzystając z poniższej tabeli

Ubytek słuchu [dB HL]	Klasyfikacja ubytku	Trudności w komunikacji słownej
0 - 15	Normalne słyszenie	-
>15 - 25	Minimalny	Nieznaczone trudności
>25 - 40	Lekki	Trudności ze słyszeniem cichej lub odległej mowy; trudności z rozumieniem
40 - 55	Umiarkowany	Częste problemy z rozumieniem normalnej mowy
>55 - 70	Umiarkowanie poważny	Zdarzają się problemy z rozumieniem głośnej mowy
>70 - 90	Poważny	Częste problemy z rozumieniem głośnej mowy
> 90	Głęboki (resztki słuchowe)	Prawie całkowita głuchota

3. Obliczyć lukę powietrzno-kostną ABG (Air-Bone Gap), zwaną też rezerwą ślimakową dla częstotliwości 1000 Hz, jako różnicę wartości progów słyszenia dla przewodnictwa powietrznego (HTL_{AC}) i przewodnictwa kostnego (HTL_{BC}):

$$ABG = HTL_{AC} - HTL_{BC} \text{ dB}$$

4. Scharakteryzować kształt konturu audiometrycznego wg poniższych kryteriów:

Audiogram płaski – progi nie różnią się więcej niż 20 dB w całym zakresie częstotliwości.

Audiogram narastający – progi dla niskich częstotliwości co najmniej o 20 dB większe niż dla wysokich częstotliwości.

Audiogram opadający – progi dla wysokich częstotliwości co najmniej o 20 dB większe niż dla niskich częstotliwości.

Audiogram spadzisty – nachylenie 20 dB/oktawę.

3. Metodyka pomiaru

3.1. 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.

3.2. 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.

3.3. 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 poziomem, 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.

3.4. 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 jednousznym, w audiometrii z przewodnictwem kostnym wymagane jest maskowanie ucha nie podlegającego badaniu.

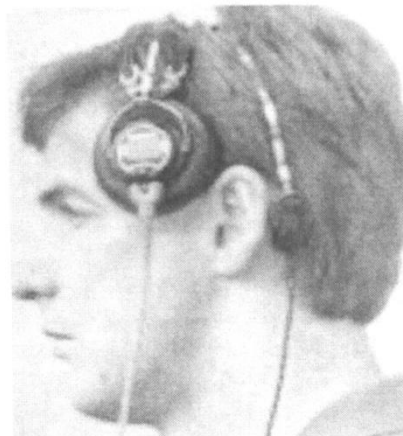
Ze względu na efekt okluzji (zmiana, zazwyczaj zwiększenie, poziomu słyszenia sygnału przenoszonego do ucha wewnętrznego drogą przewodnictwa kostnego, kiedy na lub w przewodzie słuchowym zewnętrznym umieszczona jest słuchawka lub wkładka uszna, tworząc w uchu zewnętrznym zamkniętą przestrzeń powietrzną; zjawisko to występuje najsilniej przy niskich częstotliwościach) ucho podlegające badaniu dla przewodnictwa kostnego nie powinno być zamknięte (patrz rys. 1c).



a)



b)



c)

Rys.1. Sposób umieszczenia słuchawek przy wyznaczaniu progu przewodnictwa kostnego: a) bezwzględnego, b) względnego bez maskowania, c) względnego z maskowaniem.

3.5. 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.

4. Zagadnienia do przygotowania

4.1. Budowa ucha

4.2. Percepcja głośności dźwięku

4.3. Budowa audiometru tonowego

Literatura

[1] Instrukcja obsługi badanego audiometru

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

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

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

[5] Dobrucki A., Elektroakustyka, Wykład

Dodatek A

U podstaw pomiarów audiometrycznych są dwie wielkości fizyczne obiektywne: poziom ciśnienia akustycznego i częstotliwość. Tym dwu wielkościom odpowiadają wielkości subiektywne, związane z odczuciem słuchacza, a mianowicie głośność i wysokość dźwięku.

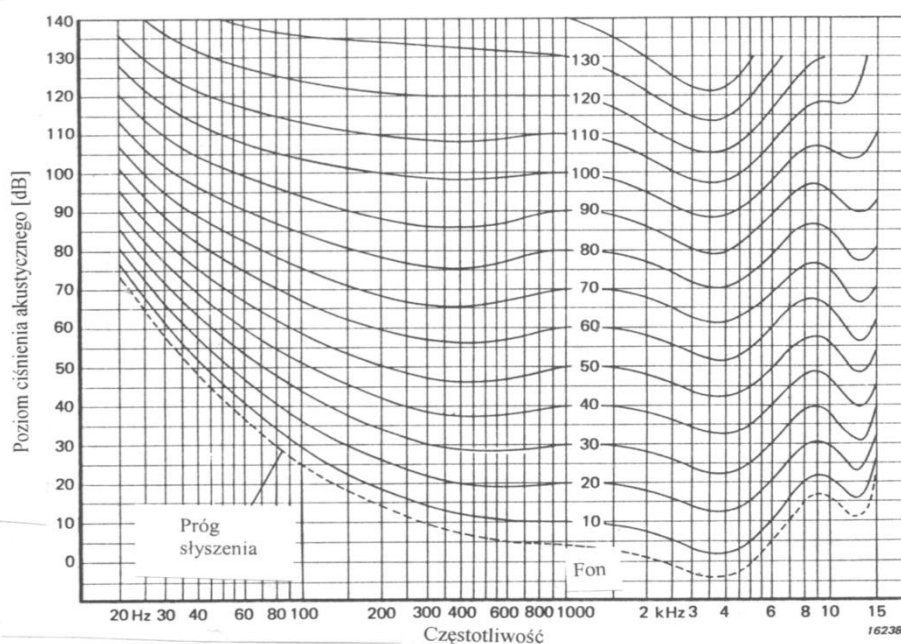
Narząd słuchu charakteryzuje niezwykle szeroki zakres dynamiki, rozumianej jako stosunek maksymalnych do minimalnych wartości ciśnienia dla danej częstotliwości. Dla częstotliwości 1000 Hz próg słyszenia wynosi $20 \mu\text{Pa}$ (aby uzmysłować sobie jak mała jest to wielkość możemy ją porównać do normalnego ciśnienia statycznego, które wynosi 10^5 Pa), natomiast próg bólu 20 Pa . Stąd dynamika narządu słuchu dla tej częstotliwości wynosi 10^6 . Stosowanie jednostek bezwzględnych przy tak dużych rozpiętościach sygnałów jest niewygodne, stąd do opisu sygnałów akustycznych stosuje się najczęściej miary decybelowe. Decybel (dB) opisuje zawsze wyrażony w mierze logarytmicznej stosunek dwóch wielkości. Należy zawsze dokładnie określić o jaką wielkość fizyczną chodzi i jaką wartość tej wielkości przyjęto za wartość odniesienia.

Dla ciśnienia akustycznego wielkością odniesienia jest $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$, a poziom ciśnienia akustycznego (Sound Pressure Level, SPL) wyraża się jako:

$$L_p = 20 \log(p/p_0) \text{ dB SPL ; } p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

Badania zmian czułości słuchu w funkcji częstotliwości doprowadziło do wykreślenia rodziny krzywych określanych jako krzywe jednakowego poziomu głośności lub krzywe izofoniczne. Przedstawiono je na rys.1.

Każdą z krzywych stanowi zbiór punktów odpowiadających wartościom poziomu ciśnienia akustycznego tonów wytwarzających, u człowieka o normalnym słuchu, takie samo wrażenie poziomu głośności. Wprowadzone pojęcie poziomu głośności jest wielkością, która jest porównawczą miarą głośności dźwięku w odniesieniu do głośności dźwięku wzorcowego, za jaki przyjęto ton o częstotliwości 1000 Hz. Jednostką poziomu głośności jest fon. Na osi odciętych naniesiono częstotliwości tonów.



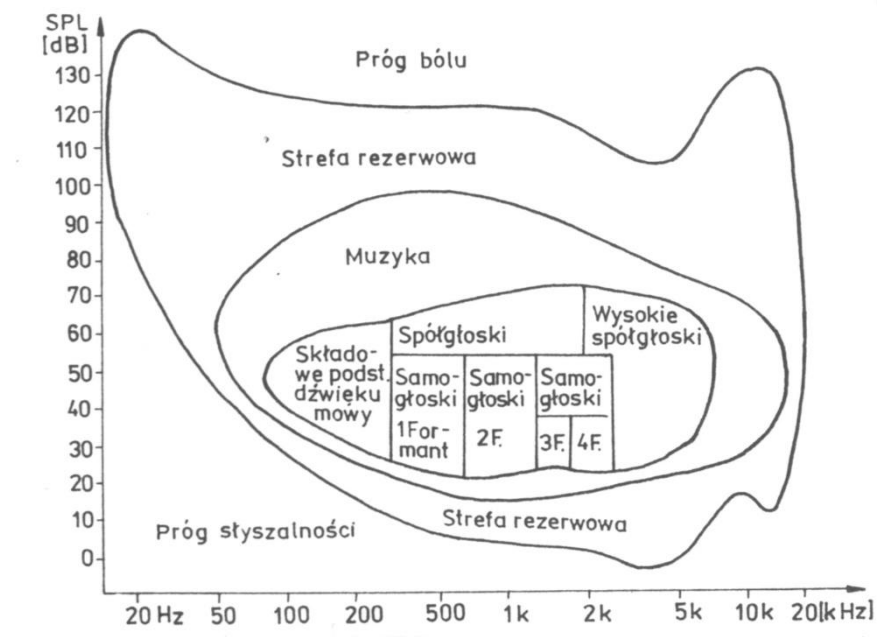
Rys.1 . Krzywe jednakowego poziomu głośności dla tonów.

Pomiędzy krzywymi odpowiadającymi progom niewygody i słyszalności i prostymi poprowadzonymi dla wartości granicznych częstotliwości ograniczających zakres słyszenia (20 Hz; 20 kHz) znajduje się obszar słyszalności.

Pomiary percepcji dźwięków mowy i muzyki pozwoliły umiejscowić obszary słyszenia tych dźwięków w ramach obszaru słyszalności (pola słuchowego) (patrz rys.2).

Przedstawiona na rys.2 tzw. strefa rezerwowa jest wykorzystywana najczęściej przy odsłuchu dźwięków w warunkach dużych poziomów tła akustycznego.

Na rys. 1 i 2 na osi odciętych naniesiono wartości częstotliwości. W badaniach audiometrycznych korzystamy najczęściej z sygnałów tonalnych lub sygnału mowy.



Rys.2. Obszar słyszalności z naniesionymi obszarami percepcji mowy i muzyki.

Podstawę pomiarów audiometrycznych stanowi prawo Webera-Fechnera, które mówi, że aby wrażenie wzrastało o stałe wartości, bodziec musi wzrastać w stałym stosunku. Oznacza to, że odczucie bodźców wzrasta w postępie arytmetycznym, gdy ich wielkość zmienia się w postępie geometrycznym. Innymi słowy, odczucie bodźca jest logarytmem wielkości bodźca. Jest to kolejne uzasadnienie przyjęcia skali decybelowej na osi reprezentującej ciśnienie akustyczne.

Podobnie oś częstotliwości opisana jest wartościami częstotliwości oktaowych, a więc częstotliwości, których iloraz jest równy 2 lub 0,5. Poszczególne wartości częstotliwości oktaowych są unormowane i można je wyznaczyć z zależności:

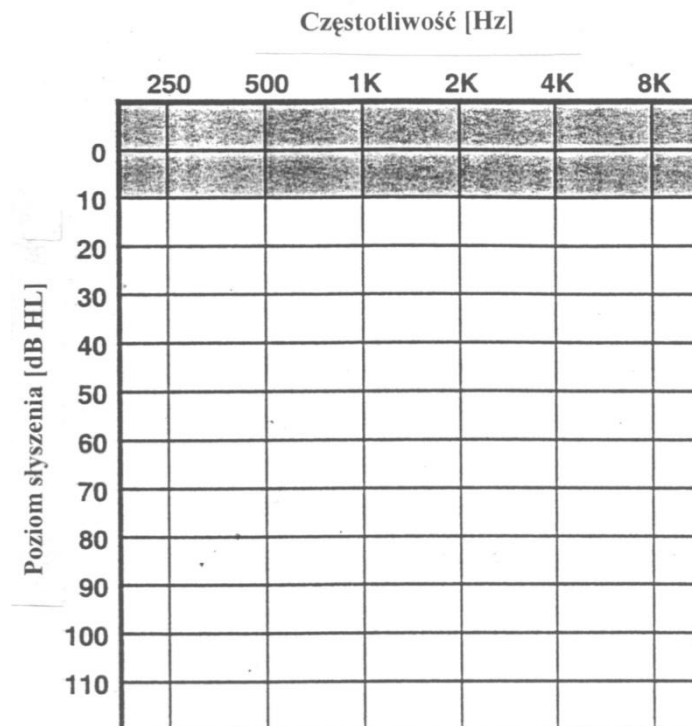
$$f_0 = 1000 \times 10^{0,3n}$$

przy czym: n – liczba całkowita (dla typowego zakresu częstotliwości oktaowych audiometrów od 125 do 8000Hz, n ∈ <-3, 3>).

Audiogram tonowy

Celem audiometrii tonalnej jest wyznaczenie progu słyszenia w zakresie częstotliwości słyszalnych istotnych dla komunikacji międzyludzkiej. Próg słyszenia jest zwykle mierzony dla szeregu dyskretnych sygnałów sinusoidalnych. Celem audiometrii tonalnej jest określenie najmniejszego poziomu ciśnienia takiego sygnału sinusoidalnego, który słuchacz może „już wyraźnie usłyszeć”. Gdy próg mierzony jest dla kilku różnych częstotliwości sinusoidalnych, wyniki są przedstawiane graficznie w układzie częstotliwość – poziom ciśnienia, dla zilustrowania jak zmienia się próg czułości w całym zakresie częstotliwości. Wykres ten nazywany jest **audiogramem**. W tonalnej audiometrii klinicznej progi są zwykle mierzone w zakresie częstotliwości od 125Hz do 8kHz. Wewnątrz tego zakresu progi są wyznaczane co oktawę w zakresie poniżej 1000Hz i co pół oktawy w zakresie powyżej 1000Hz. Stąd częstotliwości audiometryczne w konwencjonalnej audiometrii tonalnej wynoszą 125, 250, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000 i 8000Hz.

Dla określenia zmian w progu słyszalności należy uzyskane wyniki porównać z równoważnym normalnym progowym poziomem ciśnienia akustycznego. Przez poziom progowy wzorcowy normalny rozumiemy wartość modalną (najczęściej występującą) progowych poziomów ciśnienia uzyskanych na podstawie badań dostatecznie dużej liczby osób otologicznie normalnych, obu płci, w wieku od 18 do 30 lat. Osoba otologicznie normalna to osoba o normalnym stanie zdrowia, nie przejawiająca żadnych objawów choroby ucha, bez zanieczyszczeń w kanale usznym, w przeszłości nie poddawana nadmiernej ekspozycji na hałas. Obliczanie ubytków słuchu korzystając z dwóch krzywych zależnych od częstotliwości jest kłopotliwe, jak również utrudnia porównaniu przebiegów różnych progów słyszalności. Stąd audiogram tworzony jest najczęściej korzystając z tzw. grafiku amerykańskiego, w którym wartości progowe wzorcowe normalne zobrazowane są prostą o poziomie 0 dB HL.



Rys. 3. Audiogram: oś odciętych – częstotliwości oktawowe (Hz), oś rzędnych - poziom słyszenia (dB HL).

Ta skala decybelowa poziomów ciśnienia akustycznego zwana jest skalą poziomu słyszenia (hearing level) i jest oznaczana jako skala HL. Audiogram jest wykresem poziomów progowych słuchacza dla różnych częstotliwości testowych, przy czym częstotliwość jest podawana w Hz, a próg słyszenia jest wyrażony w skali HL dB. Rys. 3 przedstawia przykład takiego wykresu. Linia zerowa przebiegająca poziomo w górnej części wykresu jest poziomem ciśnienia akustycznego odpowiadającego wzorcowemu normalnemu słyszeniu dla każdej z częstotliwości testowych. Wyniki pomiarów odklada się ku dołowi od linii zerowej, z wyjątkiem sytuacji, gdy mierzone wartości przekraczają przeciętny próg słyszenia. Wówczas nanoszone są one powyżej linii 0 dB HL.