

Jolanta ZIELIŃSKA

Nowoczesna technika komputerowa w edukacji

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania nowoczesnej techniki komputerowej w monitorowaniu pracy strun głosowych, a tym samym w rewalidacji mowy np. dzieci niesłyszących, mających problemy z uzyskaniem prawidłowej artykulacji oraz motoryki oralnej. Zaprezentowano budowę, zasadę działania oraz tryby pracy nowoczesnego urządzenia sprzęgniętego z komputerem, o nazwie Laryngograph Processor PCLX, które umożliwia rejestrację drgań krtani w sposób łatwy zarówno do interpretacji, jak i interaktywnej pracy z użytkownikiem.

Słowa kluczowe: dźwięk, struny głosowe, laryngograf, komputer, elektroglotografia

1. WPROWADZENIE

Większość dźwięków mowy ludzkiej wytwarzanych jest na drodze pobudzenia strun głosowych przez strugi powietrza pulsujące z określoną częstotliwością. W normalnej mowie częstotliwość drgań strun głosowych określa zabarwienie głosu i istnieje tutaj bezpośrednia korelacja pomiędzy tą częstotliwością a intonacją [1]. Możliwości badań pracy strun głosowych w sposób niezależny od wytwarzanego dźwięku, na drodze pomiaru ich własności fizycznych, zostały wykorzystane w konstrukcji urządzenia, zwanego laryngografem. Prototyp tego urządzenia opracowano po raz pierwszy na Wydziale Fonetyki University College w Londynie [2]. Obecnie jest ono produkowane w firmie Laryngograph Ltd. W ciągu kilku lat od wynalezienia laryngografu znalazł on zastosowanie w takich dziedzinach, jak:

- terapia mowy i logopedia, w celu doskonalenia procesu mowy,
- badania kliniczne nosa i gardła, do diagnozowania pracy strun głosowych po zabiegach operacyjnych,
- doskonalenie głosu przez śpiewaków i spikerów,
- badania relacji pomiędzy mową a pracą traktu głosowego,
- nauczanie języków obcych.

2. ZASADA PRACY LARYNGOGRAFU

Zasada działania laryngografu jest oparta na elektroglotografii. Metoda ta polega na umieszczeniu po obydwu stronach gardła na wysokości krtani dwu elektrod. Impedancja elektryczna pomiędzy nimi jest funkcją ich wzajemnego położenia, które ulega zmianom podczas drgań krtani. W szczególności, jeżeli struny głosowe są zwarte jest ona mniejsza, niż w przypadku, gdy są rozwarte. Zjawisko to już od dłuższego czasu było wykorzystywane do monitorowania ruchów strun głosowych w procesie normalnego mówienia [3].

Jednakże negatywnymi cechami urządzeń wykorzystujących wprost to zjawisko były: konieczność regulacji dla każdego pacjenta oraz zniekształcenia pomiarów wynikające z ewentualnego przesunięcia elektrod na szyi osoby badanej.

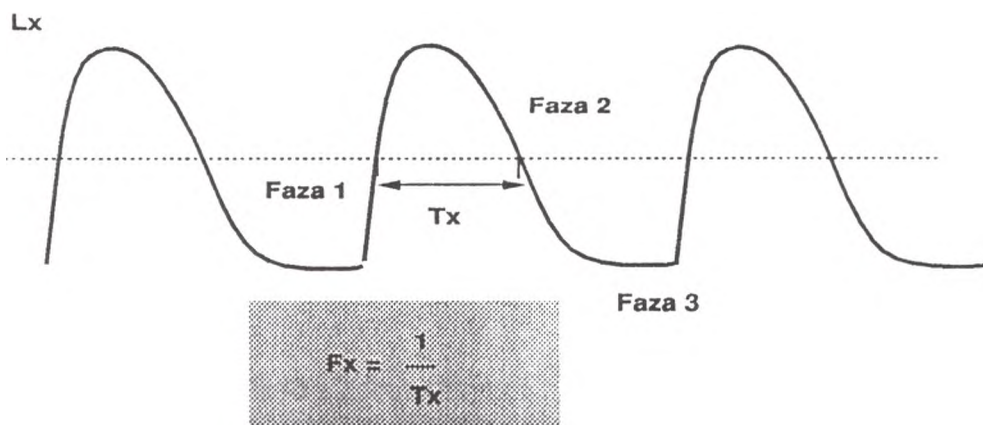
Technika laryngograficzna stanowi udoskonaloną formę elektroglotografii eliminującą wspomniane niedogodności. Osiągnięto to przez:

- wprowadzenie elektrod z dodatkowymi, otaczającymi je, przewodzącymi pierścieniami, zastosowanie ekranowanych połączeń oraz użycie trójbiegunowej sieci, której wyjście jest zależne tylko od warunków elektrycznych na szyi mówiącego, wyłącznie w bezpośrednim sąsiedztwie elektrod,
- zaprojektowanie obwodu przetwarzającego wyjście z elektrod w sposób samokompensujący różne impedancje na szyi mówiącego tak, iż wyjście zależne jest tylko od szybkich zmian związanych z drganiami strun głosowych.

Moc elektryczna rozpraszana na szyi mówiącego wynosi około 20 mW, przy częstotliwości 1 MHz. W przypadku normalnego głosu męskiego iloraz końcowego sygnału wyjściowego i szumu wynosi około 40dB. Dla dzieci i niemowląt względny szum jest znacznie większy, chociaż udane wyniki badań daje się uzyskać nawet dla nowo narodzonych dzieci [4].

Sygnał wyjściowy laryngografu L_x reprezentuje pracę strun głosowych i stanowi podstawę do wyznaczenia częstotliwości F_x . Na rys. 1 pokazano przebieg krzywej L_x podczas pracy strun głosowych oraz sposób obliczenia

częstotliwości podstawowej F_x . Analiza cyklu sygnału L_x pozwala wyróżnić trzy jego fazy. Pierwsza z nich, to szybki wzrost sygnału, odpowiadający szyb-



Rys. 1. Przykładowy przebieg krzywej L_x

kiemu zamykaniu się strun głosowych. Druga faza odpowiada nieco powolniejszemu opadaniu sygnału i związana jest z rozwieraniem się strun. Faza trzecia, mająca płaski przebieg, odpowiada stanowi, w którym struny głosowe są otwarte. Częstotliwość F_x jest obliczana na drodze pomiaru czasu każdego cyklu pracy strun w połowie wartości amplitudy sygnału L_x (w praktyce dokonuje się pomiaru odstępów czasu pomiędzy przejściami sygnału przez ten poziom). Poszukiwana wartość F_x stanowi odwrotność okresu sygnału L_x . Najczęściej przedstawia się zmiany sygnału F_x w postaci funkcji logarytmicznej. Wartość F_x jest ujemnym logarytmem z obserwowanej na bieżąco wartości sygnału L_x .

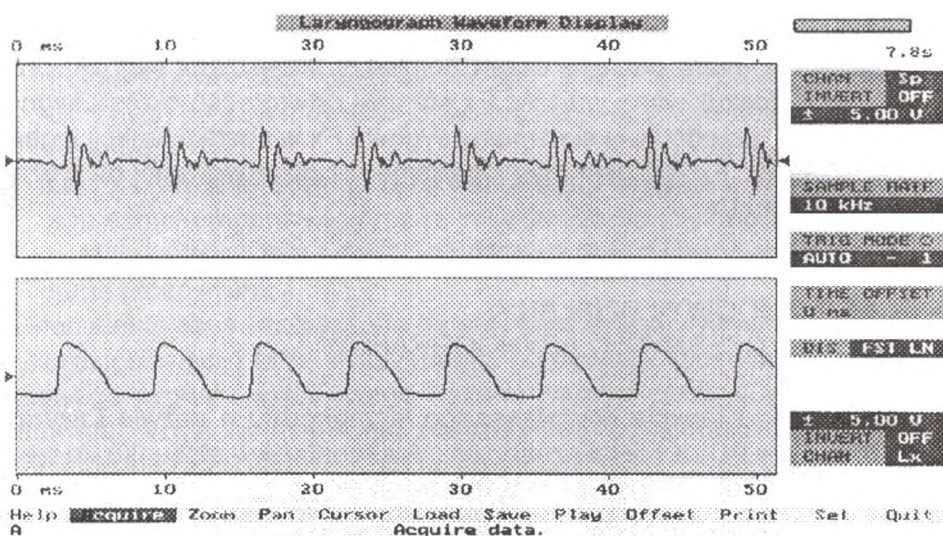
3. OPIS BUDOWY I DZIAŁANIA WSPÓŁCZESNYCH LARYNGOGRAFÓW

Konstrukcja i funkcje nowoczesnego laryngografu o nazwie **Laryngograf Processor PCLX** zostały znacznie udoskonalone w stosunku do pierwszych urządzeń tego rodzaju, chociaż sama zasada pomiaru pozostała bez zmian [2].

Laryngograf Processor PCLX składa się z następujących części:

- przenośnego laryngografu wyposażonego w elektrody i mikrofon. Urządzenie to posiada wejście sygnału Lx, do którego podłącza się elektrody umieszczane na szyi osoby badanej oraz wejście sygnału Sp ciśnienia fali akustycznej, do którego podłącza się mikrofon. Laryngograf ten może być zastosowany w celu rejestracji sygnałów Lx, Fx i Sp na taśmie magnetofonowej w celu późniejszego odtworzenia i wprowadzenia do komputera, względnie do bezpośredniego wprowadzenia tych sygnałów do komputera przez specjalny interfejs;
- karty interfejsu wkładanej w złącze na płycie głównej komputera IBM PC. Karta ta zawiera specjalne układy przetwarzania sygnałów Lx, Fx oraz Sp tak, iż mogą one być wizualizowane na ekranie komputera i zapamiętywane na bieżąco;
- oprogramowania PCLX pozwalającego na akwizycję sygnałów, ich wizualizację, analizę oraz zapamiętywanie na dysku w celu późniejszej analizy i odtworzenia.

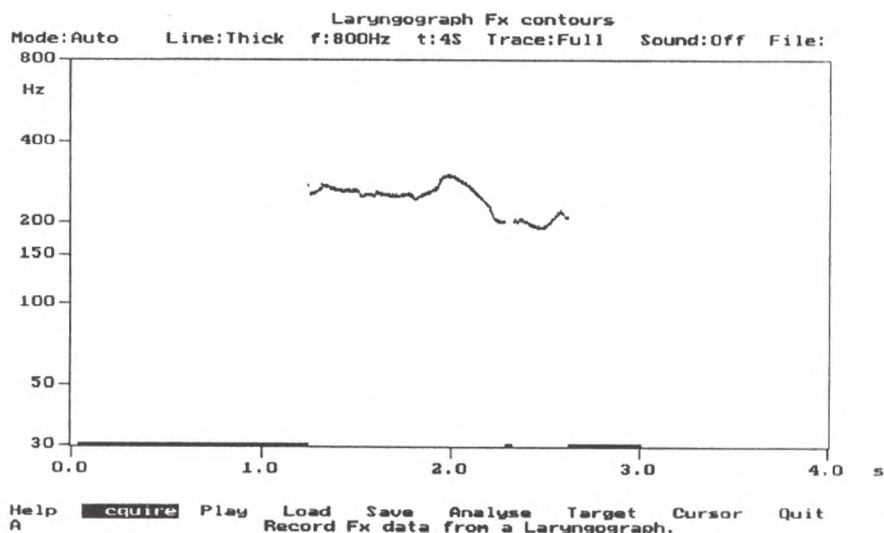
Dla użytkownika szczególnie istotne są funkcje dostarczane przez program PCLX. Posiada on interfejs okienkowy i na każdym etapie pracy użytkownik ma do dyspozycji menu dostępnych komend. Istnieją dwa podstawowe tryby pracy tego programu, zwane odpowiednio **PCwave** i **PCpitch**. W trybie **PCwave** na ekranie komputera dostępne są dwa okienka, tak jak to pokazano na rys. 2. W okienku górnym wyświetlany jest przebieg sygnału Sp, natomiast w okienku dolnym sygnał Lx. Sygnały te można analizować wybierając dowolny ich fragment, który może być następnie powiększony. Program umożliwia także pomiar odstępu czasu pomiędzy poszczególnymi



Rys. 2. Postać ekranu w trybie **PCwave**

punktami sygnału. Można tego dokonać przez odpowiednie ustawienie dwu dostępnych kursorów, pomiędzy którymi mierzony jest przedział czasu. Należy zauważyć, że kształt sygnału Lx niesie informacje o możliwych nieprawidłowościach pracy całego traktu głosowego.

Tryb **PCpitch** służy do akwizycji i analizy sygnału Fx. Ponieważ sygnał ten niesie informacje o wszystkich elementach prawidłowej wypowiedzi, zatem ten tryb pracy zostanie omówiony bardziej szczegółowo.



Rys. 3. Postać ekranu w trybie **PCpitch**

Podstawową postać ekranu dla tego trybu pracy przedstawiono na rys. 3. W okienku wizualizowany jest przebieg sygnału Fx, zatem na osi rzędnych zaznaczona jest częstotliwość w skali logarytmicznej, a na osi odciętych czas. Przedział zmienności częstotliwości Fx wynosi od 0 do 800Hz, a maksymalny przedział czasu 8 sekund. Tak więc możliwa jest analiza nie tylko wypowiedzianych poszczególnych słów, ale także całych zdań.

W rozważanym trybie możliwe są następujące operacje [3]:

- Akwizycja sygnału Fx.

W tym trybie wizualizowany jest przebieg mierzonego sygnału Fx. Sygnał przedstawiony na ekranie jest jednocześnie zapamiętywany w specjalnym buforze. Proces wizualizacji i zapamiętywania sygnału może być w dowolnym momencie przerwany i uruchomiony ponownie lub wznowiony. Po zapisaniu całego buforu rejestracja sygnału jest zatrzymywana lub wznowiana od początku. Sygnał Fx zapamiętany w buforze może być zapisany w zbiorze na dysku. Funkcje dostarczane w tym trybie pozwalają na wygodną

selekcję reprezentatywnych przebiegów w trakcie prowadzenia eksperymentu. Są one łatwe do opanowania nawet dla małych dzieci.

- Odtwarzanie sygnału Fx ze zbioru dyskowego.

Sygnał Fx zapisany w zbiorze dyskowym może być załadowany do buforu i odtworzony. Zachowana jest przy tym dynamika przebiegu sygnału i jest ona zgodna z tą, jaka jest obserwowana w trakcie akwizycji sygnału.

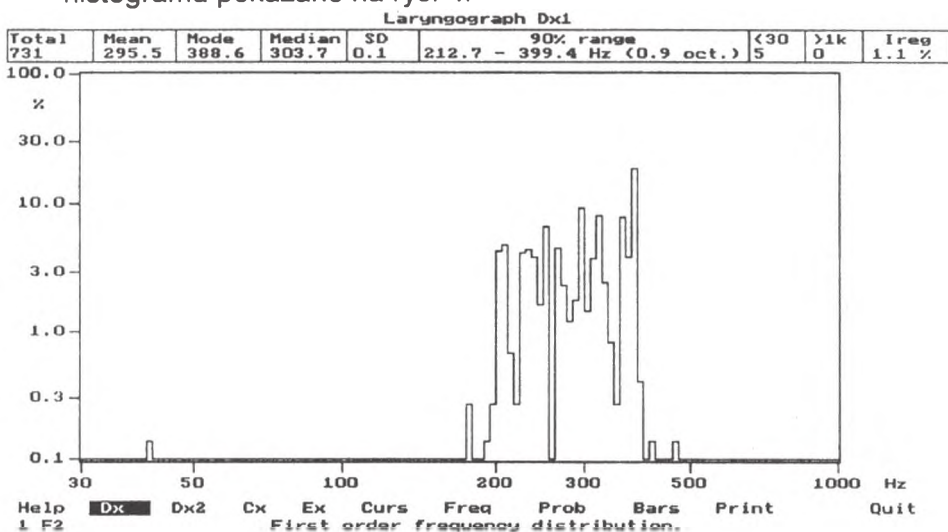
- Pomiar sygnału Fx.

Sygnał zapamiętany w buforze może być mierzony. Służą do tego dwie linie, prostopadłe odpowiednio do osi czasu i częstotliwości. Ich położenie można zmieniać za pomocą odpowiednich klawiszy. Współrzędna punktu przecięcia tych dwu linii jest podawana w dolnej linii ekranu. Umieszczając punkt przecięcia linii odniesienia w interesującym miejscu przebiegu Fx można odczytać jego współrzędne.

- Analiza sygnału Fx.

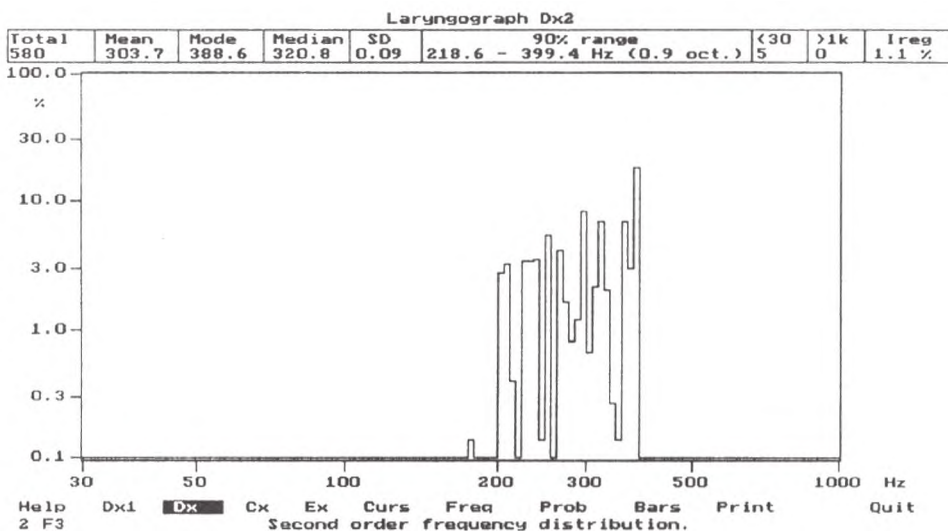
Analiza sygnału Fx polega na wyznaczeniu trzech charakterystycznych współczynników: Dx1, Dx2 i Cx. Zdefiniowanie ich znaczenia wymaga podania pewnych szczegółów technicznych. Podstawą wyznaczenia częstotliwości Fx jest pomiar czasu Tx w sygnale Lx, jak to pokazano na rys. 1. Przedział zmienności Fx przyjęty w granicach od 30Hz do 1000Hz został podzielony w skali logarytmicznej na 128 równych części. Mierzone częstotliwości Fx mogą być sortowane i przypisywane do jednego ze 128 wyróżnionych podprzedziałów. Na tej podstawie zdefiniowano poszczególne współczynniki:

- Dx1 – histogram reprezentujący licznosc poszczególnych przedziałów, przy czym zliczane są wszystkie uzyskane pomiary Fx. Przykład tego histogramu pokazano na rys. 4.



Rys. 4. Przykład histogramu Dx1

– Dx2 – histogram reprezentujący licznosci poszczególnych przedziałów, przy czym dana wartość Fx jest zliczana pod warunkiem, że poprzednio mierzona wartość była zakwalifikowana do tego samego podprzedziału. Tak więc histogram ten reprezentuje rozkład częstotliwości w pewnych przedziałach czasu. Odpowiedni histogram pokazano na rys. 5.

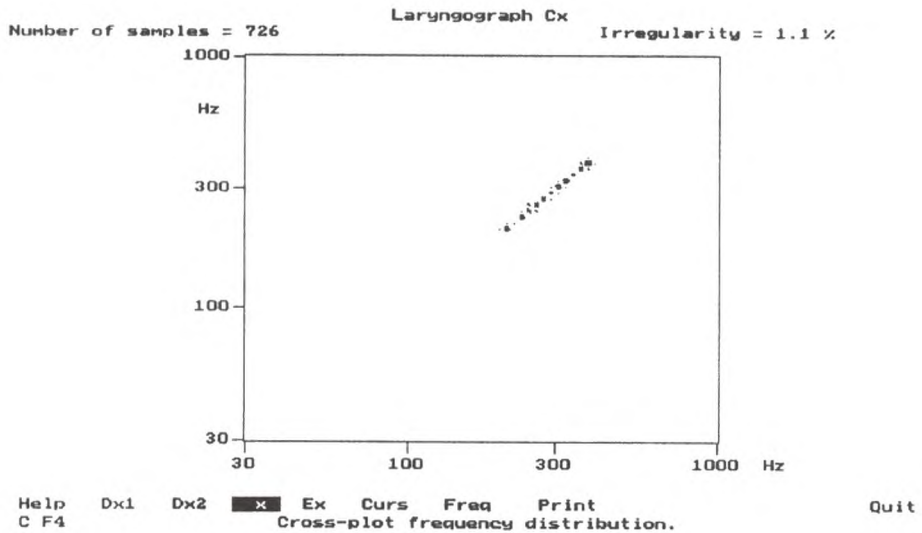


Rys. 5. Przykład histogramu Dx2

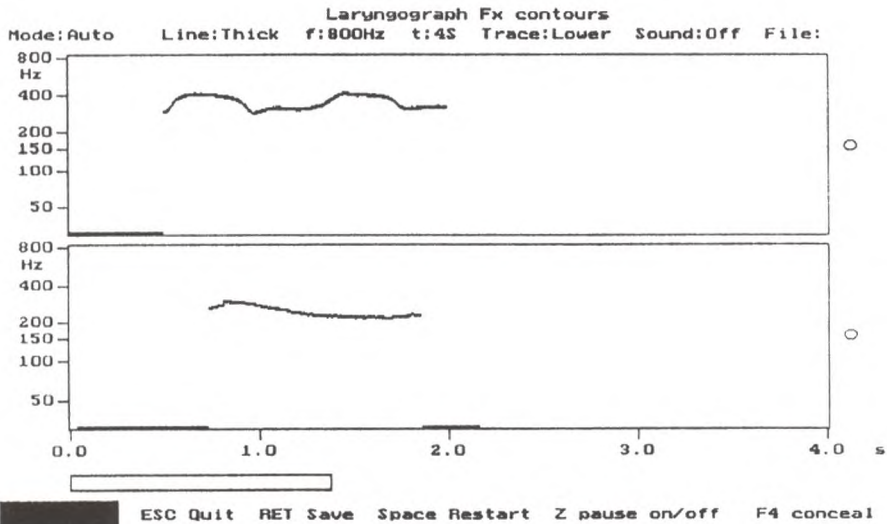
– Cx – stanowi dwuwymiarowy histogram uzyskiwany w sposób następujący: pierwsza z mierzonych częstotliwości Fx stanowi odcięłą punktu, którego rzędna odpowiada drugiej częstotliwości Fx, trzecia częstotliwość Fx stanowi odcięłą kolejnego punktu itd. Dla reprezentacji tego wskaźnika wybrano podział mierzonego zakresu częstotliwości na 64 podprzedziały, a nie 128, jak poprzednio. Przykład tego histogramu przedstawia rys 6.

Przedstawione funkcje pracy programu w trybie **PCpitch** są szczególnie przydatne do akwizycji i badań jakości mowy. Do ćwiczeń wygodny jest drugi z dostępnych w tym trybie ekranów, pokazany na rys. 7. Ekran ten złożony jest z dwu okienek, z których każde podobne jest do okna omówionego wcześniej i służy do wizualizacji sygnału Fx. Jedno z dowolnie wybranych okien można wykorzystać do wizualizacji sygnału wcześniej zapisanego na dysku. Naturalne jest wykorzystanie tej możliwości do wizualizacji wzorca wypowiedzi, który może być widoczny w trakcie ćwiczeń. Drugie okienko może służyć do akwizycji sygnału Fx generowanego w trakcie wypowiedzi osoby ćwiczącej. W tym okienku dostępne są, bowiem wszystkie funkcje akwizycji

omówione wcześniej. Stanowi to bardzo wygodną konfigurację ćwiczeniową dla dzieci niesłyszących podczas nauczania ich wytwarzania poprawnej substancji fonicznej mowy.



Rys. 6. Przykład histogramu Cx



Rys. 7. Postać ekranu w trybie PCpitch target

4. PODSUMOWANIE

Zmiany zachodzące w życiu codziennym oraz w szkolnictwie powszechnym wymagają dokonania podobnych przeobrażeń w szkolnictwie specjalnym. Jednym z elementów tych zmian jest stosowanie technik komputerowych. Techniki te w odniesieniu do dzieci z wadą słuchu pozwalają na efektywniejszą ich rewalidację, stwarzając warunki do samodzielnej, chociaż kontrolowanej pracy uczniów. Zwiększają również efektywność pracy samych nauczycieli, będąc elementem wspomagającym trudny i żmudny proces dydaktyczno-wychowawczy. Pojawienie się nowych środków technicznych pozwala usprawnić i unowocześnić proces nauczania mowy oraz sposoby diagnozowania dzieci z wadą słuchu. Zapotrzebowanie na tego rodzaju środki istnieje zarówno wśród nauczycieli, rodziców, jak i dzieci niesłyszących.

LITERATURA

- [1] Błachnio K.: *Vademecum logopedyczne*. Wyd. UAM, Poznań 1992.
- [2] *Laryngograph Ltd. PCLX user guide*. London 1990.
- [3] Bootle C. M., Fourcin A., Smith J.: *Speech Pattern Element Display, Proceedings SPEECH88*. Edinburgh, Aug. 22-26 1988.
- [4] Abberton E., Howard D., Fourcin A.: *Laryngographic assesment of normal voice: a tutorial*. *Clinical Linguistic and Phonetics*, vol. 3, No. 3, London 1989.