

Bogdan Szczepankowski

Fonetyka akustyczna audytywna i wizualna

Wybrane zagadnienia

POLSKI ZWIĄZEK GŁUCHYCH
Stowarzyszenie Wyższej Umiejętności
PUNKT LOGOPEDYCZNY
dla Dzieci i Młodzieży, Wiedmi Słuch
40-013 KATOWICE

- 110 -



Warszawa 1985

Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego

Spis treści

WSTĘP	5
I. FONETYKA AKUSTYCZNA	7
1. Geneza i przedmiot fonetyki akustycznej	7
2. Drgania i fale akustyczne	11
3. Powstawanie i rodzaje zjawisk akustycznych	19
4. Cechy obiektywne zjawisk akustycznych	22
5. Narządy mowy jako źródło dźwięków	32
6. Struktura akustyczna głosek polskich	39
7. Analiza dźwięków mowy	48
II. FONETYKA AUDYTYWNA I WIZUALNA	52
1. Geneza i przedmiot fonetyki audytywnej i wizualnej	52
2. Budowa, funkcjonowanie i uszkodzenia narządu słuchu	56
3. Metody badania słuchu i ich zastosowanie	67
4. Słuchowa percepcja mowy i jej zaburzenia	77
5. Wpływ uszkodzenia słuchu na rozwój mowy	81
6. Korekcja słuchu i jej znaczenie	85
7. Wzrokowa percepcja mowy	90
8. Wzrokowo-słuchowa percepcja mowy - synergizm wzrokowo-słuchowy	95
9. Język migowy jako substytut i uzupełnienie mowy i jego znaczenie dla porozumiewania się	97
LITERATURA	107
WYKAZ RYSUNKÓW I TABEL	110-111

WSTĘP

Mowa - zdolność porozumiewania się za pomocą symboli dźwiękowych dostępna jest jedynie człowiekowi jako gatunkowi biologicznemu i istocie społecznej. Zanim jednak powstała mowa jako nośnik informacji, człowiek musiał używać słuchu jako źródła tejże informacji, odbierając dźwięki pochodzące z zewnętrznego środowiska.

U zwierząt, które w procesie ewolucji przystosowywały się do życia na ziemi ukształtował się stopniowo narząd słuchu, umożliwiający odbieranie i reagowanie na dźwięki otoczenia. Dźwięki te stanowiły źródło informacji o zróżnicowanym charakterze - pomoc w zdobyciu pożywienia, ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem, nawiązywanie kontaktów z przedstawicielami tego samego gatunku itd. Charakterystyczne jest to, że wiele zwierząt "słyszy" swoje pożywienie, wykorzystując narząd słuchu jako podstawowy w polowaniu na inne zwierzęta. Tak czyni np. sowa, która najpierw słyszy chróbot myszy w trawie, a później zbliża się, by móc ten łup zobaczyć. Najbardziej godne podziwu łowy z pomocą ucha urządza nietoperz. Nie tylko odbiera on szmery wydawane przez swoją ofiarę - sam także wysyła w stronę łupu dźwięki ze swego "nadajnika". Dźwięki te są tak wysokie, że ludzkie ucho nie jest w stanie ich usłyszeć, charakteryzują się natomiast skutecznym odbijaniem od przeszkód. Gdy zdarzy się, że na drodze tych dźwięków znajdzie się jakiś owad - fale dźwiękowe odbijają się od niego i wracają do uszu nietoperza. Te odbite dźwięki nie tylko informują nietoperza, że w pobliżu jest oś jadalnego, ale na skutek różnicy w czasie odbioru dźwięków pochodzących od bliższego lub dalszego obiektu oraz mocy dźwięków odbitych także informują, w jakim kierunku i odległości znajduje się ów pokarm. Tej samej techniki dźwiękowej zwanej eholokacją używa prawie ślepy praktycznie nietoperz przy omijaniu przeszkód i unikaniu innych niebezpieczeństw. Jego aparat dźwiękowy informuje go nie tylko o obecności tego, co znajduje się na je-

go drodze, ale również o wielkości, kształcie i innych cechach przeszkody. Holenderskie badania S. Dijkgraafa wykazały, że nietoperze są w stanie odróżniać małe metalowe krzyże od kół o tej samej powierzchni, czyli "słyszą" różnicę pomiędzy krzyżem a kołem. Stereofoniczny radar nietoperza jest jednak wyjątkiem w świecie zwierząt. Dźwięki wydawane przez inne zwierzęta służą głównie nawiązywaniu kontaktów, porozumiewaniu się, czyli wysyłaniu i odbieraniu wiadomości o określonym znaczeniu. Porozumiewanie się nie zawsze wymaga wytwarzania dźwięków i ich percepcji, jednakże większość zwierząt dla wyrażenia swych stanów emocjonalnych (strachu, złości, zadowolenia, popędu płciowego itp.) używa przeważnie dźwięków, chociaż informacje przekazane w ten sposób są ubogie w treść.

Spośród wszystkich istot żywych jedynie człowiek w pełni wykorzystał możliwość wydawania i odbierania dźwięków dla celów porozumiewania się. W miarę rozwoju człowieka jako gatunku, gdy rosła ilość informacji, które należało przekazywać - prymitywne dźwięki i gesty zaczęły być stopniowo wypierane przez mowę - porozumiewanie się przy pomocy umówionych symboli słownych.

W ciągu wieków mowa stała się nie tylko środkiem porozumiewania się, lecz również przedmiotem badań naukowych. Występujące u niektórych ludzi zaburzenia mowy stały się stymulatorem rozwoju logopedii - nauki medyczno-społecznej zajmującej się terapią mowy. Podstawą wiedzy logopedycznej jest fonetyka - dział językoznawstwa obejmujący badanie dźwiękowej strony języka.

Trzy działy fonetyki - akustyczna, audytywna i wizualna - pozostają ze sobą w ścisłym związku. Fonetyka akustyczna zajmująca się strukturą dźwięków mowy z fizycznego punktu widzenia ściśle koresponduje z fonetyką audytywną, która z kolei zajmuje się słuchową percepcją mowy - zarówno w aspekcie fizjologicznym, jak też - przy występowaniu dysfunkcji narządu słuchu - w aspekcie patologicznym. W tym ostatnim przypadku funkcje słuchu uzupełnia, a czasem przejmuje wzrok - tym rodzajem percepcji mowy zajmuje się fonetyka wizualna. Ścisła korelacja tych trzech działów fonetyki w praktyce logopedycznej spowodowała ich połączenie w jednym opracowaniu.

I. FONETYKA AKUSTYCZNA

1. Geneza i przedmiot fonetyki akustycznej

Fonetyka akustyczna jest stosunkowo nową dziedziną nauki, wyłonioną z fonetyki eksperymentalnej praktycznie pod koniec I połowy bieżącego stulecia. Nie oznacza to jednak, że akustyką mowy nie zajmowano się wcześniej. Zarówno akustyka - dział fizyki poświęcony teorii dźwięku, jak i fonetyka rozwijały się niezależnie od siebie, tworząc podstawę, na której mogła powstać fonetyka akustyczna.

Pierwsze wiadomości dotyczące zagadnień związanych z teorią dźwięku można odnaleźć już w chińskich dziełach Fo-Szi (ok. 3000 r. p.n.e.). Grecy i Rzymianie budowali znakomite, znane z wykopalisk teatry, opierając się na opanowanych już wówczas zasadach akustyki budowli. Architekt rzymski Marek Witruwiusz Pollion (I w.p.n.e.) w swoim dziele "Dziesięć ksiąg o architekturze" podaje zasady inżynierskie projektowania i budowy takich teatrów z uwzględnieniem zasad prawidłowej akustyki.

Od wielu wieków akustyką zajmowali się także uczeni. Najdawniejsze badania, o jakich wiemy, dotyczyły prób tworzenia systemów muzycznych oraz budowy instrumentów. Już Terpander (VII w.p.n.e.) i Pitagoras (VI w.p.n.e.) znali prawa drgania strun oraz muzyczną skalę diatoniczną. Założona przez Pitagorasa szkoła pitagorejszczyków kontynuowała jego eksperymenty nad wysokością dźwięku strun, używając do tego celu monochordu (pudło rezonansowe z jedną napiętą struną i przesuwnym podstawkiem, dającym możliwość dowolnego skracania i przedłużania drgającej części struny). Wynikiem tych badań było ustalenie prostych stosunków liczbowych długości struny dla różnych interwałów (odległości między tonami) oraz wypracowanie tzw. systemu pitagorejskiego. Proste stosunki liczbowe stały się podstawą poglądu pitagorejszczyków na świat. Zajmowali się oni z zamyśleniem różnymi spekulacjami liczbowymi, które wprawdzie nie posuwały naprzód wiedzy o akustyce, jednak wywierały silny na-

cisk na współczesnych i potomnych wiążąc na długie wieki w świadomości ludzi akustykę i muzykę z matematyką. Kolejni uczeni starożytni od Arystotelesa i Euklidesa (IV w.p.n.e.) do Didymosa (I w.p.n.e.) i Ptolemeusza (II w.n.e.) próbowali budować teorię dźwięku, jednak nadal bez powiązania z fizyczną stroną tego zjawiska. Dopiero w 1500 lat później, w XVII wieku, podstawy akustyki stworzyli Mersenne i Galileusz. Matematyk i teoretyk muzyki, francuski duchowny Marin Mersenne (1588-1648) przeprowadził udane pomiary prędkości rozchodzenia się głosu w powietrzu, usiłował też ustalić bezwzględne liczby drgań dla dźwięków o różnej wysokości, natomiast włoski fizyk i astronom Galileo Galilei (1564-1642) w dziełach swoich podaje objaśnienie zależności pomiędzy wysokością tonu a jego częstotliwością, zasady pomiaru prędkości dźwięku oraz interpretację innych zjawisk akustycznych.

Opisane po raz pierwszy przez Galileusza zjawisko rezonansu akustycznego zostało bliżej zbadane przez uczonych angielskich Noble'a i Rigota (1677). W toku swych badań nad rezonansem strun stwierdzili oni, że struna może drgać także z częstotliwościami 2, 3, 4 itd. razy większymi niż częstotliwość drgań całej struny, a więc odkryli harmoniczny szereg tonów składowych. Uzasadnienie teoretyczne tych badań dał w roku 1701 akustyk francuski Joseph Sauveur (1653-1716).

Termin "akustyka" pojawia się po raz pierwszy w roku 1693 w dziele Samuela Reyhera. Fundamentalne znaczenie dla rozwoju akustyki miała pierwsza matematyczna teoria rozchodzenia się fal akustycznych sformułowana na przełomie XVII i XVIII wieku przez angielskiego matematyka, fizyka i astronoma Izaaka Newtona (1642-1727).

Na przełomie XVIII i XIX wieku rozwija się akustyka eksperymentalna, stworzona przez niemieckiego fizyka Ernsta Chladniego (1756-1827), który m.in. przeprowadził dokładne pomiary prędkości rozchodzenia się fal akustycznych w gazach i ciałach stałych oraz badał drgania płyt (tzw. figury Chladniego). Na początku XIX wieku angielski lekarz i fizyk Thomas Young (1773-1829) oraz w Niemczech bracia Weber - fizjolog i psycholog Ernst (1795-1878) oraz fizyk Wilhelm (1804-1891) opracowali prawa ruchu falowego, dokonując najpierw doświadczeń na falach w cieczach, a potem rozciągając swe doświadczenia na fale świetlne i akustyczne. Zagadnieniem oddziaływania drgań złożonych na narząd słuchu zajmował się także niemiecki fizyk Georg Ohm (1787-1854). Ustalił on różnicę

między tonem czystym a dźwiękiem złożonym oraz zainicjował matematyczną teorię analizy dźwięku, wykorzystując teorię szeregów matematyka francuskiego Jeana Baptiste Fouriera (1768-1830).

Twórcami współczesnej akustyki stali się niemiecki fizyk i fizjolog Hermann von Helmholtz (1821-1894) oraz angielski fizyk lord John William Rayleigh (1842-1919). Prowadzone przez nich, niezależnie od siebie, w II połowie XIX wieku badania stworzyły podstawy teorii akustyki. Pierwszy z wymienionych uczonych opracował teorię rezonatorów oraz zajmował się mechanizmem słyszenia, formułując hipotezę funkcjonowania ucha wewnętrznego, drugi natomiast opracował kompletną matematyczną teorię zjawisk akustycznych, którą opublikował w 1877 r. w dziele "Teoria dźwięku".

Dalsze badania nad teorią dźwięku prowadził twórca akustyki psychologicznej, niemiecki psycholog i muzykolog Carl Stumpf (1848-1936), autor m.in. pracy "Psychologia dźwięku" (t.1-2, 1883-1890). Pod koniec XIX stulecia rozpoczyna się okres szczególnego rozwoju akustyki, kiedy to fale akustyczne udało się przekształcić na drgania elektryczne. Powstaje nowa gałąź wiedzy - elektroakustyka; zapoczątkowują ją wynalazki telefonu (Bell, 1876), fonografu (Edison, 1877), mikrofonu (Hughes, 1878), telegrafu bez drutu (Marconi, 1896) i lampy elektronowej (Fleming, 1905).

Równoległe z akustyką, rozwijała się fonetyka. Już w starożytnych Indiach, Grecji i Rzymie zajmowano się problemami fonetycznymi. W spuściźnie jednego z najsłynniejszych uczonych i artystów renesansu Leonarda da Vinci (1452-1519) znajdujemy wiadomości o budowie i funkcjonowaniu narządów mowy, jednak i tu dopiero wieki XVII i XVIII przynoszą konkretne prace uczonych, lekarzy i naukowców poświęcone mowie. Należy tu wymienić takie nazwiska i prace, jak Williama Holdera "Elementy mowy" ("Elements of Speech" - 1669) i Jana Konrada Ammana "Głuchy mówiący" ("Surdus loquens" - 1692). Istotny wkład w rozwój fonetyki wniósł znany głównie z konstrukcji "automatycznego" szachisty węgierski uczyony, fizyk i technik w jednej osobie Wolfgang van Kempelen, który planując skonstruowanie maszyny mówiącej opracował szczegółowe zasady funkcjonowania narządów mowy (1791).

Wiek XIX przyniósł dalszy postęp w pracach nad fizjologią mowy, szczególnie dzięki zastosowaniu takich nowych metod, jak obserwacja więzadeł głosowych żywego człowieka przy pomocy laryngoskopii i strobolaryngoskopii, utrwalanie ruchów artykulacyjnych, a nawet zastosowanie w badaniach mowy promieni X. Także i

w Polsce wiek XIX przyniósł początki badań nad mową w postaci dzieła lekarza i pedagoga - nauczyciela dzieci głuchych Jana Siestrzyńskiego (1788-1824) "Teorya i mechanizm mowy", w której to pracy zawarta została obszerna charakterystyka dźwięków języka polskiego wraz z próbą ich klasyfikacji fonetycznej. W 1906 r. ukazała się kolejna znacząca praca z tego zakresu "O mowie i jej odbożeniach" autorstwa lekarza i fizjologa Władysława Ożtuszewskiego (1855-1922).

Termin "fonetyka" po raz pierwszy pojawia się w II połowie XIX wieku, kiedy to powstają dwie szkoły fonetyczne - niemiecka, raczej teoretyczna, bazująca na językoznawstwie, której twórcą był E. Sievers oraz angielska - praktyczna, ukierunkowana na poprawność wymowy, naukę mowy dzieci głuchych, nauczanie wymowy języków obcych itp., której założycielem był twórca angielskiego systemu klasyfikacji samogłosek "Visible Speech", ojciec późniejszego wynalazcy telefonu A.G. Bella - A.M. Bell.

Na przełomie XIX i XX wieku istotne zasługi dla rozwoju podstaw fonetyki akustycznej położył założyciel pierwszego laboratorium fonetycznego francuski językoznawca ks. Jean Pierre Rousselot (1846-1924). Badał on strukturę dźwięków mowy przy pomocy metod przyrodniczych, a jego praca "Principes de phonétique expérimentale (t. 1-2 1897-1908) pozwala uważać go za twórcę fonetyki eksperymentalnej.

Przezwrot w badaniach akustycznej struktury mowy nastąpił w latach dwudziestych bieżącego stulecia i był ściśle związany z rozwojem techniki elektroakustycznej. Ukazały się wówczas znaczące prace I.B. Grandalla "Dźwięki mowy" ("The Sounds of Speech", 1925) i H. Fletchera "Mowa i słuch" ("Speech and Hearing", 1928). W latach trzydziestych zastosowano do badania struktury akustycznej mowy oscylograf, a w latach czterdziestych skonstruowano w Stanach Zjednoczonych spektrograf akustyczny umożliwiający bieżącą obserwację mowy w postaci tzw. zapisu sonograficznego. Ten przełomowy moment można uważać za właściwy początek historii fonetyki akustycznej.

W latach 1946-1948 ukazało się w czasopiśmie "Journal of the Acoustical Society of America" szereg artykułów poświęconych wzrokowej analizie mowy przy pomocy spektrografu akustycznego. W roku 1947 wydana została praca R.K. Pottera, A.G. Koppa i H.C. Greena "Widzialna mowa" ("Visible Speech") będąca podręcznikiem odczytania obrazów spektrograficznych dla uczniów i nauczycieli

amerykańskich szkół dla głuchych, w których coraz częściej zaczęły się pojawiać spektrografy akustyczne jako pomoc dydaktyczna, a w roku 1948 czasopismo "Language" wydało jako dodatek monografię M. Joosa "Acoustio Phonetics", w której określenie "fonetyka akustyczna" zostało po raz pierwszy użyte w tytule większej publikacji naukowej. Praca ta, obok wyników badań prowadzonych przy pomocy spektrografu akustycznego, zawierała próbę sformułowania zadań nowej dyscypliny, perspektywy jej rozwoju oraz systematyczny wykład teoretycznych podstaw fonetyki akustycznej.

Zainteresowanie fonetyką akustyczną w Polsce obserwujemy zaledwie od kilkunastu lat. Wzrasta ono jednak szybko i obejmuje coraz bardziej zróżnicowane kręgi specjalistów, przede wszystkim z zakresu akustyki, telekomunikacji, automatyki, a nawet kryminalistyki, ale także i z zakresu medycyny, językoznawstwa i logopedii. Jedyną większą pracą, która ukazała się w Polsce na ten temat to "Podstawy fonetyki akustycznej" Wiktora Jassemę wydana w 1973 r. przez PWN. Praca ta jest jednak przeznaczona głównie dla specjalistów technicznych zajmujących się analizą i syntezą mowy i wymaga dobrego przygotowania teoretycznego w zakresie akustyki, elektroakustyki i matematyki. Wiele przydatnych informacji z zakresu fonetyki akustycznej z językoznawczego punktu widzenia można także znaleźć w pracach Bożeny Wierzhowskiej "Opis fonetyczny języka polskiego", "Wymowa polska" oraz "Fonetyka i fonologia języka polskiego".

2. Drgania i fale akustyczne

Wśród wielu czynników naturalnego środowiska człowieka, do których należą ciśnienie powszechne (grawitacja), ciśnienie atmosferyczne, temperatura, promieniowanie świetlne, promieniowanie jonizujące itd., istotną rolę odgrywają zjawiska akustyczne określane potocznie nazwą dźwięków. Dostarczając informacji o środowisku i zjawiskach zachodzących w otoczeniu człowieka sterują jego zachowaniem, stają się integralnym elementem jego życia.

Nośnikami dźwięku w przestrzeni są fale akustyczne zwane także falami dźwiękowymi, rozchodzące się ze źródła dźwięku we wszystkich kierunkach równomiernie (są to tzw. fale kuliste). Mogą się one uginać (np. opływając niewielkie przedmioty) i odbijać od dużych powierzchni (echo, zjawisko pogłosu). Mogą również na-

kładać się na siebie, sumując w ten sposób przenoszone przez siebie efekty akustyczne (jest to zjawisko tzw. interferencji fal dźwiękowych).

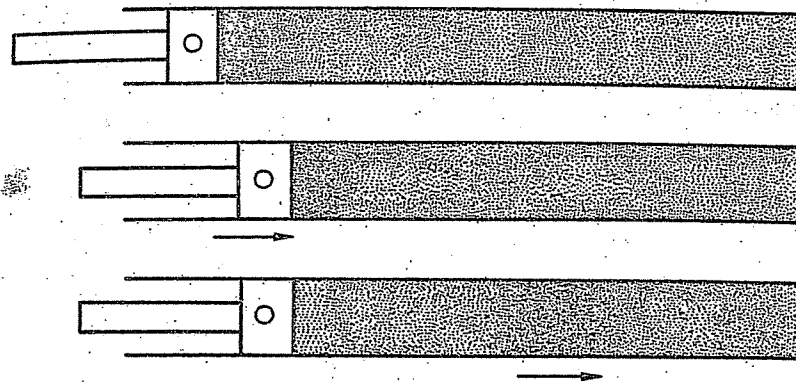
Fale akustyczne mogą powstawać i rozchodzić się w różnych środowiskach. Przyzwyczajiliśmy się odbierać dźwięki głównie w powietrzu, lecz można spotkać przykłady rozchodzenia się dźwięków w wodzie lub innej cieczy (w czasie kąpieli w wannie zanurzymy uszy i zapukajmy pod wodą w ściankę wanny - usłyszymy dźwięk przeniesiony przez wodę), a nawet w betonie czy innym dowolnym ciele stałym (aby to sprawdzić przykładamy zegarek do ozoła lub - jeszcze lepiej - do zęba, a usłyszymy tykanie przenoszące się przez obudowę zegarka i kości czaszki). Dźwięk nie rozchodzi się tylko w próżni, a w każdym innym środowisku jakość rozchodzenia się dźwięku zależna jest od sprężystości tego środowiska.

Powietrze jest środowiskiem sprężystym. Nie należy kojarzyć ściśle sprężystości powietrza ze sprężystością np. gumy, ale uświadomić sobie fakt sprężystości powietrza ściśniętego np. w materacu pneumatycznym - ściśnięte powietrze dąży do przyjęcia poprzedniej objętości. To właśnie oznacza pojęcie sprężystości, jeżeli próbujemy deformować jakiegokolwiek ciało sprężyste, to oddziałuje ono na nas siłami przeciwnymi zmierzającymi do przyjęcia poprzedniego kształtu i objętości (klasycznym przykładem jest naciskanie palcem gąbki), a jeśli przestaniemy je deformować, wraca do poprzedniego stanu.

Każde ciało stałe, ciekłe czy gazowe składa się z milionów cząsteczek sąsiadujących ze sobą. Nie przylegają one do siebie ściśle, lecz są powiązane ze sobą przy pomocy sił, które można by porównać do miniaturowych sprężyn (ciało stałe tym się różni od cieczy czy gazu, że jego cząsteczki tworzą ze sobą mniej lub więcej stałe połączenie, a siły międzycząsteczkowe są znacznie większe). Praktycznie jednak wystarczy dla naszych celów zająć się jedynie rozchodzeniem dźwięków w powietrzu, tą drogą bowiem odbieramy je najczęściej.

Wyobraźmy sobie długą rurę napełnioną powietrzem, w którą z jednego końca wstawiono tłok (rys.1). Jeśli tłok wykona krótki ruch do przodu - cząsteczki powietrza znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie płaszczyzny tłoka zostaną lekko sprężone. Warstwa ta zacznie uciskać na kolejną warstwę cząsteczek, a łączące je "sprężynki" zostaną ściśnięte. Dążąc do rozprężenia popchną następną warstwę cząsteczek, ta z kolei następną i proces powtórzy

się wielokrotnie tworząc efekt przesuwania się nie tyle samych cząsteczek, ile faktu ich sprężenia (Taylor, 1975).



Rys.1. Wpływ ruchu tłoka na cząsteczki powietrza w rurze

Analogiczne zjawisko (choć w znacznie większej skali) obserwujemy, gdy manewrująca lokomotywa przyłącza się do wagonów, uderzając w zderzaki pierwszego z nich. Ściśnięcie, a następnie rozprężenie zderzaków występuje kolejno w złączeniach poszczególnych wagonów, chociaż stopniowo traci na sile.

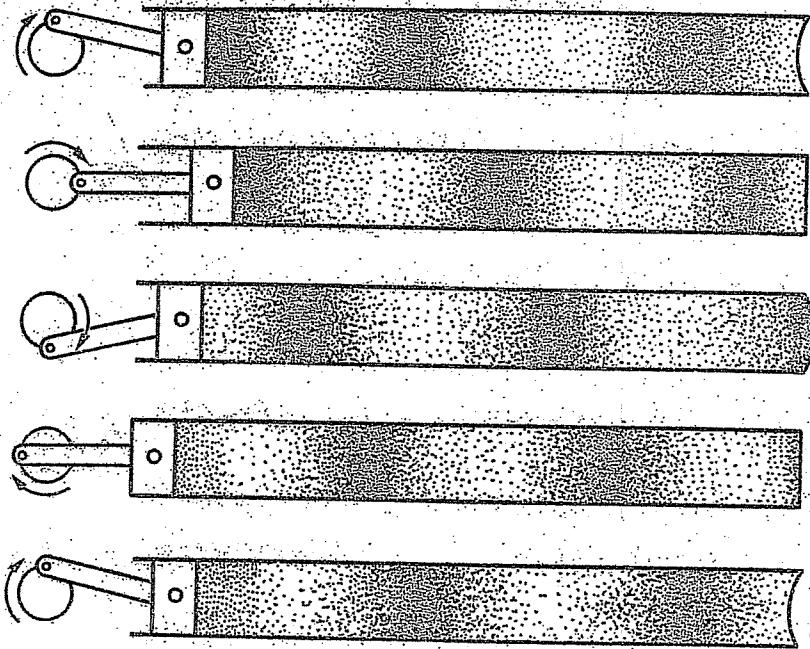
Oczywiście - wracając do naszego doświadczenia - każda warstwa cząsteczek potrzebuje czasu, aby wprawić w ruch kolejną warstwę. Potrzeba całej sekundy, aby takie sprężenie cząsteczek powietrza zostało przekazane w rurze na odległość 344 metrów (dotyczy temperatury 20°C, przy spadku temperatury odległość ta zmniejsza się, przy wzroście powiększa - wynika to z faktu, że przy ochłodzeniu cząsteczki zbliżają się do siebie, a zatem ta sama liczba warstw cząsteczek występuje na mniejszym odcinku rury, np. w temperaturze 0°C odległość ta zmniejsza się do 332 m).

Zastanówmy się teraz, co dzieje się, gdy tłok wraca z powrotem do punktu wyjścia. Tym razem nie ściśniska on "sprężynki" wiążących cząsteczki, lecz je rozciąga dotąd aż kolejna warstwa cząsteczek nie zacznie wracać za pierwszą, rozciągając "sprężynki" łączące ją z kolejną warstwą itd.

W rezultacie, jeżeli tłok przesunął się naprzód, a następnie wrócił do poprzedniego położenia, wszystkie cząsteczki wróciły na swoje miejsce, nie przemieszczając się, a wzdłuż rury przekazana została jedynie energia. Przypomina to fale wędrujące po łańcuchach

zboża, gdy kołysze je wiatr. Fala przesuwana się, ale źdźbła zboża pozostają wrosnięte w ziemię.

Wyobraźmy sobie teraz, że nasza rura ma długość właśnie 344 m, tak, aby efekt poruszenia tłoka przesunął się w postaci fali zgęszczenia powietrza wzdłuż całej rury w czasie 1 sekundy, a koniec rury zamknijmy membraną, np. z płatką cienkiej gumy. Umożliwimy również cykliczny ruch tłoka (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ cyklicznych ruchów tłoka na cząsteczki powietrza w rurze

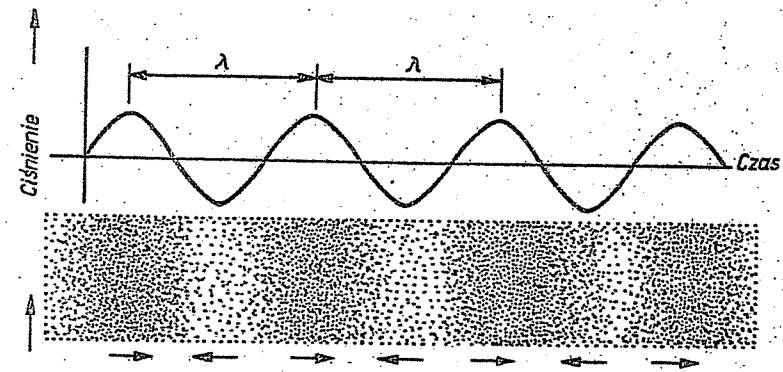
Jeden obrót koła spowoduje pełny cykl ruchu tłoka tam i z powrotem, a tym samym spowoduje przekazanie fali energii na odległość 344 m, która dotrze do membrany na końcu rury w czasie 1 sekundy. Membrana ta wygnie się najpierw na zewnątrz, a następnie do środka.

Jeżeli teraz zaoznimy obracać kołem ze stałą prędkością - np. 100 obrotów w czasie 1 sekundy, wówczas przez rurę przepływają będą kolejne fale energii w odstępach czasowych co $\frac{1}{100}$ sekundy. Oznacza to, że kolejne zgęszczenia cząsteczek w rurze będą odda-

lone od siebie o $344 : 100 = 3,44$ m, a membrana będzie drgać tam i z powrotem 100 razy w ciągu sekundy. Gdyby można było "zamrozić" na chwilę powietrze w rurze i zobaczyć je, ujrzeliśmyby 100 kolejnych zgęszczonych warstw cząsteczek, oddalonych od siebie kolejno o 3 m 44 cm każda, oraz 100 rozrzedzeń cząsteczek pomiędzy tymi zgęszczeniami (odległość między dwoma sąsiednimi zgęszczeniami nazywamy długością fali). Gdyby natomiast poddać obserwacji którąś z dowolnie wybranych cząsteczek powietrza w rurze, okazałoby się, że przemieszcza się ona tam i z powrotem w takim samym rytmie jak tłok.

Możemy zatem zresumować doświadczenie: drgania membrany na końcu rury spowodowane falowym przesyłaniem energii będą drganiami o częstotliwości 100 Hz (herców, czyli cykli drgań na sekundę). Będą to drgania słyszalne jako niski dźwięk. Długość fali akustycznej będzie tu wynosić 3,44 m - kolejne zgęszczenia powietrza w rurze występują właśnie w takich odstępach.

Częstotliwość dźwięku jest zatem uzależniona od liczby obrotów na sekundę koła napędzającego tłok. Ze zwiększeniem prędkości obrotów np. do 200 na sekundę zwiększy się też częstotliwość ruchów tłoka, a więc i drgań membrany na końcu rury do 200 Hz, a długość fali ulegnie dwukrotnemu zmniejszeniu, ponieważ w ciągu 1 sekundy przez rurę przebiegnie 200 zgęszczeń cząsteczek powietrza na odcinku 344 m, czyli długość fali będzie wynosić $344 : 200 = 1$ m 72 cm. Przy 400 Hz długość fali będzie wynosić 0,86 m, itd.

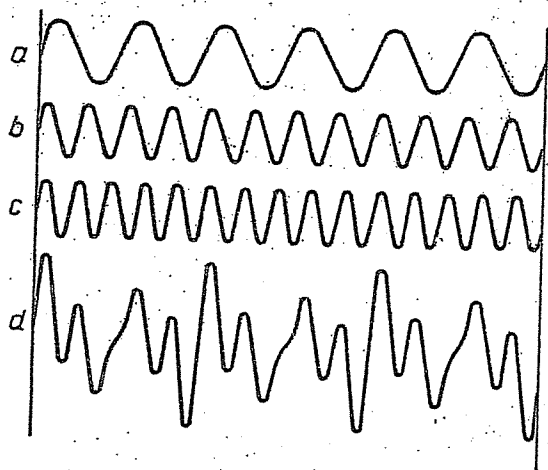


Rys. 3. Wykres fali akustycznej drgania prostego

Nateżenie tych dźwięków - moc efektu akustycznego zależy będzie od stopnia wychylenia membrany, a zatem od skoku tłoka (odległość pomiędzy maksymalnymi wychyleniami tłoka w przód i w tył). Będzie to miało wpływ na wychylenie się w obie strony kolejnych warstw cząsteczek powietrza. Ta wielkość drgań cząsteczek w obie strony nosi nazwę amplitudy drgań. Im będzie ona większa, tym silniejszy będzie efekt dźwiękowy (przykładowo w czasie przeciętnego mówienia amplituda drgań cząsteczek powietrza w pobliżu ust osoby mówiącej wynosi ok. 0,01 mm).

W szkolnych podręcznikach fizyki spotykaliśmy sinusoidalny wykres fali dźwiękowej. Nie należy go jednak traktować jak graficznego "portretu" fali akustycznej.

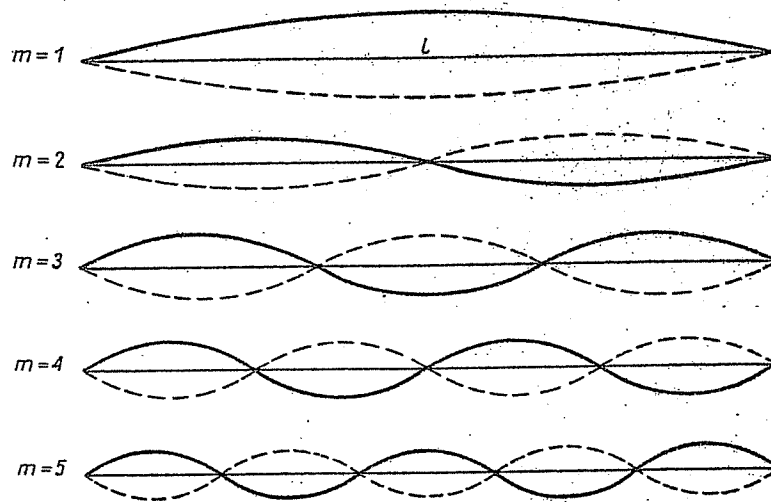
Na osi poziomej tego wykresu odmierzamy czas trwania dźwięku, na osi pionowej pokazujemy amplitudę drgań, czyli stopień zgręszczenia lub rozrzedzenia cząsteczek powietrza w danym punkcie (wartość zerowa, czyli przecięcie z osią poziomą odpowiada ciśnieniu atmosferycznemu, wartość powyżej osi odpowiada zgręszczeniu cząsteczek, poniżej ich rozrzedzeniu, a im wyższy będzie ten wykres, tym głośniejszy będzie uzyskany efekt dźwiękowy). Odoinek oznaczony λ w przypadku tonu o częstotliwości 100 Hz odpowiada upływowi czasu $\frac{1}{100}$ sekundy.



Rys. 4. Wykres drgania złożonego z trzech drgań prostych (a, b, c - drgania proste, d - drganie złożone)

Omawiany przykład dźwięku powstającego przy pomocy drgań tłoka w rurze ma charakter tzw. dźwięku prostego (zwanego również tonem czystym), posiadającego ściśle określoną częstotliwość drgań. W praktyce jednak tego rodzaju dźwięki elementarne (widelki strojowe w końcowym okresie wybrzmiewania, tony audiometru) spotykamy bardzo rzadko. Prawie wszystkie dźwięki, które skłyszmy złożone są z wielu różnych tonów składowych brzmiących równocześnie. Poszczególne bowiem cząstki ciał sprężystych będących źródłem dźwięku wykonują zazwyczaj szereg różnych drgań równocześnie, przy czym drgania te mogą odbywać się w tym samym lub różnych kierunkach, mogą mieć tę samą lub różną częstotliwość, takie same lub różne amplitudy. We wszystkich tych połączeniach każde dwa lub więcej drgań prostych dają w wyniku jedno drganie wypadkowe, które ma z zasady bardziej skomplikowany przebieg i jego wykresem nie jest już zwykła sinusoida (rys. 4).

Typowym przykładem drgania złożonego o regularnym (powtarzającym się w czasie) przebiegu jest drganie napiętej struny. Przy mocowanej w dwóch końcach struna drga pełną długością i jest to drganie decydujące o tzw. częstotliwości podstawowej dźwięku stanowiącej podstawę oceny wysokości dźwięku złożonego. Struna jednak, niezależnie od drgania całą długością, drga również dzieląc się na 2, 3, 4 i więcej części (rys. 5), tworząc tym samym fale



Rys. 5. Drganie napiętej struny

akustyczne o częstotliwościach dwukrotnie, trzykrotnie, czterokrotnie itd. większych od częstotliwości podstawowej. Każde z tych drgań jest wykonywane przez strunę jednocześnie i niezależnie. Taki szereg drgań pozostający w stosunku częstotliwości 1 : 2 : 3 : 4 itd. nosi nazwę szeregu harmonicznego, a kolejne częstotliwości składowe tego szeregu są coraz słabsze (mniejsza amplituda drgań). Dźwięk uzyskany w ten sposób nazywamy wielotonem harmonicznym składającym się z tonu podstawowego (najniższego) i alikwotów (pozostałe tony składowe szeregu harmonicznego).

W otwartym powietrzu - w odróżnieniu od opisywanego poprzednio doświadczenia z rurą i tłokiem - dźwięk rozchodzi się we wszystkich kierunkach. Wyobraźmy sobie napompowany balonik podłączony do zwykłej pompki rowerowej (bez wentyla). Gdy będziemy wykonywać pompką właściwie dla pompowania ruchu - pewna, stale ta sama ilość powietrza będzie wchodzić do balonika, wracać do pompki, wchodzić do balonika, wracać do pompki itd. Powstanie sytuacja analogiczna, jak w doświadczeniu z rurą i tłokiem. Balonik będzie rozprężać się i kurczyć w rytmie ruchów pompki. Przy powiększaniu się balonika nacisk jego powierzchni na otaczające cząsteczki powietrza spowoduje, że "sprężynki" między powierzchnią balonika a pierwszą warstwą cząsteczek ugną się i cząsteczki te odsuną się, uoskajając następną warstwę cząsteczek, te z kolei następną itd. Przy kurczeniu się balonika, proces ten powtarza się w odwrotnym kierunku. Znowu więc powstają fale sprężeń i rozrzedzeń powietrza - tym razem jednak rozchodzące się równomiernie we wszystkich kierunkach. Owe "warstwy cząsteczek" są tym razem warstwami sferycznymi, jak gdyby powierzchniami kolejnych, coraz to większych, koncentrycznych "kul powietrza". Tym samym energia przekazywana na kolejne warstwy o coraz to większej powierzchni ulega stopniowemu rozpraszaniu. Podobny efekt, chociaż tylko w jednej płaszczyźnie obserwujemy, gdy wrzucimy kamień do wody - tu fale rozchodzą się w płaszczyźnie powierzchni wody warstwami kołowymi.

Aby wytworzyć pewne pojęcie o rozchodzeniu się dźwięku w przestrzeni, raz jeszcze należy wspomnieć żyjącego około dwa tysiące lat temu architekta rzymskiego Marka Witruwiusza Pollicjona. Otóż wyobrażał on sobie dźwięk jako coś materialnego, rozchodzącego się ze źródła dźwięku w postaci coraz to większych kul. Kule te, powiększając się, mają coraz to cieńszą powierzchnię (jak rosnące bańki mydlane), są coraz słabsze proporcjonalnie do wzros-

tu ich powierzchni. Tak właśnie dźwięk traci swą moc przy oddalaniu się od jego źródła.

Gdy znajdujemy się w odległości 2 m od brzęczącej głośno osy, odbieramy uchem zaledwie drobny ułamek wytwarzanej przez nią energii akustycznej, tyle ile wypada mniej więcej na 1 centymetr kwadratowy powierzchni "kuli dźwiękowej". Ponieważ kula ta, o promieniu 2 m, ma powierzchnię ok. 500 000 cm^2 , wynika z tego, że moc dźwięku słyszanego z tej odległości stanowi ok. $\frac{1}{500\,000}$ mocy całego dźwięku wytwarzanego przez osę. Dwukrotne oddalenie się od źródła dźwięku spowoduje czterokrotny wzrost powierzchni "kuli dźwiękowej", a tym samym czterokrotne zmniejszenie słyszalności.

Opisana sytuacja w czystej postaci występuje jedynie na otwartej przestrzeni. W pomieszczeniu zamkniętym, rozchodzące się ze źródła we wszystkich kierunkach fale akustyczne ulegają odbiciom oraz częściowemu pochłanianiu przez przeszkody (przedmioty, zasłony, ściany, sufit, podłoga itp.), tworząc w pomieszczeniu rozproszone pole akustyczne, w którym fale pochodzące bezpośrednio ze źródła mieszają się z falami odbitymi tworząc ostateczny efekt akustyczny.

3. Powstawanie i rodzaje zjawisk akustycznych

Zjawiska akustyczne odbierane przez człowieka z punktu widzenia ich zastosowania można podzielić na 4 zasadnicze grupy:

1. Dźwięki mowy, których odbiór, analiza i zrozumienie są podstawowymi elementami życia społecznego, a w szerszym ujęciu umożliwiają postęp cywilizacji i rozwój kultury.

2. Sygnały dźwiękowe innych systemów porozumiewania się ludzi (muzyka, dźwiękowe sygnały informacyjne i ostrzegawcze itp.).

3. Inne zjawiska akustyczne, powstające jako uboczny produkt procesów zachodzących w przyrodzie lub działalności człowieka, charakteryzujące się brakiem istotniejszej treści informacyjnej i tworzące pewne tło akustyczne dla dźwięków wymienionych przednio (kroki, tykanie zegarów, szelest liści itp.). Obecność tych zjawisk, ze względu na ich powszechne i niezmiennie występowanie, jest praktycznie niedostrzegalna.

4. Hałas, czyli dowolnie duży i zróżnicowany zbiór zjawisk dźwiękowych stwarzających niemiłe wrażenie, a w przypadku większego natężenia, mający negatywny wpływ na organizm ludzki.

Fonetyka akustyczna zajmuje się jedynie pierwszą grupą tych zjawisk, a więc dźwiękami mowy. Dźwięki te jednak mają tak złożoną budowę, że nie jest możliwe ich rozpatrywanie i analizowanie bez omówienia elementarnych sygnałów akustycznych, które na te dźwięki się składają. Dlatego dla pełnego zrozumienia istoty akustycznej struktury mowy, konieczne jest użycie jeszcze innej klasyfikacji zjawisk akustycznych, opartej na zasadzie ich powstawania i charakterystyce fizycznej.

Źródłem fal akustycznych może być każde ciało wykonujące naprzemiennie ruchy względem położenia spoczynkowego. Przykładami mogą być drgające pręty, struny, membrany, płyty, a także szupy i strumienie gazów. Fale akustyczne zatem mogą być wytwarzane przez drgania mechaniczne (brył, płyt, strun itp.) oraz za pomocą turbulencji (wirów) w środowisku powietrznym (wywoływanych np. przez wiatr, piorun lub strumień powietrza rozcinany krawędzią gwizdka).

Charakteryzując zjawiska akustyczne pod względem ich struktury fizycznej, można je podzielić na następujące grupy:

Tony (tony czyste, drgania proste) - najprostsze zjawiska akustyczne, charakteryzujące się tylko jedną, ściśle określoną częstotliwością, w życiu codziennym rzadko spotykane. Do wytwarzania tonów czystych służą specjalne urządzenia elektroniczne - generatory dźwięków (takim urządzeniem jest także audiometr służący do badań słuchu). W praktyce bardzo zbliżony do tonu czystego jest dźwięk wytwarzany przez widełki strojowe (inaczej widełki stroikowe, stroik, kamerton) oraz instrument muzyczny zwany czelestą (ton czysty powstaje w końcowym okresie wybrzmiewania dźwięku).

Wielotony harmoniczne - zjawiska akustyczne składające się z najniższego tonu podstawowego dającego subiektywne odczucie częstotliwości całego wielotonu oraz szeregu harmonicznego tonów składowych (aliquotów) o częstotliwościach odpowiednio większych od częstotliwości tonu podstawowego dwu-, trzy-, czterokrotnie itd. i natężeniu stopniowo coraz słabszym. Wielotony harmoniczne powstają np. podczas drgania strun (bez pudła rezonansowego).

Dźwięki złożone są modyfikacjami wielotonów zawierającymi na ogół ton podstawowy oraz kilka wybranych aliquotów (dzięki omawianemu dalej zjawisku rezonansu akustycznego). Każdy zatem składnik tonalny dźwięku złożonego jest tonem harmonicznym, tj. posiadającym częstotliwość będącą pewną wielokrotnością często-

tlowości podstawowej. Dobór i poziom tonów harmonicznych decydują o barwie dźwięku. Przykładami dźwięków złożonych są dźwięki instrumentów muzycznych, a w mowie większość samogłosek.

W dźwięku złożonym może wystąpić również ograniczona liczba tonów składowych, nie będących wielokrotnościami tonu podstawowego. Taki rodzaj dźwięku złożonego jest czasami nazywany wielotonem nieharmonicznym.

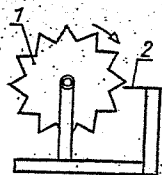
Tony czyste, wielotony i dźwięki złożone, ze względu na subiektywną możliwość określenia ich częstotliwości (w przypadku wielotonów i dźwięków złożonych jest to częstotliwość tonu podstawowego); noszą też nazwę drgań akustycznych regularnych (lub przebiegów akustycznych regularnych), ponieważ ich charakterystyka akustyczna - wykres oscylograficzny jak na rysunkach 3 i 4 - powtarza się w czasie zgodnie z częstotliwością tonu podstawowego.

Szumy i szmery mają charakter zjawisk akustycznych nieuporządkowanych, składających się z wielu tonów składowych o różnych częstotliwościach i czasach trwania. Nie można w nich wyróżnić częstotliwości podstawowej ani tonów składowych. Przykładami są szum morza, hałas uliczny, syk gazu wydobywającego się przez szczelinę, szum widzów w teatrze itp. W mowie przebiegami szumowymi charakteryzuje się większość spółgłosek (niektóre z nich wzbogacone dźwiękiem złożonym).

Huki i trzaski mają również nieuporządkowany charakter akustyczny i bardzo krótki okres trwania. Można tu zaliczyć wszelkie eksplozje, odgłosy uderzeń, pojedynczych oklasków itp.

Huki i trzaski należą do tzw. zjawisk impulsowych, trwających nie dłużej niż $\frac{1}{2}$ sekundy i posiadających natężenie przewyższające o co najmniej 40 decybeli poziom szumów otoczenia. Do zjawisk impulsowych mogą jednak należeć również impulsy tonalne i dźwiękowe. Zdarza się również, że impulsy występują jeden po drugim w tak krótkich okresach, że zlewając się w dźwięk ciągły, tracą swój impulsowy charakter.

Przykładem urządzenia wytwarzającego impulsy mogące przekształcić się w dźwięk o charakterze ciągłym jest koło Savarta - prosty przyrząd do wytwarzania fal dźwiękowych (rys. 6) przy pomocy drgań mechanicznych (jego zabawową wersją jest terkotka sprzedawana na odpustach). Obracające się koło zębate zahacza o sztywną płytkę celuloidową, powodując powstawanie słyszalnych impulsów akustycznych. Przekroczenie prędkości 16 trzasków na sekundę powoduje powstanie dźwięku ciągłego o częstotliwości podstawowej równej liczbie trzasków w ciągu sekundy.



Rys. 6. Koło Savarta
(1 - obrotowe koło zębate,
2 - sprężysta płytka
stalowa lub celuloidowa)

Omawiając powyższy podział zjawisk akustycznych należy zwrócić uwagę na fakt, że słowo "dźwięk" może oznaczać potocznie (a także i w akustyce) każde zjawisko słyszalne. Podstawą do użycia terminu "dźwięk" jest właśnie jego słyszalność w odróżnieniu od infra- i ultradźwięków, będących niesłyszalnymi dla człowieka. Także i w tej pracy termin "dźwięk" jest używany w znaczeniu zjawiska słyszalnego w odróżnieniu od zdefiniowanego uprzednio pojęcia dźwięku złożonego będącego pojęciem węższym.

Ponadto warto zauważyć pewną odrębność w języku akustyki w stosunku do mowy potocznej. Mianowicie używane w znaczeniu potocznym słowo "ton" określa zazwyczaj efekt akustyczny uzyskany z instrumentu muzycznego, posiada on bowiem odczuwaną subiektywnie wysokość (odpowiadającą częstotliwości tonu podstawowego tego dźwięku). Z punktu widzenia akustyki jest to dźwięk złożony, składający się z szeregu tonów.

Podobnie w fonetyce i logopedii używa się określenia "ton krtaniowy", jako zjawiska akustycznego, powstającego w krtani, które to zjawisko jest również dźwiękiem złożonym zawierającym ton podstawowy i tony składowe. Dlatego też dla uściślenia terminologii, dla określenia tonu posiadającego wyłącznie jedną częstotliwość, używać będziemy terminu "ton czysty" lub "drżenie akustyczne proste" (sinusoidalne).

4. Cechy obiektywne zjawisk akustycznych

Zjawiska akustyczne posiadają pewne określone cechy. Należą do nich: wysokość, natężenie, barwa i czas trwania. Wysokość - jeśli można ją określić - jest zależna od częstotliwości drgań akustycznych, natężenie od mocy i odległości źródła dźwięku, barwa od ilości, częstotliwości i natężeń tonów lub pasm składowych. Czas trwania zjawiska akustycznego jest to całkowity czas przebiegu fali akustycznej przez określony punkt (np. ucho).

Natężenie jest cechą właściwą wszystkim zjawiskom akustycznym. Wysokość posiadają jedynie tony czyste, wielotony i dźwięki

złożone. Barwę posiadają wielotony, dźwięki złożone oraz szumy i szmery.

Podstawową, obiektywną cechą zjawiska akustycznego jest jego wysokość, którą w zasadzie można niemal jednoznacznie określić przez częstotliwość fali dźwiękowej.

Spróbujmy wziąć pręt lub podłużną płytkę stalową (np. brzeszczot piłki do metalu lub długi damski pilniozek), przytrzymać go jednym końcem na brzegu stołu, a drugi koniec odchylić od poziomu i puścić wprawiając w drgania. Jeśli wystawimy poza brzeg stołu odpowiednio długi kawałek pręta ruch wahadłowy wystającej części odbywać się będzie bezszelestnie. Powtarzając doświadczenie z równoczesnym stopniowym skracaniem drgającej części pręta, od pewnego momentu zaczniemy słyszeć niski dźwięk, który w miarę dalszego skracania ruchomej części pręta będzie się podwyższać. Moment pojawienia się dźwięku następuje wówczas, gdy liczba drgań pręta (który wraz ze skracaniem drga coraz szybciej) osiągnie 16 w ciągu sekundy. Tak więc najniższy słyszalny dźwięk ciągły ma częstotliwość 16 Hz (herców). Te niesłyszalne efekty uzyskiwane przy niższych częstotliwościach drgań pręta noszą nazwę infradźwięków i są przez człowieka odczuwane tylko przy dużym natężeniu jako wibracja lub wstrząsy.

Ucho ludzkie reaguje na dźwięki o bardzo szerokim zakresie częstotliwości - od wspomnianych 16 Hz do ok. 20 000 Hz. Drgania akustyczne o częstotliwości powyżej 20 000 Hz określamy nazwą ultradźwięków. Niesłyszalne dla człowieka - są odbierane w pewnym zakresie przez niektóre zwierzęta. Wspominany już nietoperz emituje i odbiera ultradźwięki o częstotliwościach do 150 000 Hz.

Można więc zdefiniować stosowane w akustyce i fonetyce akustycznej pojęcie dźwięku (w rozumieniu dźwięku słyszalnego).

Dźwiękiem nazywamy elastyczne drgania mechaniczne w zakresie częstotliwości od 16 Hz do 20 000 Hz rozchodzące się w postaci fal akustycznych w dowolnym środowisku sprężystym.

Fizycznemu pojęciu częstotliwości odpowiada subiektywne wrażenie wysokości tonu. Tony o małych częstotliwościach określamy jako niskie, o dużych częstotliwościach jako wysokie.

W dźwiękach złożonych na ogół jesteśmy w stanie określić ich wysokość. Odpowiada ona częstotliwości podstawowej tego dźwięku. Należy tu jednak rozróżnić pojęcia wysokości i częstotliwości.

Częstotliwość mierzona w hercach, czyli liczbie drgań na sekundę jest wielkością fizyczną charakteryzującą falę dźwiękową natomiast wysokość dźwięku jest to odczucie subiektywne, które zależy nie tylko od częstotliwości, a także w pewnym stopniu od natężenia. Dla częstotliwości niższych od 1000 Hz, ze wzrostem natężenia odczuwana subiektywnie wysokość nieco się obniża, natomiast przy częstotliwościach powyżej 3000 Hz, ze wzrostem natężenia odnosimy wrażenie podwyższania się dźwięku; są to jednak odchylenia stosunkowo nieznaczne. Wysokość i częstotliwość dźwięku nie są synonimami także dlatego, że dźwięki złożone, z którymi najczęściej się spotykamy mają zazwyczaj określoną wysokość, chociaż na dźwięki te składa się kilka różnych zależnych od siebie częstotliwości.

Szpecially w muzyce posługiwanie się pojęciem częstotliwości wyrażanym w hercach byłoby niewygodne i niepraktyczne. Dlatego też dla celów muzycznych, ale również wykorzystywanych w innych dziedzinach wiedzy (także i w logopedii) operuje się głównie pojęciem wysokości dźwięku, bazującym na częstotliwości jego tonu podstawowego. Jednolitym punktem porównawczym wykorzystywanym w akustyce i muzyce jest ton a^1 o częstotliwości 440 Hz (jest to wysokość sygnału telefonicznego w Warszawie i kilku innych miastach). W badaniach akustycznych i audiologicznych używa się tzw. stroju fizycznego, którego podstawę stanowi przybliżona częstotliwość tonu $C_2 = 16$ Hz. Jest on bardzo praktyczny w obliczeniach, ponieważ kolejne częstotliwości oktauwowe w tym stroju są potęgami liczby 2 (16, 32, 64, 128, 256, 512 Hz itd.). W audiologii często używa się nieco zaokrąglonych wartości niektórych z tych częstotliwości oktauwowych (tab.1).

Pojęcie oktawy oznacza stosunek częstotliwości dwóch tonów wynoszący 1 : 2. A więc oktawę tworzą np. tony 125 i 250 Hz, 300 i 600 Hz, 4000 i 8000 Hz. Każda oktawa dzieli się na 12 półtonów, których kolejne częstotliwości pozostają do siebie w stosunku $1 : \sqrt[12]{2}$ czyli $1 : 1,0595$. Trzynasty półton rozpoczyna następną oktawę. Podstawowe oktawy muzyczne rozpoczynają się od kolejnych tonów C.

Z tabelki wynika, że zakres częstotliwości słyszalnych obejmuje ponad 10 oktauw. Dźwięki mowy realizowane są w paśmie 80 - 10 000 Hz, a więc w zakresie blisko 7 oktauw zaś dźwięki muzyki w znacznie szerszym paśmie - od 16 Hz (duże organy), 27 Hz (fortepian) i 32 Hz (kontrabas) do ok. 16 000 Hz (tony harmonicz-

Tabela 1

Częstotliwości tonów oktauwowych stroju fizycznego

Nazwa oktawy	Ton rozpoczynający oktawę	Częstotliwość rzeczywista w Hz	Częstotliwość przybliżona w Hz
Subkontra	C_2	16,35	16
Kontra	C_1	32,70	32
Wielka	C	65,41	64
Mała	c	130,81	125
Razkreślna	c^1	261,63	250
Dwukreślna	c^2	523,25	500
Trzykreślna	c^3	1046,5	1000
Czterokreślna	c^4	2093,0	2000
Pięciokreślna	c^5	4186,0	4000
Sześciokreślna	c^6	8372,0	8000
Siedmiokreślna	c^7	16744,0	16000

ne harfy i oboju), jednak w tych granicznych wysokich częstotliwościach moc akustyczna wypromieniowywana przez instrumenty jest bardzo mała.

Drugą cechą obiektywną zjawisk akustycznych, będącą miarą naszego subiektywnego wrażenia słuchowego jest natężenie dźwięku. Określamy je najczęściej w decybelach.

To, co w dźwięku można zmierzyć, to ilość zawartej w nim energii. Natężenie dźwięku w dowolnym punkcie można określić jako wartość ciśnienia akustycznego, czyli mocy strumienia energii przypadającego na jednostkę powierzchni. Pomiaru tego dokonuje się w watach na metr kwadratowy ($\frac{W}{m^2}$). Moc najsłabszego słyszalnego przez przeciętne zdrowe ucho wzorcowego tonu o częstotliwości 1000 Hz zmierzona w ten sposób wynosi 0,000 000 000 001 $\frac{W}{m^2}$, czyli $1 \frac{pW}{m^2}$ (pikowat na metr kwadratowy). Najsilniejsze dźwięki nie powodujące jeszcze uczucia bólu, to np. hałas wytwarzany przez przelatujący na wysokości 50 m samolot odrzutowy, dający efekt dźwiękowy o natężeniu ok. $10 \frac{W}{m^2}$, czyli 10 000 000 000 000 $\frac{pW}{m^2}$, a w skrócie $10^{13} \frac{pW}{m^2}$. Skala $\frac{m}{m^2}$ natężeń dźwięków, które może odebrać człowiek jest więc bardzo wielka. Aby uniknąć operacji tak wielkimi liczbami wprowadzono skalę logarymiczną, określaną nie różnicą pomiędzy wielkościami, ale stosunki między nimi. I tak natężenie najsłabszego dźwięku słyszalnego $1 \frac{pW}{m^2}$ przyjęto dla

wzorcowej częstotliwości 1000 Hz jako poziom 0 decybeli. Najsilniejszy natomiast słyszalny bez bólu dźwięk ma natężenie $10\ 000\ 000\ 000\ 000\ \frac{DW}{m^2}$ lub w skrócie $10^{13}\ \frac{DW}{m^2}$ (vide zamieszczony wyżej przykład samolotu odrzutowego). Ta "trzynastka" nad cyfrą 10, oznaczająca jedynekę z trzynastoma zerami, informuje nas o tym, ile razy należy pomnożyć przez 10 jednostkę podstawową (natężenie najsłabszego dźwięku czyli $1\ \frac{DW}{m^2}$), aby otrzymać wartość określonego natężenia. Taki sposób zapisu pozwala na zmniejszenie pracochłonności i łatwiejsze "ogarnianie wzrokiem" zapisu mocy różnych dźwięków, obejmujących w klasycznych warunkach ogromną skalę liczbową, bo od 1 do 10 000 000 000 000. Jeżeli teraz ten proces jednokrotnego mnożenia mocy najsłabszego dźwięku przez 10 określimy jako 1 Bel, to otrzymamy "jednostkę" wyrażającą stosunek dwóch wielkości. W ten sposób natężenie dźwięku wspomnianego samolotu odrzutowego odpowiadać będzie 13 Belom (wartość wykładnika potęgi, czy też po prostu liczba zer za jedyneką).

Bel jest jednak zbyt dużą jednostką. Wygodniej jest posługiwać się mniejszymi - dziesiątymi częściami Bela, które zgodnie z międzynarodowym układem jednostek miar nazywają się decybelami (por. metr i decymetr). Określone w ten sposób natężenie dźwięku wytwarzanego przez nasz samolot i słuchanego z odległości 50 m będzie wynosić 130 dB (decybeli).

Jeżeli stosunek natężenia jakiegoś dźwięku do dźwięku najsłabszego ($1\ \frac{DW}{m^2}$), wyraża się liczbą okrągłą np. 100 000, czyli 10^5 przyjmujemy, że natężenie to odpowiada 5 Belom czyli 50 dB. Jeśli jednak stosunek ten wyraża się inną liczbą, np. 7 900, wówczas przeliczenie na decybele nie jest już takie proste. Wiadomo, że 7900 zawiera się pomiędzy 1000 a 10000, czyli, że jest to wynik mnożenia przez 10 więcej niż 3, ale mniej niż 4 razy. Będzie to więc odpowiadać wartości pomiędzy 30 a 40 dB. Dokładnemu ustaleniu poziomu w decybelach służy rachunek logarytmiczny. Dla naszych celów wystarczy ogólna orientacja w problemie, oraz świadomość, że różnica poziomu natężenia dźwięków o 10 dB oznacza dźwięk 10 razy silniejszy lub słabszy. Tym samym różnica poziomu dźwięków o 20 dB oznacza dźwięki, różniące się mocą 100 razy (10 razy 10), o 30 dB - 1000 razy (10 razy 10 razy 10, czyli 10^3 itd.). Łatwo zauważyć, jak precyzyjny jest nasz narząd słuchu, reagujący bezboleśnie na dźwięki o poziomie od 0 do 120 dB, a więc od $1\ \frac{DW}{m^2}$ do $1\ 000\ 000\ 000\ 000\ \frac{DW}{m^2}$, to znaczy różniące się natężeniem bilion razy.

Tabela 2

Poziom natężenia niektórych dźwięków w decybelach

Źródło dźwięku	Poziom w decybelach
SREDNI PRÓG SŁYSZENIA ZDROWEGO UCHA	0
Szmer liści w bezwietrzny dzień (3 m)	0 - 5
Normalny oddech (0,5 m)	5 - 10
SZEPT CICHY (2 m)	10 - 15
SZEPT PRZECIĘTNY (2 m)	15 - 20
Studio radiowe lub filmowe	20 - 25
Bardzo ciche pomieszczenie, tykanie zegara (1 m)	25 - 30
Szpital, kościół, czytelnia	30 - 35
DARCIE PAPIERU (1 m)	35 - 40
Cicha ulica	40 - 45
SPOKOJNA ROZMOWA (2 m)	45 - 50
Mały sklep, małe pomieszczenie biurowe	50 - 55
Dzwon kościelny (400 m)	55 - 60
GŁOSNA ROZMOWA (2 m)	60 - 65
Domowa maszyna do szycia, maszyna do pisania	65 - 70
Silnik samochodu osobowego (6 m)	70 - 75
Dzwonek telefonu (2 m)	75 - 80
KRYK (1 m)	80 - 85
Wnętrze autobusu	85 - 90
Świder pneumatyczny (2 m)	90 - 95
Klakson samochodowy (5 m)	95 - 100
Pociąg pospieszny (3 m)	100 - 105
Kolej podziemna (3 m)	105 - 110
Dyskoteka	110 - 115
Młot pneumatyczny (5 m)	115 - 120
Karabin maszynowy (0,5 m)	120 - 125
GRANICA BÓLU	120 - 130
Prasa hydrauliczna (0,5 m)	130 - 135
Silnik samolotu śmigłowego (3 m)	135 - 140
Syrena alarmowa (1 m)	140 - 145
Samolot odrzutowy przy starcie (10 m)	145 - 150
HAŁAS POWODUJĄCY TRWAŁE USZKODZENIE SŁUCHU	150 - 155
HAŁAS POWODUJĄCY WSTRZĄS MÓZGU	155 - 160
HAŁAS ŚMIERTELNY	pow. 160

Dla celów praktycznych wystarczająca jest orientacja w wyrażonym w decybelach natężeniu dźwięków spotykanym w życiu codziennym. Przez porównanie można określić w przybliżeniu poziom natężenia niemal każdego dźwięku. Ponieważ subiektywne odczucie głośności zależy nie tylko od mocy źródła dźwięku, ale i od odległości od niego - w tabeli w uzasadnionych przypadkach podana jest także odległość źródła dźwięku od ucha. Dużymi literami wyróżnione zostały wartości istotne w praktyce logopedycznej.

Dla porównania tabela 3 obrazująca głośność wykonywania utworów muzycznych obejmująca skalę 8 oznaczeń dynamicznych od ppp (pianissimo possibile) do fff (fortissimo possibile).

Głośność orkiestry

Tabela 3

Oznaczenie dynamiczne	Poziom natężenia w decybelach
PPP	20 - 30
PP	30 - 40
P	40 - 50
mp	50 - 60
mf	60 - 70
f	70 - 80
ff	80 - 90
fff	90 - 100

Należy zwrócić uwagę, że skala decybeli nie dopuszcza arytmetycznego sumowania głośności dźwięków. Jeżeli np. grają równocześnie 2 instrumenty muzyczne, każdy na poziomie 40 dB, to łączny poziom natężenia wzrośnie o 3 dB tj. do 43 dB. Podwojenie mocy źródła dźwięku powoduje zawsze wzrost głośności o 3 dB, potrojenie o blisko 5 dB, a dopiero dziesięciokrotny wzrost mocy źródła dźwięku spowoduje wzrost głośności o 10 dB. Przy dwóch źródłach dźwięku o różnych poziomach głośności łączne natężenie dźwięku będzie zaledwie nieco wyższe od natężenia silniejszego ze źródeł.

Także zmiana odległości ucha od źródła dźwięku wpływa w istotny sposób na subiektywne odczucie głośności. Przykładowo, odalenie się od źródła dźwięku na odległość dwukrotnie większą od pierwotnej spowoduje osłabienie natężenia słyszanego dźwięku o

6 dB, na odległość trzykrotnie większą od pierwotnej osłabienie słyszalności o blisko 10 dB, a na odległość dziesięciokrotnie większą osłabienie słyszalności o 20 dB.

Rozważania nad trzecią cechą obiektywną dźwięku - barwą, należy rozpocząć od omówienia zjawiska rezonansu akustycznego. Polega ono na pobudzeniu do drgań innych ciał sprężystych przez fale akustyczne. Ma to miejsce wówczas, gdy w polu działania fali dźwiękowej znajdzie się ciało sprężyste zdolne do drgań w paśmie częstotliwości, jakie zawiera ta fala dźwiękowa. Pod wpływem impulsów fali ciało zaczyna drgać z tą częstotliwością i staje się tzw. rezonatorem, wzmacniając efekt działania tej właśnie częstotliwości (lub pasma częstotliwości) fali dźwiękowej (jest to tzw. częstotliwość własna rezonatora). Charakterystyczne jest to, że amplituda drgań uzyskanych w wyniku rezonansu, jest zazwyczaj większa od amplitudy drgań, które ten rezonans wywołały; fale wzmocnione rezonacyjnie są na ogół znacznie głośniejsze od fal pierwotnych. W przypadku dźwięku złożonego, w którym wzmocnieniu rezonacyjnemu uległy niektóre (bądź tylko jedna) częstotliwości następuje istotna zmiana jakościowa - zmienia się subiektywne odczucie barwy dźwięku. Przykładem rezonansu mogą być np. wywołanie drganiem strun drganie pudła rezonansowego instrumentu muzycznego (skrzypce, gitara itp.). Zjawisko to zachodzi również w mowie, gdzie rolę rezonatorów odgrywają głównie jamy nasady.

Rezonatory można podzielić na szerokopasmowe i wąskopasmowe. Rezonatory szerokopasmowe reagują na drgania o częstotliwościach dość znacznie różniących się od ich częstotliwości drgań własnych, łatwo wchodzą w drgania, ale równocześnie mają duże tłumienie, tzn. drgania rezonacyjne, chociaż silne, szybko wygasają. Są to zazwyczaj drgania nie obejmujące jednej konkretnej częstotliwości, lecz pasmo częstotliwości sąsiadujących (do takich rezonatorów o dużym tłumieniu i szerokich pasmach częstotliwości wzmocnień rezonacyjnych należą również jamy nasady). Rezonatory wąskopasmowe mają słabe tłumienie (dźwięk trwa dłużej), ale reagują tylko na częstotliwości bardzo bliskie lub wręcz dokładnie odpowiadające ich częstotliwości drgań własnych.

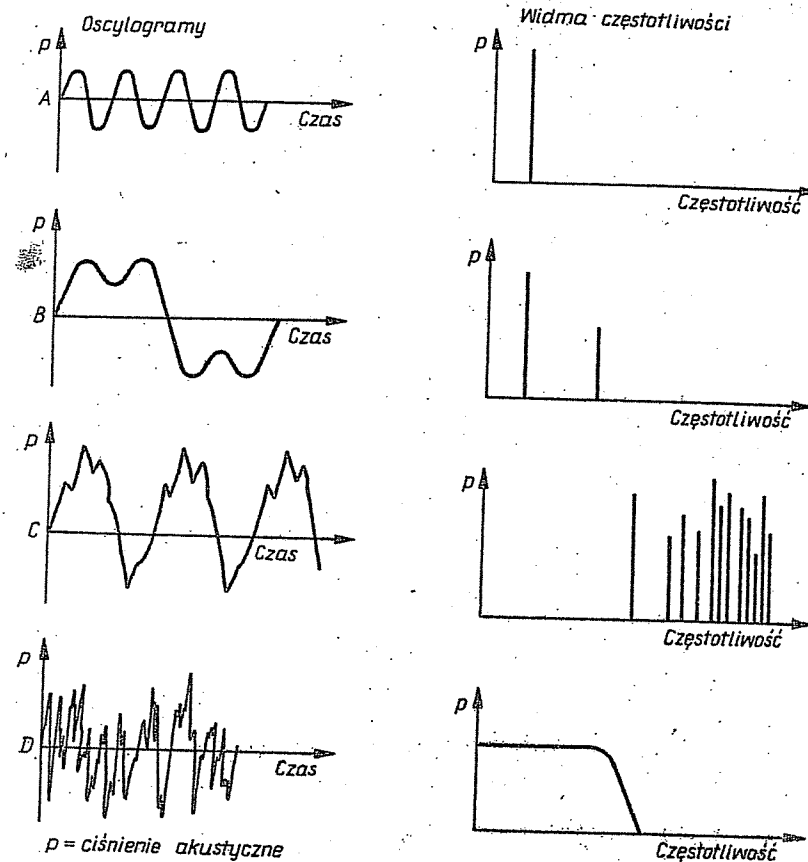
Dzięki zjawisku rezonansu akustycznego w praktyce spotykamy najczęściej dźwięki złożone regularne, składające się z tonu podstawowego oraz tych alikwotów (tonów składowych wielotonu harmonicznego), które zostały wzmocnione przez rezonans środowiska akustycznego (pudło rezonansowe instrumentu, jamy nasady itp.).

Te wzmocnione alikwoty dźwięku złożonego nazywamy formantami dźwięku. Dobór i natężenie częstotliwości formantowych decyduje o barwie dźwięku. To tłumaczy fakt, że np. różne instrumenty muzyczne o różnych kształtach pudła rezonansowego wydają dźwięki o tej samej częstotliwości tonu podstawowego (wysokości), ale o różnej barwie, wynikającej z faktu wzmacniania rezonacyjnego innych alikwotów tego samego wielotonu harmonicznego. W przypadku mowy zmiana barwy dźwięku, decydująca o kształcie akustycznym głosek, dokonuje się poprzez zmianę kształtu i wielkości rezonatora (stopień otwarcia ust, układ masy języka itd.).

W życiu codziennym, a także w terminologii muzycznej spotykamy określenia barwy dźwięku zaczerpnięte z mniej lub bardziej przekonujących analogii z kolorami, temperaturą, kształtem itp., jak np. barwa dźwięku jasna, ciemna, ciepła, zimna, ostra, metaliczna, nosowa itp. W akustyce i fonetyce akustycznej posługujemy się pojęciem widma akustycznego - wykresu częstotliwości składowych dźwięku złożonego (rys. 7). Na wykresie takim ton czysty przedstawiony jest w postaci pojedynczego prążka w określonym miejscu, oznaczającym jego częstotliwość i o wysokości oznaczającej natężenie (wykres oscylograficzny tonu czystego ma kształt sinusoidy), natomiast dźwięk złożony przedstawiony jest w postaci kilku lub więcej prążków w określonych miejscach, odpowiadających częstotliwościom tonów składowych (ton podstawowy zawsze pierwszy od lewej). Widmo szumu ma kształt zazwyczaj jednej linii ciągłej, obejmującej szerokie pasmo częstotliwości.

Zjawiskiem, którego nie można pominąć jest odbijanie, załamowanie i uginanie się fal dźwiękowych. Gdy fala dźwiękowa trafia na granicę dwóch ośrodków (np. powietrze - ściana) następuje jej rozbitcie na dwie części, z których jedna odbija się z powrotem w głąb pierwszego ośrodka zgodnie z prawami fizyki (kąt padania równa się kątowi odbicia), zaś druga przenika w głąb drugiego ośrodka, zmieniając nieco kierunek (załamując się). Poza tym fala dźwiękowa łatwo ulega ugięciu, obiegając przeszkody i docierając do przestrzeni zasłoniętych (w odróżnieniu od fal świetlnych).

Wspominane już tłumienie dźwięku polega na zmniejszaniu się w danym środowisku akustycznym energii rozprzestrzeniającej się wraz z falą dźwiękową. Powoduje ono zmniejszanie się głośności dźwięku w miarę pokonywania przez falę coraz większej drogi, aż do jej całkowitego zaniku (rys. 8). Zdolność tłumiąca ośrodków

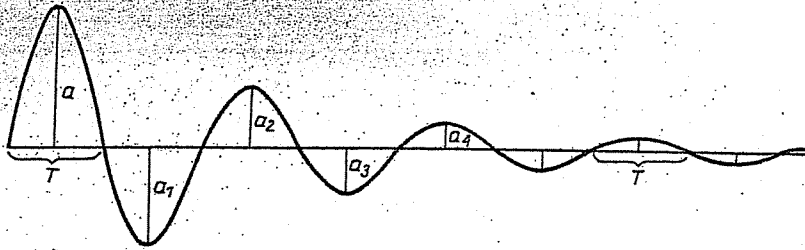


p = ciśnienie akustyczne

Rys. 7. Widma akustyczne (A - tonu, B - dźwięku złożonego z dwóch tonów, C - dźwięku złożonego o dużej liczbie składowych, D - szumu) oraz odpowiadające im oscylogramy - wykresy fal akustycznych (wg J. Grzesika)

akustycznych jest różna generalnie, a nawet w danym ośrodku różna dla różnych częstotliwości (przykładowo, w powietrzu silniej tłumione są fale o wyższej częstotliwości, co powoduje spadek wyrazistości mowy słuchanej z dalszej odległości, gdyż ubywają wyższe częstotliwości składowe mające duże znaczenie dla różnicowania głosek).

Zjawisko tłumienia dźwięku wpływa na jego charakterystykę akustyczną. Im bowiem dźwięk złożony jest bardziej tłumiony (a



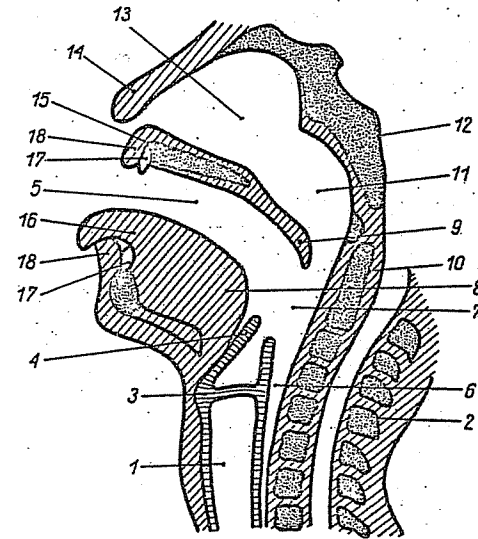
Rys.8. Drganie proste-tłumione (a, a_1, a_2 itd.)
- kolejne zmniejszające się amplitudy drgań)

tym samym krócej trwający) tym bardziej jego częstotliwości składowe są wzbogacone częstotliwościami bezpośrednio sąsiadującymi z częstotliwościami tworzącymi, stając się nie zespołem pojedynczych częstotliwości lecz ich pasm o szerokości dochodzącej nawet do 150 Hz każde.

5. Narządy mowy jako źródło dźwięków

Zespół narządów mowy, do których należy zaliczyć generator drgań w postaci płuc i krtani oraz modyfikator drgań w postaci jam nasady funkcjonuje podobnie jak instrumenty muzyczne z grupy aerofonów, tzn. tych, w których źródłem dźwięku jest drganie słupa powietrza (np. flet, klarnet, saksofon, piszczałki organowe itp.). Generatorem, czyli źródłem energii wzbudzającym drgania akustyczne właściwe dla dźwięków mowy są płuca i krtani z wiązkami głosowymi, natomiast wibratorem czyli elementem drgającym jest powietrze wypełniające aparat artykulatoryjny - nasadę. Ponadto generatorem szumów występujących w mowie są zwarcia i szczeliny wytwarzające się w kanale głosowym dzięki ruchomości niektórych narządów mowy w tym głównie języka.

Miejscem powstawania właściwego dźwięku jest krtani, w której, w okolicach jej środka, znajdują się wężadła głosowe, stanowiące krawędzie fałdów głosowych. Przebiegają one poziomo od wewnętrznej powierzchni chrząstki tarczowej do ruchomych wyrostków chrząstek nalewkowych, mogących się częściowo obracać. Tym samym wężadła głosowe mogą się zsuwać zamykając krtani bądź rozsuwać w tylnej części, tworząc otwór w kształcie smukłego trójkąta rów-



Rys.9. Przekrój narządów mowy
1 - tchawica, 2 - kręgi szyjne, 3 - chrząstka tarczowa, 4 - nagłośnia, 5 - jama ustna, 6 - przełyk, 7 - jama gardłowa, 8 - obsada języka (radix), 9 - podniebienie miękkie (velum), 10 - najwyższy kręg szyjny, 11 - górna część jamy gardłowej, 12 - podstawa czaszki, 13 - jama nosowa, 14 - nos, 15 - podniebienie twarde (palatum), 16 - grzbiet języka (dorsum), 17 - zęby, 18 - wargi (wg M.Drobnera)

noremennego, a także mogą zmieniać swoje napięcie dzięki działaniu par mięśni zwierających i rozwierających szparę głosni.

Podczas oddychania więzadła głosowe są szeroko rozsunięte. Pozwala to na swobodny ruch powietrza przez krtani do płuc i na zewnątrz. Dźwięk natomiast powstaje wówczas, gdy fałdy głosowe odpowiednio napięte są zsunięte, a nacisk powietrza od strony płuc nasila się tak, że przewycięża napięcie mięśni zwieraczy i część powietrza rozchylając fałdy głosowe przeciska się na zewnątrz. Nacisk od strony płuc wówczas na moment się zmniejsza i fałdy głosowe z powrotem się zamykają. Proces ten powtarza się wielokrotnie w ciągu każdej sekundy powodując drgania więzadeł głosowych, a tym samym powstawanie dźwięków. Częstotliwość powtarzania się tych procesów wynosi w mowie od ok. 80 do kilkuset, a w śpiewie nawet do ponad tysiąca razy w ciągu sekundy.

Drgania więzadeł głosowych ulegają wzmocnieniu dzięki rezonansowi wymuszonemu dolnej części krtani oraz klatki piersiowej (częstotliwość rezonansowa tej ostatniej odpowiada średnio 150-400 Hz). Efektem działania tego zespołu generatorów drgań akustycznych jest dźwięk zwany tonem krtaniowym. Z fizycznego punktu widzenia nie jest to jednak ton czysty, lecz dźwięk złożony o przebiegu zbliżonym do regularnego wielotonu harmonicznego, składającego się z tonu podstawowego o częstotliwości drgań bezpośrednich więzadeł głosowych oraz tonów składowych o częstotliwościach, będących wielokrotnościami częstotliwości podstawowej. Częstotliwość podstawowa tonu krtaniowego, decydująca o subiektywnie odbieranej wysokości tego dźwięku może być dla konkretnego głosu zmieniana w zakresie od 1,5 do 2 oktaw (u dzieci znacznie mniej) dzięki mięśniom napinającym więzadła głosowe. Zmiany tej częstotliwości składają się na tzw. intonację lub melodię mowy oraz są wyzyskiwane w śpiewie. W mowie zmiany wysokości tonu podstawowego sięgają zazwyczaj jednej oktawy, w śpiewie wykorzystywane są na ogół maksymalna możliwości, a więc w zasadzie w zakresie do 2 oktaw. Szkolenie głosu w kierunku śpiewu pozwala na zwiększenie zakresu emitowanych częstotliwości podstawowych. Przeciętna skala szkolonego głosu śpiewaczego przekracza dwie oktawy dochodząc w przypadkach wyjątkowych do 3 i więcej oktaw (głównie u sopranów). Skala głosu nieszkolonego (naturalnego) obejmuje w zależności od rodzaju głosu i wieku zakresy możliwości zmian częstotliwości podstawowej tonu krtaniowego zamieszczone w tabeli 4.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że nie są to sztywne normy, lecz dane typowe. Zdarzają się głosy o szczególnie nietypowej wysokości - głębokie basy o dolnej granicy dochodzącej do 65 Hz (C), czy sopranów koloraturowe o częstotliwościach najwyższych sięgających 2000 Hz (h^3). Ponadto należy zauważyć, że w mowie u każdej niemal osoby zdarzają się krótkotrwałe (mierzone w ułamkach sekund) przebiegi znacznie niższe, np. w niskich głosach męskich dochodzące do 30-40 Hz.

Podstawę tych różnic stanowią warunki anatomiczne, a przede wszystkim długość więzadeł głosowych, która wynosi u dzieci w wieku szkolnym 12-14 mm i powiększa się w okresie dojrzewania do 16-20 mm u dziewcząt oraz 20-25 mm u chłopów. To znaczne wydłużanie się więzadeł głosowych u chłopów, przebiegające w stosunkowo krótkim czasie, powoduje znane zaburzenia fonacji w okresie dojrzewania, zwane mutacją głosu.

Skale głosów

Tabela 4

Rodzaj głosu	Skala muzyczna	Przybliżony zakres w Hz
Głos dziecka w wieku 1-2 lat	$f^1 - b^1$	350 - 465
Głos dziecka w wieku 7 lat	$c^1 - o^2$	260 - 520
Sopran	$c^1 - o^3$	260 - 1040
Sopran koloraturowy (szkolony)	$h - fis^3$	245 - 1480
Mezzosopran	$g - g^2$	200 - 800
Alt	$e - e^2$	165 - 660
Kontralt	$c - c^2$	130 - 520
Tenor	$B - h^1$	120 - 490
Baryton	$G - g^1$	100 - 400
Bas	$E - e^1$	80 - 320

Ton krtaniowy stanowi jedynie bazę, na której budowane są dźwięki mowy. Zanim bowiem dźwięki te zostaną usłyszane w ostatecznej postaci - fala powietrzna będąca nośnikiem tonu krtaniowego musi przedostać się przez jamy nasady - tzw. kanał głosowy, obejmujący jamę gardłową, jamę ustną i jamę nosową.

Zarówno jama gardłowa, jak jamy ustna i nosowa stanowią dla tonu krtaniowego rezonatory wzmacniające niektóre częstotliwości tonu krtaniowego i równocześnie wytłumiające pozostałe. Te pasma częstotliwości, w których koncentruje się energia dźwięku noszą nazwę formantów głosek. Występują one szczególnie wyraźnie w samogłoskach ustnych (można wyróżnić 4 formanty), w samogłoskach nosowych oraz w niektórych spółgłoskach dźwięcznych. Najniższa z tych częstotliwości, która uległa wzmocnieniu rezonancyjnemu w jamach nasady nazywana jest formantem pierwszym (oznaczanym zazwyczaj F_1), kolejne - formantami drugim, trzecim itd. (F_2, F_3 itd.). Ton podstawowy oznaczany jest jako F_0 . W wykresach widma akustycznego formanty głosek widoczne są jako wzmocnienia w określonych pasmach częstotliwości (tabela 5). Dobór formantów dla danej głoski zależy od aktualnej wielkości i kształtu jam nasady. Szczególnie istotne są kształt i wielkość jamy ustnej, które dzięki ruchomości zuchwy, warg, języka i podniebienia miękkiego mogą ulegać znacznym zmianom, powodując wzmacnianie rezonacyjne różnych częstotliwości tonu krtaniowego (w tym przede wszystkim niższych stanowiących o F_1 i

Tabela 5

Pasma formantów głosek (wg Żyszkowskiego)

Formant	Zakres częstotliwości w Hz	Natężenie w dB
F ₁	150- 850	61-67
F ₂	500-2500	37-63
F ₃	1500-3500	20-52
F ₄	2500-4500	20-51

F₂). Właściwości rezonacyjne jamy ustnej można sprawdzić doświadczalnie, ustawiając kamerton przed otwartymi ustami. Zmieniając układ zuchwy i języka możemy dobrać taki kształt i wielkość jamy ustnej, że stanie się ona rezonatorem dla częstotliwości kamertonu i wzmocni jego dźwięk w wyraźnie słyszalny sposób.

W głosach kobiecych formanty są przesunięte o ok. 15 % w stronę wyższych częstotliwości, a w głosach dziecięcych jeszcze więcej. Natężenie formantów u kobiet jest średnio o ok. 3 dB niższe niż u mężczyzn.

Dzięki zmienności kształtu i wielkości jamy nasady - przy niezmięnionej wysokości dźwięku uwarunkowanej częstotliwością drgań więzadeł głosowych może zmieniać się barwa tego dźwięku, a więc jego treść merytoryczna jako nośnika informacji (mowa). Natomiast przy niezmięnionej barwie (chwilowej nieruchomości jamy nasady), można zmieniać wysokość dźwięku dzięki zmianie napięcia mięśni więzadeł głosowych (wokaliza). Ciągłe zmiany wysokości, natężenia i barwy dźwięku są charakterystyczne dla śpiewu, w mowie zaś ciągłe zmiany dotyczą głównie barwy, od której zależy struktura akustyczna emitowanej głoski.

W kanale głosowym obejmującym wszystkie trzy jamy nasady wyróżniamy dwa toru tego kanału - tor ustno-gardłowy obejmujący część krtani ponad więzadłami głosowymi, część jamy gardłowej i jamę ustną oraz tor nosowo-gardłowy, obejmujący również część krtani ponad więzadłami, całą jamę gardłową i jamę nosową. Tory te mogą współdziałać przy wytwarzaniu dźwięku (głoski [e], [q], [n]) bądź funkcjonować osobno i niezależnie. Zależy to od położenia uvuli - języczka będącego tylną, ruchomą częścią velum - podniebienia miękkiego, który może przywierać do tylnej części jamy gardłowej, odcinając dla przepływu powietrza jej górną część wraz z jamą nosową. Kształt toru nosowo-gardłowego może ulegać bardzo

niewielkim zmianom wyłącznie dzięki ruchom tylnej części obsady języka. Dlatego też dla powstawania mowy szczególne znaczenie ma zmienność kształtu i wielkości toru ustno-gardłowego kanału głosowego.

Tor ustno-gardłowy ma długość ok. 16-18 cm. Przy przyjęciu przez narządy nasady położenia neutralnego (rozluźnione mięśnie, język położony swobodnie, tor nosowo-gardłowy zamknięty) można go porównać do jednostronnie zamkniętej piszczałki prostej, rezonującej w częstotliwości podstawowej ok. 500 Hz i jej nieparzystych wielokrotnościach tj. 1500 Hz, 2500 Hz, 3500 Hz itd. o coraz mniejszym natężeniu (piszczałki zamknięte z jednej strony tworzą wieloton harmoniczny niepełny obejmujący tylko nieparzysty szereg alikwotów).

W torze ustno-gardłowym oprócz modyfikacji tonu krtaniowego, polegającej na wzmacnianiu bądź tłumieniu jego częstotliwości składowych wykonywane są działania mające na celu tworzenie nowych dźwięków o charakterze szumów i impulsów. Są to przebiegi akustyczne nieregularne, zawierające wiele nieuporządkowanych częstotliwości w szerokim paśmie bez możliwości wyróżnienia żadnej z nich jako subiektywnej wysokości dźwięku.

Szумы wchodzące w skład niektórych spółgłosek zwarto-szczelinowych i szczelinowych dźwięcznych, jako uzupełnienie tonu krtaniowego, oraz stanowiące samodzielnie o kształcie akustycznym analogicznych spółgłosek bezdźwięcznych, powstają w wyniku przeciskania się powietrza przez szczeliny wytwarzane w jamie ustnej. Impulsy, wchodzące w skład spółgłosek zwarto-wybuchowych i zwarto-szczelinowych, powstają w wyniku nagłych zmian ciśnienia powietrza, powstających przy zwarciu, a następnie szybkim rozwarciu toru ustno-gardłowego w określonym miejscu.

Jeżeli jamy nasady pobudzone są do drgań rezonacyjnych przez ton krtaniowy lub przez szумы bądź impulsy generowane w torze ustno-gardłowym, wówczas powietrze, wypełniające kanał głosowy drga w sposób wymuszony. Ponieważ zarówno ton krtaniowy jak szумы i impulsy, składają się z wielu drgań o różnych częstotliwościach - w powietrzu wypełniającym kanał głosowy powstają drgania o tychże częstotliwościach. Praktycznie jednak tylko część z nich, odpowiadających częstotliwościom własnym kanału głosowego w określonym kształcie i wielkości, ulegnie wzmocnieniu rezonacyjnemu, reszta zaś zostanie wytłumiona. W związku z dużym ogólnym tłumieniem dźwięków w jamach nasady, wynikającym

z ich miękkiej powierzchni - dźwięki wzmacniane przez rezonans nie będą tonami o pojedynczych częstotliwościach, lecz formantowymi pasmami częstotliwości obejmującymi kilkadziesiąt Hz (przy wyższych częstotliwościach nawet do 150 Hz), z których środkowa jest najsilniejsza i decydująca o subiektywnej wysokości pasma.

Przykładowo, jeśli w czasie wybrzmiewania tonu krtaniowego masa języka wysklepia się w kierunku przedniej części podniebienia twardego, to wzmocnieniu rezonansowemu ulegną składowe tonu krtaniowego o częstotliwościach ok. 300-400 Hz i 2500-3000 Hz, bowiem są to pasma częstotliwości odpowiadające częstotliwościom drgań własnych kanału głosowego w tym kształcie. Zmiana położenia i stopnia wysklepienia masy języka zmienia częstotliwości drgań własnych kanału głosowego, a tym samym barwę emitowanego dźwięku, w skład którego wejść muszą te właśnie pasma częstotliwości, które odpowiadają aktualnemu kształtowi i wielkości jamy nosowej. Drgania składowe o częstotliwościach pomiędzy częstotliwościami drgań własnych kanału głosowego w aktualnym kształcie ulegną stłumieniu.

Przyłączenie jamy nosowej poprzez otwarcie toru nosowo-gardłowego zwiększa liczbę częstotliwości rezonancyjnych o częstotliwość drgań jamy nosowej oraz zatok bocznych nosa. Tor nosowo-gardłowy również można traktować jak piszczałkę prostą jednak o niemal niezmiennym kształcie i stałych częstotliwościach rezonancyjnych w pasmach 200-400 Hz, 900-1400 Hz, 1800-2600 Hz i ok. 3000 Hz. Jeśli tor nosowo-gardłowy funkcjonuje równolegle z torem ustno-gardłowym, to w efekcie akustycznym głoski wyraźnie zaznacza się udział jedynie komponenty najniższej - 200-300 Hz, pozostałe zaś ulegają osłabieniu i są niemal niesłyszalne.

Główna część energii akustycznej mowy zawarta jest w dolnej części widma akustycznego - u mężczyzn w zakresie bliskim 120-140 Hz, u kobiet 240-280 Hz. To pasmo częstotliwości stanowi jednak tylko tło dźwiękowe, a nie decyduje o zrozumiałości mowy, gdyż podstawowe formanty oraz pasma szumów decydujące o treści merytorycznej głoski zawarte są w wyższej części widma akustycznego, głównie w paśmie 1000-2000 Hz.

Interesującym zjawiskiem jest kierunkowość fal akustycznych powstających podczas emisji mowy. Dźwięki mowy nie są bowiem wypromieniowywane z ust równomiernie we wszystkich kierunkach. Z jednej strony wynika to z zacieniającego działania głowy, z drugiej zaś spowodowane jest tworzeniem przez jamę ustną rodzaju tuby ukierun-

kującej fale akustyczne. Wpływ obu tych czynników wzrasta ze wzrostem częstotliwości. Tony o częstotliwościach poniżej 400 Hz rozchodzą się niemal równomiernie we wszystkich kierunkach (fala uginają się wokół głowy). Tony o wyższych częstotliwościach, szczególnie powyżej 1700 Hz, są wypromieniowywane kierunkowo.

W związku z tym struktura akustyczna głosek ma ścisły związek z ich rozchodzeniem się w przestrzeni. Niektóre samogłoski, których widma akustyczne charakteryzują się niskimi, najistotniejszymi dla merytorycznej treści głoski formantami F_1 i F_2 , jak np. [a], [o] i [u] są w zasadzie wypromieniowywane bezkierunkowo, natomiast samogłoski, których drugie formanty leżą w górnej części widma akustycznego (np. [i]), oraz większość spółgłosek - są wypromieniowywane kierunkowo, ich poziom akustyczny mierzony z tyłu głowy osoby mówiącej, jest o ok. 20 dB niższy od poziomu mierzony na wprost ust, a struktura akustyczna wykazuje zmiany jakościowe.

Średnie natężenie dźwięków mowy w odległości 1 m od ust osoby mówiącej (na wprost ust) wynosi ok. 65 dB (najgłośniejsze elementy dochodzą do 86 dB). Największą moc akustyczną zawiera samogłoska [a], natomiast najsłabszym akustycznie dźwiękiem mowy jest bezdźwięczna spółgłoska wargowo-zębowa [f].

6. Struktura akustyczna głosek polskich

Klasyfikacja akustyczna głosek jest zazwyczaj oparta na kryterium układu masy języka i związanym z tym położeniem formantu drugiego (F_2) głoski (Wierzbowska, 1980). Jest więc to równocześnie klasyfikacja artykulacyjna wyróżniająca trzy zasadnicze układy masy języka:

1. Płaskie (lub prawie płaskie) położenie masy języka, przy którym język wypełnia dno jamy ustnej, a jego grzbiet leży płasko lub uwypukla się nieco w środkowej części. Formant drugi występuje tu w paśmie 1200-1700 Hz. Do głosek realizowanych w tym położeniu masy języka należy samogłoska [a] oraz spółgłoski takie jak [p], [b], [t], [d], [c], [ʒ], [o], [ɔ], [s], [z], [f], [v], [š], [ž], [m], [n], [l] i [r]. Spółgłoski te charakteryzuje duża precyzja ruchów artykulacyjnych.

2. Tylnie położenie masy języka, przy którym język wysklepia się ku górze i tyłowi jamy ustnej, zwężając kanał głosowy w okoli-

6. Samogłoska ustna [u], w której F_1 i F_2 przebiegają w pasmach ok. 300 Hz i ok. 600-700 Hz oraz bardzo słabe F_3 i F_4 w pasmach ok. 2400-2500 Hz i 3200-3400 Hz. Wzrokowo wyróżnialna najlepiej ze wszystkich samogłosek ze względu na wyraźne zaokrąglenie i znaczne wysunięcie do przodu warg.
7. Spółgłoska ustna [ɥ], w odróżnieniu od [u] niesylabiczna, a więc realizowana znacznie krócej. Akustycznie wyróżnialne F_1 i F_2 w pasmach ok. 300 Hz i ok. 500 Hz, jednak o znacznie mniejszym natężeniu niż w głosce [u]. Wzrokowo podobna do głoski [u], jednak jako niesylabiczna jest krótsza a ponadto w niektórych kontekstach (głównie w nagłosie) może być wymawiana ze znacznie mniejszym zaokrągleniem warg niż [u].
8. Spółgłoska boczna [l], posiadająca przebieg akustyczny, w którym można wyróżnić słaby F_1 w zakresie 350-400 Hz, F_2 w paśmie ok. 1600-1800 Hz, oraz F_3 , F_4 i F_5 , bardzo słabe, wyróżnialne szczególnie przy przeciągłym wymawianiu głoski w izolacji w pasmach ok. 2700-2900 Hz, 3200-3500 Hz i 4000 Hz. Emisja kończy się bardzo słabym impulsem. Wzrokowo głoska prawie niewyróżnialna, jedynie u osób szerzej otwierających usta można zauważyć charakterystyczny ruch języka dotykającego górnego wałka dziąsłowego.
9. Spółgłoska dwuwargowa nosowa [m], wytwarzana przez obydwa toru kanału głosowego - ustno-gardłowy i nosowo-gardłowy, przy czym ten pierwszy otwiera się przy końcu realizacji głoski z lekkim impulsem. Wyraźne formanty - F_1 w zakresie ok. 300 Hz (odpowiadający częstotliwości drgań własnych jamy nosowej), słabszy F_2 ok. 750 Hz, silniejszy F_3 ok. 1300 Hz oraz słabiej wyróżnialne wzmocnienia w pasmach ok. 2000 Hz, 2700 Hz i 3600 Hz. Wzrokowo jest to jedna z najłatwiej wyróżnialnych głosek dzięki chwilowemu zamknięciu ust, a następnie wyraźnej płozji wargowej. Ten właśnie zewnętrzny układ artykulacyjny jest charakterystyczny aż dla sześciu głosek (bardzo nieznaczne różnice mogą być w sprzyjających warunkach dostrzegalne jedynie przy emisji w izolacji z możliwością bezpośredniego porównywania), a mianowicie poza omawianą dla głosek [b], [p], [m], [p'], [b'].
10. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa nosowa [n] realizowana również w obu torach kanału głosowego, posiadająca w przebiegu akustycznym wzmocnienia formantowe związane z torem nosowo-gardłowym w pasmach 200-300 Hz i 900-1000 Hz oraz z torem ustno-gardłowym w paśmie ok. 1200 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.

11. Spółgłoska prepalatalna nosowa [ɲ] posiadająca przebieg akustyczny z dość wyraźnie zaznaczonymi pasmami wzmocnień ok. 200-400 Hz, i ok. 800 Hz oraz nieco słabszym pasmem wzmocnienia ok. 2000-2500 Hz. Wzrokowo praktycznie niewyróżnialna, w szczególnie sprzyjających kontekstach głoskowych u wyraźnie artykułujących osób można dostrzec lekkie zaciśnięcie kątek ust przy nieco rozchylonych wargach.
12. Spółgłoska [j], wytwarzana akustycznie podobnie do samogłoski [i] jednak z większym napięciem mięśni, znacznie krócej i bez spłaszczenia wargowego. W przebiegu akustycznym występują wyraźne formanty - silniejszy F_1 w paśmie 200-400 Hz oraz znacznie słabsze w pasmach 2300-2500 Hz, 3000-3300 Hz i 3500-3800 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.
- Do grupy I zaliczamy również głoski wymawiane asynchronicznie [o], [e], [m] ponieważ posiadają one przebieg akustyczny zbliżony do regularnego z wyraźnie zaznaczonymi pasmami formantowymi.
13. Samogłoska nosowa [ɔ] posiadająca przebieg akustyczny w początkowej fazie jak [o]. W drugiej fazie na skutek obniżenia podniebienia miękkiego i otwarcia toru nosowo-gardłowego pojawiają się formanty tego toru w pasmach ok. 200-400 Hz oraz czasem ok. 900-1000 Hz przy równoczesnym osłabieniu formantów toru ustno-gardłowego (podział energii akustycznej). Wzrokowo głoska podobna do [o], w drugiej fazie otwór wargowy nieco się zmniejsza, często również występuje nieznaczne zbliżenie szczęk.
14. Samogłoska nosowa [ɛ] mająca w pierwszej fazie przebieg akustyczny jak głoska [e], w drugiej na skutek uruchomienia toru nosowo-gardłowego formanty toru ustno-gardłowego słabną i pojawiają się wzmocnienia związane z torem nosowo-gardłowym w pasmach 200-400 Hz i 900-1000 Hz. Wzrokowo wymowa zbliżona do [e], w drugiej fazie występuje nieznaczne zmniejszenie otworu wargowego, często z nieznacznym zbliżeniem szczęk.
15. Spółgłoska dwuwargowa nosowa [ɱ], wytwarzana podobnie do [m], posiadająca w wymowie potocznej najczęściej wymowę asynchroniczną, w której po płozji wargowej może powstać dźwięk zbliżony do głoski [j]. Przebieg akustyczny zbliżony do regularnego, ze słabo zaznaczonymi wzmocnieniami formantowymi w pasmach ok. 200-400 Hz, 700-800 Hz i 1700-1800 Hz oraz z wyraźnie występującym wzmocnieniem w paśmie ok. 2500 Hz, właś-

ciwym dla wysokiego i przedniego położenia języka, występującego w głoskach miękkich. W drugiej fazie występują także słabo zaznaczone formanty głoski [j]. Wzrokowo bardzo łatwo wyróżnialna, niemal identyczna i praktycznie nie do odróżnienia od głoski [m] oraz pozostałych głosek z tej grupy artykulacyjnej, wymienionej przy omawianiu głoski [m].

II. Do grupy tej zaliczamy głoski od strony akustycznej będące szumami. Nie posiadają one zaznaczonej struktury formantowej (dają się wyróżnić jedynie pasma wzmocnień w szerokim paśmie szumów) i realizowane są znacznie ciszej, na poziomie 15-30 dB. Są to głoski szczelinowe bezdźwięczne.

16. Spółgłoska wargowo-zębowa [f] będąca akustycznie słabym szumem wytwarzanym przez szczelinę pomiędzy dolną wargą a krawędzią górnych siekaczy w szerokim paśmie od 500 do ok. 8000 Hz, z nieznanym wzmocnieniem w paśmie 1200-1500 Hz. Wzrokowo bardzo dobrze wyróżnialna dzięki charakterystycznemu spłaszczonemu układowi warg z zaciśniętymi kącikami ust. Zewnętrzny obraz artykulacyjny wspólny z głoskami [v], [f] i [v].

17. Spółgłoska wargowo-zębowa [f] akustycznie podobna do [f], z tym, że wzmocnione pasmo szumów występuje przy ok. 2500-3000 Hz. Wzrokowo identyczna z [f].

18. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [s] ze szczeliną dorsalną będąca akustycznie szerokopasmowym szumem w zakresie od ok. 500 Hz do ok. 10000 Hz, z zaznaczonym słabym wzmocnieniem w paśmie ok. 1700 Hz i silnym wzmocnieniem w paśmie ok. 4000-8000 Hz. Wzrokowo słabo zauważalna, na ogół tylko w określonych kontekstach głoskowych dzięki stosunkowo wąskiej szczelinie wargowej z kącikami rozsuniętymi na boki.

19. Spółgłoska przedniojęzykowo-dziąsłowa [s] ze szczeliną apikalną (wytwarzaną przez koniec języka - apex), będąca szerokopasmowym szumem w zakresie od ok. 500 Hz do ok. 8000 Hz ze słabym wzmocnieniem w zakresie ok. 1500-1700 Hz i znacznie silniejszym w paśmie ok. 4000-5000 Hz. Wzrokowo dobrze wyróżnialna dzięki znacznemu wysunięciu do przodu zaokrąglonych warg. Ten zewnętrzny obraz artykulacyjny jest wspólny z głoskami [ç], [z] i [z].

20. Spółgłoska prepalatalna [s] będąca szerokopasmowym szumem od ok. 2000 do ok. 8000 Hz z wyraźnym wzmocnieniem w paśmie ok.

2500-3500 Hz. Efekt akustyczny tej głoski bywa nazywany ciszeniem. Wzrokowo słabo zauważalna, charakterystyczne nieznaczne wysunięcie warg do przodu i zaciśnięcie kącików ust daje się zaobserwować tylko w niektórych kontekstach głoskowych u osób wyraźnie artykułujących.

21. Spółgłoska tylnojęzykowa [x], będąca akustycznie słabym szumem ze wzmocnieniami w pasmach ok. 300-500 Hz i 800-1500 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.

22. Spółgłoska postpalatalna [x] będąca również słabym szerokopasmowym szumem ze wzmocnieniem w paśmie ok. 2000-3500 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.

III. Kolejną grupę tworzą głoski, będące od strony akustycznej impulsami. Są to głoski o przebiegu chwilowym i niskim poziomie akustycznym (do 30 dB). Należą do nich głoski zwarto-wybuchowe bezdźwięczne.

23. Spółgłoska dwuwargowa [p] mająca złożony przebieg akustyczny, na który składa się krótka pauza odpowiadająca zwarciu warg, krótkotrwały impuls wargowy i również krótki przydech - podwyższający się szum w którym można wyróżnić dwa słabe pasma wzmocnień - ok. 300-400 Hz i ok. 1000-1200 Hz. Wzrokowo bardzo dobrze wyróżnialna w grupie z głoskami wymienionymi przy głosce [m] /9/.

24. Spółgłoska dwuwargowa [p], mająca analogiczny trzyczęściowy przebieg akustyczny jak [p], z tym, że w szumie uwidacznia się wzmocnienie przede wszystkim w paśmie ok. 2300-3000 Hz. Wzrokowo bardzo dobrze wyróżnialna w grupie wymienionej przy głosce [m] /9/.

25. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [t] mająca również trzyczęściowy przebieg akustyczny. Słabe wzmocnienia w impulsie i przydechu występują głównie w pasmach 400-600 Hz i 1500-1700 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.

26. Spółgłoska tylnojęzykowa [k], składająca się akustycznie również ze słabego impulsu i przydechu będącego nieco dłuższym szumem niż w przypadku głosek dwuwargowych. Wzmocnienie szumu występuje w paśmie ok. 600-900 Hz, a przed głoską [a] do 1400 Hz. Wzrokowo niewyróżnialna.

27. Spółgłoska prepalatalna [k], będąca akustycznie zbliżona do poprzedniej, z tym, że wzmocnienie szumu występuje w paśmie ok. 2000-3000 Hz. Wzrokowo również niewyróżnialna.

IV. Grupę tę tworzą głoski będące akustycznie kombinacją impulsu i szumu, posiadające poziom akustyczny nie przekraczający ok. 300 dB. Zaliczamy tu wszystkie głoski zwarto-szczelinowe bezdźwięczne.

28. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [o], mająca trzyczęściowy przebieg akustyczny, obejmujący pauzę i słabiutki impuls przechodzący bezpośrednio w szum o strukturze akustycznej jak w głosce [s], tylko trwający nieco krócej. Wzrokowo słabo wyróżnialna, identyczna z głoską [s].

29. Spółgłoska przedniojęzykowo-dziąsłowa [č], mająca również trzyczęściowy przebieg akustyczny o pasmach wzmożeń jak w głosce [š] oraz identycznym, łatwo wyróżnialnym zewnętrznym obrazie artykulacyjnym.

30. Spółgłoska prepalatalna [č], mająca również trzyczęściowy przebieg akustyczny - bardzo krótka pauza, słabiutki impuls i szum o strukturze akustycznej jak w głosce [š] (ze słabym wzmożeniem w paśmie 2500-3500 Hz). Wzrokowo słabo wyróżnialna (identyczna z [š]).

V. Do grupy tej należą głoski będące akustycznie szumami uzupełnionymi zmodyfikowanym tonem krtaniowym. Są to głoski szczelinowe dźwięczne. Ich poziom akustyczny mierzony w odległości 1 m od ust mówiącego wynosi zaledwie ok. 25-40 dB na skutek silnego tłumienia tonu krtaniowego przez szczelinę zwązającą kanał głosowy. Należą do nich:

31. Spółgłoska wargowo-zębowa [v]

32. Spółgłoska wargowo-zębowa [v']

33. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [z]

34. Spółgłoska przedniojęzykowo-dziąsłowa [ž]

35. Spółgłoska prepalatalna [ž].

Głoski te posiadają przebieg akustyczny analogiczny do odpowiadających im głosek bezdźwięcznych z grupy II z tym, że w przebiegu akustycznym występuje również ton krtaniowy ograniczony na skutek silnego tłumienia zazwyczaj do częstotliwości tonu podstawowego. Wzrokowo głoski te są identyczne z ich bezdźwięcznymi odpowiednikami.

VI. Grupa ta to głoski będące akustycznie impulsami uzupełnionymi tonem krtaniowym a więc głoski zwarto-wybuchowe dźwięczne. Należą do nich:

36. Spółgłoska dwuwargowa [b]

37. Spółgłoska dwuwargowa [b']

38. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [d]

39. Spółgłoska tylnojęzykowa [g]

40. Spółgłoska tylnojęzykowa [g'].

Posiadają one również przebieg akustyczny, jak i zewnętrzny obraz artykulacyjny analogiczny do odpowiadających im głosek bezdźwięcznych z grupy III, z tym, że przebieg akustyczny uzupełniony jest tonem krtaniowym ograniczonym zazwyczaj do częstotliwości podstawowej. Głoski te są nieco głośniejsze od głosek z grupy V, a ich poziom akustyczny dochodzi w niektórych przypadkach do 50 dB.

Do grupy tej zaliczamy również:

41. Spółgłoskę drżącą [r], charakteryzującą się krótkotrwałą wibracją apexu - jeden do trzech razy przywiera on do wałka dziąsłowego. Na dźwięk ten składa się zatem zestaw dwóch lub trzech impulsów połączonych przebiegami zbliżonymi do regularnych ze wzmożeniami formantowymi w pasmach ok. 400-500 Hz, 1400-1500 Hz i ok. 2400-2500 Hz. Wzrokowo głoska niewyróżnialna.

VII. Ostatnią, siódmą grupę tworzą głoski będące akustycznie kombinacją impulsu, szumu i tonu krtaniowego. Są to następujące głoski zwarto-szczelinowe dźwięczne:

42. Spółgłoska przedniojęzykowo-zębowa [ʒ]

43. Spółgłoska przedniojęzykowo-dziąsłowa [ʒ']

44. Spółgłoska prepalatalna [ʒ].

Ich przebieg akustyczny i zewnętrzny obraz artykulacyjny odpowiadają przebiegom i obrazom analogicznych głosek bezdźwięcznych z grupy IV, z tym, że przebiegi akustyczne są uzupełnione komponentą tonalną w postaci częstotliwości podstawowej tonu krtaniowego, a poziom głośności tych głosek wynosi średnio 25-40 dB.

Poza omówionymi tu głoskami, w mowie polskiej wyróżnić można jeszcze ok. 40 wariantów fonetycznych głosek (Wierzchowska,

1980), które, ze względu na mniejszą frekwencję oraz zbliżoną strukturę akustyczną i wizualną do głosek podstawowych, nie zostały omówione szczegółowo.

7. Analiza dźwięków mowy

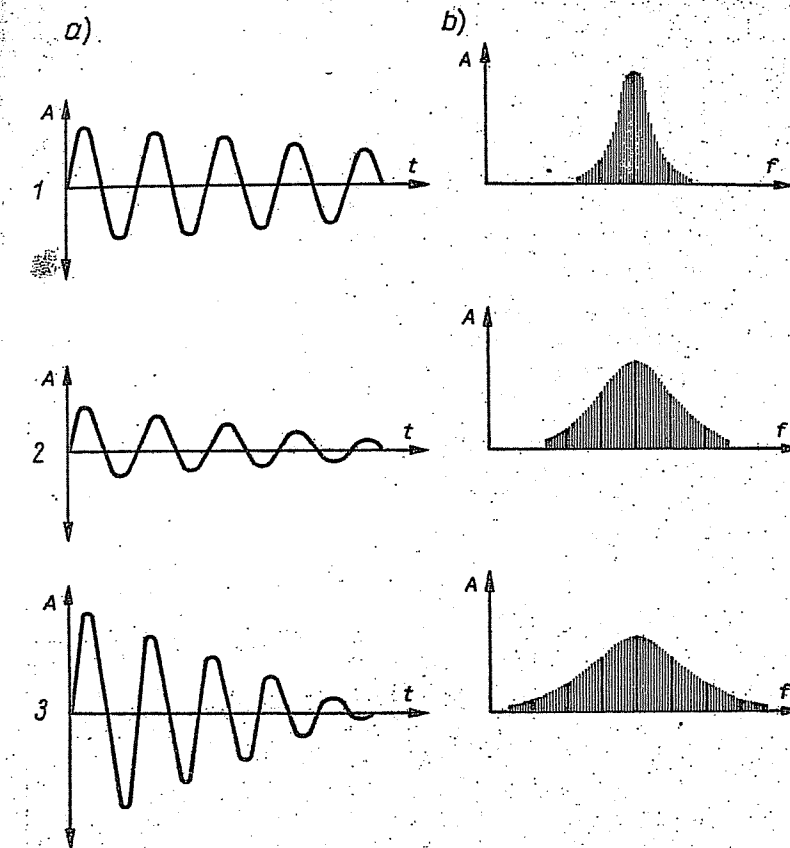
W dźwiękach złożonych można wyróżnić szereg tonów składowych o różnych częstotliwościach i natężeniach. Nie można jednak uczynić tego bezpośrednio słuchem, który jest w stanie rozpoznać jedynie ton podstawowy - o najniższej częstotliwości. Technika rozkładu dźwięków złożonych na tony składowe z określeniem ich częstotliwości i natężeń nosi nazwę analizy dźwięku. Analizy tej dokonuje się metodami matematycznymi i elektroakustycznymi.

Najczęściej stosowane typy analiz dźwięków to metoda oscylograficzna, przedstawiająca przebieg dźwięku złożonego w postaci złożonego drgania sinusoidalnego (rys.7), zmiennego w czasie oraz metoda sonograficzna (spektrografii trójwymiarowej), przedstawiająca zarówno dźwięki złożone, jak i szumy w postaci wykresu, w którym na osi poziomej odmierza się czas, na osi pionowej częstotliwości w Hz, natomiast natężenie oznaczane jest stopniem zaciemnienia wykresu w określonych miejscach (tzw. Visible Speech).

Zastosowanie tych metod analizy mowy w pracy logopedy warunkowane jest dysponowaniem skomplikowaną aparaturą rzadko dostępną w warunkach przeciętnej pracowni. Dlatego też w audiologii i logopedii ma zastosowanie przede wszystkim technika spektrografii dwuwymiarowej, przedstawiająca obraz dźwięku w postaci widma akustycznego. Jest to wykres przedstawiający rozkład dźwięku na tony składowe z uwzględnieniem natężenia każdej częstotliwości (w przypadku szumów i impulsów szumowych wykres przedstawia wyodrębnione pasma częstotliwości z uwzględnieniem natężenia).

Na wykresie widma akustycznego dźwięku na osi poziomej przedstawione są częstotliwości w hercach, a na osi pionowej natężenie w decybelach. Na wykresie takim ton czysty o nieograniczonym okresie trwania (bez tłumienia) ma postać paleczki o wysokości odpowiadającej natężeniu tonu i ustawionej w miejscu odpowiadającym jego częstotliwości (rys.7).

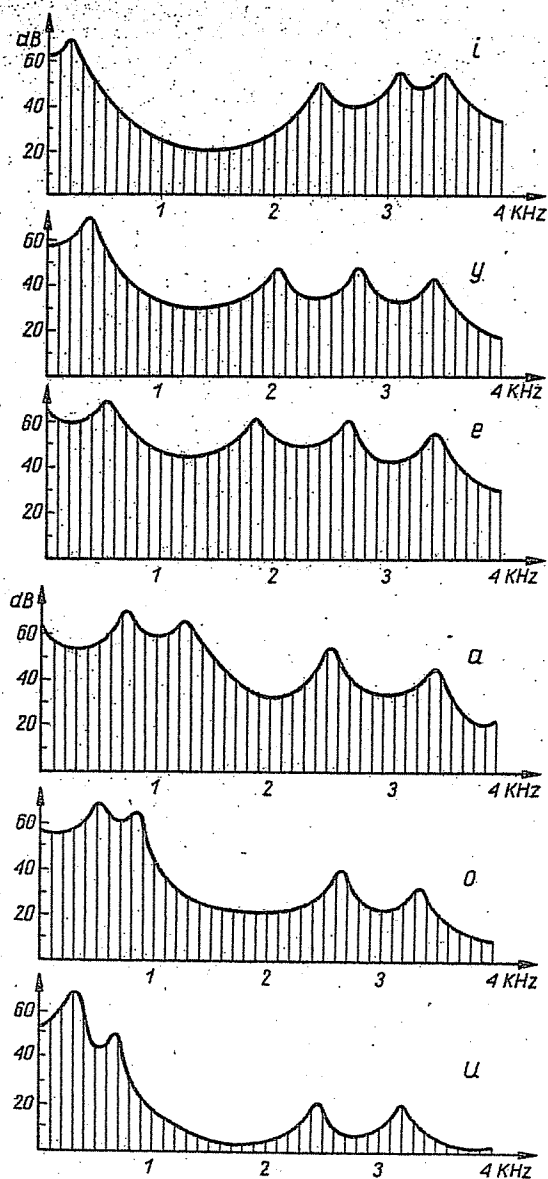
Wielotony i dźwięki złożone mają postać zespołu pionowych paleczek odpowiadających poszczególnym tonom składowym umiejscowionych na osi poziomej w punktach odpowiadających ich częstotliwościom i o długościach odpowiadających natężeniom poszczególnych tonów (jest to tzw. widmo akustyczne prążkowe).



Rys.10. Drgania tłumione i ich widma akustyczne (wg W.Jassema, 1973)

wionych na osi poziomej w punktach odpowiadających ich częstotliwościom i o długościach odpowiadających natężeniom poszczególnych tonów (jest to tzw. widmo akustyczne prążkowe).

Widmo akustyczne prążkowe jest obrazem przypadku idealnego, w którym dźwięk trwa nieograniczenie w czasie (nie jest w ogóle tłumiony). W rzeczywistości fizycznej takie drgania nie występują, każde posiada mniejsze lub większe tłumienie. Widmo drgania tłumionego składa się już nie z prążków, lecz "garbków" łączących się czasem w jedną linię krzywą. Z analizy struktury akustycznej drgania tłumionego wynika, że im bardziej drganie jest tłumione,



Rys.11. Widma akustyczne samogłosek polskich (wg W.Jassema, 1973)

tym "garbek" przedstawiający wykres widma akustycznego danego tonu jest szerszy (rys.10). Oznacza to również, że na przebieg akustyczny tłumiony tonu czystego składa się nie jedno, lecz nieskończenie wiele drgań o sąsiadujących częstotliwościach, z których największe natężenie ma właściwa częstotliwość tonu czystego, a kolejne sąsiadujące częstotliwości są coraz słabsze, tym szybciej słabnące im mniej tłumiony jest dany ton.

Dźwięki złożone o dużym tłumieniu mają widmo akustyczne w postaci krzywej, z wyróżniającymi się punktami maksymalnymi w miejscach odpowiadających wartościom tonów składowych czyli formantom danego dźwięku.

Szумы posiadają widmo akustyczne również o charakterze ciągłym, jednak bez wyróżniających się częstotliwości formantowych.

Mowa należy do drgań akustycznych szczególnie silnie tłumionych. Sprzyja temu budowa jam nasady jako rezonatorów o miękkich ściankach. Dlatego też w rozkładzie dźwięków mowy na częstotliwości składowe nawet przy przebiegach najbardziej zbliżonych do regularnych z wyraźnie zaznaczoną strukturą formantową widmo akustyczne głóskei ma postać krzywej ciągłej z wyróżnialnymi garbkami w częstotliwościach odpowiadających formantom głóskei (rys.11).

Zapis spektrograficzny jest zapisem chwilowym, nie uwzględniającym zmieniających się przebiegów akustycznych w czasie. Jego istotne zastosowanie w praktyce logopedycznej polega na możliwości prowadzenia badań porównawczych z wynikami podstawowych badań słuchu (audiometrią tonalną), które wykonywane są również analitycznie, osobno dla różnych częstotliwości. Pozwala to na wstępną ocenę wydolności słuchowej osoby z zaburzeniami mowy, mającą istotne znaczenie w diagnostyce logopedycznej.

II. FONETYKA AUDYTYWNA I WIZUALNA

1. Geneza i przedmiot fonetyki audytywnej i wizualnej

Fonetyka audytywna i wizualna zajmują się odpowiednio słuchową i wzrokową percepcją mowy. Obie te nauki, a w szczególności fonetyka wizualna mają zastosowanie głównie w rewalidacji dzieci z uszkodzonym słuchem.

Chociaż pierwsze wzmianki historyczne o kształceniu osób ze znacznym uszkodzeniem słuchu (głównie głuchoniemych) sięgają VII wieku, istnieją przesłanki ku temu, by sądzić, że ówczesne próby nie obejmowały zagadnień słuchowej i wzrokowej percepcji mowy, lecz aż do XVI wieku, a i potem równoległe z wykorzystywaniem możliwości słuchu, zmierzały głównie do opracowania zastępczych metod porozumiewania się w postaci znaków gestykulacyjnych lub pisma.

Pierwszym dokumentem świadczącym o wykorzystaniu dźwiękowego i wizualnego obrazu mowy, jako środka porozumiewania się osób niesłyszących, jest praca hiszpańskiego dyplomaty Juana Pablo Boneta (1573-1633) z 1620 r. "O naturze dźwięków i sztuce nauczania głuchoniemych mowy", w której wspomina on o "o czytaniu z warg". Kolejne, bardziej rozbudowane informacje na ten temat znajdujemy w wydanej w 1667 roku w Sulzbach pracy Franza Merouriusa van Helmonta (1614-1699) "Alphabetum Naturae". Van Helmont podkreśla ścisłą zależność możliwości opanowania umiejętności odczytywania mowy z ust od zasobu słownictwa osoby niesłyszącej.

Założenia van Helmonta przejął wspomniany już Jan Conrad Amman (1669-1724), lekarz holenderski, który będąc nie tylko teoretykiem, rozbudował i wzbogacił doświadczenia swego poprzednika oraz zastosował je w praktyce. Wyniki swych prac przedstawił w znanej na całym świecie (choć nigdy nie przetłumaczonej na język polski) pracy "Mówiący głuchoniemy, czyli metoda, według której głuchoniemy od urodzenia może nauczyć się mówić" ("Surdus

loquens", 1692). Prace Ammana, a w szczególności wydana w 1700 r. "Rozprawa o mowie" miały ogromne znaczenie dla kształtowania poglądu, że istnieje możliwość osiągnięcia wysokiego poziomu rozwoju osób niesłyszących przy pomocy mowy dźwiękowej i jej odczytywania z ust.

Kontynuatorem słusznych założeń Ammana stał się niemiecki nauczyciel Samuel Heinicke (1727-1790), twórca założonej w 1778 roku w Lipsku pierwszej szkoły dla dzieci głuchych opartej na dźwiękowej metodzie nauczania oraz aktywizacji innych poza wzrokiem zmysłów (ciekawostką były próby wykorzystania zmysłu smaku w nauczaniu mowy).

Wśród twórców metod nauczania mowy, wykorzystujących elementy fonetyki wizualnej w dydaktyce, należy na poczesnym miejscu wymienić wspomnianego już uprzednio Polaka Jana Siestrzyńskiego (1788-1824) oraz jego dzieło "Teorya i mechanizm mowy".

Charakterystyczne jednak dla wszystkich omawianych i pominiętych ówczesnych prekursorów nauczania dzieci głuchych mowy i jej rozumienia było ograniczenie możliwości percepcyjnych do wzroku (w niektórych przypadkach także innych zmysłów) z całkowitym pominięciem wykorzystania w percepcji mowy resztek słuchu.

Dopiero II połowa XIX stulecia umożliwiła początki rozwoju fonetyki audytywnej. Badania wspomnianego już niemieckiego fizyka i fizjologa Hermanna von Helmholtza (1821-1894) nad fizjologią słyszenia oraz powstanie technik badania słuchu dzieci umożliwiły zróżnicowanie metod nauczania w zależności od stopnia ubytku słuchu, a tym samym stworzyły możliwości wykorzystania tego zmysłu w procesie rewalidacji. Wprowadził pierwsze próby podziału niesłyszących wg stopnia ubytku słuchu wprowadził jeszcze w końcu XVIII wieku Jean Gaspard Hard (1774-1836), jednak za właściwych pionierów audiologii pedagogicznej, wykorzystujących w swych pracach elementy fonetyki audytywnej, należy uznać V. Urbantschitscha i F. Bezolda.

Autorem pierwszych badań nad treningiem słuchowym był wiedeński lekarz i profesor uniwersytetu Viktor Urbantschitsch (1847-1921), działający na przełomie XIX i XX stulecia. Z opracowanego przez siebie programu wychowania słuchowego wyłączał on jednak całkowicie elementy fonetyki wizualnej (odczytywanie z ust). Był on zwolennikiem teorii, że poprzez odpowiedni trening można wznowić działalność nieczynnego nerwu słuchowego. Równoległe podobnymi problemami zajmował się monachijski lekarz i profa-

sor otiatrii Friedrich Bezold (1842-1908). Jego zasługą było opracowanie prototypu dzisiejszego audiometru - zespołu odpowiednio zmontowanych i zestawionych widełek strojowych (kamertonów) umożliwiających produkowanie dźwięków zbliżonych do tonów czystych o określonych częstotliwościach. Zestaw ten wykorzystywany był w diagnostyce audiologicznej przez ponad 30 lat do czasu wynalezienia generatora tonów czystych zastosowanego w audiometrze, a i dziś zdarzają się przypadki korzystania z zestawu stroików Bezolda. Prace F. Bezolda przyczyniły się w istotny sposób do uświadomienia faktu, że wiele dzieci ze znacznym uszkodzeniem słuchu posiada jednak także jego resztki, które mogą być wykorzystane w rewalidacji.

W następnych latach nie zaobserwowano szybkiego postępu w audiologii i fonetyce audytywnej. Wynikało to bezpośrednio z faktu, że w owym okresie nie istniały żadne urządzenia sprzyjające poprawie percepcji słuchowej (poza prymitywnymi trąbkami słuchowymi wykorzystywanymi raczej przez osoby w podeszłym wieku), a tym samym sprawa reedukacji i treningu słuchowego skazana była na niepowodzenie.

Punktem wyjścia dla rozwoju fonetyki audytywnej mogło stać się wynalezienie w 1876 r. przez Aleksandra Grahama Bella (1847-1922) urządzenia do przekazywania mowy na odległość. Urządzenie to bowiem zaplanowane było początkowo jako pomoc dla słabo słyszającej żony A.G. Bella i chociaż nie przyniosło w tym przypadku pożądanych i zadawalających efektów zrobiło światową karierę jako telefon. Słabe stosunkowo wzmocnienie dźwięków, wąskie pasmo przenoszenia i duże zniekształcenia występujące w tym urządzeniu nie sprzyjało zastosowaniu go w przypadkach znacznego uszkodzenia słuchu.

Około roku 1910 zaczęły powstawać pierwsze urządzenia elektroakustyczne z mikrofonem węglowym wzmacniające dźwięki, jednak dopiero zastosowanie w końcu lat dwudziestych do produkcji wzmacniaczy lamp katodowych pozwoliło na zbudowanie pierwszych aparatów wzmacniających dźwięki w formie walizeczki. Pierwszy baterijny aparat słuchowy skonstruowano w Anglii w roku 1934. Lata pięćdziesiąte obecnego stulecia to dalsza miniaturyzacja aparatów słuchowych umożliwiające noszenie ich w kieszeni, a lata sześćdziesiąte dzięki zastosowaniu elementów półprzewodnikowych umożliwiły umieszczenie aparatury wzmacniającej w zausznikach okularów, za uchem, a nawet wewnątrz małżowiny usznej i przewodu słuchowego.

Aleksander Graham Bell ze względów rodzinnych interesował się także odczytywaniem mowy z ust. Jego zasługą było wprowadzenie nowej, syntetycznej metody nauczania odczytywania mowy z ust (1894). W I połowie XX stulecia rozwijały się równoległe aż 4 metody nauczania odczytywania mowy z ust, których twórcami byli Martha Bruhn, Edward Nitohie, Cora Kinzie i Karl Brauckmann (trzy pierwsze z wymienionych osób same były również niesłyszące). Wszystkie te metody, zaliczane dziś do klasycznych charakteryzowały się pomijaniem bądź niedocenianiem komponenty słuchowej w percepcji mowy, co wynikało bezpośrednio z braku powszechnych możliwości stosowania urządzeń wzmacniających dźwięki (aparatów słuchowych).

Głównie z tej przyczyny rozwój fonetyki audytywnej przebiegał ze znacznym opóźnieniem w stosunku do fonetyki wizualnej, a dopiero w II połowie obecnego stulecia rozwinęły się tendencje do łączenia percepcji wzrokowej i słuchowej w procesie rewalidacji osób z uszkodzeniem słuchu.

W latach dwudziestych obecnego stulecia węgierski lekarz i surdopedagog Gustav Barczy (1890-1964) wsławił się nowym ujęciem problemu głuchoty jako jednostki chorobowej centralnego układu nerwowego (sordomutitas corticalis czyli głuchota korowa). Wychojąc z przyjętego przez siebie założenia, opracował on dość skuteczną metodę treningu słuchowego, zarzuconą później wobec rozwoju techniki elektroakustycznej. Jego wkładem w rozwój audiologii pedagogicznej były wyniki wykazujące istnienie możliwości podniesienia sprawności w zakresie rozumienia mowy przy zachowaniu tego samego poziomu słyszenia progowego (dyskryminacja słuchowa).

Pierwszym, który wykorzystał współczesne możliwości rozwijania słuchu przy wykorzystaniu urządzeń elektroakustycznych był szwedzki lekarz stomatolog, a równocześnie ojciec dziecka ze znacznym uszkodzeniem słuchu, Erik Wedenberg. Rozpoczynając w 1939 roku swe eksperymenty nawiązał do metod Urbantschitscha i Barczyego oraz sformułował do dziś obowiązującą zasadę uzależnienia programu wychowania słuchowego od wyników ścisłych badań audiologicznych i psychologicznych dziecka (w pracy "Trening słuchowy głuchych i niedosłyszących", 1951).

Pionierem nowoczesnego kształcenia słuchu w Polsce był Mieczysław Kempa (1896-1962) - dyrektor zakładu dla dzieci głuchych we Lwowie, a po wojnie we Wrocławiu. Jeszcze przed drugą wojną światową w zakładzie lwowskim powstała pierwsza klasa dla dzieci z resztkami słuchu prowadzona przez nauczycielkę Emilię Lindert i

wyposażona w aparaturę elektroakustyczną w postaci mikrofonu węglowego, wzmacniacza lampowego oraz kompletu słuchawek dla wszystkich uczniów. Widocznymi efektami działania tej aparatury była poprawa wyrazistości i przystawki mowy wszystkich dzieci.

Rozwój elektroakustyki pozwolił na podejmowanie dalszych prób usprawniania percepcji słuchowej. Na pierwszym miejscu należy tu wymienić badania Petera Guberiny (ur. 1913 r.), dyrektora Instytutu Fonetyki oraz Centrum Rehabilitacji Słuchu i Mowy w Zagrzebiu w Jugosławii. Opracowana pod jego kierunkiem metoda werbotonalna (1952) w rewalidacji niesłyszących obejmuje specjalne wyposażenie elektroakustyczne oraz specjalne postępowanie mające m.in. na celu maksymalne wykorzystanie możliwości percepcyjnych osoby z uszkodzonym słuchem na drodze słuchowej i wibracyjnej.

Równoległe do prac Guberiny prowadzone były w Stanach Zjednoczonych doświadczenia w kształceniu dzieci głuchych metodą tzw. komunikacji totalnej (Total Communication) wykorzystującej wszystkie możliwe środki porozumiewania się w nauczaniu niesłyszących, a wśród nich także wzrokową i słuchową percepcję mowy. Twórcą tej metody, opublikowanej w 1960 r., jest amerykański nauczyciel głuchych, ojciec dwojga niesłyszących dzieci Roy K. Holcomb.

Także współczesne metody nauczania odczytywania mowy z ust, których twórcami i kontynuatorami byli I. i S. Ewingowie z Uniwersytetu w Manchesterze (Anglia), Erwin Kern (RFN), Armin Löwe (RFN) i inni bazują na wykorzystaniu w nauczaniu percepcji mowy analizatora wzrokowego i słuchowego równocześnie.

Obecnie fonetyka audytywna i wizualna odgrywają niezwykle ważną rolę w procesie kształtowania percepcji mowy. W szkołach dla dzieci głuchych na całym niemal świecie wykorzystywana jest aparatura elektroakustyczna oraz to wyższej jakości, a stosowane metody kształtowania środków porozumiewania się wykorzystują zarówno słuchowe, jak i wzrokowe możliwości percepcyjne uczniów. Indywidualne aparaty słuchowe stosowane są często już w okresie pierwszego i drugiego roku życia dziecka, co umożliwia osiągnięcie znacznie lepszych efektów rewalidacyjnych.

2. Budowa, funkcjonowanie i uszkodzenia narządu słuchu

Fale akustyczne, rozprzestrzeniające się w otaczającym nas środowisku, są ważnym źródłem informacji. Nie tylko człowiek i zwierzęta, ale nawet owady obdarzone są organami dźwiękoodbior-

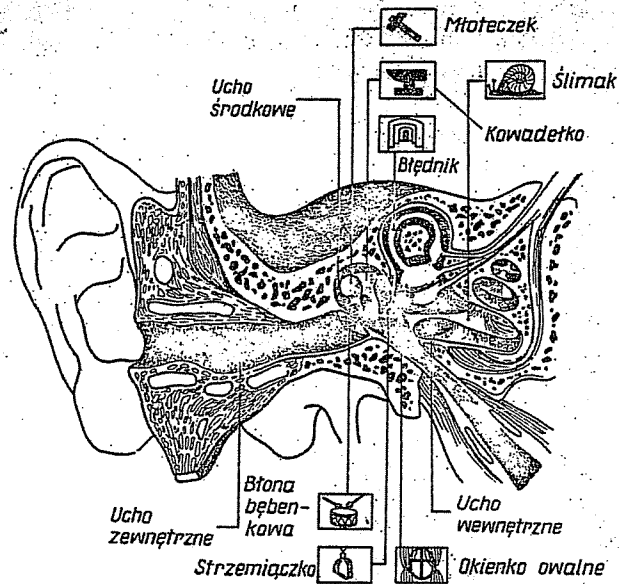
czymi dostosowanymi do potrzeb danego gatunku (np. niektóre śmy reagują na dźwięki w zakresie 40 000 - 80 000 Hz, co odpowiada częstotliwościom emitowanym przez polujące na te śmy nietoperze; ryby odbierają dźwięki rozchodzące się w wodzie, przy czym górna granica odbieranych przez nie częstotliwości waha się zależnie od gatunku od 800 do ok. 10 000 Hz, węże natomiast w ogóle nie reagują na dźwięki). Dobrze rozwinięty słuch mają ptaki, a większość ssaków ostrością słuchu znacznie przewyższa człowieka.

Dźwięki odbierane przez narząd słuchu mogą mieć różne znaczenie zależnie od tego, czy przenoszą one prostą informację o jakimś zdarzeniu, czy niosą bardziej złożoną treść w postaci mowy lub muzyki czy wreszcie są zbiorem dźwięków nie mających konkretnego znaczenia a wywołujących niemiłe odczucia (hałas).

Znajomość fizycznych i fizjologicznych właściwości słuchu ludzkiego jest podstawowym zagadnieniem fonetyki audytywnej, ponieważ stanowi punkt wyjścia dla rozważań nad słuchową percepcją mowy. Budowa narządu słuchu jest doskonałym przykładem dostosowania struktury do funkcji - ogólniejszej prawidłowości znamiennej dla istot żywych. Podstawowym zadaniem narządu słuchu jest odbiór fal akustycznych, przetworzenie ich energii na swoistą energię impulsów nerwowych, a następnie przekazanie tych impulsów do odpowiednich ośrodków słuchowych w centralnym układzie nerwowym. Informacje te są na tyle bogate w szczegóły, że pozwalają na identyfikację i interpretację dźwięków, a więc w przypadku mowy na jej słyszenie i rozumienie. Ponadto narząd słuchu pozwala określić kierunek i odległość źródła dźwięków, wyróżniać selektywnie z ogólnego szumu dźwięki nas interesujące, kontrolować i ustawiać prawidłowo własną wymowę itd.

W narządzie słuchu wyróżniamy 3 zasadnicze części: ucho zewnętrzne, środkowe i wewnętrzne (rys. 12). Aby przedstawić budowę i działanie narządu słuchu najwygodniej jest prześledzić drogę, jaką przebywa fala akustyczna, zanim dźwięk zostanie usłyszany.

Jeżeli źródło dźwięku znajduje się w pewnej odległości od otworu usznego (a tak jest zazwyczaj), to do otworu tego dostaje się tylko drobny ułamek energii akustycznej wytwarzanej przez źródło dźwięku - kuli dźwiękowej - taki, jaki wypada na powierzchnię tego otworu (tj. ok. $1/2 \text{ cm}^2$). Istotną pomocą, kilkakrotnie zwiększającą ilość energii, dostającej się do przewodu słuchowego jest małżowina uszna, pełniąca funkcję jak gdyby lejka, zbierającego fale dźwiękowe i kierującego je do otworu słuchowego. Małżo-



Rys.12. Budowa narządu słuchu

wina uszna, wzmacniająca poziom dźwięku docierającego do ucha o 5 do 10 decybeli. Jest odpowiednikiem anteny w urządzeniach radiotechnicznych.

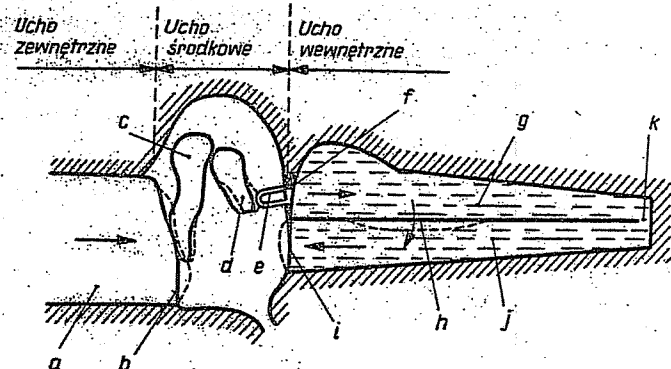
Fala akustyczna po wejściu do przewodu słuchowego napotyka po przebyciu 2-3 cm na swej drodze zaporę w postaci błony bębenkowej. Jest ona rodzajem membrany utrzymywanej w stanie ciągłego napięcia przez dwa małe mięśnie - tensor tympani i tensor stapedius - i na skutek uderzeń fal energii akustycznej, jest wprowadzana w odpowiednie drgania (podobnie jak membrana na końcu rury z doświadczenia w rozdziale 2 części I). Wychylenia tych drgań wynoszą od 0,00000001 mm, przy ledwo słyszalnych dźwiękach, do ok. 0,1 mm, przy bardzo silnych dźwiękach o niskich częstotliwościach. Wszystkie omówione dotychczas elementy narządu słuchu - małżowina uszna, przewód słuchowy zewnętrzny i błona bębenkowa składają się na tę część narządu słuchu, którą nazywamy uchem zewnętrznym.

Po drugiej stronie błony bębenkowej zaczyna się ucho środkowe - niewielka jamka o pojemności ok. 1 cm³, wypełniona powietrzem, w której znajduje się zespół trzech kosteczek słuchowych -

młoteczek, kowadełko i strzemiączko - połączonych ze sobą stawami i więzadełkami z tym, że pierwsza kosteczka - młoteczek jest złączona podstawą z błoną bębenkową, zaś ostatnia - strzemiączko swą podstawą wchodzi w otwór kostny (okienko owalne), prowadzący do ucha wewnętrznego. Ta część narządu słuchu pełni funkcję transformatora drgań akustycznych. Dzięki układowi dźwigni jaki tworzą kosteczki oraz różnicy powierzchni błony bębenkowej z jednej strony, a podstawy strzemiączka z drugiej, zespół kosteczek jest w stanie wzmacniać słabe drgania kilkadziesiąt razy (powierzchnia błony bębenkowej jest 15-20 razy większa od powierzchni podstawy strzemiączka, zaś amplituda ruchu błony jest ok. 3 razy większa niż amplituda ruchu strzemiączka, zatem siła działająca na okienko owalne jest mniej więcej 50-60 razy większa od siły działającej na błonę bębenkową). Równocześnie układ mięśni napinający błonę bębenkową oraz specyficzne właściwości ruchu strzemiączka pełnią funkcje mechanizmów ochronnych osłabiających zbyt silne dźwięki i chroniących ucho wewnętrzne przed ich szkodliwym działaniem.

Przestrzeń ucha środkowego jest połączona z jamą nosowo-gardłową wąskim przewodem, tzw. trąbką Eustachiusza, której zadaniem jest wyrównywanie ciśnienia wewnątrz ucha środkowego do poziomu aktualnego ciśnienia na zewnątrz. Ponieważ trąbka ta jest fizjologicznie zamknięta, a uzyskuje chwilową drożność jedynie przy połykaniu, ziewaniu i wymawianiu niektórych głosek - w warunkach szybkiej zmiany ciśnienia w otoczeniu (lot samolotem, zjazd na nartach itp.), wyrównywanie ciśnienia następuje z opóźnieniem, powodując zjawisko tzw. "ucisku w uszach" i chwilowego osłabienia słuchu. Przyczyną tego jest różnica ciśnień w uchu środkowym i na zewnątrz, napinająca nadmiernie błonę bębenkową i utrudniająca jej drganie pod wpływem fal akustycznych. Ujemnym zjawiskiem wynikającym z połączenia ucha środkowego z jamą nosowo-gardłową jest przenikanie infekcji z nosa do jamy bębenkowej, co powoduje utrudnienie ruchomości kosteczek słuchowych, a tym samym przejściowe osłabienie słuchu, jak również może stać się przyczyną stanów zapalnych w uchu środkowym.

Omówiona dotychczas część procesu słyszenia ma czysto fizyczny charakter: fale akustyczne są przenoszone i transformowane w środowisku powietrznym i poprzez drgania podstawy strzemiączka w okienku owalnym są wprowadzane w ciele środowisko ucha wewnętrznego (rys.13).



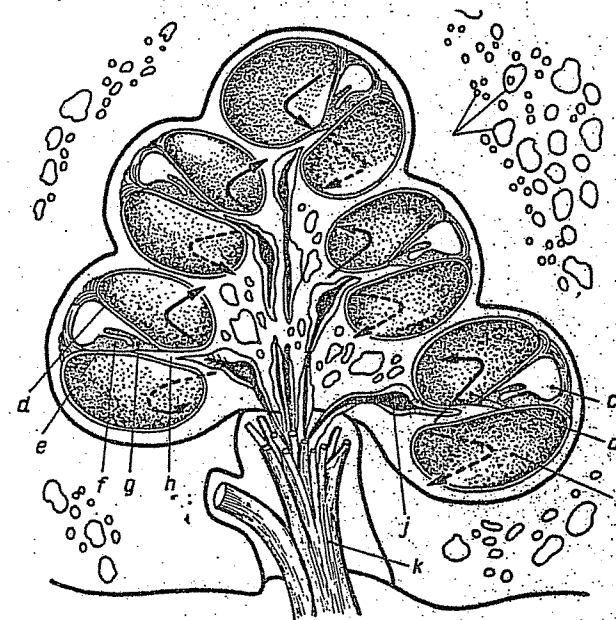
Rys.13. Schemat przekroju narządu słuchu (ślimak rozwinięty)

a - przewód słuchowy zewnętrzny, b - błona bębenkowa, c - młoteczek, d - kowadełko, e - strzemiączko, f - podstawa strzemiączka zamykająca okienko owalne, g - kanał przedsionka, h - błona podstawowa, i - okienko okrągłe, j - schody bębenka, k - osklepek (wg Grzesika)

Ucho wewnętrzne ma budowę bardziej złożoną. Zwiera ono jednocześnie właściwy receptor słuchowy w postaci tzw. ślimaka oraz narząd równowagi (błędnik) w postaci tzw. kanałów półkolistych. Ślimak o długości ok. 35 mm i średnicy ok. 8 mm tworzy $2\frac{3}{4}$ skrętu wokół osi kostnej zwanej wrzecionem. Jest on wypełniony cieczą zwaną perylimfą i na całej swej długości jest podzielony na kanał górny i dolny tzw. błoną podstawową. Oba te kanały mają małe połączenie w osklepku na szczycie ślimaka. Na błonie podstawowej umieszczone są zakończenia nerwów słuchowych w postaci kilkunastu tysięcy komórek rzęskowych tzw. narządu Cortiego mieszczącego się w przestrzeni pomiędzy górnym i dolnym kanałem ślimaka (rys.14). Drgania podstawy strzemiączka w okienku owalnym udzielają się cieczy wypełniającej kanały ślimaka, powodując jej przemieszczanie się i podrażniając zakończenia komórek rzęskowych narządu Cortiego. W narządzie tym energia mechaniczna fali dźwiękowej zostaje przekształcona w energię bioelektryczną - impulsy nerwowe, dlatego też komórki narządu Cortiego stanowią właściwy receptor słuchowy.

Włókna nerwowe odchodzące wypustkami od komórek narządu Cortiego tworzą nerw słuchowy. Bodziec słuchowy przechodzi dalej przez jądra ślimakowe w rdzeniu przedłużonym, wstęgę boczną, blasz-

ki czworacze tylne, ciało kolankowate przyśrodkowe, kilka innych anatomioznie wydzielonych struktur ośrodkowego układu nerwowego do zakrętu Heschla w płacie skroniowym. Tu dopiero następuje analiza sygnału akustycznego, rozpoznanie jego treści i synteza wrażenia słuchowego. Złożona budowa drogi słuchowej sprawia, że ośrodki korowe każdej z półkul mózgowych są pobudzane z obu uszu, a informacje przekazywane przez lewe i prawe ucho są ze sobą wielokrotnie mieszane. Ponieważ w narządzie Cortiego odbywa się przetworzenie sygnału akustycznego w adekwatny impuls nerwowy wszystkie struktury narządu słuchu, znajdujące się na drodze od małżowiny usznej do okienka owalnego w uchu wewnętrznym, tworzą tzw. część przewodzącą, a narząd Cortiego i dalsze odcinki drogi nerwowej - część odbiorczą narządu słuchu.



Rys.14. Przekrój ślimaka (wg Clinical Symposia CIBA, 1970)

a - kanał przedsionka, b - kanał bębenka, c - przestrzeń pomiędzy kanałami, w której zlokalizowany jest narząd Cortiego, d - błona Reissnera, e - błona podstawowa, f - komórki rzęskowe narządu Cortiego, g - błona nakrywkowa, h - blaszka kostna, i - zwój ślimakowy, j - jamki powietrzne kości skalistej, k - nerw słuchowy

Niezależnie od omówionej powietrznej drogi docierania bodźców do narządu Cortiego istnieje również droga kostna. Nie odgrywa ona istotnej roli przy zdrowym narządzie słuchu, ponieważ jej skuteczność jest o ok. 40-60 dB mniejsza od klasycznej drogi przewodnictwa powietrznego. W sytuacjach jednak uszkodzenia części przewodzącej narządu słuchu może ona mieć istotne znaczenie dla odbioru informacji dźwiękowej. Część fal akustycznych docierających do człowieka jest pochłaniana na granicy powietrze - skóra. Następuje to głównie na skórze głowy, skąd wchłonięte fale, bez większych już strat, dochodzą do kości skroniowej, pobudzając ją do drgań, docierających z kolei poprzez obudowę ucha wewnętrznego do cieczy w ślimaku i powodując reakcje komórek rzęskowych. Dalszy przebieg zjawiska od momentu pobudzenia narządu Cortiego jest taki sam jak w przypadku przewodnictwa powietrznego. Własny głos słyszymy przy dużym udziale przewodnictwa kostnego (przenoszenie bezpośrednie drogą kostną drgań krtańni), co tłumaczy fakt, że jego brzmienie jest subiektywnie inne dla mówiącego a inne dla osób słuchających (z tej przyczyny nie-raz trudno jest rozpoznać własny głos nagrany na taśmę magnetofonową). Przewodnictwo kostne może być wykorzystywane w rewali-dacji słuchu do odbioru fal akustycznych z pomocą specjalnych aparatów na przewodnictwo kostne w przypadkach ciężkich niedo-słuchów przewodzeniowych, przy zachowaniu funkcji części odbior-czej narządu słuchu.

Narząd słuchu reaguje na ograniczony zakres częstotliwości i natężeń akustycznych. Zjawiska akustyczne odbierane przez człowieka zawierają się w częstotliwościach od 16 Hz do 20 000 Hz. Fizycznemu pojęciu częstotliwości odpowiada subiektywne wra-żenie wysokości tonu. Dla każdej częstotliwości istnieje najniż-szy poziom natężenia akustycznego, przy którym dźwięk staje się słyszalny oraz najwyższy, przy którym odczuwa się ból ucha. Gra-nica bólu jest zbliżona dla wszystkich częstotliwości i waha się pomiędzy poziomem 120 i 130 dB, natomiast próg słyszenia ustalony dla częstotliwości 1000 Hz na poziomie 0 dB (odpowiada to na-tężeniu dźwięku $1 \frac{DW}{m^2}$ czyli $10^{-12} \frac{W}{m^2}$) przyjmuje różne wartości dla różnych częstotliwości. Narząd słuchu najlepiej odbiera tony o częstotliwości bliskiej 3000 Hz (3000 Hz jest to częstotliwość rezonansowa przewodu słuchowego) natomiast tony poniżej 1000 Hz i powyżej 5000 Hz słyszane są coraz słabiej w miarę oddalania się od tych granic, a więc odpowiednio większe musi być natęże-

nie dźwięku aby był on słyszany. Szczególnie w zakresie bardzo niskich częstotliwości poziom progowy jest wyższy o 40-60 dB co oznacza, że o tyle mniej czuły na te częstotliwości jest narząd słuchu. Jest to związane z faktem, że większość somatycznych dźwięków i szmerów towarzyszących krążeniu krwi, pracy serca, perystaltyce przewodu pokarmowego i czynnościom układu oddechowego charakteryzuje się widmem akustycznym o przewodach takich właśnie niskich częstotliwości. Gdyby narząd słuchu na nie rea-gował, zakłócałyby one odbiór innych sygnałów z zewnątrz.

Wszystkie odbierane przez człowieka wrażenia słuchowe mie-szczą się pomiędzy progiem słyszenia, a progiem bólu, tworzą-tzw. dynamiczne pole słuchowe. Obszar ten zmniejsza się stopnio-wo z wiekiem zarówno w zakresie częstotliwości jak i natężeń. Szczególnemu ograniczeniu z wiekiem ulega górna granica często-tliwości, która od ok. 20 000 Hz u dzieci ulega ograniczeniu u osób 30-letnich do ok. 15 000 Hz, a u 60-letnich wynosi już tyl-ko 5 000-8 000 Hz (dla porównania skala fortepianu bez składo-wych harmonicznych obejmuje dźwięki o częstotliwościach od 27 do 4350 Hz). Badania prowadzone przez słynnego węgierskiego akusty-ka, laureata nagrody Nobla (1961), profesora György von Béké-sy'ego (1899-1972) wykazały, że po 40 roku życia zakres częstotli-wości słyszalnych ulega zwężeniu od góry o ok. 80 Hz co 6 mie-sięcy przez okres wielu lat. Tłumaczy się to powolną, ale nieu-niknącą utratą elastyczności błony bębenkowej, błony podstawo-wej w uchu wewnętrznym, struktur nośnych narządu Cortiego i procesami zwyrodnieniowymi w ośrodkowym układzie nerwowym. Również zmianom (choć niewielkim) ulega dolna granica częstotliwości słyszalnych.

Istnieje wiele przyczyn, powodujących zaburzenia w działa-niu narządu słuchu. Do tych, które mogą uszkodzić ten narząd w istotny sposób, naruszający jego podstawowe funkcje i ograni-czający sprawność słuchową człowieka, należy zaliczyć przyczyny genetyczne, zatrucia i choroby wirusowe przebyte przez matkę w okresie ciąży, urazy okołoporodowe, choroby okresu noworodkowe-go i wczesnego dzieciństwa takie, jak zakażenia, zapalenie opon mózgowych, odra, koklusz, płonica, przewlekłe zapalenie ucha środkowego, urazy mechaniczne, a także leki ototoksyczne takie, jak streptomycyna, kanamycyna, neomycyna lub chinina (ich toksyczne działanie na narząd słuchu zależne jest nie tylko od dawki lez i wrażliwości osobniczej oraz czynności wydzielniczych

nerek). Większość tych przyczyn dotyczy wieku dziecięcego, chociaż przypadki utraty słuchu w wyniku niektórych chorób, urazów lub zatrucia lekami zdarzają się także u ludzi dorosłych.

W zależności od przyczyn, uszkodzenie słuchu może dotyczyć części przewodzącej, odbiorczej lub obu tych części narządu słuchu.

W wieku dziecięcym najczęściej spotykane są uszkodzenia słuchu typu zaburzenia przewodzenia dźwięków (M. Góralówna, 1970). Ich cechą charakterystyczną jest obniżenie sprawności słuchowej głównie w zakresie niskich częstotliwości i nie jest to nigdy głuchota w sensie społecznym, tj. całkowicie uniemożliwiająca słyszenie i rozumienie mowy, lecz różnego stopnia niedosłuch. Zarówno słyszalność tonów wysokich jak i tonów niskich może być obniżona do tego samego stopnia; może być też zachowana prawidłowo lub niemal prawidłowo. Słyszenie i rozumienie mowy jest z reguły zachowane, chociaż wymaga zastosowania silniejszych bodźców akustycznych (głośniejsza mowa lub zastosowanie aparatu słuchowego). Ponieważ przewodnictwo kostne w tym typie uszkodzenia słuchu nie jest zaburzone, własna mowa jest na tyle dobrze słyszana tą drogą, że może być korygowana samodzielnie na podstawie porównywalnych wzorców z otoczenia, a interwencja logopedyczna daje na ogół bardzo dobre efekty.

Znacznie trudniejszym przypadkiem i wymagającym najczęściej długotrwałej reedukacji logopedycznej jest uszkodzenie słuchu typu odbiorczego. Ze względu na lokalizację uszkodzenia (narząd Cortiego, nerw słuchowy lub ośrodki centralne drogi słuchowej) ma ono w ogromnej większości przypadków charakter nieodwracalny i może spowodować w ostrzejszym przypadku głuchotę społeczną, tzn. niemożność rozumienia mowy drogą słuchową. W przypadku wczesnego i znacznego tego rodzaju uszkodzenia słuchu zjawiskiem wtórnym jest z reguły niemota. W głuchocie i niedosłuchu odbiorczym zaburzony jest przede wszystkim odbiór tonów wysokich, co oznacza nieadekwatną, zubożoną o istotne częstotliwości percepcję dźwięków mowy. W przypadkach łagodniejszych mowa jest słyszana, natomiast jej rozumienie przy pomocy słuchu jest utrudnione bądź niemożliwe, w ostrzejszych, mowa nie jest słyszana w ogóle bądź słyszana szczerkowo (ton podstawowy). Przypadki takie na ogół wymagają opieki i skierowania audiologicznego (dobór odpowiedniego aparatu słuchowego) oraz opieki logopedycznej już od momentu wykrycia wady słuchu, ponieważ mowa spontaniczna nie rozwija się

lub wymaga znacznej korekty. Ponadto sytuacja taka wymaga również specjalistycznego kształcenia zarówno w zakresie słuchowego, jak i wzrokowego odbioru mowy.

Omawiając właściwości narządu słuchu należy wspomnieć jeszcze o kilku jego cechach, mających znaczenie dla programowania reedukacji logopedycznej. Jedną z tych cech jest słyszenie dwu-uszne dzięki któremu nie tylko słyszymy głośniejsze, ale również słyszymy kierunkowo, mogąc lokalizować w przestrzeni źródło dźwięku. Podstawą tej sprawności są zarówno procesy psychiczne zachodzące w ośrodkowym układzie nerwowym, jak i zjawiska natury fizycznej, do których należą różnica natężeń fal docierających do bliższego i dalszego ucha oraz różnica czasu z jaką docierają one do uszu. Oba te zjawiska zachodzą równocześnie, chociaż dla niskich częstotliwości (poniżej 1200 Hz) głównym czynnikiem określającym kierunek, z którego napływają fale dźwiękowe jest różnica czasu natomiast dla częstotliwości wyższych, zacierające działanie głowy powoduje wystarczającą różnicę ciśnienia fali u wlotu obu uszu, aby mogła być ona rozpoznana i przetworzona na informację o kierunku, z którego nadchodzi dźwięk. Największe znaczenie dla precyzyjnego określenia kierunku źródła dźwięku ma odbiór pasma częstotliwości od 400 do 1500 Hz. Słyszenie jednouszne w zasadzie wyklucza rozpoznanie lokalizacji źródła dźwięku, chociaż przy dźwięku przedłużającym się istnieje możliwość powolnego obracania głowy z równoczesnym nasłuchiowaniem kierunku, z którego dźwięk dochodzi najgłośniejsz.

Narząd słuchu potrafi również adaptować się do przedłużających się nadmiernie bodźców dźwiękowych. W miarę przedłużania się bodźca wrażenia słuchowe tracą subiektywnie na intensywności - zmniejsza się czułość narządu słuchu na określony dźwięk. Jest to reakcja podobna do adaptacji wzroku do różnych ilości światła, czy też węchu do stężenia substancji zapachowych. Maksymalny spadek czułości słuchu obserwuje się po ok. 4-7 minutach od początku działania bodźca, a wielkość spadku czułości może sięgać 30 do 50 dB. Po wyłączeniu bodźca akustycznego stan słuchu szybko wraca do normy.

Silne i długotrwałe dźwięki nie tylko obniżają czułość narządu słuchu w czasie ich trwania, ale na skutek zmęczenia stan obniżonej czułości, czyli osłabienia słuchu może utrzymywać się dłużej - kilka godzin a nawet kilka dni. Im większe było zmęczenie narządu słuchu, tym dłuższy jest czas jego regeneracji. Ist-

nieje pewna, indywidualna, zresztą granica natężenia i czasu trwania silnego bodźca akustycznego, po przekroczeniu której, efekt zmęczenia narasta bardzo szybko, dochodząc do wartości wymagającej wielodniowego powrotu do stanu prawidłowego, a nawet powodującej przeciążenie narządu Cortiego, prowadzące w efekcie do trwałego i nieodwracalnego ubytku słuchu.

Takim właśnie czynnikiem uszkadzającym słuch, często niedocenianym, bo działającym prawie niezauważalnie jest hałas. Działa on na narząd słuchu stopniowo, na przestrzeni długiego na ogół okresu czasu, jednak zmiany wywołane jego działaniem mają charakter trwały i nieodwracalny. Spotykamy efekty jego działania najczęściej w przypadkach tzw. głuchoty zawodowej, a więc znacznego obniżenia sprawności słuchowej u osób w wieku produkcyjnym w wyniku narażenia na działanie hałasu w toku wykonywania pracy zawodowej. Ewolucja głuchoty zawodowej dokonuje się w sposób nieregularny i trudny do przewidzenia. Zazwyczaj występuje znaczny spadek sprawności słuchu podczas pierwszych lat pracy w hałasie, następnie obserwuje się spadek powolniejszy, a po jakimś czasie dochodzi do nowej, gwałtownej i nieprzewidzianej obniżki. Niewątpliwie dużą rolę odgrywa tu wspomniany już uprzednio stopień indywidualnej podatności na uszkodzenie słuchu.

Krytyczną wartość natężenia hałasu określa się na 80-90 dB, przy typowym progu bólu w granicach 120-130 dB (brak jednak zgodności różnych autorów na ten temat). Istotne znaczenie ma również częstotliwość fal akustycznych - hałasy powodowane przez dźwięki o wysokich częstotliwościach (określane popularnie jako ostre) są bardziej szkodliwe. Również i rytm hałasu ma wpływ na powstawanie uszkodzeń słuchu. Dźwięki ciągle o równomiernym natężeniu są mniej szkodliwe niż dźwięki przerywane, zwłaszcza dźwięki przerywane następujące szybko po sobie. Bardzo szkodliwe są też dźwięki o dużym natężeniu powstające w sposób nagły i nieoczekiwany.

Skutki działania hałasu na narząd słuchu są wynikiem bezpośrednio zależności pomiędzy funkcją narządu słuchu, a strukturą fal akustycznych. Powstają jednak przy tym zaburzenia innych funkcji organizmu, przede wszystkim w działalności systemu nerwowego. Obserwuje się w niektórych przypadkach objawy ogólnego wyczerpania nerwowego, zmiany czasu reakcji na bodźce wzrokowe w czasie oddziaływania hałasu, a nawet pewne zmiany charakterologiczne jak drażliwość, zmienność nastrojów, apatia itp.

Problem szkodliwego wpływu hałasu na organizm ludzki ma również istotne znaczenie w diagnostyce audiologicznej i praktyce logopedycznej (nieodpowiednio dobrany i wykorzystywany aparat słuchowy może odgrywać analogiczną rolę przeciążając narząd słuchu zbyt silnymi bodźcami). W niektórych bowiem przypadkach uszkodzeń narządu słuchu granica bólu zostaje wyraźnie obniżona - z poziomu 120-130 dB do poziomu 100 a nawet w skrajnych przypadkach dla niektórych częstotliwości do 80-90 dB. Oznacza to, że krytyczne natężenie dźwięków niższe o ok. 35 dB od bólowego (nie powodujące efektów doraźnych, lecz działające szkodliwie na przestrzeni długiego czasu) może zawierać się dla niektórych częstotliwości na poziomie głośnej mowy, a w przypadku zastosowania niewłaściwie dobranego aparatu słuchowego nawet uniemożliwić prawidłowe prowadzenie reedukacji logopedycznej.

3. Metody badania słuchu i ich zastosowanie

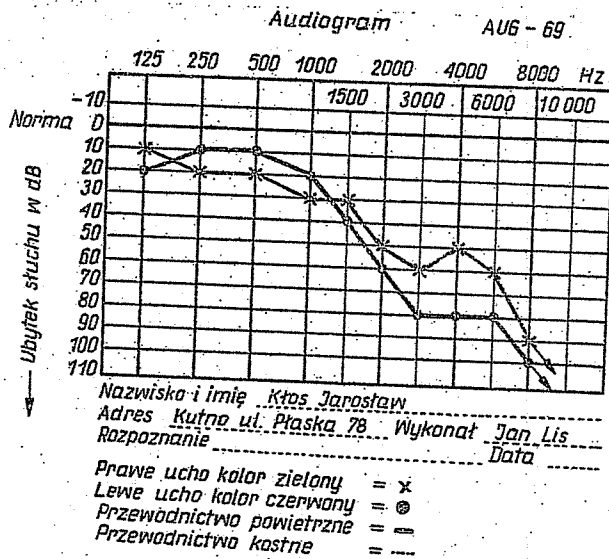
Najstarszą i zarazem najpopularniejszą metodą jest tzw. badanie akumetryczne słuchu, tj. przy pomocy mowy i szeptu. Zdrowe ucho powinno odbierać szept na pograniczu słyszenia z odległości ok. 6 m natomiast głośną mowę z odległości 100 m. Zazwyczaj sprawdza się słyszenie szeptu z odległości 5 m, a jeśli sprawność słuchu jest obniżona bada się również słyszenie mowy głośnej. Pozwala to na prowizoryczną ocenę praktycznej wydolności słuchu i nie wymaga specjalnych urządzeń. Do badania używa się zazwyczaj specjalnie opracowanych akumetrycznych testów wyrazowych.

Prostym testem możliwym do przeprowadzenia praktycznie w każdych warunkach (ale nie w hałasie!) jest darcie papieru, wytwarzające z odległości 1 m szerokopasmowy hałas o natężeniu 35-40 dB, a więc odpowiadający poziomem niezbyt głośnej rozmowy. Test ten można przeprowadzić nawet u małego dziecka.

W końcu ubiegłego wieku do badania słuchu zaczęto używać widełek strojowych (stroików, kamertonów). Wprowadził je wspomniany już niemiecki otiatra Friedrich Bezold. Ta metoda badawcza jest stosowana do dziś, chociaż coraz rzadziej. Zestaw 7 kamertonów Bezolda obejmuje widełki drgające z częstotliwościami od 64 Hz do 4096 Hz zróżnicowane o kolejne oktawy (64, 128, 256, 512, 1024, 2048 i 4096 Hz). Przy pomocy zestawu widełek strojowych można określić słyszalność poszczególnych tonów drogą powietrzną i kos-

tną, jednak bez możliwości określenia stopnia ubytku słuchu w sposób precyzyjny. Nadal natomiast są w użyciu próby stroikowe Webera, Rinne'a i Schwabacha pomienne w rozróżnieniu niedosłuchu przewodzeniowego i odbiorczego.

Najczęściej stosowaną współcześnie metodą badania słuchu jest audiometryczne badanie tonalne, pozwalające określić ubytek słuchu w decybelach dla poszczególnych częstotliwości uzyskującą drogą tzw. krzywe progowe ubytku słuchu dla każdego ucha osobno na specjalnym wykresie zwanym audiogramem (rys. 15).



Rys. 15. Przykład audiogramu

Bardziej rozbudowany audiometr pozwala na zbadanie poziomu przewodnictwa dźwięków drogą kostną, stopnia rozumialności mowy (stosuje się tu testy słowne i logotomowe), oraz przeprowadzanie tzw. badań nadprogowych - możliwości słuchu, wyrównania głośności itp.

Audiometr składa się z trzech zasadniczych części - generatora tonów czystych o określonych częstotliwościach (najczęściej: 125, 250, 500, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 i 10000 Hz), wzmacniacza z natężeniem regulowanym w decybelach z możliwością zmiany natężeń co 5 dB, szczelnych słuchawek obunusznych o szerokim paśmie przenoszenia dźwięków do badania słuchu drogą

przewodnictwa powietrznego, oraz słuchawkę kostną (vibrator) do badania słuchu drogą przewodnictwa kostnego. Urządzenie może być ponadto wyposażone w mikrofon do audiometrii mowy, magnetofon z testami słownymi oraz kolumny głośnikowe do badania z tzw. wolnego pola. Ponadto audiometr może wytwarzać tzw. biały szum (zes-taw wszystkich częstotliwości o regulowanym natężeniu) wykorzystywany do zagnuszania ucha aktualnie nie badanego.

Zapis na audiogramie może być automatyczny, półautomatyczny lub наносzony ręcznie na formularz przez osobę badającą w trakcie badania. Do badanego ucha podawany jest ton o określonej częstotliwości i wzrastającym stopniowo natężeniu, aż do momentu usłyszenia go przez osobę badaną i zarejestrowania lub zasygnalizowania tego faktu.

Analiza audiogramu progowego (najłatwiej dostępnego a tym samym najczęściej spotykanego) pozwala na wyciągnięcie wniosków mogących mieć istotne znaczenie dla diagnozy logopedycznej.

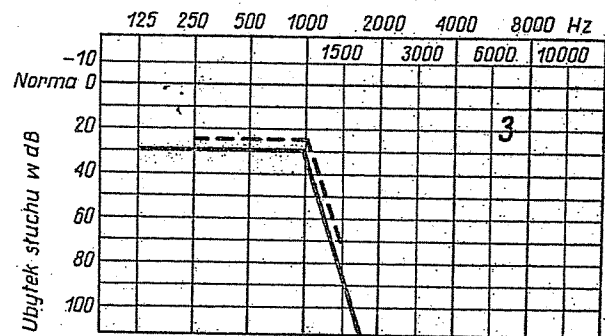
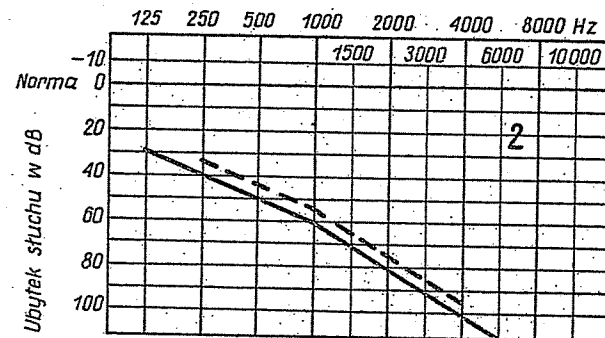
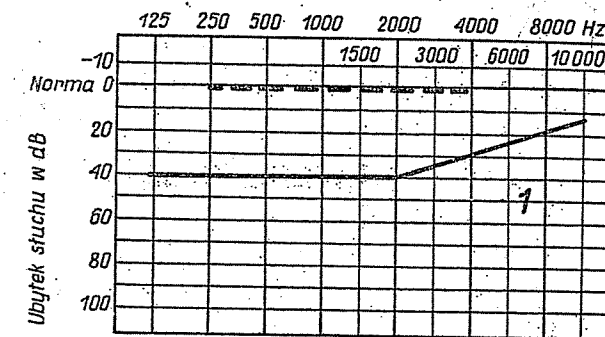
Otrzymane jako wynik badania progowego dwie linie łamane (dla każdego ucha osobno) zwane "krzywymi progowymi przewodnictwa powietrznego" informują, jak silne muszą być bodźce dźwiękowe, aby mogły być odebrane (słyszane są dźwięki o natężeniu mieszczącym się poniżej krzywej progowej, a więc w obrębie dynamicznego pola słuchowego ograniczonego od góry krzywą progową, a od dołu krzywą bólową, przebiegającą zazwyczaj poniżej skali popularnego audiogramu i rzadko badaną). Charakterystyczne w audiometrii progowej jest to, że dla każdej częstotliwości wylicza się ubytek słuchu w decybelach w relacji do ustalonego doświadczalnie (a więc w jakiś sposób umownie) najsłabszego dźwięku słyszalnego o danej częstotliwości przez zdrowe ucho, a zatem całkowicie zdrowy statystyczny słuch powinien być prezentowany na audiogramie przez dwie pokrywające się linie proste na poziomie 0 dB. Poziom ten uwzględnia zarówno większą czułość słuchu w paśmie 3000 Hz jak też mniejszą w pasmach bardzo niskich i bardzo wysokich częstotliwości i dla ułatwienia analizy jest tu sztucznie wyrównany. Inaczej mówiąc audiogram ujawnia wyrażone w decybelach różnice pomiędzy progami słuchu osoby badanej a progami wzorcowym (zmierzonym dla różnych częstotliwości w populacji młodych i zdrowych osób).

Audiogram progowy, zawierający krzywe progowe przewodnictwa powietrznego i kostnego może stanowić podstawę do wyciągnięcia orientacyjnych wniosków, co do typu uszkodzenia słuchu. I tak

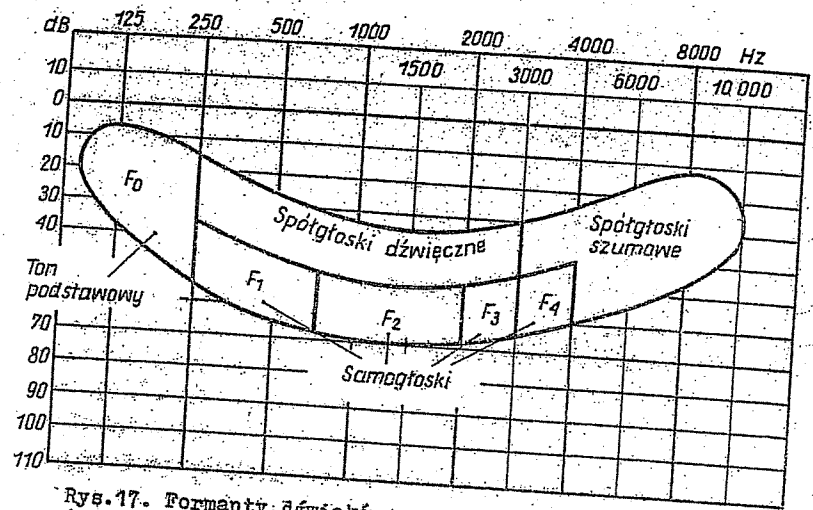
niedosłuch typu przewodzeniowego charakteryzuje się na ogół równomiernym lub prawie równomiernym dla wszystkich częstotliwości obniżeniem krzywej progowej przewodnictwa powietrznego w zakresie nie przekraczającym 60 dB, przy równoczesnym dobrym przewodnictwie kostnym (krzywa przewodnictwa kostnego przebiega prawidłowo, tj. w okolicach 0-10 dB), natomiast głuchota i niedosłuch typu odbiorczego charakteryzują się krzywymi opadającymi, czasem z gwałtownym załamaniem w dół na poziomie 1000-1500 Hz (najczęściej przy uszkodzeniu nerwu słuchowego - tzw. głuchota neurytyczna), przy czym krzywe przewodnictwa powietrznego i kostnego mają podobny bądź identyczny przebieg (z tym, że krzywe kostne wykreśla się na ogół tylko dla zakresu częstotliwości od 250 do 4000 Hz). W głuchotach i niedosłuchach mieszanych (przewodzeniowo-odbiorczych) krzywa przewodnictwa kostnego przebiega podobnie jak w niedosłuchach przewodzeniowych powyżej krzywej przewodnictwa powietrznego, ale poniżej krzywej słuchu prawidłowego, a odległość pomiędzy krzywą kostną i powietrzną (tzw. rezerwa ślimakowa) jest wyznacznikiem udziału komponenty przewodzeniowej i odbiorczej w głuchocie i niedosłuchu mieszanym (rys.16).

Dokładniejsza analiza krzywych progowych pozwala na ocenę wydolności słuchu w zakresie potencjalnych możliwości słyszenia i rozumienia dźwięków mowy. Dźwięki mowy można nanieść w sposób uogólniony na skalę audiogramu (rys.17) i porównać z krzywą progową osoby badanej. Pozwoli to na stwierdzenie, które z dźwięków mowy najogólniej należą do słyszalnych, a które do niesłyszalnych. Te wszystkie elementy mowy, które znajdują się powyżej krzywej progowej, a więc poza obszarem dynamicznego pola słuchowego nie mogą być odebrane słuchem (wygodnie jest nanieść układ formantów na druk audiogramu wykonany na kalce technicznej i nakładać ten wzorek na audiogramy tonalne diagnozowanych osób).

Bardziej szeregową analizę można przeprowadzić dla samogłosek, których widma akustyczne o wyraźnej strukturze formantowej mogą być przetransponowane na skalę audiogramu (rys.18). Porównanie krzywej progowej z położeniem formantów głosek (głównie F_1 i F_2) pozwala ocenić, czy subiektywny wzorek akustyczny głoski jest adekwatny i jednoznaczny (przykładowo jeżeli w głoskach o i e odbierany jest słuchem tylko F_1 , to ze względu na ich bliskie położenie w obu głoskach, głoski te mogą dla osoby badanej brzmieć jednakowo).



Rys.16. Schematy audiogramów tonalnych
1 - niedosłuch typu przewodzeniowego, 2 - niedosłuch typu przewodzeniowego, 3 - niedosłuch typu neurytycznego

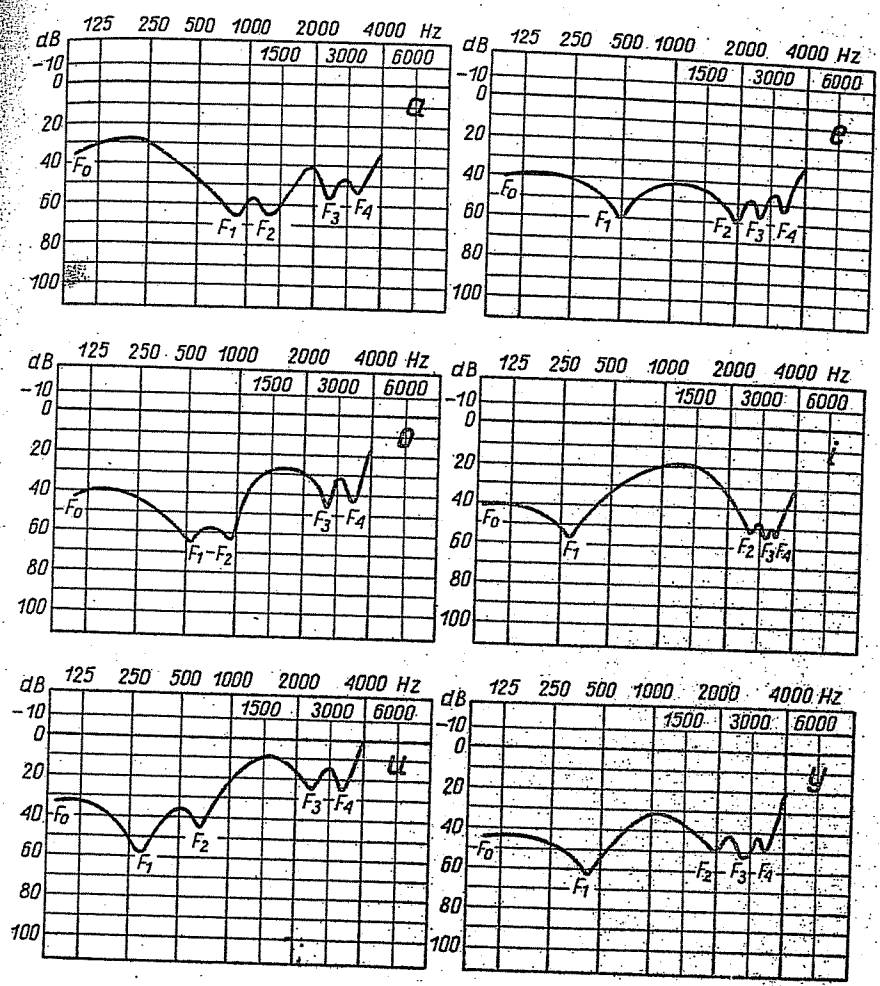


Rys.17. Formanty dźwięków mowy słyszanej z odległości 1 m na skali audiogramu (wg Fanta za: M. Góralówną)

Interpretacja otrzymanych rezultatów nie może być całkiem jednoznaczna. Na podstawie porównania położenia formantów z krzywymi progowymi można jedynie wykluczyć możliwość słyszenia głosek, jeśli formanty F_1 i F_2 leżą poza dynamicznym polem słuchowym (powyżej krzywych progowych). Natomiast zawieranie się formantów głosek w polu słuchowym informuje jedynie o potencjalnych możliwościach słyszenia i rozumienia tych głosek drogą słuchową i może stanowić w połączeniu z pełną epikryzą podstawę programowania reedukacji logopedycznej. Informacje na ten temat należy uzupełnić istotną wartością dla diagnozy logopedycznej wyników audiometrycznych badań progowych przeprowadzonych w aparacie słuchowym, jeśli osoba badana używa na co dzień takiego aparatu. Wyniki dopiero takich badań mogą stanowić podstawę opisanych wyżej analiz.

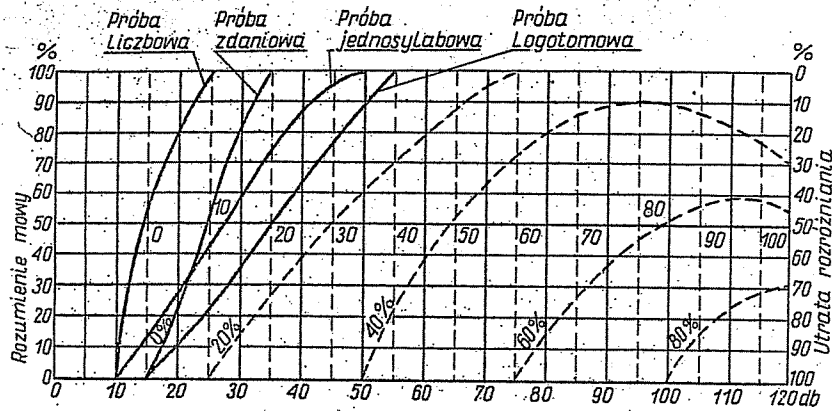
Jeśli audiogram tonalny zawiera również krzywe przewodnictwa kostnego, to ich położenie znacznie powyżej krzywych przewodnictwa powietrznego wskazuje na przewodzeniowy charakter ubytku słuchu, a tym samym na fakt, że osoba badana słyszy własną mowę drogą kostną, a więc może ją również samodzielnie korzystać.

Progowa audiometria tonalna jest najłatwiej dostępna, dlatego też audiogram zawierający krzywe progowe słuchu jest dla



Rys.18. Widma akustyczne samogłosek polskich (przeniesienie na skalę audiogramu)

logopedy podstawowym dokumentem diagnostycznym. Nieco rzadziej spotykane, aczkolwiek dające więcej informacji diagnostycznych są badania audiometryczne specjalistyczne, wśród których najbardziej przydatną dla logopedy jest audiometria mowy. Umożliwia ona dokonanie analizy sprawności i praktycznej wydolności słuchu w bardziej precyzyjny sposób, a przez porównanie z audiogramem progowym także postawienie dość dokładnej diagnozy logopedycznej.



Rys. 19. Audiogram mowy (linie ciągłe obrazują słuch prawidłowy)

Audiogram mowy ma inną konstrukcję niż audiogramy tonalne (rys. 19). Na osi poziomej podawany jest zazwyczaj poziom natężenia mowy w decybelach, a na osi pionowej procent poprawnie odebranych elementów testu. Krzywe obrazujące słuch prawidłowy (nieco inne dla różnych testów - liczbowego, zdaniowego, sylabowego i logotomowego) przebiegają ukośnie w górę od poziomu 10-25 dB przy 0 % rozumienia do poziomu 25-70 dB przy 100 % rozumienia. Krzywe charakterystyczne dla różnych typów i rodzajów uszkodzeń słuchu są przesunięte w stosunku do krzywej wzorcowej (najczęściej niedosłuch przewodzeniowy), lub mają zmieniony kształt nie osiągając 100 % rozumienia (najczęściej niedosłuch odbiorczy). Badania przeprowadza się przy pomocy specjalnych testów słownych.

W uszkodzeniach słuchu typu przewodzeniowego krzywe słowne przebiegają zazwyczaj równoległe do krzywych wzorcowych, z przesunięciem odpowiadającym średniemu progowemu ubytkowi słuchu. Równoległość ta oznacza, że rozumienie merytorycznej treści dźwięków mowy nie jest upośledzone i sięga 100 % tj. górnej granicy wykresu, przy określonym natężeniu w decybelach. W uszkodzeniach słuchu typu odbiorczego krzywe słowne bywają zwykle bardziej nachylone niż krzywe wzorcowe, co oznacza, że obniżenie progu rozumienia jest większe niż obniżenie progu wykrywalności bodźców dźwiękowych. W niektórych przypadkach głuchoty odbior-

czej wzmacnianie natężenia mowy po przekroczeniu określonego progu nie tylko nie polepsza jej rozumienia, lecz może zacząć je pogarszać. Na wykresie obrazuje to poziomy lub opadający przebieg krzywej słownej (krzywa w kształcie dzwonu). Wskazuje to na szczególną trudność w skutecznym odbiorze tych formantów głosek, które decydują o ich kształcie akustycznym, oraz na potrzebę znacznego zaangażowania analizatora wzrokowego w proces odbioru informacji słownej. Możliwe jest zastosowanie aparatu słuchowego z tzw. liniową kompresją dźwięków (patrz str. 88).

Klasyczne badanie audiometryczne jest możliwe do przeprowadzenia tylko przy współpracy osoby badanej, której zadanie polega na sygnalizowaniu odbioru podawanego tonu lub powtarzaniu odebranego elementu testu badawczego. Sytuacja jest znacznie bardziej złożona u małych dzieci, szczególnie posiadających znaczny ubytek słuchu, gdy brak jest kontaktu słownego, a tym samym możliwości instruktora i współpracy. Stosowane w tych przypadkach metody obrazkowe czy zabawkowe (po naciśnięciu guzika pokazuje się obrazek lub uruchamia zabawka) wymagają dobrej znajomości reakcji dziecka i kilkakrotnego powtarzania badania. Natomiast stosowane często u dzieci do lat 3 badanie z instrumentami perkusyjnymi ma charakter orientacyjny.

Jedynie w pełni skutecznymi metodami są metody obiektywnego badania słuchu, tj. takie, gdzie współpraca pacjenta jest zbędna. Rozwiązują one zarówno problem badania osób nie współpracujących, np. małych dzieci jak i przypadki symulacji, bądź agramacji u dorosłych pacjentów. Metody te oparte są głównie na elektroencefalografii bądź elektrokocholeografii (dawniej także na badaniu odruchu psychogalwanicznego skóry). U ich podstaw leży stwierdzenie, że funkcje bioelektryczne mózgu ulegają zmianie w momencie dotarcia impulsów nerwowych do korowych ośrodków słuchowych. Rejestrując te zmiany poprzez elektrody przyłożone do czaszki można bez udziału świadomości i dobrej woli badanego sprawdzić, czy określone bodźce akustyczne wywołują odpowiednie impulsy nerwowe i, czy impulsy te dochodzą do wyższych ośrodków słuchowych. Metody te jednak w obecnej chwili są pracochłonne i nie do końca dokładne, szczególnie u dzieci do lat 3, oraz u dzieci z uszkodzeniami ośrodkowego układu nerwowego, a przede wszystkim wymagają kosztownej i trudno dostępnej aparatury. Z tego też powodu są dotychczas rzadko stosowane.

Typowe audiometryczne badania słuchu progowego dają wyniki w postaci ubytku słuchu w decybelach dla różnych częstotliwości, nie dają natomiast niekiedy potrzebnego prostego wyniku, jakim jest procent ubytku słuchu. Procentowy ubytek słuchu w odniesieniu do mowy można obliczyć z audiogramu progowego wykorzystując tabelę Fowlera i Sabine'a (tab.6). Obliczeń dokonuje się dla każdego ucha osobno wybierając wg wskazań audiogramu współczynniki dla ubytków słuchu w częstotliwościach najważniejszych dla rozumienia mowy tj. 500, 1000, 2000 i 4000 Hz. Suma wybranych z tabeli współczynników stanowi procentowy ubytek słuchu dla danego ucha. Celem obliczenia procentowego obustronnego ubytku słuchu wartość uzyskaną dla lepszego ucha (mniejszą) należy pomnożyć przez 7, dodać wartość uzyskaną dla gorszego ucha (większą) i całość podzielić przez 8. Będzie to ogólny procent ubytku słuchu danej osoby.

Tabela 6
Obliczanie procentu ubytku słuchu
(wg Fowlera i Sabine'a, cyt. za W. Sułkowskim, 1977)

Ubytek słuchu w dB	Ubytek słuchu w % dla częstotliwości			
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
10	0,2	0,3	0,4	0,1
15	0,5	0,9	1,3	0,3
20	1,1	2,1	2,9	0,9
25	1,8	3,6	4,9	1,7
30	2,6	5,4	7,2	2,7
35	3,7	7,7	9,8	3,8
40	4,9	10,2	12,9	5,0
45	6,3	13,0	17,3	6,4
50	7,9	15,7	22,4	8,0
55	9,6	19,0	25,7	9,7
60	11,3	21,5	28,0	11,2
65	12,8	23,5	30,2	12,5
70	13,8	25,5	32,2	13,5
75	14,6	27,2	34,0	14,2
80	14,8	28,8	35,8	14,6
85	14,9	29,8	37,5	14,8
90	15,0	29,9	39,2	14,9
95	15,0	30,0	40,0	15,0

4. Słuchowa percepcja mowy i jej zaburzenia

Ze społecznego punktu widzenia odbiór i rozumienie mowy jest podstawową funkcją narządu słuchu. Treść mowy zakodowana jest w składzie widma akustycznego głosek, dynamice ich poziomów akustycznych, czasie trwania i wzajemnych relacjach.

Widmo mowy obejmuje zakres częstotliwości średnio od 80 do 10 000 Hz. Dla zrozumiałości mowy praktyczne znaczenie posiada węższe pasmo - od 400 do 4 000 Hz. Odfiltrowanie z mowy częstotliwości leżących poza tym pasmem nie obniża w istotny sposób zrozumiałości mowy. Rezygnując z przekazywania cech umożliwiających rozpoznanie indywidualnego głosu pasmo to można ograniczyć do zakresu 400 - 1 900 Hz uzyskując ciągle jeszcze wystarczającą zrozumiałość. Dalsze zawężanie pasma przekazywania mowy ogranicza wyrazistość głosek do tego stopnia, że uniemożliwia swobodne i poprawne rozumienie wypowiedzi. Aby bowiem poprawnie odebrać treść wypowiedzi, wyrazistość głosek musi przekraczać 70 %. Reszta zostaje uzupełniona w sposób podświadomy. Dzieje się tak dlatego, że te składniki akustyczne głosek, które zostały odebrane w pełni wystarczają do zrekonstruowania całej głoski. Z przeprowadzonych przez Harveya Fletchera badań (za J. Kacprowskim, 1960) wynika, że:

- połowa energii akustycznej mowy zawarta jest w paśmie od 100 do 350 Hz, a druga połowa w paśmie od 350 do 10 000 Hz (nierównomierność podziału);
- ograniczając odbiór mowy do górnej części wymienionego wyżej podziału, tj. do pasma od 350 do 10 000 Hz traci się 50 % głośności, ale tylko 2 % wyrazistości mowy, a zatem chociaż znacznie cichsza jest ona w pełni zrozumiała (największe znaczenie dla zrozumiałości głosek posiada pasmo 1 000-2 000 Hz);
- ograniczając odbiór mowy do dolnej części tj. pasma od 100 do 350 Hz, traci się również 50 % głośności, ale 98 % wyrazistości, co całkowicie przekreśla możliwość rozumienia mowy (tak bywa w niektórych przypadkach uszkodzeń słuchu).

Z badań Wedenberga (za M. Goralówną, 1970) ogłoszonych w 1954 roku wynika, że dla zrozumiałości mowy dobre słyszenie poszczególnych częstotliwości ma następujący udział procentowy: 125 Hz - 2 %, 250 Hz - 4 %, 500 Hz - 9 %, 1 000 Hz - 26 %, 2 000 Hz - 30 %, 4 000 Hz - 10 %, 6 000 Hz - 7 %.

Zrozumiałość mowy zależy także od jej głośności. Ponieważ emisja poszczególnych głosek wykazuje w obrębie zdania różnicę w dynamice dochodzącą do 30 dB (istotną rolę odgrywa tu opozycja dźwięczności, a więc udział tonu krtaniowego w realizacji głosek), aby mowa była w pełni zrozumiała, jej średni poziom musi przekraczać poziom słuchu rozmówcy, przynajmniej o wymienione 30 dB. Jeżeli różnica ta jest mniejsza, wzrasta wówczas rola domysłu w procesie odbioru mowy. Może tu również wystąpić współdziałanie analizatora warokowego.

Wymienione zjawisko nosi nazwę zdolności różnicowania (dyskryminacji) dźwięków mowy. Polega ono na tym, że poziom słyszenia dźwięku jest znacznie niższy niż poziom niezbędny do różnicowania bodźców dźwiękowych zarówno pod względem częstotliwości, jak i natężenia. Optymalnym polem dokładnego różnicowania dźwięków mowy jest poziom ok. 40 dB nad progiem słyszalności w zakresie częstotliwości od 500 do 6 000 Hz. Interesujące jest, że obszar ten dla zdrowego ucha niemal idealnie odpowiada obszarowi emisji mowy i mieszczą się w nim prawie wszystkie formanty głosek (jeśli jest to poziom normalnej rozmowy z odległości 1-3 m). Jest to jeszcze jeden dowód funkcjonalności struktur słuchowych człowieka, rozwiniętych szczególnie w kierunku społecznego komunikowania się.

Należałoby się zastanowić, w jaki sposób przebiega percepcja mowy przy w pełni sprawnym narządzie słuchu. Słuchając audycji, rozmowy czy wykładu w ojczystym języku rzadko zwraca się uwagę na brzmienie głosu mówcy, jego akcent itp. Nie docierają do naszej świadomości nawet pojedyncze słowa. Nasz receptor słuchowy wraz z odpowiednimi komórkami centralnego układu nerwowego niejako samoczynnie realizuje odbiór mowy, od odebrania sygnału, poprzez jego transformację, analizę, porównanie z wzorcami do doprowadzenia do świadomości treści merytorycznych. Prześledzenie tych etapów staje się możliwe, gdy słuchamy wypowiedzi w słabo znanym języku obcym. Zależnie od stopnia znajomości tego języka, rozumiemy znaczenie niektórych słów, domyślamy się ogólnej treści wypowiedzi, ale nie rozumiemy jej dobrze - brak nam odpowiednich, zakodowanych w centralnym układzie nerwowym wzorców umożliwiających szybkie i właściwe rozumienie słyszanej mowy.

Uszkodzenie słuchu stanowi pewną analogię z opisanym przykładem. Słuchowe bądź słuchowo-wzrokowe wzorce głosek i ich zestawów w przypadku znacznego uszkodzenia słuchu również okazują

się niewystarczające, co powoduje znaczne zaangażowanie świadomości, nie tylko w treść wypowiedzi, ale również w jej formę, w proces analizy i syntezy odbieranych wrażeń wzrokowych i słuchowych.

Fonetyka audytywna ogranicza się do pierwszego etapu drogi słuchowej - odebrania i transformacji bodźca akustycznego. Sprawne przebieganie procesu rozumienia mowy w jego późniejszych stadiach zależne jest od jakości przebiegu tego procesu w stadiach początkowych, a jego zaburzenia stanowią przedmiot zainteresowania nauk, zajmujących się funkcjonowaniem i zaburzeniami działania centralnego układu nerwowego.

Upośledzenie słuchu w zależności od stopnia i rodzaju ogranicza bądź uniemożliwia dopływ odpowiednich bodźców do centralnego układu nerwowego. Ograniczenie to ma różny charakter w zależności od lokalizacji uszkodzenia.

W uszkodzeniu słuchu typu przewodzeniowego, a więc zlokalizowanym w uchu środkowym cechą charakterystyczną jest równomierne lub prawie równomierne obniżenie krzywych progowych słuchu w całym zakresie odbieranych częstotliwości. Równomierne obniżenie progu słyszenia o ok. 20-30 dB powoduje, że obszar formantów głosek znajduje się w bezpośredniej bliskości progu słyszenia, a więc obniża się zdolność różnicowania dźwięków. Niezależnie więc od utraty głośności mowa traci również na wyrazistości, ponieważ osoba słuchająca odbiera mniej elementarnych informacji niezbędnych do prawidłowej analizy i syntezy bodźców w ośrodkach centralnych. Występuje więc również zmiana jakościowa zespołu otrzymywanych informacji powodująca konieczność większego zaangażowania procesów centralnych (domysł) w rozumienie mowy. Dalsze obniżenie względnego lub bezwzględnego progu słyszenia (w przypadku odbierania mowy cichej lub w złych warunkach akustycznych), usuwa całkowicie z pola słuchowego część formantów mowy i proces jej rozumienia staje się jeszcze bardziej utrudniony.

Pozytywną cechą tego rodzaju uszkodzenia słuchu jest, że względu na równomierne obniżenie słyszalności w całym paśmie mowy, zachowanie relacji pomiędzy częstotliwościami, a więc odbiór słabszy, lecz nie ulegający istotnym zniekształceniom. Dlatego też ubytek taki daje się dobrze korygować głośniejszym mówieniem, mówieniem bliżej ucha, jak również zastosowaniem aparatu słuchowego. Dzięki dobremu słyszeniu drogą kosztną osoba z tak uszkodzonym słuchem dobrze słyszy własną mowę i może ją samodzielnie roz-

wijać i korygować. Ponadto górna granica ubytku słuchu typu przewodzeniowego z reguły nie przekracza średniego poziomu 60 dB, a więc wiele bodźców słuchowych zostaje odebranych.

Zupełnie inaczej przedstawia się charakterystyka odbioru bodźców akustycznych w ubytku słuchu typu odbiorczego. Ulegają tu uszkodzeniu funkcje narządu Cortiego, nerwu słuchowego lub dalszych odcinków drogi słuchowej. W wyniku takiego rodzaju uszkodzenia obniżenie sprawności słuchu z zasady jest różne dla różnych częstotliwości, a krzywe progowe audiogramu tonalnego najczęściej mają charakter opadający (rys. 16 - 2 i 3). Oznacza to, że w tego rodzaju uszkodzeniu słuchu zmniejszenie odbioru mowy ma przede wszystkim charakter jakościowy - mogą być słyszalne tylko niskie częstotliwości (ton podstawowy i ewentualnie F_1), a zatem te, które decydują o głośności mowy, ale nie o jej wyrazistości. Dlatego osoby z odbiorczym uszkodzeniem słuchu często słyszą mowę, jednak bez jej rozumienia. Dźwięki samogłoskowe, dzięki wyłączeniu wysokich formantów, stają się niemożliwe do identyfikacji. W niektórych przypadkach możliwe jest wyróżnianie i identyfikacja głosek [u] i [o], w których, dzięki tylnemu położeniu masy języka, zarówno F_1 jak i F_2 zawierają się w paśmie do 900 Hz. W spółgłoskach dźwięcznych słyszany jest zazwyczaj jedynie ton podstawowy, natomiast spółgłoski bezdźwięczne są w ogóle niesłyszalne. Tym samym odbierana mowa staje się zubożona do tego stopnia, że jej rozumienie w przypadku korzystania wyłącznie z analizatora słuchowego jest praktycznie niemożliwe.

Należy tu nadmienić, że zastosowanie klasycznego aparatu słuchowego zwiększa poziom bodźców akustycznych docierających do ucha, jednak poprawia rozumienie mowy tylko w przypadku ukośnej krzywej progowej przecinającej pole formantów głosek przynajmniej do zakresu 3 000 Hz. W przypadku krzywej progowej o ostrym załamaniu z całkowitym lub prawie całkowitym brakiem reakcji na bodźce o częstotliwości wyższej niż 1 000 Hz (np. uszkodzenie nerwu słuchowego), pewną pomoc może zapewnić tylko aparat słuchowy specjalnego przeznaczenia z transpozycją częstotliwości (jednak dopiero po odpowiednio długim przystosowanym treningu słuchowym). Klasyczny aparat mimo wzmocnienia bodźców nie zmniejsza ubytku dyskryminacji słuchowej i nie pozwala osiągnąć wystarczającego wzmocnienia najistotniejszych dla wyrazistości głosek pasm częstotliwości, a tym samym bodźce słuchowe chociaż głośniejsze nadal są zbyt ubogie dla pełnego ich wykorzystania.

Uszkodzenie słuchu typu odbiorczego powoduje istotne konsekwencje dla rozwoju ogólnej jednostki, szczególnie, gdy powstało ono przed wiekiem naturalnego kształtowania się mowy. Głębokie uszkodzenie słuchu zatrzymuje spontaniczny, naturalny rozwój mowy u dziecka, a tym samym nie rozwija się słownictwo i myślenie słowne. Otoczenie odbija się w świadomości dziecka w sposób niepełny - zubożony częściowo o bodźce akustyczne, w tym często całkowicie w zakresie mowy. Powoduje to wtórne następstwa w sferze kontaktów społecznych, których treść opiera się głównie na języku. Dlatego też szczególnie w odbiorczym uszkodzeniu słuchu ogromne znaczenie ma wczesne wykrywanie i rehabilitacja wad słuchu. Formy i metody tej rehabilitacji stanowią treść audiologii, głównie pedagogicznej i logopedii.

5. Wpływ uszkodzenia słuchu na rozwój mowy

Uszkodzenie słuchu znacznego stopnia, szczególnie istniejące od urodzenia lub powstałe we wczesnym dzieciństwie ma zdecydowany wpływ na rozwój osobowości. Nawet częściowe bowiem wyłączenie analizatora słuchowego powoduje niepełne odbicie otoczenia w świadomości jednostki, a tym samym zaburzenia w sferze rozwoju mowy i języka, rozwoju osobowości oraz kontaktów społecznych.

Występujące u wielu dzieci z uszkodzonym słuchem zaburzenia rozwoju mowy zależne są przede wszystkim od stopnia i rodzaju uszkodzenia słuchu. Większość dzieci wymagających rewalidacji logopedycznej to przypadki uszkodzenia słuchu powstałego wcześniej, niż mogła ukształtować się mowa. W takim przypadku mowa nie rozwija się w sposób naturalny, lub jeśli się rozwija to wraz z charakterystycznymi zaburzeniami. Równocześnie w znacznym stopniu wzrasta rola wzroku w porozumiewaniu się.

Warunki środowiskowe, w jakich znajduje się dziecko w pierwszych latach życia, a więc w tzw. "złotym okresie rozwoju mowy" (S. Kowalski, 1962) mają bardzo istotne znaczenie dla rozwoju mowy czynnej i biernej. Najtrudniejsze do reedukacji logopedycznej są dzieci umieszczone w przedszkolach dla dzieci głuchych. Wprowadzenie jeszcze nie mówiącego dziecka ze znacznym uszkodzeniem słuchu w zamknięte, zinternatowane środowisko dzieci jemu podobnych, prowadzi nieuchronnie, mimo właściwie prowadzonej działalności dydaktycznej, do rozwoju formy porozumiewania się tych

dzieci pomiędzy sobą opartej nie na mowie, która nie została jeszcze ukształtowana, lecz na gestach. Początkowo są to gesty wskazujące, następnie życzeniowe, z kolei znaki umowne. W ten sposób - dzięki kontaktom ze starszymi dziećmi oraz dziećmi głuchoniemych rodziców - tworzy się prymitywny system porozumiewania się, zawierający częściowo znaki mimiczne konwencjonalne (należące do języka migowego) oraz znaki naturalne, właściwe danemu środowisku, w którym ten sposób porozumiewania się powstaje (przedszkole lub szkoła dla dzieci głuchych z internatem), system zwany popularnie oraz przez niektórych autorów "mową migową". Ze względu na łatwość nawiązywania tą drogą przez dzieci głuche kontaktów ze sobą kształtuje się u nich równocześnie antymotywa- cja do nauki mowy wynikająca z braku zrozumienia potrzeby jej opanowania.

Mowy migowe, budowane w określonych środowiskach na bazie prostych gestów, posiadają oryginalną i niezwykle uproszczoną składnię, w której rolę stosunków syntaktycznych w zdaniu przejmują kolejność wyrazów, a odmiany niemal całkowicie (lub nawet całkowicie) zanikają. Prowadzi to do kształtowania się specyficznego, uproszczonego stereotypu myślenia pojęciowego (myślenie "migowe" - Geppertowa, 1968). Stereotyp ten - w miarę równoległych postępów nauki mowy - utrudnia zrozumienie składni polskiego systemu językowego i prowadzi (nawet u dzieci, które dobrze opanowały mechaniczny proces mówienia) do budowania wypo- wiedzi w miarę poprawnych artykulacyjnie, lecz często niezrozumiałych składniowo. Zorganizowana rewalidacja logopedyczna napotyka w przypadku takich dzieci na szczególne trudności, z których najważniejsze to brak lub utrudniony kontakt słowny z dzieckiem oraz brak motywacji do nauki mowy, jako środka porozumiewania się. Zaburzeniu ulegają praktycznie wszystkie systemy - fonologiczny, semantyczny, gramatyczny i prozodyczny mowy. Ponadto występuje zjawisko zaburzenia odbioru mowy, aż do jej całkowitego nierozumienia, co automatycznie rozszerza zadania logopedy o konieczność prowadzenia odpowiednich ćwiczeń kształ- tujących odbiór mowy.

W przypadku wczesnego objęcia dziecka opieką logopedyczną w środowisku domowym oraz ewentualnego umieszczenia go w normalnym przedszkolu, a następnie w szkole wśród dzieci słyszących (ewentualnie w szkole dla niedosłyszących), przy równoczesnym kontynuowaniu rewalidacji logopedycznej istnieje realna szansa

osiągnięcia dobrych wyników. Nie oznacza to całkowitego usunięcia zaburzeń (szczególnie w przypadku znacznego uszkodzenia słuchu), jednak może doprowadzić do ukształtowania mowy zrozumiałej dla otoczenia, chociaż nie pozbawionej nieznacznych odchyłań od normy (zwłaszcza w zakresie prozodyki - intonacji, tempa mowy oraz akcentu zdaniowego). Proces rewalidacji mowy u dziecka ze znacznym uszkodzeniem słuchu jest jednak bardzo długotrwały i trwa praktycznie przez całe życie w postaci stałego treningu mowy.

U osób mówiących - ze znacznym uszkodzeniem słuchu do praktycznej głuchoty włącznie - można wyróżnić pewne charakterystyczne zaburzenia mowy. Mogą one występować łącznie lub w indywidualnych przypadkach tylko niektóre z nich. Należą do nich:

1. Nieprawidłowe oddychanie dla mowy - oddech zbyt krótki lub nieekonomiczny (zbyt dużo powietrza jest wydychane w trakcie mówienia).

2. Zła jakość głosu - zbyt niski lub zbyt wysoki, czasem chrapliwy lub piskliwy, na ogół monotony, bez modulacji, czasem zbyt cichy, zbyt głośny lub o zmiennym natężeniu.

3. Nieprawidłowa artykulacja polegająca przede wszystkim na zniekształcaniu głosek przednio- i środkowojęzykowych. Zdarza się, że spółgłoski [š], [ž], [č], [ž], [c], [j], [z] i [č] zastępowane są tylko jedną głoską [s] lub [š]. Spółgłoski [č] i [č] mogą być wymawiane jednakowo jako "ts" lub nawet "tys" natomiast spółgłoski [s] i [c] mogą być zamieniane na [t]. Ponadto głoski te, jeśli nie są zamieniane na inne, mogą ulegać tak dużym zniekształceniom, że trudno je zidentyfikować. Wynika to z przyjmowania nieprawidłowego ułożenia masy języka i braku wycucia szczeliny. Głoski te podlegają również elizjom i myleniu dźwięczności i bezdźwięczności. W artykulacji samogłosek często zamiennie wymawiane są głoski [a] i [e], [o] i [e], oraz [i] i [y].

4. Zaburzenia systemu semantycznego polegające na bardzo ograniczonym słownictwie, a w ramach znanego elizje, reduplikacje i zamiany głosek (często również reduplikacje całych wyrazów a nawet fraz), a czasem również dodawanie głosek (np. wymowa [si-ano] zamiast [šano]) lub udźwięcznianie głosek dźwięcznych w wygłosie ([xleb] zamiast [xlep]), wynikające z utożsamiania liter z głoskami przy równoczesnym braku kontroli słuchowej wymowy innych osób.

5. Znaczące zaburzenia składni, polegające na posługiwaniu się głównie zdaniami prostymi o nieprawidłowej budowie, w których

stosunki syntaktyczne kształtowane są przez kolejność wyrazów w zdaniu, a nie przez przyimki i spójniki, a także nie występują (lub występują w formie szczątkowej) odmiany. Edukacja szkolna wytwarza u dziecka świadomość potrzeby stosowania odmian, jednak bez dokładnego rozumienia ich zasad. Wynikające z tego dowolne traktowanie deklinacji i koniugacji powoduje nieraz szkodzące zestawienia w wypowiedziach słownych i pisemnych ("ja chodziła jutro do szkole" itp.).

6. Zaburzenia tempa mowy - mowa na ogół jest powolna (czasem, przy mniejszych ubytkach słuchu występuje mowa zbyt szybka, aż do utraty jej zrozumiałości).

7. Brak intonacji i akcentu zdaniowego (monotonność wypowiedzi), czasem, chociaż rzadziej, występują zaburzenia akcentu wyrazowego (brak akcentu lub akcentowanie pierwszej albo ostatniej sylaby).

Przy częściowym ubytku słuchu istnieje możliwość opanowania przez dziecko mowy w sposób naturalny, jednak często z charakterystycznymi wadami, wynikającymi z nieprawidłowego odbierania niektórych głosek, trudności w ich identyfikacji i rozróżnianiu oraz ukształtowania się nieprawidłowych wzorców niektórych głosek w centralnym układzie nerwowym. Brak możliwości wykorzystania w pełni modeli akustycznych jakimi posługuje się na co dzień słyszące otoczenie dziecka, brak możliwości ich w pełni adekwatnego odbierania uniemożliwia ich prawidłowe wykorzystywanie w celach poznawczych, a tym samym utrudnia ich zapamiętywanie, prawidłowe wytwarzanie i kontrolę.

Występują tu najczęściej takie zaburzenia, jak nieprawidłowe oddychanie (często świszczący oddech), nosowanie otwarte, za duże lub za małe natężenie głosu w stosunku do aktualnych potrzeb, zamiana lub identyfikacja ze sobą niektórych głosek o małym natężeniu i zbliżonej strukturze akustycznej (typowe przykłady to [s] i [š] oraz [g] i [g']), opuszczanie w wymowie głosek słabosłyszalnych i artykułowanych równocześnie bez udziału warg (jeśli dziecko jeszcze nie zna zapisu graficznego danego wyrazu, jeśli bowiem już zna, wówczas odtwarza z pamięci posiadany wzorzec wzrokowy i nie popełnia tego błędu). Rzadko natomiast ulegają zaburzeniu wysokość i modulacja głosu, tempo mowy oraz system semantyczny i gramatyczny. Przy wczesnym wykryciu niedosłuchu i prawidłowym postępowaniu rewalidacyjnym istnieje duże prawdopodobieństwo osiągnięcia bardzo dobrych rezultatów.

6. Korekcyjność słuchu i jej znaczenie

Próby poprawiania uszkodzonego narządu słuchu podejmowano już bardzo dawno. Pierwszym "aparatem słuchowym" była przyłożona do ucha lekko zagięta dłoń, powiększająca w sposób sztuczny małżowinę uszną i tworząca powierzchnię odbijającą i kierującą większą ilość fal akustycznych do przewodu słuchowego. Osiągnano w ten sposób wzmocnienie ok. 5 dB, głównie w paśmie ok. 1000 Hz.

Jeszcze w XVIII wieku stosowano różnego rodzaju rurki gumowe przenoszące dźwięk od źródła do ucha. Uzyskiwane tą drogą wzmocnienie nie przekraczało 6 dB w paśmie od 250 do 1000 Hz, natomiast dźwięki o częstotliwości powyżej 3000 Hz były tłumione.

Równoległe pojawiły się tzw. trąbki słuchowe, w których dzięki zjawisku rezonansu uzyskiwano wzmocnienie niektórych częstotliwości. Trąbek takich używał m.in. Ludwig van Beethoven w latach 1812-1814.

W roku 1860 skonstruowana została po raz pierwszy trąbka słuchowa z paraboloidalnym reflektorem koncentrującym fale dźwiękowe w rurce prowadzącej do przewodu słuchowego (Rawlins). Jej efekt to wzmocnienie rzędu 20 dB w paśmie 300-2500 Hz, a więc już dość znaczne.

W roku 1880 zastosowano po raz pierwszy wzmocnienie obuuszne w postaci muszli metalowych z obejmą zakładanych na uszy. Zwiększyło to przestrzenność odbioru.

Współczesne aparaty słuchowe to skomplikowane urządzenia elektroakustyczne wzmacniające dźwięki drogą kilku kolejnych operacji - transformacji odbieranych dźwięków przez mikrofon na fale elektromagnetyczne, wzmacniania i częściowej modyfikacji tych fal przez wzmacniacz, oraz ponownej transformacji już zmodyfikowanych i wzmocnionych fal na dźwięki w słuchawce aparatu. Rozmiary obecnie produkowanych aparatów opartych w swej konstrukcji na elementach półprzewodnikowych i układach scalonych nie przekraczają wielkości pudełka od papierosów, a szczególnie małe mogą w całości mieścić się wewnątrz małżowiny usznej i przewodu słuchowego.

W stosunku do aparatów słuchowych używa się czasem niesłusznie określenia "aparaty wzmacniające słuch". Aparaty te jednak nie wzmacniają słuchu, lecz wyłącznie dźwięki z otoczenia, dając narządowi słuchu możliwość odbierania silniejszych niż bez aparatu dźwięków. Istota powodzenia aparatów słuchowych polega jed-

nak na tym, że nie wzmacniają one wszystkich dźwięków jednakowo, ale w zależności od swej charakterystyki wzmocnienia różne częstotliwości i różne natężenia wzmacniają w różny sposób. Dzięki produkcji wielu typów aparatów o różnych charakterystykach wzmocnień, istnieje możliwość dopasowania dla określonej osoby aparatu wzmacniającego przede wszystkim te właśnie częstotliwości, których odbiór przez nieuzbrojony narząd słuchu jest najsłabszy.

Pełne i efektywne wykorzystywanie w praktyce aparatu słuchowego jest uzależnione od kilku czynników, wśród których należy wymienić przede wszystkim właściwy moment zastosowania aparatu, dobór odpowiedniego aparatu, dostosowanie aparatu do potrzeb użytkownika oraz prawidłowe wykorzystywanie aparatu.

Odpowiednio wczesne zastosowanie właściwie dobranego aparatu słuchowego stwarza ogromne możliwości rewalidacji samego narządu słuchu, dlatego też wiele uwagi poświęca się wczesnemu oprotezowaniu. Można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że gdyby wczesne oprotezowanie i prawidłowe prowadzenie procesu rewalidacji słuchu i mowy było możliwe w stosunku do wszystkich dzieci ze znacznym uszkodzeniem słuchu, to przyjmując współczesne kryteria podziału nie byłoby prawie wcale osób głuchych i głuchoniemych, a tylko osoby w różnym stopniu słabosłyszące. Często jednak na potrzebę oprotezowania zwraca się uwagę zbyt późno - po kilku lub kilkunastu latach od momentu wystąpienia wady słuchu i wówczas odzwyczajony od silnych bodźców dźwiękowych narząd słuchu bardzo trudno adaptuje się do nowych warunków słuchowych, a czasem adaptacja ta staje się wręcz niemożliwa. Dotyczy to jednak przede wszystkim znacznych uszkodzeń słuchu, przekraczających w paśmie częstotliwości mowy 80 dB oraz przypadków, w których odstęp czasowy pomiędzy utratą słuchu a zastosowaniem aparatu przekroczył kilkanaście lat.

Następne zagadnienie - dobór odpowiedniego aparatu - obejmuje często nie tylko typ i charakterystykę wzmocnienia aparatu, lecz także gabaryty i wygląd zewnętrzny. Występuje tu bowiem czasem pewien problem natury psychologicznej: duży, kieszonkowy, tzw. pudełkowy aparat słuchowy jest w przypadku znacznej utraty słuchu na ogół bardziej skuteczny w zastosowaniu, ale równocześnie swym wyglądem i wielkością wyróżnia wizualnie osobę źle słyszającą. Jest to rodzaj protezy, która nie maskuje, lecz uzewnętrznia kalectwo i staje się, w przypadku braku lub niepełnej akcep-

tacji inwalidztwa, czynnikiem antymotywacyjnym w codziennym stosowaniu.

Większość stosowanych obecnie aparatów słuchowych może być wyposażonych w dwie słuchawki (dotyczy to aparatów pudełkowych i niektórych okularowych). Protezowanie obuuszne wskazane jest w każdym przypadku, jeżeli narząd słuchu po obu stronach reaguje na bodźce dźwiękowe (w przypadku tzw. aparatów zausznych można zastosować dwa niezależne aparaty). Sytuacja jest stosunkowo prosta przy równomiernym ubytku słuchu po obu stronach - stosuje się wówczas przewód do aparatu rozdzielający się do dwóch słuchawek (wyklucza to jednak, ze względu na stosowanie jednego mikrofonu - słyszenie kierunkowe - czyli lokalizację źródła dźwięku). Przy nierównomiernym ubytku słuchu po obu stronach, w tańszych modelach stosuje się dla każdego ucha słuchawki o innych parametrach akustycznych, w droższych natomiast występują w jednej obudowie dwa osobne wzmacniacze z dwoma mikrofonami (np. Danavox 747) lub tzw. balans pozwalający w sposób płynny regulować podział wzmocnienia pomiędzy poszczególne słuchawki (np. Oticon P15P).

Najbardziej istotny jest jednak problem, jakie częstotliwości aparatu ma wzmacniać i w jaki sposób. Założenie ogólne polega na tym, aby wszystkie potrzebne do porozumiewania się dźwięki z otoczenia zostały wzmocnione tak, aby znalazły się wewnątrz zmniejszonego, w stosunku do zdrowego narządu słuchu, dynamicznego pola słuchowego osoby protezowanej. Zastosowanie zatem aparatu równomiernie wzmacniającego wszystkie dźwięki dawałoby korzystny efekt tylko w przypadku przesunięcia pola słuchowego w dół (obniżenia zarówno progu słyszenia, jak i progu bólu równomiernie dla wszystkich częstotliwości), bez jego zwężenia i spłaszczenia, co zdarza się stosunkowo rzadko.

Dobrze dobrany aparat słuchowy powinien wzmacniać silniej te dźwięki i ich elementy, które znajdują się poza progiem słyszenia i nie są odbierane bez aparatu słuchowego. Wzmocnienie powinno być takie, aby te bodźce akustyczne znalazły się w obrębie pola słuchowego. Równocześnie ten sam aparat nie powinien wzmacniać w tym samym stopniu dźwięków silniejszych, słyszalnych nawet bez aparatu, aby po wzmocnieniu nie wychodziły poza granice pola słuchowego przekraczając próg bólu. Zagadnienie to stwarza szczególne trudności przy protezowaniu słuchowym osób, u których dynamiczne pole słuchowe jest bardzo płaskie, a więc odstęp pomiędzy

progiem słyszenia a progiem bólu jest relatywnie niewielki. W aparatach starszego typu jedyną metodą uniknięcia przekroczenia progów bólu w takich przypadkach, było nastawienie wzmocnienia na stosunkowo niewielki poziom, co prowadziło do ostatecznego braku odbioru dźwięków słabszych. Współczesna surdotechnika radzi sobie z tym problemem dwoma sposobami: tańszym - stosowanym w aparatach średniej klasy, polegającym na ograniczeniu mocy wyjściowej aparatu do określonej regulowanej wartości, oraz droższym, stosowanym w aparatach wyższej klasy i polegającym na tzw. liniowej kompresji dźwięków. Pierwszy sposób gwarantuje dźwiękom określone wzmocnienie (np. o 40 dB) przy równoczesnym ograniczeniu mocy wyjściowej (np. do 100 dB). Oznacza to, że np. dźwięk wchodzący do mikrofonu z natężeniem 30 dB zostanie wzmocniony do 70 dB, z 40 do 80 dB, z 60 do 100 dB, ale już wszystkie dźwięki silniejsze na wejściu od 60 dB będą miały na wyjściu - dzięki ograniczeniu mocy wyjściowej - jednakowe natężenie 100 dB i nie będzie można różnicować ich natężeń (przykładowo, dźwięki o natężeniu 60, 80 i 100 dB po wzmocnieniu przez aparat będzie słychać jednakowo głośno, w omawianym przypadku z natężeniem 100 dB). Drugi sposób polega na proporcjonalnym do rozpiętości pola słuchowego użytkownika zwężeniu zakresu natężeń przy przechodzeniu dźwięków przez aparat. Jeżeli np. aparat odbiera dźwięki w zakresie natężeń od 20 do 120 dB, a ma je emitować zgodnie z potrzebami użytkownika w zakresie natężeń od 50 do 100 dB, to natężenia wyjściowe zostaną ściśnione tak, że 20 dB na wejściu zostanie na wyjściu wzmocnione do potrzebnych 50 dB, 120 dB na wejściu zostanie osłabione na wyjściu do 100 dB, a wszystkie pozostałe natężenia będą przyjmować po przejściu przez aparat odpowiednie wartości pośrednie pomiędzy założonymi na wyjściu wartościami granicznymi 50 i 100 dB, przy czym nie ma to wpływu na charakterystykę wzmocnień na poszczególnych częstotliwościach.

W wielu przypadkach uszkodzenie słuchu polega na ograniczeniu reakcji słuchowych do tonów niskich (do ok. 1000 Hz - głuchość neurytyczna - rys. 16.3). Ponieważ w tym zakresie częstotliwości, poza tonem podstawowym znajdują się na ogół tylko pierwsze formanty głosek, mowa w niektórych przypadkach może być słyszana nawet bez aparatu, ale poszczególne głoski nie będą identyfikowane. Zastosowanie typowego aparatu słuchowego może polepszyć słyszalność dźwięków, natomiast nie zmieni (lub zmieni

w nieznacznym stopniu) jakości odbioru i nie ułatwi identyfikacji głosek. Dla takich przypadków można podjąć próbę zastosowania aparatu transponującego dźwięki z przedziału 1000-4000 Hz do przedziału 250-1000 Hz (średnio o dwie oktawy w dół) i nakładającego je na dźwięki o niższych częstotliwościach, które są równocześnie wzmocniane bezpośrednio. Stwarza to zupełnie nietypowe wrażenie słuchowe, na ogół nie do identyfikacji przez normalne ucho, prowadzące jednak w określonym przypadku do stopniowego ukształtowania się nowych, adekwatnych dla odbiorcy wzorców identyfikacyjnych głosek. Przykładem takiego aparatu słuchowego jest Oticon TP-72.

Następnym zagadnieniem związanym z korzystaniem z aparatu słuchowego jest właściwe jego dopasowanie do codziennych potrzeb użytkownika. Na pierwszym miejscu należy tu wymienić dopasowanie tzw. wkładek usznych. Produkowane są wprawdzie standardowe wkładki w kilku rozmiarach, rzadko jednak wkładka taka idealnie pasuje, nie pozostawiając szpar i nie uciskając małżowiny. Zastosowanie niewłaściwej wkładki nie tylko może powodować ból ucha, ale stwarza możliwości powstawania tzw. sprzężenia akustycznego, objawiającego się głośnym piskiem aparatu przy nastawieniu większego poziomu wzmocnienia i równoczesnej nieszczelności wkładki usznej. Najbardziej właściwym i praktycznie jedynym słusznym rozwiązaniem jest zastosowanie tzw. indywidualnej wkładki słuchowej, stanowiącej plastyczny odlew wnętrza małżowiny usznej użytkownika aparatu.

Druga sprawa to regulacja tzw. barwy tonu. Aparaty średniej i wyższej klasy posiadają zmienianą skokowo charakterystykę wzmocnienia - pełny zakres częstotliwości zgodny z charakterystyką aparatu (oznaczany zazwyczaj literą N) oraz dwie możliwości częstotliwościowego ograniczenia wzmocnienia tonów niskich lub tonów wysokich (oznaczane zazwyczaj literami H i L). Właściwą dla użytkownika pozycję dobiera się doświadczalnie, wsłuchując się, na przykład, w głos z radia. W aparatach specjalnego przeznaczenia należy również przeprowadzić dodatkowe regulacje siły wzmacniania, kompresji dźwięków lub transpozycji częstotliwości, ustalając optymalne pozycje pokręteł doświadczalnie.

Kolejny i ostatni już problem stanowi samo użytkowanie - najbardziej celowe i właściwe wykorzystywanie aparatu. Znanych jest wiele przypadków, szczególnie u pacjentów dorosłych ze znacznym uszkodzeniem słuchu, że drogi, zakupiony za granicą

aparatus leży bezużytecznie w szufladzie, ponieważ nie umiejący się prawidłowo posługiwać tym aparatem właściciele nie doceniają jego pozytywnych cech. Aparatus nastawiony zbyt głośno zniechęca użytkownika, nastawiony zbyt cicho nie dawał oczekiwanych efektów, przy niedopasowanej wkładce słuchowej piszczał itd. Fakt taki zazwyczaj wyrządza szkodę pacjentowi, pozbawiając go niezbędnego dla prawidłowej rewalidacji treningu słuchowego oraz ograniczając jego kontakty słuchowe z otoczeniem.

Aparatus słuchowy oddaje swemu właścicielowi ogromne usługi, jeżeli tylko umie on z aparatus odpowiednio korzystać. Odbierane przez aparatus dźwięki w pierwszej fazie jego stosowania mogą okazać się trudne w identyfikacji, ze względu na swą nieco zmienioną (choć w sposób korzystny) charakterystykę bądź ze względu na brak, czy też znaczne zubożenie wzorców identyfikacyjnych. Nawet jednak w przypadku znacznego uszkodzenia słuchu, gdy w odbiorze mowy dominującą rolę odgrywa wzrok, dostarczanie przez aparatus słuchowy dźwiękowego tła wypowiedzi stanowi znakomite uzupełnienie odczytywania mowy z układu ust, tworząc bazę do odbioru mowy drogą wzrokowo-słuchową.

7. Wzrokowa percepcja mowy

Wzrokową percepcję mowy zajmuje się fonetyka wizualna. Wielu językoznawców nie wyodrębnia jednak tej dziedziny fonetyki, traktując ją jako jeden z marginalnych działów fonetyki eksperymentalnej. Jest to uzasadnione faktem, że procesu odbioru mowy wzrokiem nie można traktować w izolacji. Znaczna bowiem część osób z uszkodzonym słuchem percypuje mowę przy pomocy analizatora wzrokowego i słuchowego równolegle, a ponadto w procesie odbioru mowy bardziej istotne niż samo postrzeganie jest rozumienie, domysł i kojarzenie, a więc procesy zachodzące w centralnym układzie nerwowym. Dlatego też wyodrębnienie elementu percepcji wzrokowej w porozumiewaniu się osób z uszkodzonym słuchem traktować należy jako omówienie istotnej komponenty w złożonym procesie przekazu i odbioru informacji.

Najczęściej używanym terminem określającym wzrokową percepcję mowy jest "odozytywanie mowy z ust". Termin ten, choć popularny i akceptowany społecznie nie jest w pełni adekwatny, gdyż obejmuje udział jedynie wzroku w procesie percepcji mowy.

Wprawdzie występujące przy emisji mowy określone zewnętrzne układy artykulacyjne (kinemy) pełnią funkcję informacyjną analogicznie do liter w piśmie, jednak nie jest to analogia pełna, ponieważ nie wszystkie układy artykulacyjne mogą być postrzegane wzrokowo, a także niektóre z postrzeganych nie stanowią jednoznacznej informacji. Na ponad 40 zasadniczych fonemów języka polskiego istnieje zaledwie kilkanaście kinemów - optycznie uchwytanych artykulacyjnych ruchów narządów mowy i otoczenia ust. Ponadto czytelność układów artykulacyjnych nie jest jedynym czynnikiem określającym możliwość wzrokowego odbioru mowy. Należy tu uwzględnić szereg zagadnień wpływających na skuteczność wzrokowej percepcji mowy, do których należy zaliczyć:

- cechy charakterystyczne i anatomiczne twarzy osoby mówiącej,
- tempo i wyrazistość artykulacji osoby mówiącej,
- mimikę twarzy i ewentualną gestykulację osoby mówiącej,
- ostrość i mocliwość wzroku osoby słuchającej,
- cechy osobowości (inteligencja, skłonność, doświadczenie w porozumiewaniu się, cierpliwość itp.) osoby słuchającej,
- współdziałanie u osoby słuchającej percepcji wzrokowej ze słuchową lub dotykowo-wibracyjną (resztki słuchu, aparaty słuchowe lub wibracyjne),
- warunki środowiskowe (oświetlenie, odległość, liczba rozmówców, czynniki rozpraszające itp.).

Ponadto, w odczytywaniu mowy z ust, ogromne znaczenie ma czynny odbiór treści mowy polegający na prognozowaniu oczekiwanej informacji, a także oalkształt procesów psychicznych związanych z opracowywaniem i dopeknianiem odebranej informacji tak, aby uzyskała ona sens merytoryczny. Mechanizm zatem odczytywania mowy z ust można podzielić na trzy etapy przebiegające kolejno dla każdej kolejnej informacji i nakładające się na siebie, wraz z napływem nowych informacji:

- 1) wzrokowe postrzeganie zewnętrznych układów artykulacyjnych i porównywanie ich z wzorcami wzrokowymi zakodowanymi w pamięci,
- 2) powtarzanie tych ruchów (kinestetyczne lub tylko myślowe) i związane z nim ożywianie w pamięci wzorców kinestetycznych wypowiedzi,
- 3) opracowywanie odbieranej informacji z uwzględnieniem kontekstu i uświadamianie sobie treści tej informacji z równoległym prognozowaniem treści następnej informacji.

U osób późnoogłuchłych występuje ponadto także uzupełnianie odbieranych wrażeń wzrokowych wyobraźnią treści słuchowych wypowiedzi.

Jednym z podstawowych czynników warunkującym efektywność wzrokowego odbioru mowy jest wspomniane już opanowanie systemu językowego. Bez odpowiedniej bazy słownikowej i znajomości podstaw gramatyki możliwe jest tylko postrzeganie i rozumienie ograniczonej liczby wyrazów i prostych zdań wiążących się z konkretnymi codziennymi sytuacjami. Jest to wówczas postrzeganie całościowe zestawów obrazów artykulatoryjnych wiążących się bezpośrednio z określonym znaczeniem. Dlatego też w pracy z dzieckiem ze znacznym uszkodzeniem słuchu nauka odczytywania mowy z ust musi przebiegać równoległe z działaniem o charakterze ogólnorozwojowym i nauką mowy czynnej.

Wyjątkowym jednak czynnikiem decydującym o możliwości odczytywania mowy z ust jest czytelność układów artykulatoryjnych. Niestety, większość tych ruchów przebiega w sposób niedostrzegalny z zewnątrz, w jamie ustnej i gardłowej, a to, co można dostrzec wzrokiem stanowi na ogół uboczne i mało istotne elementy tych ruchów. Dlatego też możliwości wzrokowej percepcji mowy są ograniczone. Jedynie pewna część ogólnej liczby głosek występujących w języku polskim posiada taki zewnętrzny układ artykulatoryjny, który daje się wyróżnić wzrokowo. Do głosek tych należą przede wszystkim samogłoski, których większość może być wyróżniana wzrokowo i zidentyfikowana na podstawie obserwacji ust rozmówcy oraz te spółgłoski, w których artykulacji biorą udział w istotnym stopniu wargi. Większość jednak "widzialnych" spółgłosek posiada kinemy właściwe więcej niż jednej głosce, a więc grupie głosek (taką grupę tworzą np. głoski [f], [v], [f'], [v']), co wyklucza identyfikację głoski przekazywanej w izolacji, a umożliwia jedynie jej zakwalifikowanie do określonej grupy. Łącznie można wyróżnić 7 kinemów odpowiadających 21 głoskom, które w przeciętnych warunkach potocznej rozmowy, z uwzględnieniem dobrych chęci rozmówców, mogą być percypowane wyłącznie przy pomocy wzroku. Zamieszczone one zostały w tabeli 7, w kolejności od najłatwiej do najtrudniej wyróżnialnych.

Głoski wymienione w tabeli w nawiasach mogą być różnicowane z głoskami podstawowymi przy większej wprawie osoby odczytującej (np. głoska [u] jest znacznie trudniejsza do odczytania niż [u]). Ponadto głoski [a] oraz [e] i [e] niekiedy są artykułowane zew-

Tabela 7
Kinemy i głoski wyróżnialne wizualnie

Kinem	Głoski
I	p b m p' b' m'
II	u (u)
III	f v f' v'
IV	a
V	o (o)
VI	ś ź ć ź
VII	e (e)

nętrznie w sposób zbliżony, a trudno uchwytna różnica ogranicza się do wielkości otworu ustnego. U niektórych wyraźniej artykułujących osób można odczytać głoski [i] i [y] (raczej nie do rozróżnienia między sobą) oraz głoski [l] i [r]. Cechy optyczne pozostałych spółgłosek są znacznie słabiej wyrażane, chociaż w określonych kontekstach głoskowych bywają dostrzegalne. Należałoby tu wyróżnić szczególnie grupy głosek [s], [z], [c], [ʒ], oraz [ś], [ź], [ć], [ź]. Do niemal zupełnie niedostrzegalnych zewnętrznie należy zaliczyć głoski [t], [d], [n], [ń], głoski [k], [g], [x], [k], [g], [x] oraz głoskę [j]. Ich identyfikacja jest możliwa jedynie na zasadzie domysłu oraz obserwacji transjentów międzygłoskowych.

Dokładniejsze opisy zewnętrznych obrazów artykulatoryjnych głosek zostały zawarte w rozdziale 6 części I, przy okazji omawiania akustycznej struktury głosek.

Reasumując - na blisko 50 zasadniczych fonemów w języku polskim można wyróżnić wzrokowo zaledwie 21 reprezentujących je

głosek, tj. mniej niż połowę, natomiast w sposób jednoznaczny daje się zidentyfikować jedynie głoska [a] i to też nie w każdej sytuacji (podobieństwo zewnętrzne do głoski [e]). Pozostałe wyróżnialne głoski na podstawie ich zewnętrznego obrazu artykulatoryjnego dają się jedynie zakwalifikować do określonej grupy, a ich identyfikacja możliwa jest jedynie przy pomocy kontekstu wyrazowego.

U podstaw odczytywania mowy z ust leży więc umiejętność identyfikacji tych widzialnych głosek, które dają się zidentyfikować, trafne odgadywanie głosek wyróżnionych w grupach artykulatoryjnych oraz odgadywanie i uzupełnianie tych, których artykulacja jest niewidoczna na zewnątrz - na podstawie ogólnej orientacji w temacie, czasu trwania wypowiedzi, akcentów wyrazowych i zdaniowych (łatwo dostrzegalne są szczególnie akcenty wyrazowe) itd. Umiejętność ta jednak, nawet przy jej opanowaniu w najwyższym stopniu nie może w pełni zastąpić słuchu. Ponieważ w ciągu sekundy realizowanych jest od 10 do 20 układów artykulatoryjnych, tzw. odczytywanie mowy z układu ust jest właściwie odgadywaniem na podstawie małej liczby danych i w krótkim przedziale czasowym. Dodatkową trudnością jest odebywanie się głosek od ich wzorca artykulatoryjnego w zależności od głosek poprzedzających i następujących, polegające na utracie niektórych etapów artykulatoryjnych na rzecz transjentów międzygłoskowych.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione i omówione wyżej aspekty rozróżniania i identyfikacji głosek jedynie na podstawie ich zewnętrznego obrazu artykulatoryjnego w kontekstach wyrazowych, łatwo można dojść do wniosku, że klasyczne odczytywanie mowy z ust nie jest sumą odczytywania poszczególnych głosek i ich łączenia w wyrazy, lecz umiejętność tę należy rozpatrywać jako syntezę odczytywania złożonych w czasie obrazów artykulatoryjnych całych wyrazów, fraz a nawet krótkich typowych zdań - zwrotów. Przy posiadaniu odpowiednio bogatej bazy słownikowej oraz predyspozycji psychofizycznych (spostrzegawczość, pamięć wzrokowa i ruchowa, umiejętność kojarzenia, umiejętność naśladowania, dobra sprawność i mała męczliwość narządu wzroku itp.) osoba niesłysząca może po długoltnich ćwiczeniach osiągnąć zupełnie zadowalające rezultaty. W przeciętnych jednak przypadkach znacznego uszkodzenia słuchu, a przede wszystkim przy głuchoniemocie, czyste odczytywanie mowy z układu ust stanowi jedynie element pomocniczy w procesie porozumiewania się.

8. Wzrokowo-słuchowa percepcja mowy - synergizm wzrokowo-słuchowy

Całkowita głuchota, przy której nawet przy pomocy aparatury elektroakustycznej nie można uzyskać percepcji słuchowej sygnału mowy w najmniejszym nawet stopniu, jest zjawiskiem bardzo rzadkim. Dlatego też nie można rozpatrywać zagadnienia odczytywania mowy z ust bez wykorzystywania analizatora słuchowego. Kompleksowe korzystanie z analizatorów leży u podstaw odbioru mowy przez osoby z uszkodzonym słuchem. Wyższość dwuzmysłowego postrzegania fonetycznej struktury mowy nad postrzeganiem jednozmysłowym powstaje na skutek wzajemnego wspomaganie się i kompensovania analizatorów. Szczególne znaczenie ma tu niezmiernie ważna dla akustycznej struktury mowy opozycja dźwięczności, niedostrzegalna przy czysto wzrokowej percepcji, a możliwa do wychwycenia nawet przy pomocy znacznie upośledzonego słuchu. Także uzupełnianie odczytywania z ust dodatkowym bodźcem dotykowo-wibracyjnym przenoszącym wrażenia słuchowe ułatwia proces rozumienia mowy.

Analizator słuchowy - nawet jeśli jego działanie jest znacznie zakłócone - może i powinien być wykorzystywany w odbiorze mowy. Przy niezbyt dużym ubytku słuchu jego rola może być nawet dominująca, a percepcja wzrokowa tylko uzupełniać informacje odbierane słuchem. Przy znacznym ubytku słuchu, analizator słuchowy uzupełnia dane uzyskane drogą wzrokową. W krańcowym przypadku rola analizatora słuchowego może ograniczyć się tylko do rozróżniania głosek dźwięcznych od bezdźwięcznych (bez ich identyfikacji). Często bowiem spotykamy się z takim uszkodzeniem słuchu, że nawet przy użyciu odpowiedniego aparatu słuchowego możliwe będzie jedynie słyszenie mowy bez jej rozumienia (odbior tonu podstawowego i ewentualnie niskich formantów samogłosek). Wówczas przy pomocy samego analizatora słuchowego nie będzie możliwe odbiór informacji.

Nawet jednak tak skąpe informacje dostarczane drogą słuchową stanowią niezwykle istotną pomoc w rozumieniu mowy drogą jej kompleksowego odbioru - przy pomocy wzroku i słuchu równocześnie. Bodźce słuchowe i wzrokowe nie tylko się uzupełniają, ale jak gdyby wzmacniają się wzajemnie, co w istotny sposób ułatwia rozumienie przekazywanych tekstów.

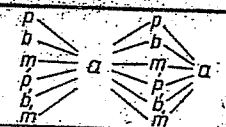
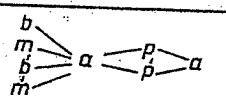
Tabela 8
Odbiór wzrokowy i wzrokowo-słuchowy

Utrata słuchu w decybelach (średnio dla częstotliwości 500, 1000 i 2000 Hz)	Odebranych tekstów	
	wzrokiem w %	wzrokiem i słuchem w %
90 - 99	79	89
100 - 109	81	94
110 - 119	64	80
tylko percepcja wibracyjna	53	69

Wyniki badań Van Udena z 1962 r. (wg A. Löwe, 1974) wskazują, że nawet przy bardzo znacznym ubytku słuchu, będącym głuchotą społeczną, odbiór wzrokowo-słuchowy przy zastosowaniu aparatu słuchowego daje wyraźnie lepsze efekty. Obrazuje to powyższa tabela wyników badań przeprowadzonych na znacznej liczbie dzieci i młodzieży z uszkodzeniem słuchu graniczącym z głuchotą (tab. 8).

Dla pełniejszego wyjaśnienia sprawy posłużymy się przykładem odbioru wzrokowego, słuchowego i wzrokowo-słuchowego wyrazu "mapa", składającego się z głosek wyróżnialnych wzrokiem, przyjmując równocześnie założenie, że osoba odbierająca informację może drogą słuchową wyróżnić jedynie opozycję dźwięczności (tabela 9).

Tabela 9
Przykład kompleksowego odbioru wyrazu "mapa"

	m a p a	
Odbiór wzrokowy:		36 rozwiązań w tym 4 sensowne: p a p a, b a b a, m a p a, m a m a
Odbiór słuchowy:	x — x — o — x	Przy rozróżnianiu tylko dźwięczności i bezdźwięczności liczba rozwiązań jest <u>praktycznie nieograniczona</u>
Odbiór wzrokowo-słuchowy:		8 rozwiązań w tym 1 sensowne: mapa

Klasyczny odbiór wzrokowy stwarza 36 możliwości rozszyfrowania tekstu, w tym 4 posiadające treść merytoryczną w języku polskim. Sam odbiór słuchowy dźwięczności i bezdźwięczności w izolacji nie stanowi żadnej wartości, ponieważ można tu podstawić ogromną liczbę sensownych wariantów odbioru (np. rosa, wata, rzeka, buty itd.), natomiast uzupełnienie odbioru wzrokowego "tłem słuchowym" ogranicza liczbę możliwości odbioru do ośmiu, z których tylko jedna (mapa) jest sensowna, a zatem komponenta słuchowa w tym przypadku w przybliżeniu 4-krotnie ułatwia zrozumienie słowa.

Można zatem sformułować stwierdzenie, że przy wzrokowo-słuchowym odbiorze mowy, strzępki informacji wzrokowych i słuchowych nakładają się na siebie i uzupełniają wzajemnie wzmacniając się. Dzięki temu zjawisku, przy dużych umiejętnościach i odpowiednich predyspozycjach psychofizycznych, można rozumieć bardzo wiele przekazywanych tekstów, pod warunkiem znajomości obrazów artykulacyjnych połączonych z subiektywnymi wrażeniami dźwiękowymi słów, występujących w tych tekstach, a więc pod warunkiem posiadania odpowiednio bogatego słownictwa. Zjawisko takie - wzajemnego wzmacniania się bodźców - znane jest w medycynie pod nazwą synergizmu i wydaje się celowe wprowadzenie tu terminu synergizm wzrokowo-słuchowy jako współdziałanie analizatorów wzrokowego i słuchowego w odbiorze informacji słownej oraz wzajemne wzmacnianie się bodźców odbieranych przez te analizatory.

Tego rodzaju bisensoryczna stymulacja daje istotne efekty nie tylko w porozumiewaniu się, ale również w początkowym okresie nauki języka dzieci ze znacznym uszkodzeniem słuchu. Ma ono również istotne znaczenie w pracy surdologopedy, szczególnie w okresie wstępnym, kiedy kontakt z dzieckiem jest utrudniony na skutek braku opanowania przez dziecko systemu językowego.

9. Język migowy jako substytut i uzupełnienie mowy oraz jego znaczenie dla porozumiewania się

Wśród środków porozumiewania się ludzi normalnie słyszących i mówiących występuje również gest. Pisze o tym tak S.L. Rubinstejn:

"... Na przykład gest wskazujący uzupełnia w sytuacji to, co nie zostało wypowiedziane lub nie zostało jednoznacznie

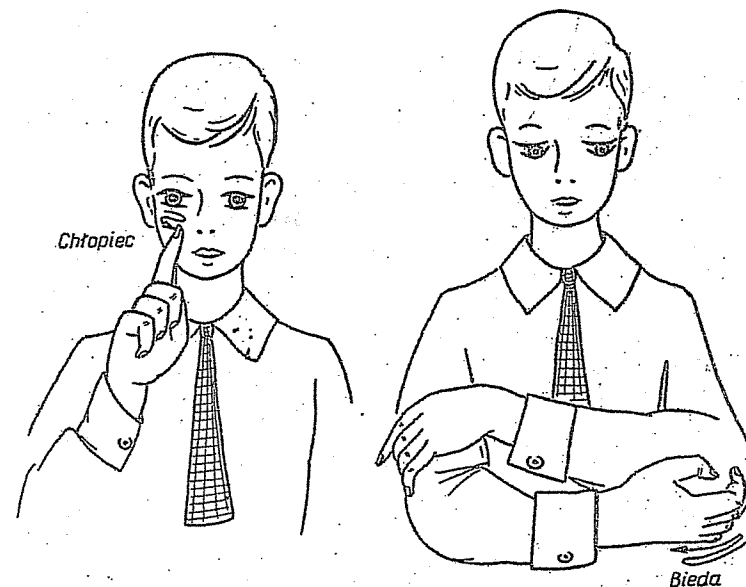
określone w kontakście mowy dźwiękowej. Gestem wyrazowym może człowiek nadać słowu szczególną ekspresję, a nawet nadać nowego zabarwienia znaczeniowej treści mowy dźwiękowej. W ten sposób także w mowie dźwiękowej zachodzi pewien wzajemny związek i wzajemne uzupełnianie się dźwięku i gestu, znaczeniowego kontekstu mowy dźwiękowej i mniej lub bardziej naocznej i wyrazistej sytuacji, w którą wprowadza nas gest. Słowo i sytuacja uzupełniają się zwykle wzajemnie, tworząc jakby jednolitą całość. (...) Gest ma w naszej mowie znaczenie jedynie pomocnicze i drugorzędne" (Podstawy psychologii ogólnej, 1962).

Inaczej wygląda sytuacja u osób z uszkodzonym narządem słuchu. Im większe jest uszkodzenie słuchu i im wcześniej ono powstało, tym większe znaczenie posiada gest - czasem w formie konwencjonalnych znaków języka migowego, czasem w formie uzupełniającej, przedstawiającej omawianą słownie sytuację w sposób bardziej obrazowy. Dla dorosłych osób głuchoniemych, u których mowa nie została w ogóle ukształtowana, gest naturalny lub sztuczny (w postaci znaków języka migowego) staje się jedynym środkiem kontaktu z otoczeniem. Rozwojowi tej formy porozumiewania się sprzyjają kontakty społeczne, w których dominują relacje niesłyszący-niesłyszący.

Ta niemal naturalna dla człowieka niesłyszącego forma szukania kontaktów z otoczeniem, jaką stał się na przestrzeni wieków język migowy kształtuje się u człowieka głuche w środowisku, w którym się wychowuje. Oznacza to, że rozwój języka migowego u poszczególnych jednostek przebiega w różny sposób i determinuje jego stereotyp myślenia, zasób pojęć, potrzebę wymiany myśli i szereg innych czynników i cech charakterologicznych.

Najprostszym sposobem przekazania myśli za pomocą gestu jest wskazanie przedmiotu myśli lub zainteresowań. Tak postępuje na przykład słyszące niemowlę, kiedy chce otrzymać jakąś zabawkę. Również często i ludzie dorośli używają w rozmowach gestów wskazujących (np. w odpowiedzi na pytanie "gdzie..."). Podobnie i w konwencjonalnych językach migowych niektóre pojęcia przestrzenne (np. "tu", "tam") określa się gestami wskazującymi. Gesty te jako najprostsze pojawiają się u głuchych dzieci najwcześniej i służą do wyrażania najistotniejszych w okresie wczesnego dzieciństwa potrzeb życiowych (jeść, pić, spać itp.), pozwalają wypowiedzieć się na temat otoczenia (przedmioty, meble, zabawki itp.).

Gestami takimi można przekazać życzenie (np. wskazać na siebie i na drzwi - "chcę wyjść"), a nawet swój stosunek do kogoś (np. wskazać na kogoś i na drzwi - "ochoć wyjść"), a nawet swój stosunek do kogoś (np. wskazać na kogoś i energicznie na drzwi - "idź przecz"). Rozwijający się w procesie życia i pracy osoby niesłyszącej sposób myślenia, nie mógł w procesie porozumiewania się ograniczyć się jedynie do gestów wskazujących. Zaczęły więc pojawiać się nowe elementy językowe - gesty określające własności przedmiotu - kształt, wielkość, ruch przy typowej czynności itp. I dziś również na tej właśnie zasadzie określanych jest wiele pojęć migowych. Zbiór tych wszystkich pojęć wyrażonych konkretnymi, ustalonymi w formie gestami określanymi ogólną nazwą języka migowego. Ścisłe - język migowy jest to zbiór znaków mimicznych lub pantomimicznych, określających poszczególne litery lub całe słowa (a czasem zwroty), przy czym elementem charakterystycznym dla danego znaku jest zarówno układ palców u obu rąk, układ samych rąk i całego ciała, jak również ruch, wchodzący w skład całości znaku.

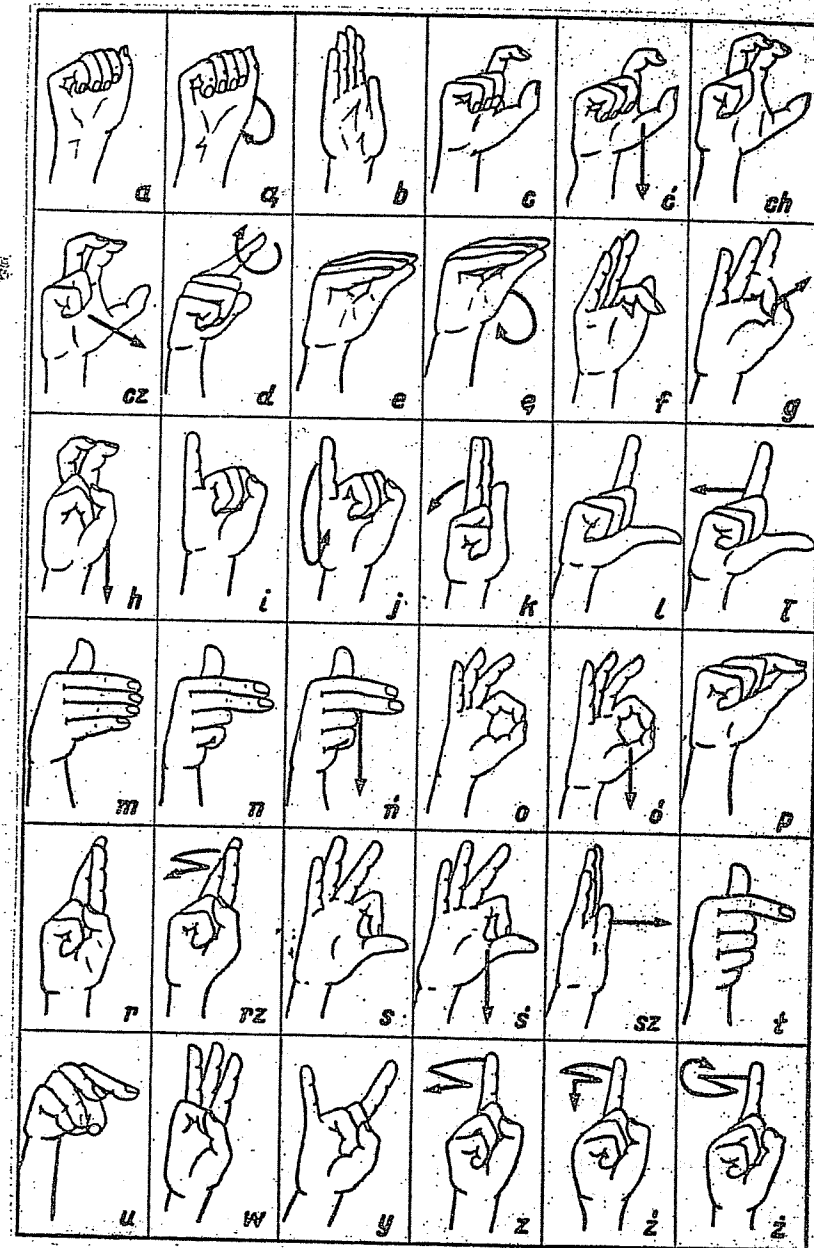


Rys.20. Znak ideograficzny polskiego języka migowego (rys. Jana Sikory)

Jak wynika z powyższej definicji, w języku migowym spotykamy nie tylko znaki określające całe pojęcia słowne (tzw. znaki ideograficzne - rys.20), lecz również znaki określające poszczególne litery (znaki daktylograficzne - rys.21). Rozwój tych drugich rozpoczął się w zasadzie w okresie ostatnich 200 lat, chociaż pierwsze wzmianki o stosowaniu alfabetu palcowego pochodzą z XIII wieku, od mnichów z zakonu cystersów.

Brak ścisłej współpracy międzynarodowej w zakresie porozumiewania się głuchych spowodował, że języki migowe, a w ich ramach także alfabety palcowe niesłyszących, w różnych krajach rozwijały się niezależnie od siebie. Należy jednak nadmienić, że w większości krajów rozwój języków migowych kontrolowany był przez szkoły dla głuchych ze względu na dość powszechną w nauce w XVIII i XIX wieku metodę migową i ustno-migową (jej prekursorem był twórca pierwszej na świecie szkoły dla dzieci głuchych, założonej w Paryżu w 1770 roku - opat Charles Michel de l'Épée). W wyniku tej samodzielności w działaniu poszczególnych grup etnicznych i narodowych ludzi głuchych, na przestrzeni wieków powstało wiele języków migowych, w których znaki ideograficzne (pojęciowe) w zakresie pojęć konkretnych były podobne, a czasem niemal identyczne (na całym świecie znaki pojęciowe powstają na bazie wizualnej - kształt przedmiotu, charakterystyczny ruch przy określonej czynności itp.), natomiast znaki alfabetów palcowych często w sposób zasadniczy różniły się od siebie.

Zdefiniowanie języka migowego jako zbioru znaków ideograficznych i daktylograficznych nie mówi jeszcze nic o posługiwaniu się tymi znakami. A umiejętność korzystania ze znaków języka migowego jest umiejętnością indywidualną i zależną od bardzo wielu czynników. Jako główne z nich należy wymienić: zasób posiadanych pojęć (słownych i migowych), wiek, w którym nastąpiła utrata słuchu (przed, czy po opanowaniu mowy), rodzaj ukończonej szkoły (dla głuchych, niedosłyszących czy słyszących), środowisko wieku dziecięcego (rodzina słysząca, rodzina głucha czy internat dla głuchych), wiek obecny, stan i ewentualne oprotezowanie resztek słuchu, kontakty zawodowe, społeczne i towarzyskie, miejsce zamieszkania (miasto czy wieś), aktualne środowisko domowe (słyszące czy głuche) i wiele innych, które w sposób oczywisty różnicują posługiwanie się znakami języka migowego. Sposoby operacji znakami określamy nazwą systemów języka migowego, wśród których wyróżniamy systemy migowe i system językowo-migowy.



Rys.21. Polski alfabet palcowy

Najbardziej rozpowszechnione w środowiskach ludzi niesłyszących są systemy migowe.

Systemy te, budowane przez wieki na bazie myślenia konkretno-wyobraźniowego i sytuacyjnego przetrwały do dzisiaj w niezmienionej niemal formie. Ich cechą charakterystyczną jest uproszczona gramatyka - nie występuje odmiana przez przypadki lub występuje w ograniczonym zakresie, ulegają zanikowi rodzaje, zmniejszona jest lub całkiem zanika rola i występowanie przyimków i spójników. W systemach migowych najczęściej głównym środkiem oznaczania stosunków syntaktycznych jest miejsce znaku w zdaniu, natomiast nie występują, lub występują w sposób przypadkowy zakończenia fleksyjne. W niektórych - bardziej prostych systemach migowych nie występuje wcale, lub występuje w minimalnym stopniu alfabet palcowy. Charakterystyczną cechą wypowiedzi w systemach migowych jest zdecydowana dominacja gestu nad mową. Mowa ustna nie występuje wcale, lub występuje w szczątkowej formie - artykulacji (czasem z fonacją) niektórych słów, natomiast głównym lub jedynym nośnikiem informacji są znaki języka migowego.

Co decydowało o powstawaniu takich właśnie, a nie innych uproszczonych struktur myślowych, zawartych w systemach migowych? Z jednej strony systemy te kształtowane były przez samo środowisko głuchych o niskim z reguły poziomie wykształcenia, a więc i słabej znajomości języka, z drugiej zaś sama specyfika inwalidztwa, a więc zdecydowanie dominująca rola bodźców wzrokowych. W szczególności ten drugi element powoduje tworzenie się u ludzi niesłyszących obrazu świata opartego na rzeczywistości "optyczno-ruchowej". Z tego też względu do niedawna jeszcze język migowy zawierał niewielką liczbę znaków (ok. 3 tysięcy), a przedstawienie sytuacji konkretnych w izolacji od systemu językowego nie wymagało tworzenia szczególnie skomplikowanych reguł gramatycznych. Systemy migowe, powstające przez wieki równolegle z systemem językowym, ale jednak obok i niezależnie od niego, uwarunkowane mniejszymi potrzebami środowiska, stały się systemami niefleksyjnymi, o ograniczonej budowie gramatycznej. Należy jednak podkreślić fakt, że przez długie wieki systemy te były wystarczające dla środowisk, którym służyły, nie istniała zatem u ówczesnych osób głuchoniemych wystarczająco silna motywacja do opanowywania systemu językowego.

W aspekcie współczesnego życia władanie jedynie mniej lub więcej uproszczonym systemem migowym rzutuje w zdecydowanie negatywny sposób zarówno na rozwój, jak i sytuację społeczną osoby niesłyszącej. Wytwarzający się na bazie systemu migowego stereotyp myślenia powoduje, że nawet mimo opanowania mechanicznej umiejętności czytania, pisanie i wymawiania poszczególnych słów, osoba niesłysząca myśląca systemem migowym nie jest w stanie, lub z wielkim trudem nawiązuje kontakt słowno-pojęciowy z otoczeniem składającym się z ludzi słyszących. Jej wypowiedzi zaś, tak w mowie, jak i w piśmie sprawiają ludziom słyszącym trudności w rozumieniu ze względu na nietypową dla nich składnię systemu. Innym ujemnym skutkiem myślenia systemem migowym jest trudność w rozumieniu prawidłowego języka polskiego przedstawionego w formie graficznej (książki, czasopisma). Różnice pomiędzy niektórymi bardziej prymitywnymi systemami migowymi, a systemem językowym są tak duże, że utrudniają, a często nawet uniemożliwiają osobie niesłyszącej zrozumienie treści książki mimo umiejętności czytania ze zrozumieniem poszczególnych słów.

Typowym przykładem spontanicznego powstawania kinestetyczno-ruchowych form porozumiewania się u dzieci głuchych są warunki w szkołach specjalnych i przedszkolach przeznaczonych dla tych dzieci. Jak już było wspomniane w rozdziale 5, w placówkach tych rozwijają się w naturalny i niekontrolowany sposób tzw. "nowy migowe" - prymitywne systemy migowe oparte częściowo na znakach języka migowego (przyniesionych z domu przez głuche dzieci głuchych rodziców), a częściowo na naturalnych i w naturalny sposób uzgadnianych w danym środowisku gestach, systemy bazujące na prymitywnej składni. Systemy te wywierają zdecydowanie negatywny wpływ na rozwój mowy i myślenia dzieci ze znacznym uszkodzeniem słuchu, stanowiąc czynnik hamujący motywację do mówienia, oraz utrudniający przyjęcie i zrozumienie reguł gramatycznych systemu językowego. Ta walka pomiędzy naturalnymi skłonnościami dziecka głuche do mowy migowej, a wpajany przez okres nauki szkolnej zasadami systemu językowego wraz z odpowiednią bazą słownikową doprowadza często do sytuacji, że absolwent szkoły dla głuchych włada mową, ale w oparciu o gramatykę swego własnego systemu migowego, mniej lub więcej odległego od polskiego systemu językowego, a równocześnie, na co dzień, w kontaktach z innymi niesłyszącymi, posługuje się znakami języka migowego w tymże systemie migowym. Ten sposób porozumiewania się jest stosowany tym chętniej, im

słabszy jest rozwój mowy czynnej i biernej, im bardziej uszkodzony jest słuch i im słabsze jest rozumienie mowy innych osób. Znaki języka migowego stanowią więc podstawowy środek porozumiewania się u osób głuchoniemych, natomiast środek uzupełniający u osób głuchych.

Ujemne skutki działania systemów migowych na rozwój myślenia u osób ze znacznym uszkodzeniem słuchu stanowiły od lat przedmiot niepokoju instytucji zajmujących się problematyką głuchoty. Pojawiające się coraz powszechniej na świecie tendencje do łączenia mowy z językiem migowym w nauczaniu i pracy kulturalno-oświatowej w środowisku dorosłych głuchych i głuchoniemych znalazły także swe odbicie w pracach na terenie Polski. Tak powstał tzw. system językowo-migowy, którego zasady w odniesieniu do języka polskiego zostały opublikowane po raz pierwszy w 1966 roku (Szczepankowski). System ten, będący systemem komunikacji totalnej zawiera w sobie w procesie nadawania i odbioru informacji wszystkie możliwe formy przekazu - mowę z wyraźną artykulacją i odpowiednią akustyką oraz przekazywane równoległe odpowiednie znaki języka migowego - daktylograficzne i ideograficzne. W ten sposób osoba odbierająca informację wykorzystuje równocześnie analizator wzrokowy i słuchowy, przy czym synergizm wzrokowo-słuchowy wzmacniany jest dodatkowo bodźcem kinestetyczno-ruchowym - znakami języka migowego. Zachowane tu zostają zasady gramatyczne języka polskiego, a gest stanowi jak gdyby ilustrację wypowiedzi słownej, z tym, że jest to ilustracja znacząca i ułatwiająca rozumienie tekstu metodą wzrokowo-słuchową. System językowo-migowy jest więc systemem fleksyjnym i opartym całkowicie na systemie językowym, a zatem zbudowany jest na bazie myślenia językowego. Poprzez zachowanie znaków języka migowego jest bliski człowiekowi głuchemu, wprowadzenie zaś elementu mowy ułatwia integrację ze światem ludzi słyszących. Połączenie dwóch linii przekazywania powoduje, że ten sam tekst jest przekazywany równocześnie dwoma sposobami. Mowa (lub w przypadku np. tłumaczenia dziennika telewizyjnego - wyraźna artykulacja) stanowi przy tym wiodącą formę porozumiewania się, natomiast linia gestu uzupełnia wymawiany tekst. Stałe stosowanie systemu językowo-migowego ma ponadto istotne znaczenie dla rozwoju prawidłowego językowego systemu myślenia oraz dla doskonalenia umiejętności odczytywania mowy z ust (I. Sołojowa i in., 1976).

Rozważania powyższe dotyczą w zasadzie osób z najpoważniejszymi uszkodzeniami słuchu - praktycznie głuchych i głuchoniemych. Interesujący zatem staje się problem - czy w praktyce logopedycznej, gdzie najczęściej spotyka się częściowe uszkodzenie słuchu oraz prawidłową organizację procesu rewalidacji można bądź należy wykorzystywać elementy języka migowego, czy też pozostać wzorem szkół dla dzieci głuchych wyłącznie przy mowie i jej wzrokowo-słuchowym odbiorze. Zdania na ten temat są podzielone. Szkolnictwo specjalne dla głuchych od ponad 100 lat bazuje na nauczaniu mowy, natomiast praktyka pracy z dorosłymi głuchoniemymi narzuca wręcz konieczność zastosowania bardziej efektywnego środka kontaktu, gdyż próby nawiązania kontaktu słownego po prostu zawodzą. Takim uniwersalnym - wykorzystującym i łączącym w sobie wszystkie środki przekazu równocześnie jest system językowo-migowy. Należy tu równocześnie zdecydowanie odróżnić prymitywne systemy migowe (ze szkolnymi "mowami migowymi" włącznie) od powstałego na bazie wieloletnich doświadczeń innych krajów systemu językowo-migowego, który zarówno w Związku Radzieckim, jak i w Stanach Zjednoczonych osobom praktycznie głuchym umożliwił zdobywanie średniego i wyższego wykształcenia. Czym innym jest bowiem zastępowanie mowy znakami, jak to ma miejsce w większości systemów migowych, a czym innym jej uzupełnianie znakami, jak w systemie językowo-migowym. Założenia te od kilkunastu lat realizowane są w praktyce w działalności dydaktycznej i społecznej w środowisku dorosłych głuchych i głuchoniemych w Polsce, spełniając istotne funkcje społeczno-wychowawcze w odniesieniu do tej grupy osób ze znacznym uszkodzeniem narządu słuchu.

Inaczej jednak należy traktować pracę logopedy z dzieckiem z uszkodzonym słuchem. Jeżeli wyniki pracy bez użycia kinestetycznych środków porozumiewania się można uznać za zadowalające, istnieje niebezpieczeństwo, że wprowadzenie elementów języka migowego może wpłynąć hamująco na rozwój odczytywania mowy z ust. Z drugiej strony, jeśli nie można osiągnąć pozytywnych rezultatów wyłącznie przy pomocy mowy, a dziecko już włada językiem migowym bądź ma rodziców głuchoniemych, wykorzystanie języka migowego, a przynajmniej jego daktylograficznych elementów może w istotny sposób ułatwić prowadzenie procesu rewalidacji. Przy padki pośrednie wymagają indywidualnego podejścia i decyzji. Jeśli jednak logopeda dochodzi do wniosku, że osiągnięcie lepszych rezultatów wykorzystując znaki języka migowego, winien rozpocząć od

znaków daktylograficznych - alfabetu palcowego i znaków określających liczby. Ewentualne wprowadzenie znaków ideograficznych do programu rewalidacji logopedycznej to odpowiedzialna decyzja, której skutki i efekty trudno przewidzieć w każdym indywidualnym przypadku. Zagadnienie to wymaga podjęcia stosownych prób i badań, których wyniki umożliwią wybór odpowiednich form pracy logopedy z dzieckiem z wadą słuchu.

LITERATURA

1. Alakrinskij W., Zritelnoje wosprijatije ustnoj rieczy, Leningrad 1979.
2. Bajnsztejn A.M., Wspomagatelnyje sriedstwa slucha, Izdatiels-two "Medicina", Leningrad 1972.
3. Bergeijk W., Pierce J., David E., Pale i ucho, WP, Warszawa 1961.
4. Bieltiukow W., Cztienje z gub foneticeskich elementow rie-zi, Moskwa 1967.
5. Bieltiukow W., Cztienje z gub, Moskwa 1970.
6. Bystrzanowska T., Audiologia kliniczna, PZWL, Warszawa 1963.
7. Bystrzanowska T., Wojnarowska Kulesza W., Atlas audiologiczny, PZWL, Warszawa 1967.
8. Checzinaszwili S., Woprosy audiologii, Tbilisi 1978.
9. Dłuska M., Fonetyka polska, Artykulacje głosek polskich, PWN, Warszawa - Kraków 1981.
10. Doroszevska J., Pedagogika specjalna, t.I,II, Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk 1981.
11. Drobner M., Instrumentoznawstwo i akustyka, PWM, Kraków 1980.
12. Essen O., Fonetyka ogólna i stosowana, PWN, Warszawa 1967.
13. Ewing I.R., O odczytywaniu mowy z ust i aparatach słuchowych. Tłum. M.Góralówna, PZG, Warszawa 1974.
14. Frisina R.D., Zaburzenia słuchu, w: Metody pedagogiki specjalnej, PWN, Warszawa 1973.
15. Gałkowski T., Kunicka-Kaiser I., Smoleńska J., Psychologia dziecka głuchego, PWN, Warszawa 1976.
16. Gałkowski T., Rehabilitacja dziecka głuchego w wieku przed-szkolnym, ATK, Warszawa 1973.
17. Geppertowa L.: Źródła trudności w przyswajaniu języka przez dzieci głuche, PWN, Warszawa 1968.
18. Golaehowski S., Drobner M., Akustyka muzyczna, PWM, Kraków 1953.

19. Góralówna M., Dziecko z trwałym kaleotwem słuchu, PZWL, Warszawa 1970.
20. Grzesik J., Bodźce akustyczne, PWN, Warszawa 1977.
21. Hoffmann B., Rewalidacja niesłyszących, PWN, Warszawa 1979.
22. Hulek A., Teoria i praktyka rehabilitacji inwalidów, PZWL, Warszawa 1969.
23. Jassém W., Podstawy fonetyki akustycznej, PWN, Warszawa 1973.
24. Jędrzejczak M., Podstawy teoretyczne wzrokowej percepcji mowy ustnej u dzieci głuchych, Acta Universitatis Wratislaviensis No 257, Wrocław 1976.
25. Josephs J.J., Fizyka dźwięku muzycznego, PWN, Warszawa 1970.
26. Kacprowski J., Zarys elektroakustyki, Wyd. Komunikacyjne, Warszawa 1960.
27. Kaczmarsk L., Nasze dziecko uczy się mowy, Wyd. Lubelskie, Lublin 1982.
28. Kirejczyk K., Ewolucja systemów kształcenia dzieci głuchych, NK, Warszawa 1967.
29. Kirejczyk K., Głusi, PZWS, Warszawa 1957.
30. Kowalski S., Rozwój mowy i myślenia dziecka, Analiza rozwoju mowy i myślenia w sytuacjach społeczno-wychowawczych przedszkole, PWN, Warszawa 1962.
31. Kugler R., Walczak W., Trening słuchowy u dzieci głuchych, "Otolaryngologia Polska" 1961, nr 4.
32. Levine E.S., Zaburzenia słuchu, w: Praktyka psychologiczna w rehabilitacji inwalidów, red. J.F.Garrett i E.S.Levine, PZWL, Warszawa 1972.
33. Lindner G., Podstawy audiologii pedagogicznej, PWN, Warszawa 1976.
34. Lipkowski O., Pedagogika specjalna, Zarys, PWN, Warszawa 1981.
35. Löwe A., Gehörlose, Ihre Bildung und Rehabilitation, Heidelberg 1974.
36. Löwe A., Mamo, naucz mnie rozumieć, PZWL, Warszawa 1981.
37. Miszczyk S., Elektroakustyka, WKiL, Warszawa 1969.
38. Mitrinowicz-Modrzejewska A., Akustyka psychofizjologiczna w medycynie, PZWL, Warszawa 1974.
39. Mitrinowicz-Modrzejewska A., Głuchota wiskiu dziecięcego, PZWL, Warszawa 1968.
40. Nurowski E., Surdopedagogika polska, Zarys historyczny, PWN, Warszawa 1983.

41. Pierce J.R., David E.E., Świat dźwięków, PWN, Warszawa 1950.
42. Rociński B., Poradnik fonetyczny dla nauczycieli, WSiP, Warszawa 1981.
43. Rodak H., Uwagi o organizowaniu i prowadzeniu zajęć logopedycznych w szkole zawodowej dla głuchych, Maszynopis w UW, 1978.
44. Rubinsztejn S.L., Podstawy psychologii ogólnej, KiW, Warszawa 1962.
45. Sapożkow M., Sygnał mowy w telekomunikacji i cybernetyce, WNT, Warszawa 1966.
46. Savić L., Citanje govora sa usta, Beograd 1969.
47. Siedlanowska-Brzosko H., Stawowy-Wojnarowska I., Wykorzystywanie aparatów w nauczaniu dzieci z wadami słuchu, WSiP, Warszawa 1975.
48. Sołojowa I. i in. (red.), Psychologia dzieci głuchych, WSiP, Warszawa 1976.
49. Steffen Batogowa H., Zarys rozwoju fonetyki akustycznej w Polsce, "Logopedia" 1971, nr 10.
50. Styczek I., Logopedia PWN, Warszawa 1979.
51. Sułkowski W., Problemy otolaryngologii w medycynie pracy, PZWL, Warszawa 1977.
52. Szczepankowski B., Inwalidztwo narządu słuchu a porozumiewanie się, "Problemy rehabilitacji zawodowej" 1978, nr 2 i 3.
53. Szczepankowski B., Język migowy, Wprowadzenie, ZW CRS, Warszawa 1974.
54. Szczepankowski B., Język migowy, Daktylografia, ZW CRS, Warszawa 1974.
55. Szczepankowski B., Oczy pomagają słyszeć, Podręcznik odczytywania mowy z ust, PZG, Warszawa 1973.
56. Szczepankowski B., Rola i znaczenie słuchu i wzroku w reedukacji logopedycznej dzieci głuchych i niedosłyszących, Maszynopis w UW, 1976.
57. Szczepankowski B., System językowo-migowy na kursach języka migowego I stopnia, ZW CRS, Warszawa 1966.
58. Taylor R., Noise, Harmondsworth 1975.
59. Tłokiński W., Mowa - przegląd problematyki dla psychologów i pedagogów, PWN, Warszawa 1982.
60. Wesołowski F., Zasady muzyki, PWN, Kraków 1980.
61. Wierzechowska B., Fonetyka i fonologia języka polskiego, Ossolineum, Wrocław 1980.

62. Wierzbowska B., Opis fonetyczny języka polskiego, PWN, Warszawa 1967.
63. Wierzbowska B., Struktura akustyczna dźwięków języka polskiego w świetle wyników współczesnych badań fonetycznych, "Logopedia" 1967, nr 7.
64. Witort A., Elektroakustyka dla wszystkich, WKiŁ, Warszawa 1978.
65. Żyszkowski Z., Podstawy elektroakustyki, WNT, Warszawa 1966.

WYKAZ RYSUNKÓW I TABEL

R y s u n k i

	str.
1. Wpływ ruchu tłoka na cząsteczki powietrza w rurze	13
2. Wpływ cyklicznych ruchów tłoka na cząsteczki powietrza w rurze	14
3. Wykres fali akustycznej drgania prostego	15
4. Wykres drgania złożonego z trzech drgań prostych	16
5. Drganie napiętej struny	17
6. Koło Savarta	22
7. Widma akustyczne	31
8. Drganie proste tłumione	32
9. Przekrój narządów mowy	33
10. Drgania tłumione i ich widma akustyczne	49
11. Widma akustyczne samogłosek polskich	50
12. Budowa narządu słuchu	58
13. Schemat przekroju narządu słuchu	60
14. Przekrój ślimaka	61
15. Przykład audiogramu	68
16. Schematy audiogramów tonalnych	71
17. Formanty dźwięków mowy słyszanej z odległości 1 m na skali audiogramu	72
18. Widma akustyczne samogłosek polskich (przeniesienie na skalę audiogramu)	73
19. Audiogram mowy	74
20. Znaki ideograficzne polskiego języka migowego	99
21. Polski alfabet palcowy	101

T a b e l e

1. Częstotliwości tonów oktawowych stroju fizycznego	25
2. Poziom natężenia niektórych dźwięków w decybelach	27
3. Głośność orkiestry	28
4. Skala głosów	35
5. Pasma formantów głosek	36
6. Obliczanie procentu ubytku słuchu	76
7. Kinemy i głoski wyróżnialne wizualnie	93
8. Odbiór wzrokowy i wzrokowo-słuchowy	96
9. Przykład kompleksowego odbioru wyrazu "mapa"	96