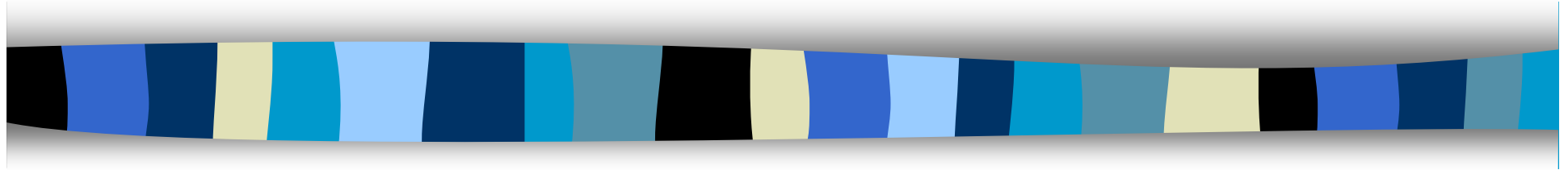


# Metody dopasowania protez słuchu – Diagnostyka i protetyka słuchu i wzroku



*Opracowanie:*

***dr inż. Piotr Suchomski, prof. B. Kostek***



# Cel

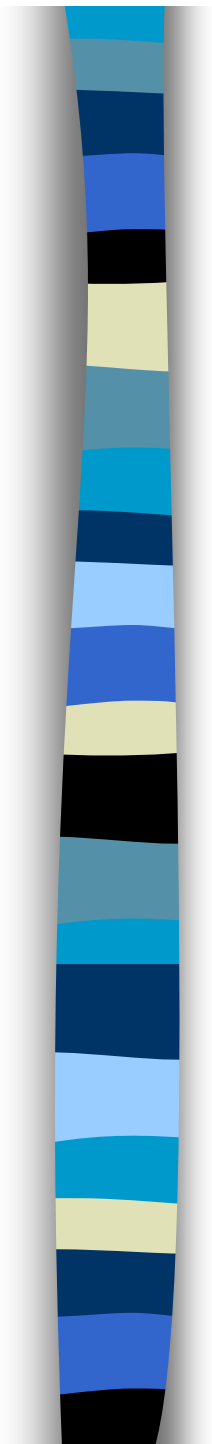
- Zasadniczym celem każdej metody dopasowania protez słuchu jest taki wybór urządzenia korygującego wadę słuchu oraz takie ustawienie jego charakterystyki, aby w możliwie optymalny sposób poprawić komfort słyszenia osoby niedosłyszącej, a w szczególności poprawić stopień rozumienia mowy;



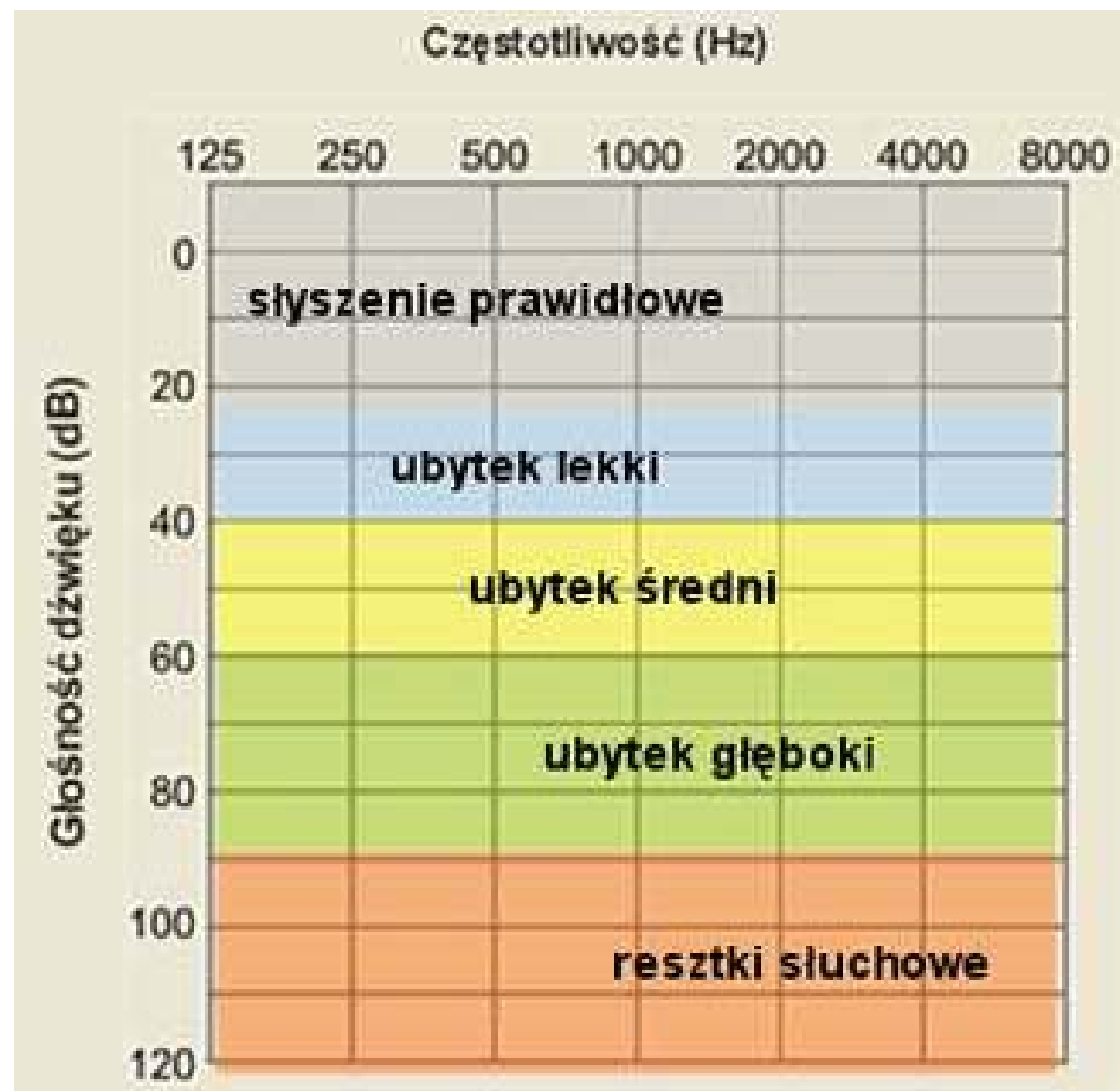
# Diagnostyka

- Dokładną diagnostykę słuchu przeprowadza się w specjalistycznych poradniach laryngologicznych bądź audiologicznych;
- Wybór i ustawianie aparatu słuchowego dokonuje protetyk słuchu;

# Rodzaje ubytku słuchu



# Wielkość ubytku słuchu





# Zasadnicze etapy dopasowania protez słuchu

- Wywiad z pacjentem (anamneza);
  - informacje na temat środowiska akustycznego, w którym żyje pacjent;
  - ocena stopnia inteligencji i zdolności manualnych pacjenta;
  - ocena oczekiwań pacjenta od wybieranej protezy słuchu.



# Zasadnicze etapy dopasowania protez słuchu

- Pomiar audiometryczny i testy audiologiczne uszkodzonego narządu słuchu;
- Wybór urządzenia oraz inicjalizacja jego ustawień na podstawie wyników pomiarów audiometrycznych uszkodzonego słuchu;
- Optymalizacja parametrów protezy słuchu;
- Weryfikacja skuteczności dopasowania protezy słuchu.



# Elementy procesu dopasowania protezy

- Parametry charakterystyki wzmocnienia w funkcji częstotliwości (punkt włączenia układów *automatycznej regulacji wzmocnienia (AGC)*, współczynnik kompresji, punkt włączenia układu zabezpieczającego PC);
- Odcisk wkładki usznej.





# Rodzaje metod dopasowania protez słuchu

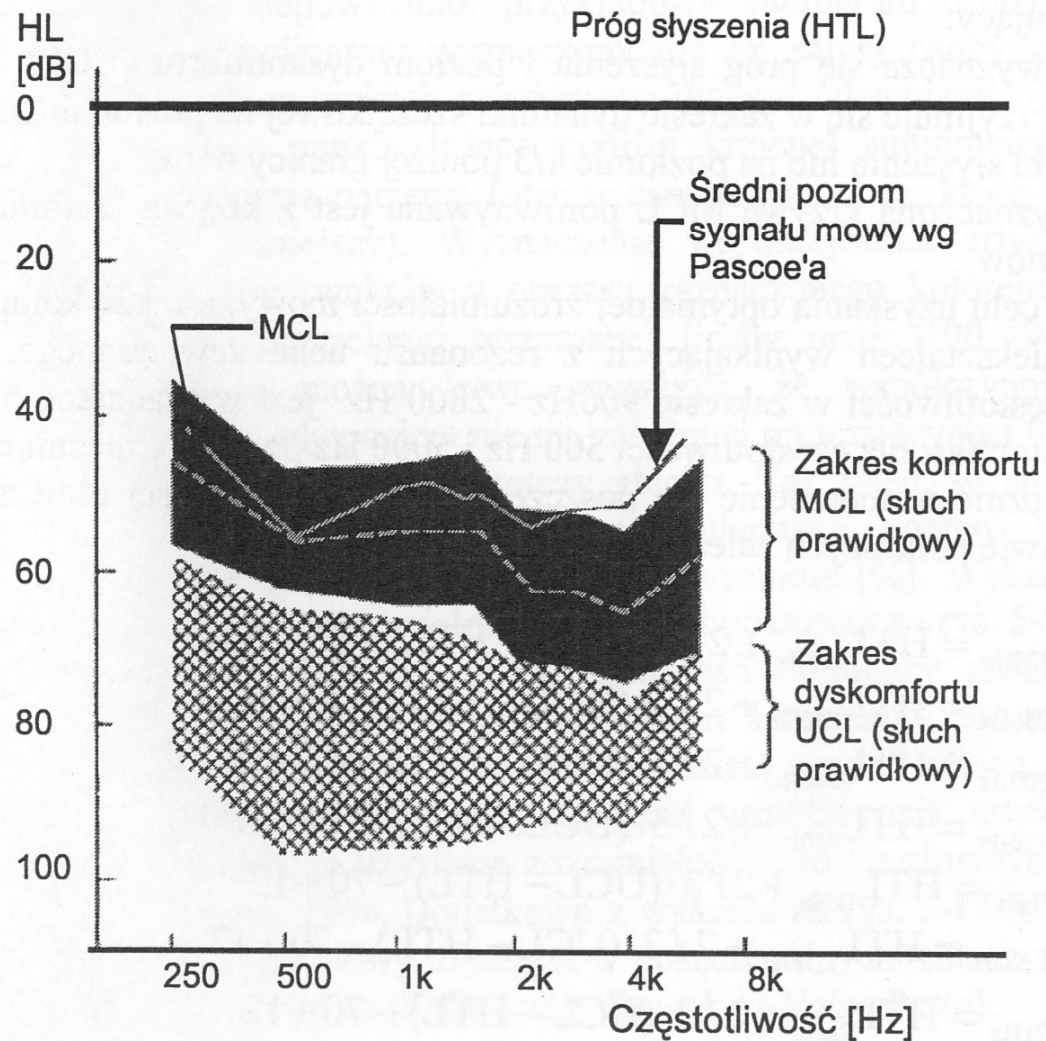
- Metody klasyczne oparte na wynikach audiometrii tonalnej;
- Metody oparte o wyniki skalowania głośności;
- Współczesne metody wykorzystujące zarówno wyniki pomiarów audiometrycznych, jak i zaawansowane techniki optymalizacji ustawień aparatu słuchowego.



# Wyniki audiometrii tonalnej

- Krzywa progowa słuchu w funkcji częstotliwości (ang. HTL – *hearing threshold level*);
- Poziom komfortowego słyszenia (ang. MCL – *most comfortable loudness level*) – poziom w funkcji częstotliwości, który określa komfortowy poziom dźwięku;
- Poziom niewygody słyszenia (ang. UCL - *uncomfortable loudness level*) – poziom w funkcji częstotliwości, który określa poziom dźwięku wywołującego wrażenie dyskomfortu lub wręcz bólu.

# Wyniki audiometrii tonalnej





# Metody klasyczne

- Metody klasyczne bazują na wynikach audiometrii tonalnej;
- Na ogół mają postać reguły matematycznej, której wynikiem jest wartość wzmocnienia skutecznego (IG);
- Parametrami wejściowymi tych metod są zazwyczaj:
  - próg słyszenia (HTL);
  - Wyznaczona bądź szacowana wartość poziomu MCL i UCL;
  - Informacja o rodzaju ubytku.



# Metody klasyczne

- Podstawą większości klasycznych metod dopasowania protez słuchu jest reguła tzw. połówkowej kompensacji ubytku słuchu (ang. *half-gain rule*), zdefiniowanej w latach 40. ubiegłego wieku przez Lybargera.



# Metody klasyczne

- Wśród metod klasycznych najbardziej rozpowszechnione można wyróżnić:
- *POGO;*
- *Bergera;*
- *Byrne'a i Tonnisona;*
- *NAL;*
- *Libby;*
- *Kellera.*



# Metoda POGO

- Jest modyfikacją metody połówkowej, która polega na zmniejszeniu wzmocnienia w zakresie niskich częstotliwości;
- Pomiar progu słyszenia (dla częstotliwości 250, 500, 1k, 2k, 3k, 4k, 6k[Hz]);
- Obliczenie wartości połówkowych progu słyszenia dla poszczególnych częstotliwości ( $THL' = 0,5THL$ );
- Wprowadzenie korekt dla niskich częstotliwości ( $THL'_{250} - 10$  dB.  $THL'_{500} - 5$  dB);



# Metoda POGO

- W przypadku ubytków słuchu większych niż 65 dB stosuje się poniższą regułę:
- $IG(f) = 0,5THL(f) - C + 0,5[THL(f) - 65]$
- Zapas wzmocnienia wynosi 10 dB;
- Maksymalny poziom wzmocnienia jest stały dla wszystkich częstotliwości i wynosi:
- $MPO = [UCL(500Hz) + UCL(1kHz) + UCL(2kHz)]/3$



# Metoda Kellera

- W metodzie tej wykorzystywana jest zależność między krzywymi: progową, MCL i UCL;
- Krzywa MCL jest interpolowana jako odległość  $2/3$  od progu słyszenia lub  $1/3$  od poziomu UCL;
- Przy czym nie ma ścisłej zależności między progiem słyszenia a poziomem MCL. Dla tych samych wartości progu słyszenia różnice poziomu MCL mogą wynosić nawet 25 dB.

# Metoda Kellera

- Metoda przebiega w następujących krokach:
  - wyznaczenie progu słyszenia i progu niewygody UCL;
  - interpolacja poziomu MCL;
  - wyznaczona krzywa MCL porównywana jest z krzywą izofoniczną 75 fonów;
  - w celu uzyskania optymalnej zrozumiałości mowy, a także kompensacji zniekształceń powodowanych rezonansem ucha zewnętrznego, pasma częstotliwości z zakresu 900 – 2800 Hz wzmacniane są o 12 dB;



# Metoda Kellera

- Wzmocnienie skuteczne dla poszczególnych pasm częstotliwości wyznacza się w oparciu o zależność:

$$IG_f = HTL_f + \frac{2}{3} \cdot (UCL_f - HTL_f) + P_f + X_f$$

- **gdzie:**  $P_f$  – wartość krzywej izofonicznej 75 fonów wyrażonej w dB HL;

$X_f$  – korekta etymologiczna (uwzględniająca skład widmowy sygnału mowy – rozkład współczynnika artykulacji w funkcji częstotliwości);

# Metoda Kellera

Częstotliwość [kHz]	$P_f$	$X_f$
0,125	-57	-30
0,25	-60	-15
0,5	-65	0
0,75	-68	5
1	-70	12
1,5	-70	12
2	-70	12
3	-70	12
4	-70	3
6	-70	-5



# Zalety i wady metod klasycznych

- Proste do obliczenia formuły matematyczne;
- Bazują tylko na pomiarach audiometrycznych, wykorzystujących przede wszystkim dźwięki sztuczne (tony, szумы);
- Nie wykorzystują wszystkich możliwości ustawień współczesnych cyfrowych aparatów słuchowych;
- Uwzględnianie tylko wartości progowych często prowadzi do ustawiania wzmocnień zbyt dużych dla „głośnych” dźwięków;
- Są mało skuteczne, zwłaszcza w przypadku ubytków typu odbiorczego bądź mieszanego;



# Metody skalowania

- Metody skalowania są metodami pomiarowymi, które pozwalają na ilościową ocenę wielkości wrażenia wywołanego danym bodźcem;
- Metody skalowania bazują na prawie Stevensa, zgodnie z którym wielkość cechy wrażenia rośnie proporcjonalnie do natężenia bodźca podniesionego do pewnej potęgi, której wartość zależy od rodzaju wrażenia i charakteru bodźca



# Metody skalowania

- **skala nominalna** – zadaniem badanego jest przyporządkowanie odbieranych bodźców do określonych grup bez określania zależności ilościowej. Jest to najmniej dokładna skala, o minimalnej zawartości informacyjnej;
- **skala porządkowa** – zadaniem badanego jest uporządkowanie odbieranych bodźców ze względu na określony parametr;
- **skala interwałowa** – pozwala określić zarówno porządek jak i odległość pomiędzy kolejnymi odbieranymi bodźcami słuchowymi, ale nie podaje punktu odniesienia (punktu zerowego);



# Metody skalowanie

- **skala stosunkowa** – pozwala określić zerowy punkt odniesienia. Określenie tego punktu pozwala wyrażać zależności pomiędzy wartościami przypisanymi ocenianym bodźcom za pomocą ilorazów tych wartości lub alternatywnie, za pomocą skali decybelowej. Skala ta pozwala uzyskać najwięcej informacji o ocenianych obiektach i zależnościach między nimi.





# Metody oparte o skalowanie głośności

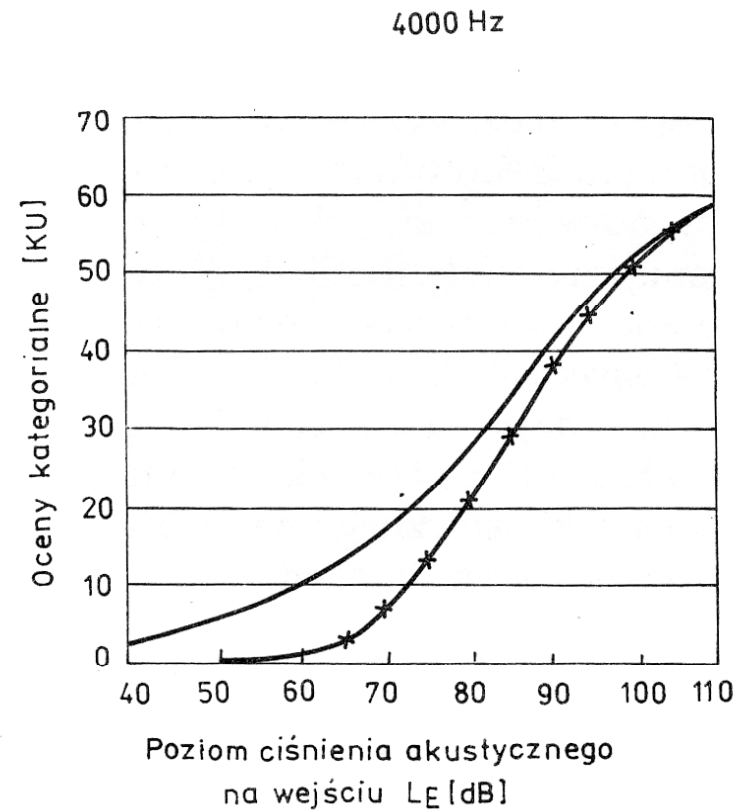
- Efektywność metod dopasowania protez słuchu opartych o wyniki skalowania głośności wynika głównie z analizy szerokiego zakresu wartości poziomu głośności sygnałów testowych.
- Metody te stosunkowo łatwo pozwalają wyznaczyć zarówno próg słyszenia jak i poziom wygody (MCL) oraz niewygody (UCL), co z kolei pozwala określić zakres dynamiki uszkodzonego słuchu. Wyniki pomiarów słuchu w oparciu o metody skalowania głośności na ogół pozwalają w bezpośredni sposób wyznaczyć charakter oraz wartość wzmocnienia skutecznego aparatu słuchowego.

# Metoda WHS

- Metoda WHS (metoda Wuerzburska);
- Pacjent ocenia wrażenie głośności szumowych sygnałów testowych z pasm częstotliwości o szerokości tercji w zakresie od 500 Hz do 6300 Hz i amplitudzie w zakresie od 20 dB do 90 dB SPL;
- Zadaniem pacjenta jest określenie wrażenia głośności za pomocą liczb z przedziału od 0 do 55, przy czym skala ta jest podzielona na 7 zakresów, odpowiadających ocenom kategoryalnym

# Metoda WHS

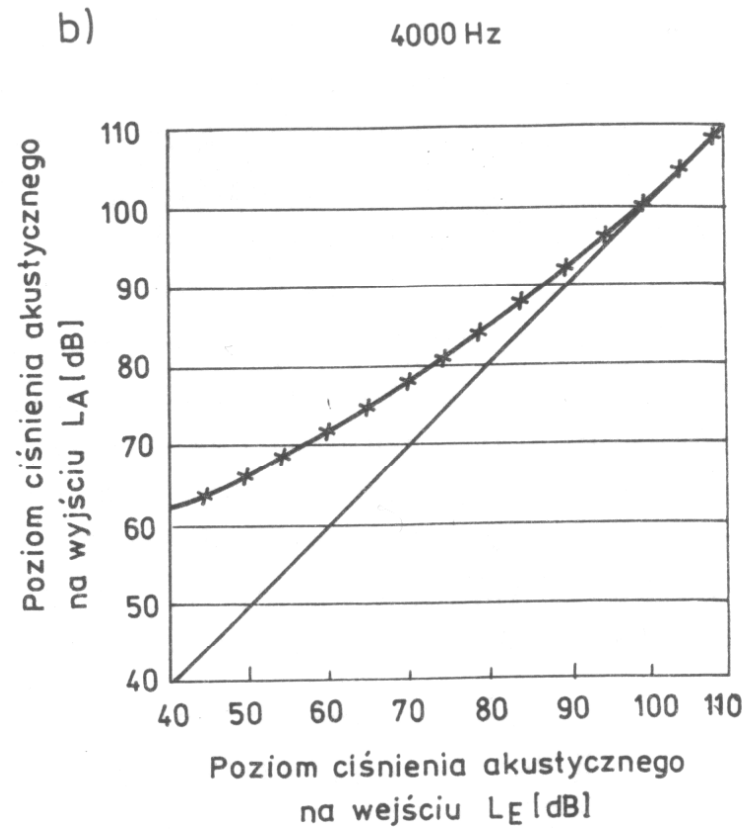
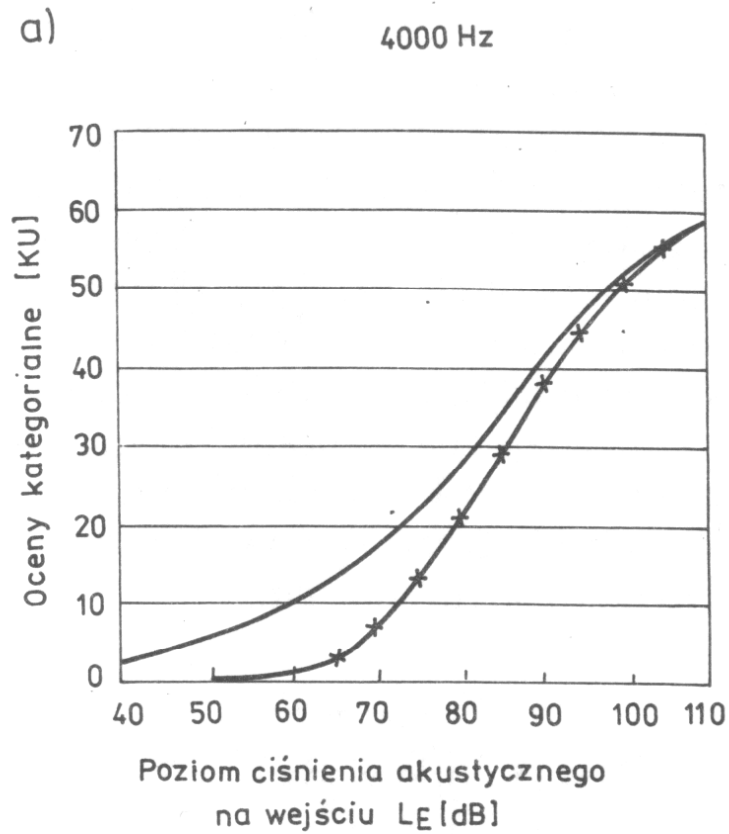
	53
boleśnie głośno	52
	51
	50
	49
	48
	47
bardzo głośno	46
	45
	44
	43
	42
	41
	40
	39
	38
głośno	37
	36
	35
	34
	33
	32
	31
	30
	29
	28
średnio głośno	27
	26
	25
	24
	23
	22
	21
	20
	19
	18
cicho	17
	16
	15
	14
	13
	12
	11
	10
	9
	8
	7
bardzo cicho	6
	5
	4
	3
	2
	1
nie słychać	0



# Metoda WHS

- Algorytm wyznaczenia wartości wzmocnienia przebiega w następujący sposób:
- niech wybrany sygnał testowy o poziomie  $A$  (wyrażony w dB) wywoła u pacjenta wrażenie słuchowe ocenione kategorią  $K_n$ ;
- natomiast osoba o słuchu prawidłowym ocenia to samo wrażenie słuchowe za pomocą kategorii  $K_n$  sygnał testowy o poziomie  $B$ ;
- aby sygnał o poziomie  $B$  wywołał u osoby z ubytkiem słuchu takie samo wrażenie słuchowe, jak u osoby o słuchu prawidłowym, należy go wzmocnić o wartość różnicy poziomu  $A$  i poziomu  $B$ ;

# Metoda WHS



— normalnie słyszący  
- \* - z uszkodzonym słuchem

# Metoda WHS

- Punkt włączenia układu PC w metodzie WHS wyznacza poziom sygnału, który wywołuje wrażenie słuchowe określane kategorią  $K_n = 50$  („boleśnie głośno”). Układ ten powinien chronić słuch danej osoby niedosłyszącej przed sygnałami o poziomie większym niż poziom włączenia układu PC.
- Stosunek zakresu poziomu MCL dla słuchu uszkodzonego i słuchu prawidłowego wyznacza zalecany stopień kompresji;

$$C_R = \frac{L_2 - L_1}{L'_2 - L'_1}$$

gdzie **licznik** dotyczy zakresu poziomu MCL dla słuchu prawidłowego ( $85 - 65 = 20$  dB);

**mianownik** odpowiada zakresowi poziomu MCL dla danego ubytku słuchu;

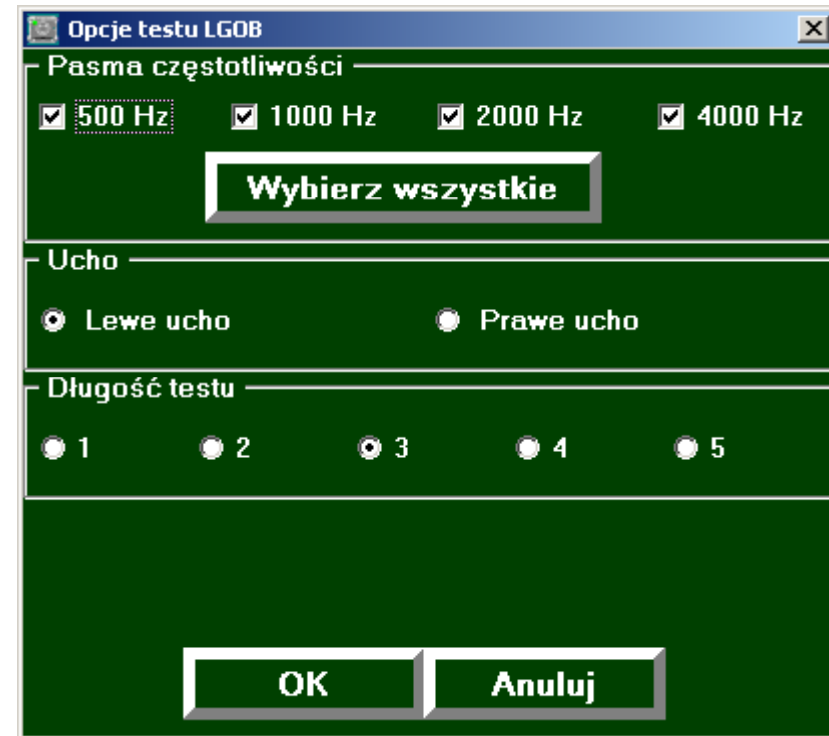


# Metoda LGOB

- Metoda LGOB (*ang. Loudness Growth in 1/2 Octave Bands*) opiera się na podobnej zasadzie skalowania głośności jak w metodzie WHS;
- Sygnały testowe mają postać szumu wąskopasmowego, przefiltrowanego w pasmach o szerokości pół oktawy i częstotliwościach środkowych: 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz i 4000 Hz;
- Amplituda sygnału testowego zmienia się w zakresie od 20 do 120 dB z krokiem 5 dB.

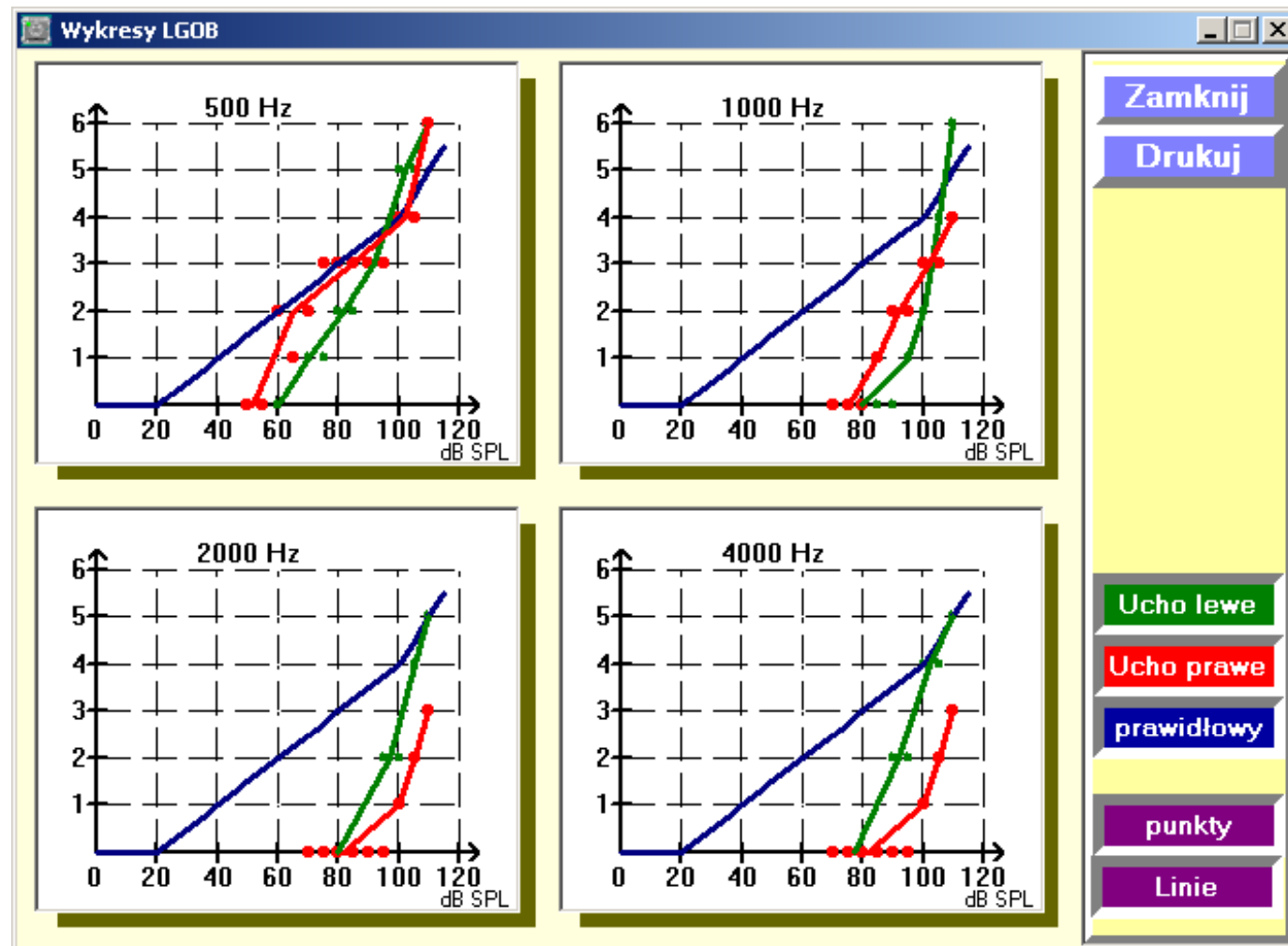
# Metoda LGOB

- Pacjent ocenia wrażenie głośności za pomocą 7 – punktowej skali kategoryjnej;





# Metoda LGOB





# Metoda LGOB

- Technika wyznaczania punktu włączania układów automatycznej regulacji wzmacnienia (AGC), punktu włączania układu ogranicznika (PC) oraz wartości zalecanego stopnia kompresji jest analogiczna jak w metodzie WHS.

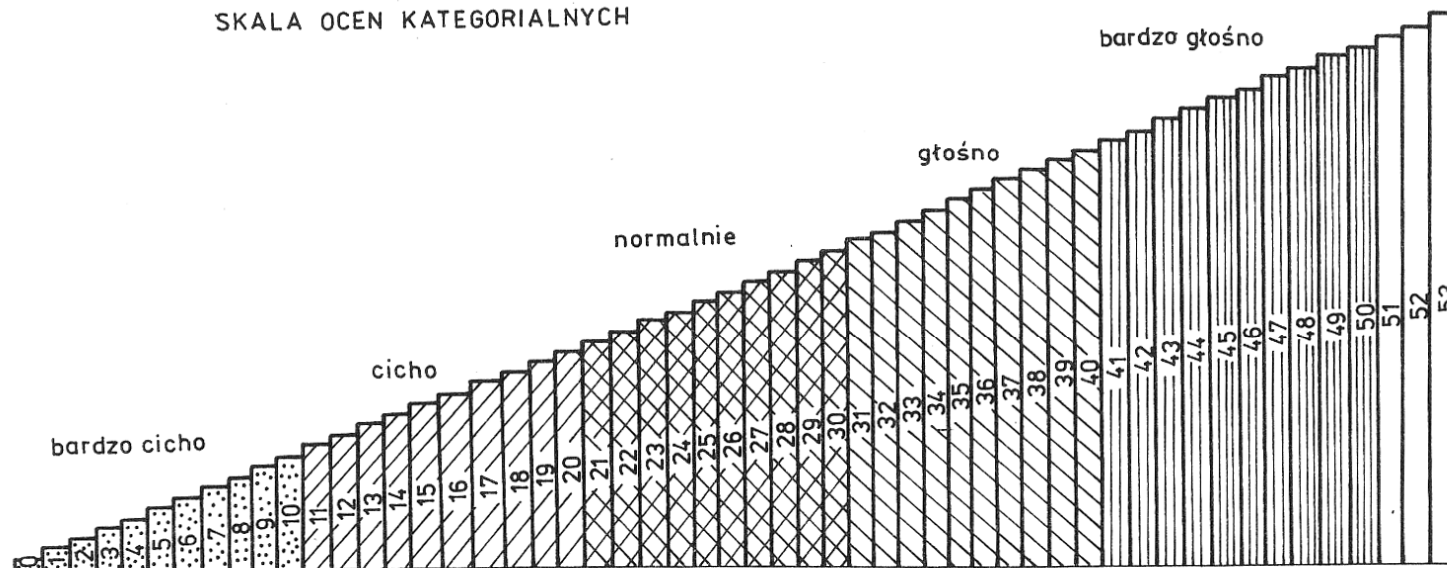


# Metoda HGJ

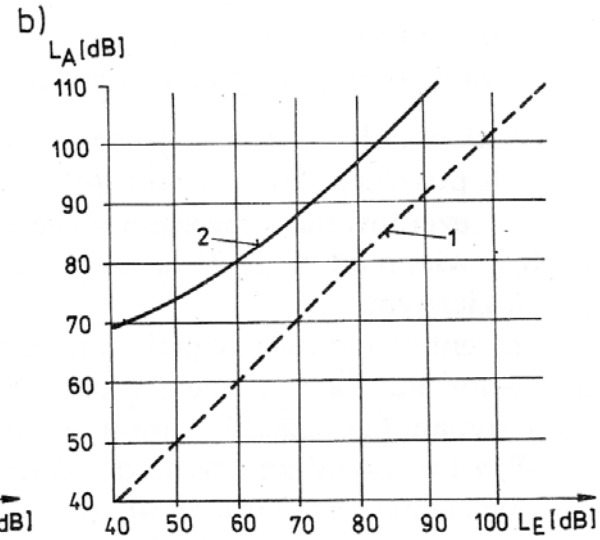
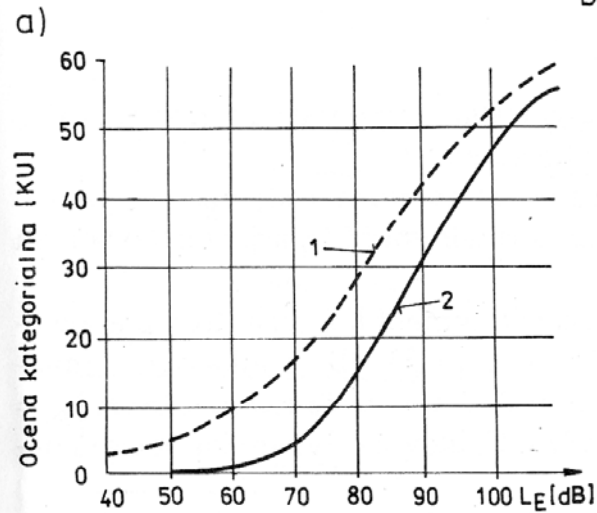
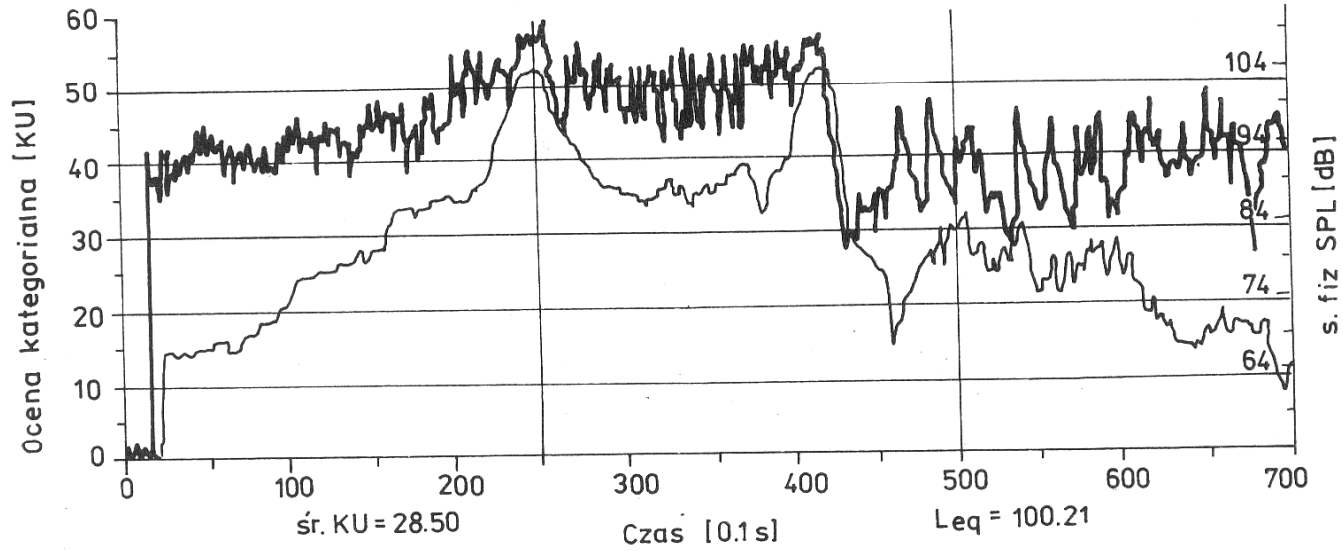
- Metoda HGJ (*Hojan Geers Jezierska*) bazuje na wynikach śledzenia zmian głośności dźwięków naturalnych na skali ocen kategorialnych. Zwykle jako sygnał testowy wykorzystywane są fragmenty muzyki symfonicznej. Ten gatunek muzyki charakteryzuje się dużym zakresem dynamiki;
- Sygnał testowy jest zapisany w postaci cyfrowej o częstotliwości próbkowania 44,1 kHz. Odsłuch sygnału odbywa się za pomocą słuchawek. Zadaniem pacjenta jest słuchanie sygnału testowego i śledzenie jego poziomu głośności za pomocą myszki, wskazując odpowiednie punkty na skali kategorii oceny wrażenia głośności.

# Metoda HGJ

SKALA OCEN KATEGORIALNYCH



# Metoda HGJ





# Metoda HGJ

- W metodzie HGJ wyznaczane parametry aparatu słuchowego dotyczą całego pasma częstotliwości;
- Poprzez analizę widma chwilowego sygnału testowego istnieje możliwość wyznaczania parametrów aparatu słuchowego również w zależności od pasma częstotliwości (0-500 Hz, 500-4000Hz, 4000-8000Hz);
- Technika obliczania parametrów aparatu słuchowego jest analogiczna jak w metodzie WHS i LGOB;



# Zalety i wady metod opartych o wyniki skalowania głośności

- Analiza całego zakresu słyszenia;
- Stosunkowo dokładne wyznaczanie dynamiki uszkodzonego słuchu;
- Wyniki dopasowania aparatów słuchowych na ogół są znacznie bardziej optymalne w porównaniu z wynikami metod klasycznych;
- Szczególnie przydatne w diagnozowaniu ubytków typu odbiorczego (problem wyrównywania głośności);
- Na ogół wymagają długiego czasu badania;
- Używają sztucznie generowanych sygnałów testowych.

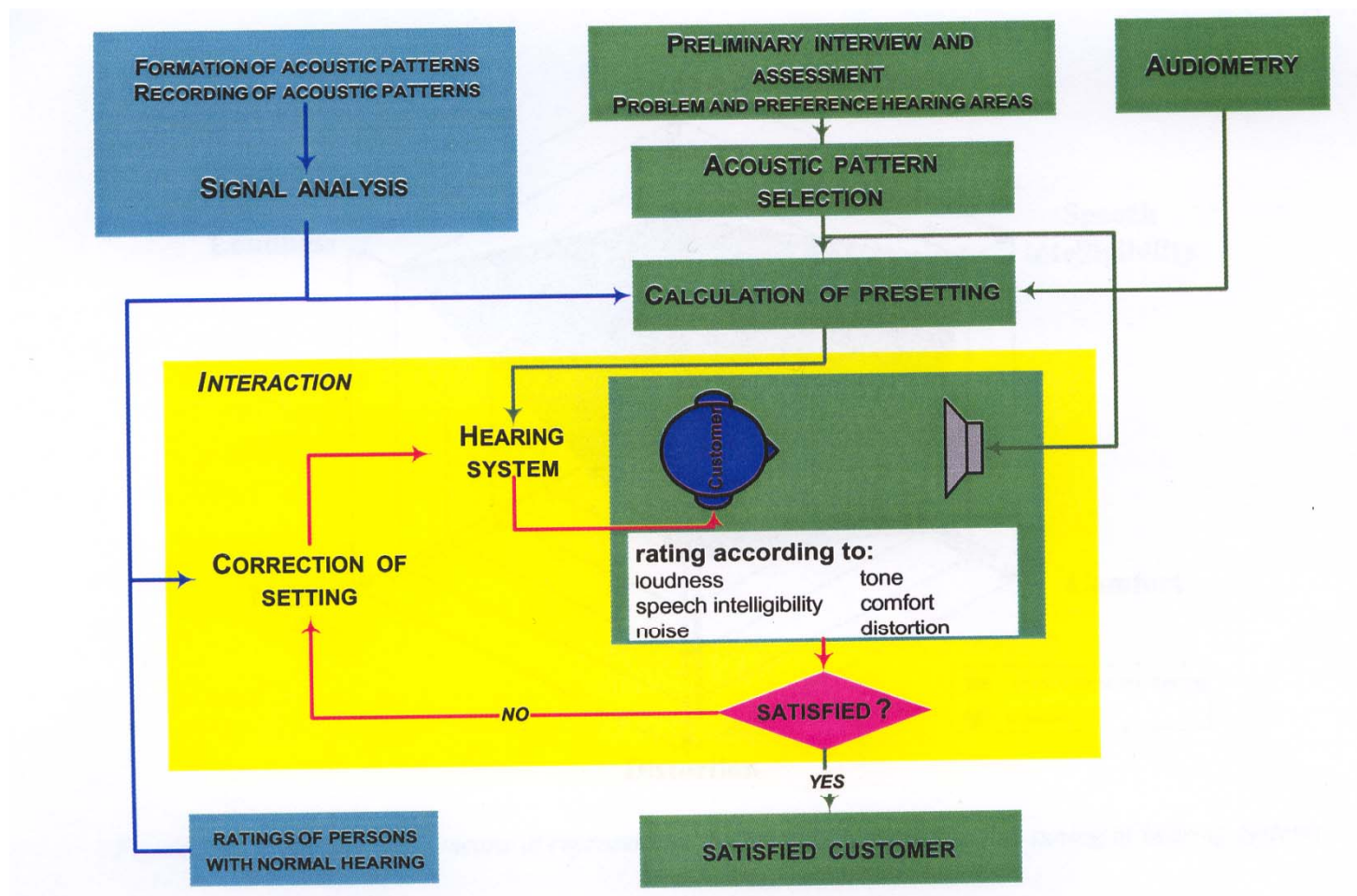


# Kierunek rozwoju metod dopasowania protez słuchu

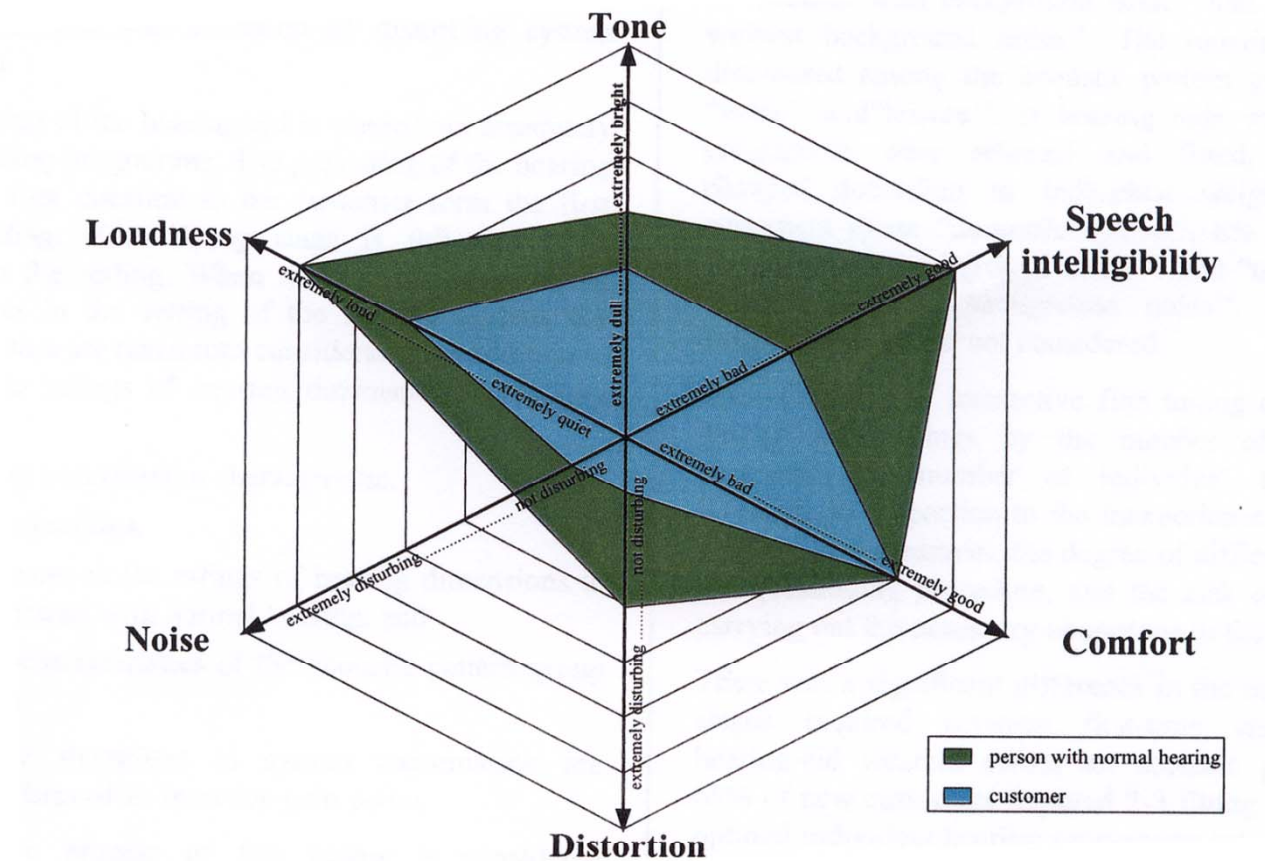
- Na początku procedury nacisk położony jest na określenie zbioru naturalnych sygnałów testowych przyjemnych i nieprzyjemnych dla pacjenta;
- Wykorzystywanie wyników pomiarów zarówno audiometrii tonalnej jak i skalowania głośności jako parametrów inicjalizujących wstępne ustawienie aparatu słuchowego;
- Znacznie większa interakcja pacjenta i systemu dopasowania protez słuchu (przyjazny interfejs, ekrany dotykowe ,itp.);
- Optymalizacja pod kątem poprawy rozumienia mowy i komfortu słyszenia naturalnych dźwięków otoczenia (eliminacja zakłóceń, szumów, korekta barwy itp.).

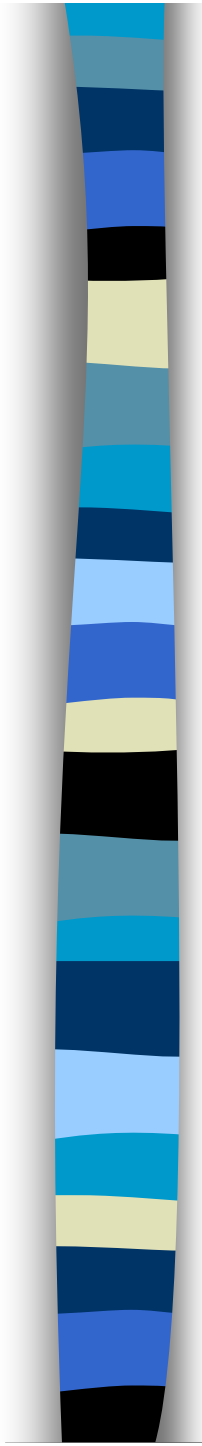


# Przykład algorytmu dopasowania aparatu słuchowego w metodzie A-Life



# Przykład algorytmu dopasowania aparatu słuchowego w metodzie A-Life





# Weryfikacja i adaptacja wyznaczonej charakterystyki aparatu słuchowego

- Mniejsze doświadczenie pacjenta w użytkowaniu aparatu słuchowego, przekłada się na dłuższy czas dopasowywania;
- Modyfikacja charakterystyki słyszenia powoduje, że pacjent zaczyna dostrzegać dźwięki, których wcześniej nie słyszał i których początkowo nie rozumie;
- Czas adaptacji do danej wyznaczonej charakterystyki może wynieść nawet kilka miesięcy;
- W celu weryfikacji ustawień aparatu słuchowego na ogół stosuje się audiometrię mowy w szumie;
- W celu adaptacji ustawień aparatu słuchowego pacjent jest poddawany szeregu treningom słuchowym.