

*Jolanta Zielińska***Wykorzystanie komputera do badań audiometrycznych****Ogólna charakterystyka audiometrii komputerowej**

Zalety wykorzystania techniki komputerowej w badaniach audiometrycznych są niezaprzeczalne. Komputer jako urządzenie multimedialne posiada odpowiednie funkcje umożliwiające połączenie atrakcyjnej formy prezentacji graficznej z procesem wytwarzania dźwiękowych sygnałów testowych o precyzyjnie kontrolowanych parametrach. Należą do nich również sygnały tonowe i sygnały mowy w szumie. Komputer to urządzenie interaktywne, co pozwala na łatwe i skuteczne przeprowadzenie wywiadu z osobą badaną, przykładowo w formie elektronicznej ankiety. Uzyskiwane w ten sposób dane można poddać archiwizacji lub przesyłać do centralnego ośrodka opieki medycznej za pośrednictwem sieci komputerowych. Automatyczna analiza wyników otrzymanych przy pomocy ankiety oraz testów dźwiękowych pozwala na postawienie wstępnej diagnozy o prawidłowości słyszenia lub ewentualnym rodzaju i charakterze wady słuchu [3].

Odpowiednio przygotowany system komputerowy umożliwia dostęp do zasobów informacyjnych dotyczących zagadnień z zakresu audiologii, fizjologii i patologii słuchu. Z racji możliwości techniki komputerowej informacje te posiadają atrakcyjną i nowoczesną formę multimedialną. Odpowiednio oprogramowany komputer może w określonym zakresie spełnić rolę lekarza pierwszego kontaktu, zdiagnozować i skierować do specjalistycznego ośrodka medycznego.

Audiometria komputerowa opiera się na działaniu multimedialnych urządzeń współpracujących z komputerem i jest wysoce przydatna na etapie poprzedzającym proces usprawniania, czyli w procesie wczesnej diagnozy. Na rynku dostępna jest szeroka oferta audiometrów komputerowych oferujących całą gamę typów pomiarów audiometrycznych, w tym: tonowy, Bekesego, audiometrię słowną, pomiary ABLB, TT Decay, SISI. Sterowanie audiometrem podłączonym za pomocą złącza równoległego do komputera odbywa się za pośrednictwem oprogramowania. Pierwszy moduł realizuje pełen zakres pomiarów typowej audiometrii klinicznej, natomiast drugi jest przeznaczony do współpracy z dziećmi i posiada formę gry komputerowej. Wyniki pomiarów są przechowywane we wspólnej bazie danych.

Nowoczesne, profesjonalne rozwiązania w zakresie audiometrii komputerowej są wynikiem współpracy Katedry Inżynierii Dźwięku i Obrazu Politechniki Gdańskiej z Instytutem Fizjologii i Patologii Słuchu w Warszawie. Jest to rozwiązanie

systemowe masowych badań przesiewowych, oparte na zastosowaniu współczesnych technologii teleinformatycznych, w formie zestawu nowoczesnych narzędzi komputerowych do badania słuchu. Opracowane aplikacje i systemy mają w znacznej mierze charakter oryginalny, w ich ramach zrealizowano m.in. [1]:

- multimedialny system do przesiewowego badania słuchu metodą audiometrii tonowej i słownej w szumie, przy użyciu standardowego zestawu komputerowego,
- oprogramowanie do prowadzenia pomiarów audiometrycznych przy wykorzystaniu komputera,
- wielokanałowy audiometr behawioralny do badania sprawności słuchu u bardzo małych dzieci,
- zminiaturyzowany elektroniczny kalibrator poziomu dźwięku,
- oprogramowanie do doboru protez słuchu i do symulacji działania aparatów słuchowych.

Audiometr komputerowy stanowi symulację programową przyrządu audiometrycznego średniej klasy, wyposażonego w zaawansowany system baz danych. Pozwala to na zarejestrowanie i zarchiwizowanie wyników pomiarów audiometrycznych. Warunkiem dokładności wykonanych pomiarów jest wykorzystanie podczas pracy z programem odpowiednich, wykalibrowanych słuchawek audiometrycznych.

System symulacji działania protez słuchu i doboru aparatów słuchowych, działający w postaci oprogramowania multimedialnego, może być wykorzystany zarówno do doboru nastaw aparatów słuchowych, jak i implantów ślimakowych, a także do prowadzenia szeroko pojętych badań rozumienia mowy. Opiera się on na wykorzystaniu sygnałów mowy filtrowanej dynamicznie w szumie dla potrzeb dopasowania protezy w taki sposób, aby jej nastawy zostały zoptymalizowane pod kątem zdolności rozumienia mowy przez osobę z uszkodzonym słuchem [3]. W celu uwiarygodnienia wyników badań opracowano miniaturowy elektroniczny kalibrator poziomu sygnałów audiometrycznych. Współpracuje on ze słuchawkami audiometrycznymi i umożliwia precyzyjne ustawienie poziomu sygnałów testowych odbieranych przez badaną osobę.

Dodatkowo łączność komputerowa z lokalnymi ośrodkami medycznymi pozwala na zainstalowanie systemów zdalnych konsultacji medycznych, przykładowo w postaci systemu wideokonferencyjnego. Zapewnia to kontakt z audiologiem o charakterze wideofonicznym, oparty na tzw. chacie, czyli wymianie tekstu on-line. Pozwala na uszczegółowienie diagnozy, wyjaśnienie ewentualnych wątpliwości i co najważniejsze – ukierunkowanie dalszych działań. Stanowi istotny element pomocy, zwłaszcza dla rodziców dzieci dotkniętych wadą słuchu, którzy niejednokrotnie nie wiedzą, jak zachować się w zupełnie nowej, trudnej życiowo sytuacji stwierdzenia niepełnosprawności ich dziecka. Podłączenie serwisu wideokonferencyjnego do jednej z wersji systemu „Słyszę” umożliwia kontakt audiowizualny badanej osoby lub jej opiekuna z audiologiem. Można przypuszczać, że ten posiadający wiele zalet sposób komunikowania się osoby badanej z lekarzem, w obliczu rozwoju sieci komputerowych i telemedycyny, może stać się w przyszłości nie tylko pożądanym, ale również powszechnym [2].

Tradycyjnie stosowane metody pomiarowe opierają się przede wszystkim na trójtonowej audiometrii tonalnej. Prezentowana metoda komputerowa bazuje na

dotychczasowym wykorzystaniu audiometrii mowy w szumie. Jako sygnałów testowych obok tonów prostych używa się w niej sygnałów mowy zmiksowanych w odpowiednich proporcjach z sygnałem szumu.

Komputerowa audiometria, jeśli ma odegrać rolę profesjonalnego narzędzia diagnostycznego, powinna spełnić określone wymogi metodyczne:

- oparcie badań na wykorzystaniu komputera osobistego,
- poprzedzenie badań ankietą komputerową, rejestracja poprzez nią danych osobowych oraz innych dodatkowych informacji wspomagających proces przesiewu,
- opracowanie przebiegu badań w formie testu zamkniętego,
- oparcie metody badawczej na audiometrii mowy w szumie,
- wykorzystanie jako szumu maskującego sygnału mowy szumu CCITT lub Fastla,
- zachowanie w czasie testu stałego stosunku poziomów sygnału mowy do sygnału szumu,
- próg zrozumiałości mowy należy wyznaczyć eksperymentalnie poprzez przeprowadzenie testów pilotażowych, a wiarygodność uzyskanego wyniku poddać ocenie statystycznej,
- audiometr musi spełniać wymogi kalibracyjne określone odpowiednimi normami.

Badania audiometryczne przeprowadzane z wykorzystaniem komputera adresowane są głównie do dzieci i młodzieży. Stąd przy konstrukcji badań preferowane jest użycie testu zamkniętego. Posiada on wiele zarówno wad, jak i zalet, z których najważniejsza to fakt, że taki test nie wymaga od osoby badanej wpisywania odpowiedzi słownych. Ma to szczególne znaczenie w przypadku badań małych dzieci, które nie opanowały umiejętności pisania z użyciem klawiatury. Zastosowanie w tym przypadku procedury badawczej polegającej na wyborze proponowanych odpowiedzi na monitorze komputera za pomocą myszki jest zdecydowanie bardziej wskazane. Testy dla najmłodszej grupy dzieci powinny być dodatkowo wzbogacone o odpowiednie elementy graficzne, w tym również zabawowe.

Procedura badawcza oparta na audiometrii mowy w szumie jest uzasadniona szczególnie w przypadku testów przesiewowych dzieci. Testy wykorzystujące audiometrię mowy, w odróżnieniu od klasycznych metod opartych na audiometrii tonalnej, pozwalają nie tylko na badanie mechanizmu słyszenia, lecz dodatkowo na sprawdzenie mechanizmów percepcji mowy. Pożądane efekty to wykorzystanie szumu maskującego ucho badane, minimalizującego niepożądany wpływ szumów tła akustycznego oraz fakt, że warunki pomiarów wykorzystujących szum maskujący ucho badane są zbliżone do warunków naturalnych. W testach audiometrycznych mowy można zastosować kilka rodzajów szumu. Należą do nich:

- szum biały,
- szum różowy,
- szum mowy,
- szum typu „cocktail-party”.

Dwa pierwsze rodzaje szumów, czyli szum biały i różowy stosowane są w audiometrii mowy niezwykle rzadko. Częściej używany jest szum typu „cocktail-party”, czyli nagranie kilku lub kilkunastu osób mówiących jednocześnie. Najczęściej stosowany jest szum mowy. Charakterystyka amplitudowa jego widma zbliżona jest do uśrednionej charakterystyki amplitudowej widma sygnału mowy. Przykładem

szumu mowy wykorzystywanym w audiometrii komputerowej jest szum CCITT wymieniony wcześniej w zaleceniach metodycznych. Posiada on charakter pasmowy o częstotliwości środkowej około 500 Hz, którego długoterminowa obwiednia amplitudowa zaznaczona krzywą łamaną jest stała w czasie. Innym przykładem szumu mowy jest wymieniony jako alternatywny szum Fastla. W odróżnieniu od szumu CCITT ten posiada charakterystykę czasową zbliżoną do charakterystyki czasowej sygnału mowy. Jego widmowa charakterystyka amplitudowa jest taka sama, jak w i przypadku szumu zalecanego przez CCITT. Różnica dotyczy charakterystyki czasowej, gdyż w przypadku szumu Fastla obwiednia amplitudowa jest zmienna w czasie. Szum ten można uzyskać z wykorzystaniem szumu CCITT poprzez zmodulowanie go amplitudowo sygnałem szumu pasmowego o częstotliwości środkowej 4 Hz. Jest to istotna wskazówka praktyczna dotycząca organizacji audiometrii komputerowej i realizacji badań [1].

W dalszej kolejności jako rozwiązanie praktyczne zostaną zaprezentowane konkretne rozwiązania sprzętowe stosowane w audiometrii komputerowej: multimedialny audiometr komputerowy o nazwie MAK oraz wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny

### **Multimedialny audiometr komputerowy MAK**

Multimedialny audiometr komputerowy MAK stanowi przykład praktycznego zastosowania techniki multimedialnej w audiologii, a tym samym diagnozie słuchu [1]. Jego podstawową zaletą jest fakt, że działa w systemie operacyjnym Windows. Poza MAK skonstruowano szereg innych rozwiązań audiometrycznych, np. AudioStation czy Digital Audiometr. Ich podstawową wadą są specyficzne wymagania sprzętowe związane z wykorzystywaniem możliwości wielozadaniowych platform sprzętowych. Oparte są one na działaniu mało popularnych platform sprzętowych. Wymienione rozwiązania, wymagające przetwarzania równoległego, bazują na stosunkowo mało popularnej platformie NeXT, a tym samym na możliwościach systemu operacyjnego NeXTStep, będącego odmianą systemu Unix.

Prezentowany multimedialny audiometr komputerowy MAK pozwala na prowadzenie badań audiometrycznych przy pomocy standardowego sprzętu komputerowego, bez konieczności korzystania z kosztownej, tradycyjnej aparatury audiometrycznej. Oprogramowanie wymaga jednak współpracy z odpowiednim zestawem słuchawkowo-kalibracyjnym. Zastosowanie bazy danych daje możliwość zbierania i przetwarzania dużej ilości wyników badań audiometrycznych, ich kategoryzowanie, porównywanie i opracowywanie statystyczne. Możliwa jest bezpośrednia transmisja wyników badań audiometrycznych przez Internet do centralnego serwera, gdzie wyniki są gromadzone i archiwizowane. Sygnały do prowadzenia badań audiometrycznych odtwarzane są bezpośrednio ze ścieżek fonicznych płyt CD-ROM, na których zostały wcześniej zarejestrowane. Wskaźnik strumienia CD-Audio kontrolowany jest poprzez ustawienia wartości urządzeń sterowania interfejsu użytkownika aplikacji audiometru komputerowego i jest dodatkowo korygowany ze względu na krzywą normalnego słyszenia oraz stosownie do charakterystyk częstotliwościowych wykorzystywanych słuchawek [3].

Stosowane oprogramowanie umożliwia prowadzenie pomiarów w dwóch trybach. W pierwszym z nich zmiana częstotliwości sygnału używanego do pomiarów

i jego poziomu jest sterowana ręcznie przez prowadzącego badanie. W drugim trybie zmiany następują automatycznie, odtwarzane są kolejne ścieżki z nagraniem sygnałów testowych odpowiadających poszczególnym częstotliwościom pomiarowym. Ma to miejsce w porządku odpowiadającym narastaniu poziomu dźwięku. Tak jak w tradycyjnym badaniu audiometrycznym w momencie osiągnięcia przez sygnał właściwego dla danej osoby poziomu progowego badany sygnalizuje obecność dźwięku w słuchawkach. Informacja ta zostaje natychmiast wprowadzona do komputera za pomocą naciśnięcia klawisza myszy komputerowej. Odpowiada to zaznaczeniu punktu charakteryzującego progową czułość słuchu dla bodźca o danej częstotliwości na charakterystyce audiometrycznej, która jest rysowana na skali „częstotliwość i poziom dźwięku” [1].

Kolejno ma miejsce zmiana częstotliwości bodźca i odczytanie ścieżki z zapisem sygnałów akustycznych. Odpowiadają one oczywiście sygnałom akustycznym o nowej częstotliwości, odtwarzanym, jak poprzednio, w kolejności odpowiadającej narastaniu poziomu dźwięku. Takie konsekwentne działanie prowadzi do uzyskania na ekranie komputera charakterystyki audiometrycznej dla badanej osoby. W dalszej kolejności charakterystyka zostaje zarchiwizowana w bazie danych wchodzącej w skład programu lub wydrukowana na drukarce podłączonej do komputera. Przykładowo: wykorzystywane do badań częstotliwości sygnałów bodźcowych będące sygnałami harmonicznymi to: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 10 kHz. W celu przeprowadzenia badań każdy sygnał musi zostać zapisany cyfrowo z następującymi poziomami: -10 dB, -5 dB, 0 dB, 5 dB, 10 dB, 15 dB, 20 dB, 25 dB, 30 dB, 35 dB, 40 dB, 45 dB, 50 dB, 55 dB, 60 dB, 65 dB, 70 dB, 75 dB, 80 dB, 85 dB, 90 dB, 95 dB, 100 dB, 105 dB, 100 dB, 115 dB. Istnieją wersje oprogramowania, które umożliwiają zagłuszania aktualnie nie badanego ucha poprzez odtwarzanie szumu. Jego fragmenty o różnych poziomach natężenia w zakresie 10–100 dB są również zapisywane na dysku komputera razem z sygnałami testowymi.

Traktując całościowo przedstawianą problematykę zastosowania techniki komputerowej w audiometrycznych badaniach słuchu, należałoby odnieść się dodatkowo do dokładności pomiarów czułości słuchu, uzyskiwanych za pomocą audiometru komputerowego. Przeprowadzone badania porównawcze badań prowadzonych z użyciem audiometru tradycyjnego oraz komputerowego audiometru AD-841, MADSEN Midimate 622 i MAK wskazały na porównywalność wyników, zwłaszcza w grupie dzieci i osób młodszych [1]. Tradycyjne audiometry stosowane powszechnie w diagnostyce słuchu różnią się znacznie pomiędzy sobą czułością w skali częstotliwości. Audiometr komputerowy w pełni mieści się w tych granicach. Stąd może, a nawet powinien być on stosowany w badaniach diagnostyczno-przesiewowych słuchu.

W dalszej części zostanie omówiony oparty na innym rodzaju audiometrii niż prezentowana do tej pory – na audiometrii behawioralnej – wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny.

### **Wielokanałowy multimedialny audiometr behawioralny**

Audiometria behawioralna stanowi efektywne narzędzie diagnostyki słuchu zwłaszcza małych dzieci, od 6 miesiąca życia do 3 lat, oraz osób upośledzonych. W tych grupach przeprowadzenie badań standardowych metodami audiometrii

tonalnej lub audiometrii mowy jest ograniczone, lub wręcz niemożliwe. Ocena przeprowadzana jest na podstawie reakcji badanego na podawany bodziec dźwiękowy. Stąd zasadnicza trudność i podstawowe zadanie testów polegające na wyćwiczeniu wymaganej reakcji u badanego i nauczaniu go tej czynności. Do najczęściej stosowanych metod tego rodzaju audiometrii należy przykładowo badanie słuchu metodą zabawową, jej odmiana o nazwie projekcyjna lub filmowa, czy też metoda oddziaływania poprzez wzmocnienie bodźców wzrokowych, poprzez jednoczesną prezentację dźwięku i obrazu [1].

Działanie audiometru spełnia podstawowe założenia zalecane w audiometrii behawioralnej w zakresie stosowania sygnałów dźwiękowych. Są to:

- czas trwania dźwięku około 5 s,
- możliwość wyboru różnego rodzaju dźwięków, zarówno naturalnych znanych z bezpośredniego kontaktu z otoczeniem, jak również syntetycznych, takich jak szumy czy sygnały modulowane (tabela 1),
- możliwość generowania dźwięków przypisanych do jednego z trzech podstawowych zakresów częstotliwości: niskiego, średniego i wysokiego,
- wyrównana dynamika postaci czasowej sygnału,
- atrakcyjność i łatwość spostrzegania sygnałów dźwiękowych, przykładowo zwiększona przez wprowadzenie kluczowania czasowego,
- opracowanie testów dźwiękowych umożliwiających określanie progu słyszenia u małych dzieci, uwzględniających ich zdolności w lokalizowaniu źródła dźwięku.

Wymagania te doprowadziły do opracowania zestawienia sygnałów naturalnych, które mogłyby stać się przykładowymi dźwiękami testowymi z szacunkową kwalifikacją do trzech głównych zakresów częstotliwości, możliwymi do potencjalnego zastosowania w audiometrii behawioralnej. Prezentuje je tabela 1.

**Tab. 1.** Źródła dźwięków naturalnych potencjalnie znanych badanemu dziecku, z szacunkową kwalifikacją do trzech głównych zakresów częstotliwości, możliwe do zastosowania w audiometrii behawioralnej [1]

Częstotliwości niskie (zakres 50–750 Hz)	Częstotliwości średnie (zakres 750–3000 Hz)	Częstotliwości wysokie (zakres 3–20 kHz)
warkot silnika (różne rodzaje)	odgłos dzwonu	piszczałki, gwizdki
bieganie po schodach (drewnianych, betonowych)	grające zabawki	zabawki gumowe
pojazdy: pociąg, tramwaj, autobus, samochody osobowe, winda	dzwonek telefonu (różne rodzaje), budzik	dzwonki (różne rodzaje) średnie, małe, klucze, trójkąt
stukanie młotem w ścianę	lejąca się woda	świerszcze
wiertarka	kapiący kran (krople spadające na różne powierzchnie)	odgłosy zwierząt: kanarki, ptaki leśne
bębny (różne rodzaje)	grzechotki: kukurydza, groch w różnych pojemnikach, tamburyn	grzechotki (metalowe przedmioty w szklanym pojemniku), piasek w puszcze



dźwięki zwierząt: krowa, baran, koń niedźwiedź, sowa, pies (różne), wrona	dźwięki zwierząt: kaczkę, kury (koguty), papugi, słoń, żaby, gęsi, kaczkę, koty (różne), mewy	
odkurzacz, pralka	tluczone szkło	
bicie serca	oklaski	
	klakson samochodowy	

W trakcie prac naukowo-badawczych opierano się na doświadczeniach związanych ze stosowaniem transpozera widma do poprawy rozumienia mowy osób z dużymi ubytkami słuchu. Charakteryzuje się one występowaniem tzw. audiogramu narożnego, reprezentującego wąskie pole słyszenia resztkowego w zakresie niskich częstotliwości i wysokich poziomów dźwięku.

Zasadniczym i najważniejszym celem prac w zakresie badań audiometrycznych jest skonstruowanie takiego narzędzia diagnostycznego, które można byłoby w prosty sposób dostosować do aktualnych potrzeb badań słuchu. Znanych jest co najmniej kilka sposobów przygotowania testów dźwiękowych do audiometrii behawioralnej. Niektóre wymagają przyjęcia założeń odnośnie do profilu testu, liczby analizowanych pasm, kroku, z którym zmienia się głośność sygnału, jego rodzaju, kierunku, z którego ma być odtworzony oraz odpowiedniego przygotowania płyt CD/DVD.

W innych sposobach wykorzystuje się komputer. Podstawowym elementem jest wtedy wybór, według indywidualnych wymagań użytkownika odpowiadającej mu platformy komputerowej i metody konfiguracji testu. W prezentowanym wielokanałowym multimedialnym audiometrze behawioralnym użytkownik sam wybiera bezpośrednio przed badaniem taki profil testu, jaki uważa za najbardziej wskazany w danym przypadku.

Jak pokazano na kilku wybranych przykładach, udział techniki komputerowej w badaniach audiometrycznych słuchu jest znaczny. Zmieniła ona w zasadniczy sposób podejście i możliwości w zakresie badania słuchu, wnosząc w audiometrię nowe metody i treści. W najbliższym czasie można spodziewać się dalszych zmian, a tym samym nowych szans dla osób z uszkodzonym słuchem. Im lepsze, powszechniejsze i bardziej dostępne metody pomiarowe, a przy tym nowocześniejsze, tym większa szansa na szybszą i trafniejszą diagnozę, a tym samym rewalidację.

## Bibliografia

- [1] Czyżewski A., Kostek B., Skarżyski H., *Technika komputerowa w audiologii, foniatrii i logopedii*, PWN, Warszawa 2002
- [2] Zielińska J., *Technika medialna w edukacji osób niepełnosprawnych. Szanse i wyzwania*, [w:] *Osoba-Edukacja-Dialog*, t. 2, red. M. Ledzińska, G. Rudkowska, L. Wrona, Wyd. Naukowe AP, Kraków 2002
- [3] Zielińska J., *Komputer w rozwoju sprawności komunikacyjnej dzieci niesłyszących*, Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2005

## **Application of Computer for Audiometric Research**

### **Abstract**

In the paper possibilities of a computer technology application for audiometric hearing ability were presented. A general concept of computer audiometry was overviewed and modern tools for hearing testing were described. The usage of the modern multimedia audiometer MAK and the multichannel behavioral audiometer was discussed. This way the theoretical and the practical aspects were combined in simple examples.

Keywords: audiometr, computer, hearing fault