

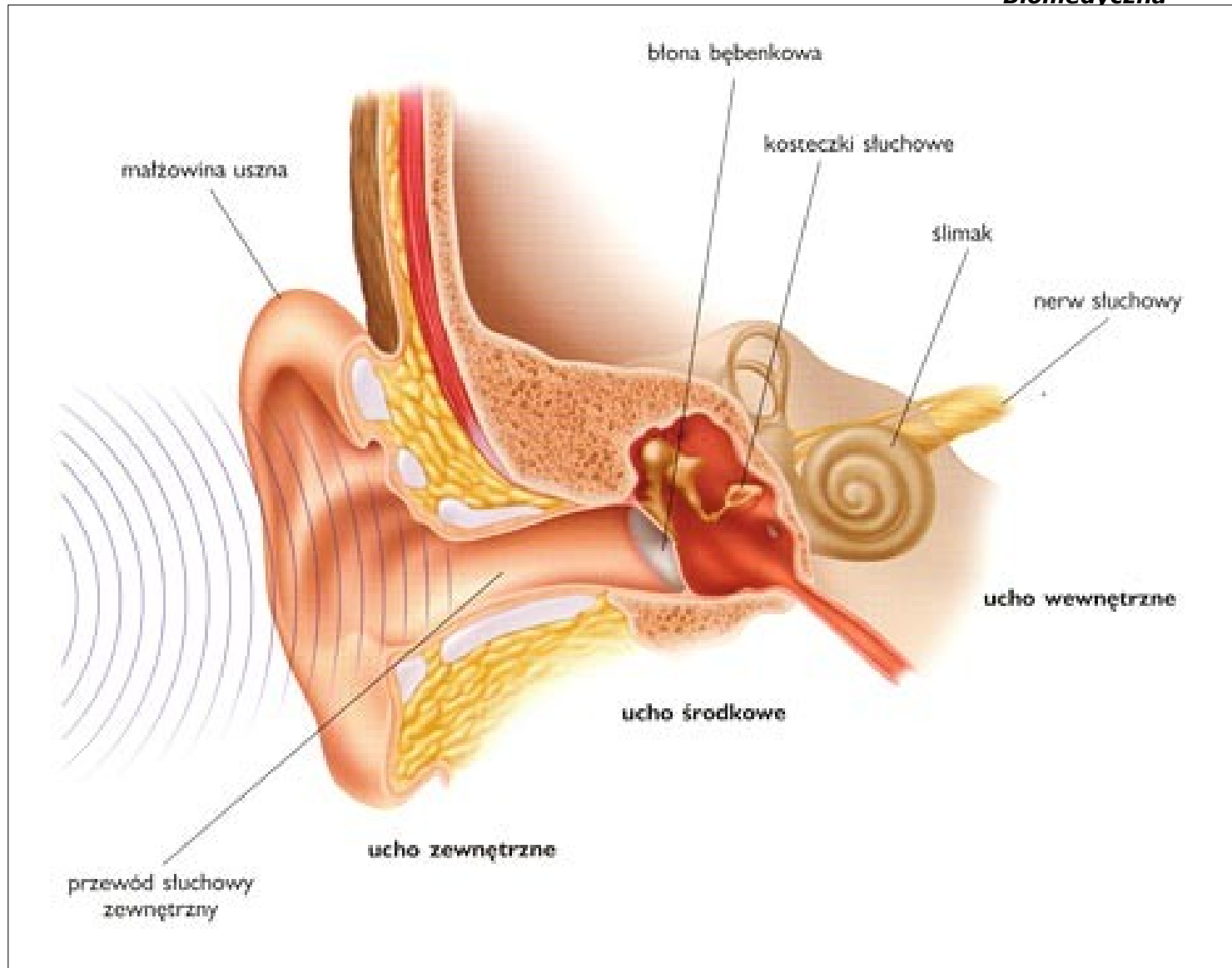
Dr hab. inż. Jerzy Wtorek, prof. nadzw. PG

Katedra Inżynierii Biomedycznej

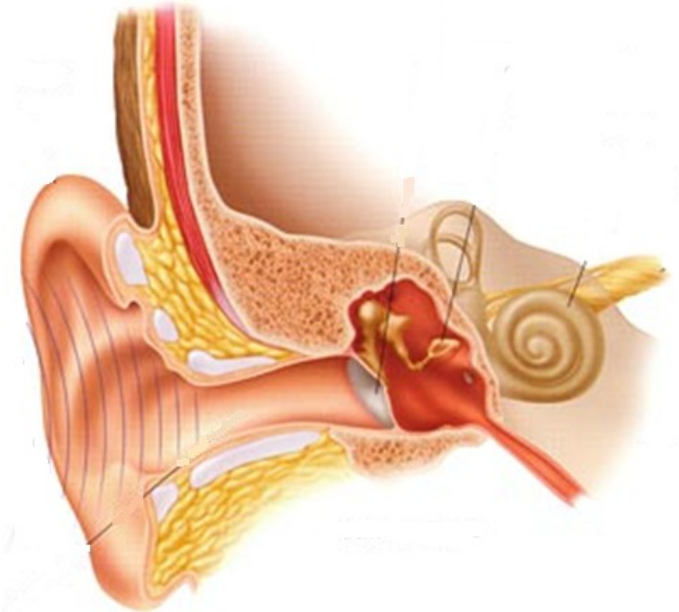
Pokój 229, tel. 13-84

jerzy.wtorek@eti.pg.gda.pl

Wykład 9



- Ucho zewnętrzne
 - Małżowina
 - Przewód słuchowy zewnętrzny
 - Powierzchnia błony
- Ucho środkowe
 - Błona bębenkowa
 - Jama bębenkowa
 - Trzy kosteczki słuchowe
 - Trąbka słuchowa
 - Powierzchnia zewnętrzna okienka owalnego
- Ucho wewnętrzne
 - Ślimak
 - Trzy kanały półkoliste
 - Nerw słuchowy



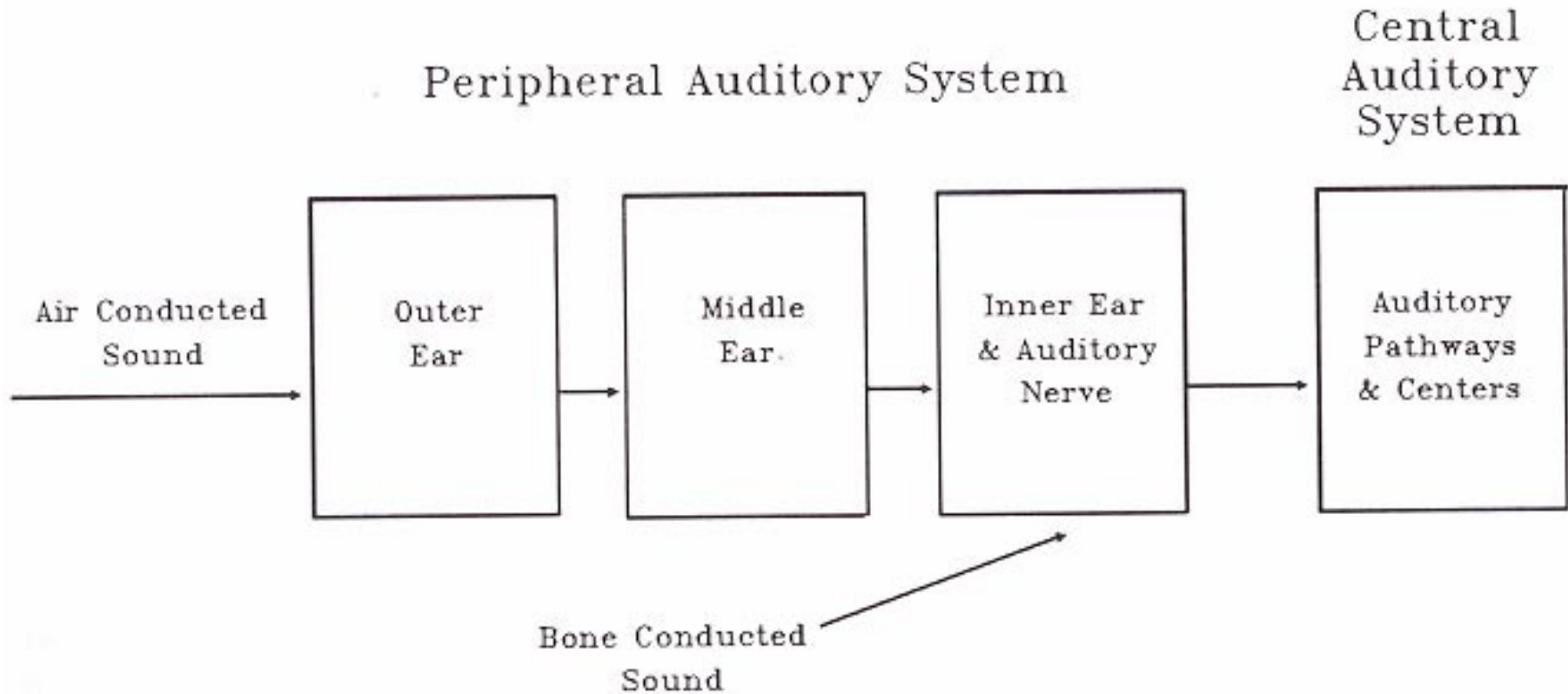


Figure 1. Schematicized pathways for air- and bone-conducted sound.

- Audiometria tonalna
- Audiometria słowna
- Immitancja akustyczna
- Emisja otoakustyczna
- Odpowiedź pnia mózgu
- Elektrokochleografia

Jest to metoda badania sprawności czynnościowej narządu słuchu, oparta na pomiarach i rejestrowaniu progów słyszalności w postaci wykresów (audiogramów tj. krzywych przewodnictwa) oraz wnioskowaniu z ich przebiegu o uszkodzeniach lub chorobach narządu słuchu.

- **subiektywne** - gdy pacjent potwierdza fakt słyszenia poszczególnych dźwięków podawanych przez badającego,
- **obiektywne** - gdy pacjent jest wyłączony z czynnego udziału a badania polegają na rejestracji potencjałów elektrycznych w układzie nerwowym (np. pniu i korze mózgu), a w najprostszym przypadku jest to obserwacja potencjałów elektrycznych na powierzchni czaszki w okolicy ośrodka słuchu,
lub też,
- **obiektywne** - gdy (**w tympanometrii**) wyznacza się impedancję akustyczną ucha wykorzystując do tego celu falę akustyczną odbitą od błony bębenkowej.

- **tonowa** (tonalną) - gdzie dźwiękiem testowym jest ton o określonej częstotliwości i poziomie,
- **słowna** - gdy z płyty lub taśmy są odtwarzane, na określonym poziomie ciśnienia akustycznego, specjalne zestawy wyrazów lub logatomów a ubytek słuchu określa się oceniając ich zrozumiałość lub wyrazistość.

- **powietrzna** (badanie przewodnictwa powietrznego, czyli transmisji dźwięku do ucha wewnętrznego przez ucho zewnętrzne i środkowe)
- **kostna** (badanie przewodnictwa kostnego, czyli transmisji dźwięku do ucha wewnętrznego za pośrednictwem drgań mechanicznych kości czaszki).



- **diagnostyka** - na podstawie której określa się stan słuchu i ewentualną przyczynę schorzenia,
- **kontrola** - na podstawie której ocenia się wyniki zastosowanej terapii,
- **klasyfikacja** - w której grupę ludzi dzieli się na podgrupy w zależności od wielkości i charakteru ubytku słuchu.

W audiometrii tonalnej, badanie słuchu polega na pomiarze, przy przewodnictwie powietrznym lub kostnym, ubytku słuchu dla tonów sinusoidalnych o różnych częstotliwościach.

- Powszechna
- Wykorzystuje czyste tony (sinusoidy)
- Test przewodnictwa powietrznego
 - Częstotliwości oktawowe
 - Częstotliwości międzyoktawowe
- Testy przewodnictwa kostnego

Ubytek słuchu U_s (dla danej częstotliwości przy przewodnictwie powietrznym), **zdefiniowany jest jako różnica w decybelach między poziomem ciśnienia akustycznego odpowiadającego osobie badanej, a poziomem ciśnienia akustycznego odpowiadającym**

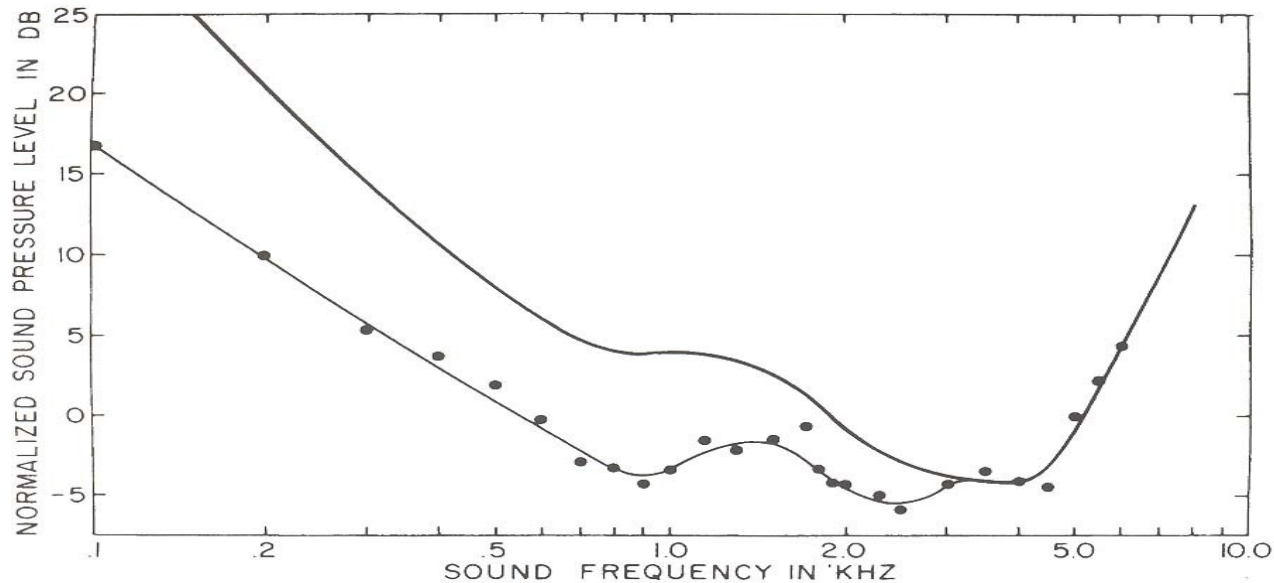
$$U_s = 20 \log p/p_n$$

- p – poziom ciśnienia akustycznego, dla danej częstotliwości, odpowiadający progowi słyszalności badanej osoby,
- p_n – poziom ciśnienia akustycznego, dla danej częstotliwości, odpowiadający **normalnemu** progowi słyszalności.

- Jednostki audiologiczne
 - dB SPL (ang. sound pressure level)
 - dB HL (ang. hearing level)
 - dB SL (ang. sensation level)
- Audiometryczne 0 dB (zerowy poziom odniesienia) najśłabszy, uśredniony sygnał jaki słyszą młodzi ludzie

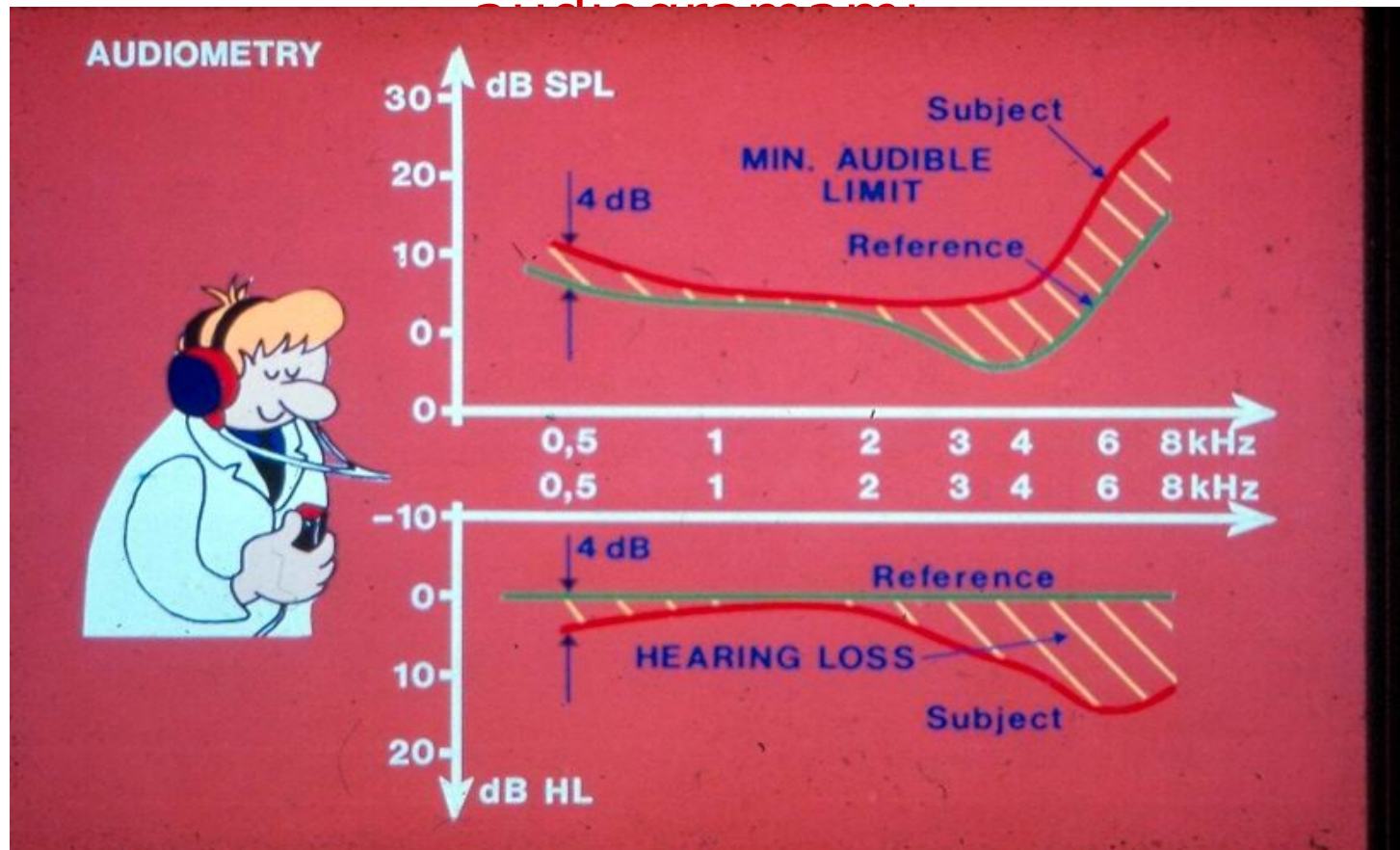
- Normalny
 - 0 - 20dB
- Mały
 - 20 - 40dB
- Średni
 - 40 - 60dB
- Duży
 - > 60 dB

- Widmo słyszenia przez człowieka 20- 20,000Hz.
- Czułość różnicowa
 - 125Hz : 45dB
 - 1000Hz: 6.5dB
 - 10,000Hz: 20dB



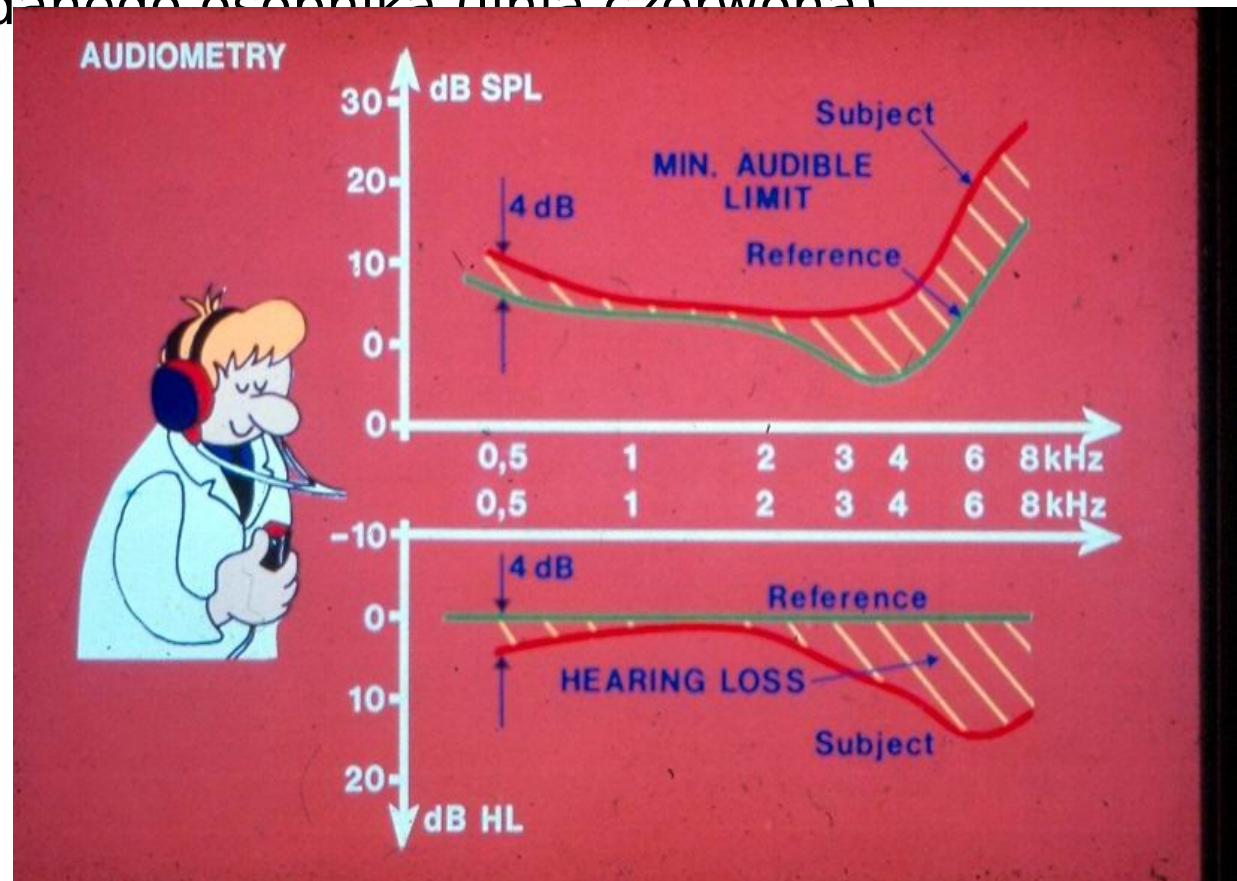
Ubytek słuchu dla przewodnictwa kostnego jest definiowany w podobny sposób, lecz wielkościami porównywanymi nie są poziomy ciśnienia akustycznego, ale poziomy przyśpieszeń kości mastoidu (wyrostka sutkowatego) odpowiadające progowi słyszalności dla danej częstotliwości osobnika badanego i normalnemu progowi częstotliwości.

Wartości ubytku słuchu, zmierzone dla wybranych częstotliwości, mogą być przedstawiane w układzie bezwzględnym i względnym, na wykresach zwanych



Na górnym wykresie mamy układ bezwzględny. Mamy na nim pokazaną dolną granicę słyszalności (linia zielona), uzyskaną w wyniku pomiarów statystycznych odpowiednio licznej grupy zdrowych osobników, oraz dolną granicę słyszalności otrzymaną dla badanego osobnika (linia czerwona)

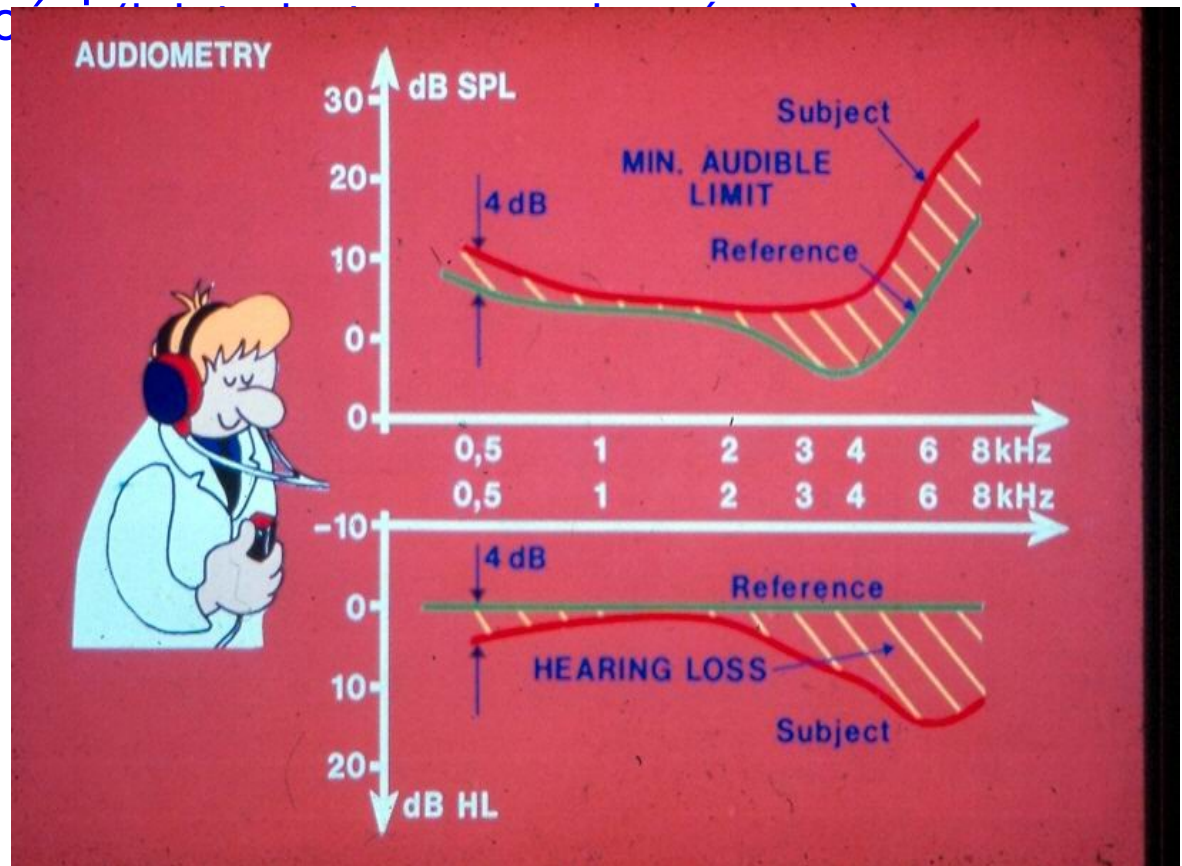
- Na wykresie, wartości ciśnień akustycznych odpowiadające progom słyszenia dla poszczególnych częstotliwości określone są oczywiście w odniesieniu do 2×10^{-5} Pa.
- Ubytkiem słuchu jest różnica między wartościami poziomu ciśnienia akustycznego dla każdej z częstotliwości na obu krzywych.



Na rysunku dolnym, dolna granica słyszenia normalnego będąca odniesieniem narysowana jest jako linia prosta, a wartość ubytku słuchu można tu odczytać wprost na osi rzędnych w decybelach, a nie jako różnicę między dwoma wartościami dla danej częstotliwości.

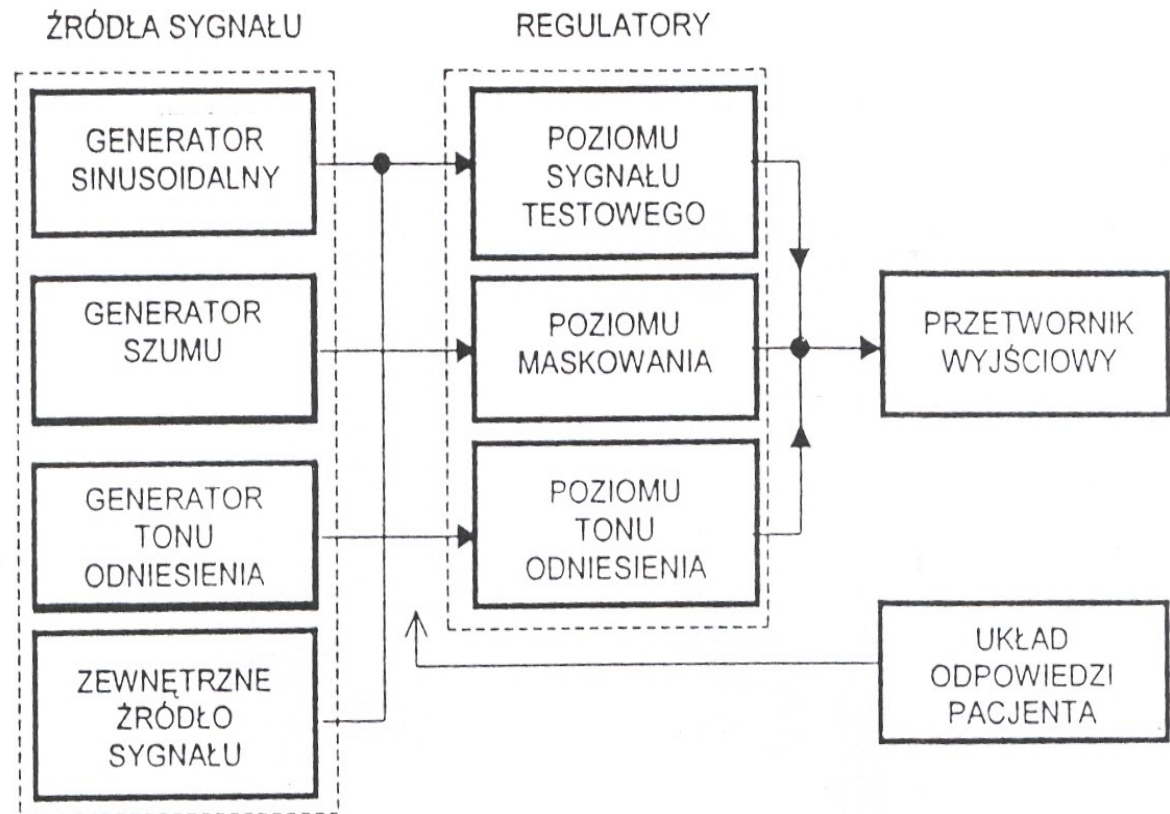
Wprowadzone oznaczenie **dB HL** wyraża „**ubytek słuchu**” (Hearing Loss) w dB HL.

Określane jest ono również jako „**poziom słyszenia**” (Hearing Level), także w dB HL.

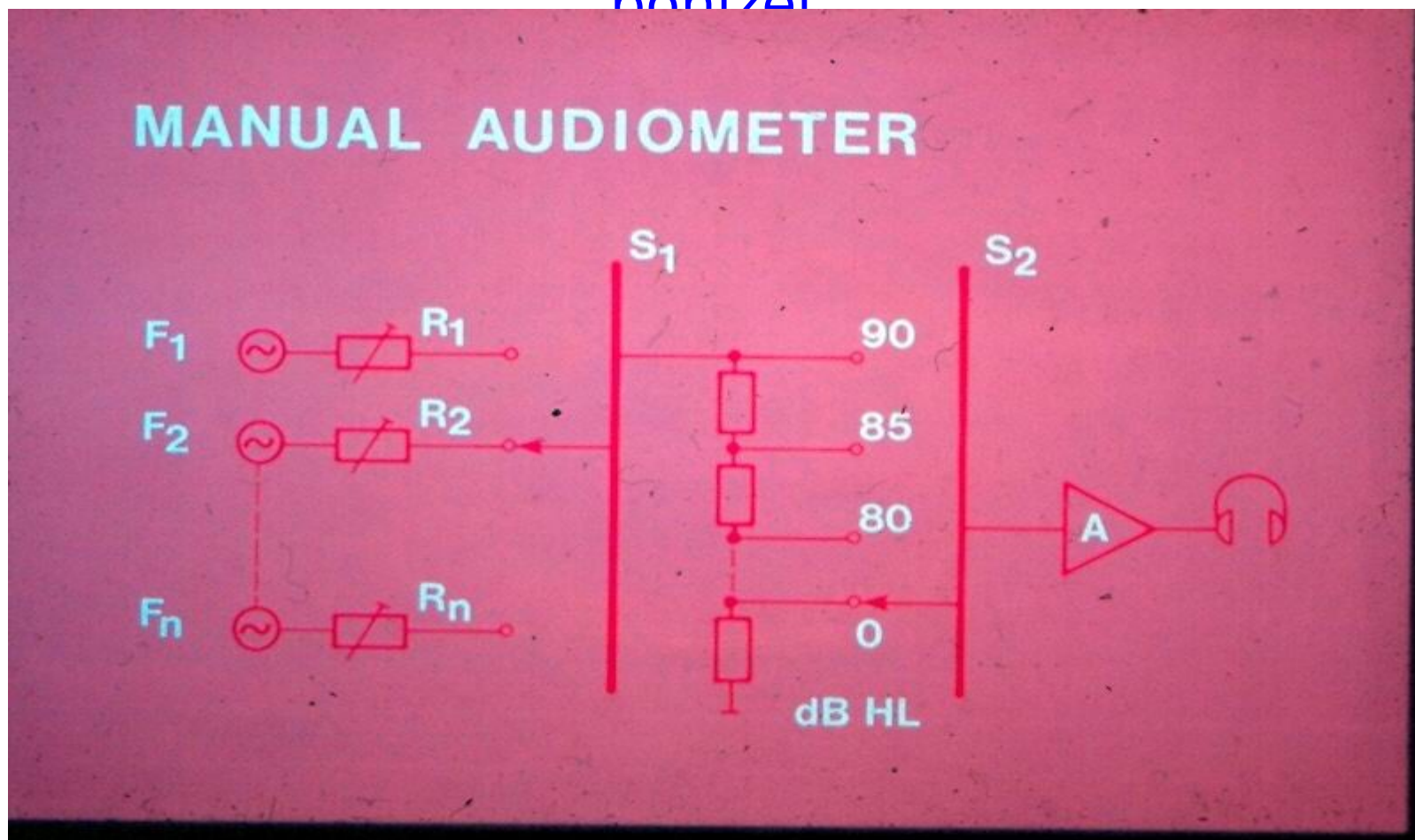


Ostatecznie, w układzie względnym, audiogram przedstawia linię łamaną łączącą punkty określające ubytki słuchu dla poszczególnych wybranych częstotliwości wyrażone w **dB HL** czyli wartości progowe ciśnienia akustycznego, odniesione do progu słyszenia normalnego dla każdej z tych częstotliwości i wyrażone w mierze logarytmicznej.

- Każdy audiometr składa się z czterech podstawowych elementów (źródła sygnału pomiarowego, regulatorów poziomu sygnału, przetwornika wyjściowego i układu odpowiedzi pacjenta) pokazanych obok w postaci układu blokowego.



Układ elektryczny prostego audiometru ręcznego, ale bez układu odpowiedzi słuchacza, pokazany jest poniżej



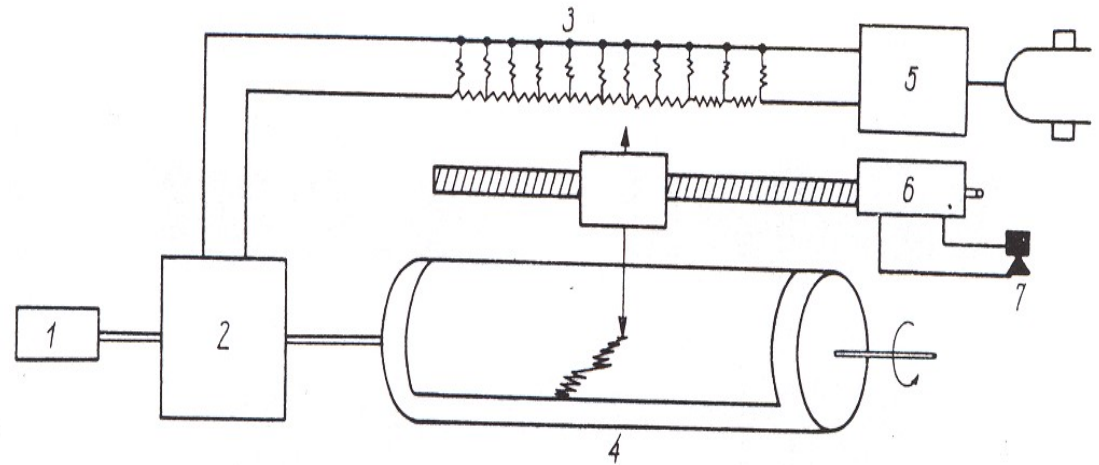
Przy użyciu najprostszego układu audiometru jest na ogół pełna współpraca słuchacza z operatorem. Słuchacz może jednak również sam mierzyć swój słuch i sam zaznaczać na audiogramie wynik każdorazowego pomiaru.

Audiogram, może być zdjęty i dla każdego ucha zanotowany na osobnym wykresie, lub też, przy naniesieniu na tym samym wykresie zaznaczony odmiennym kolorem, lub odmiennym oznaczeniem punktów (np. „+” lub „0”).

Audiometr automatyczny zwalnia obsługę z konieczności notowania odpowiedzi pacjenta i umożliwia jej automatyczny zapis na audiogramie przez cały czas badania.

- Najprostszym zautomatyzowanym komputerem jest taki w którym rylec pisaka opada na arkusz audiogramu w momencie zasygnalizowania przez słuchacza usłyszenia sygnału.
- Skoki takiego audiometru mogą być nawet 5. decybelowe.
- Wada, to bezwładność mechaniczna pisaka i płynąca stąd niedokładność zapisu.

- 1 - silnik zmiany częstotliwości
- 2 - generator sinusoidalny
- 3 - potencjometr logarytmiczny
- 4 - bęben rejestratora
- 5 - korektor
- 6 - silnik zmiany poziomu ciśnienia akustycznego
- 7 - przycisk

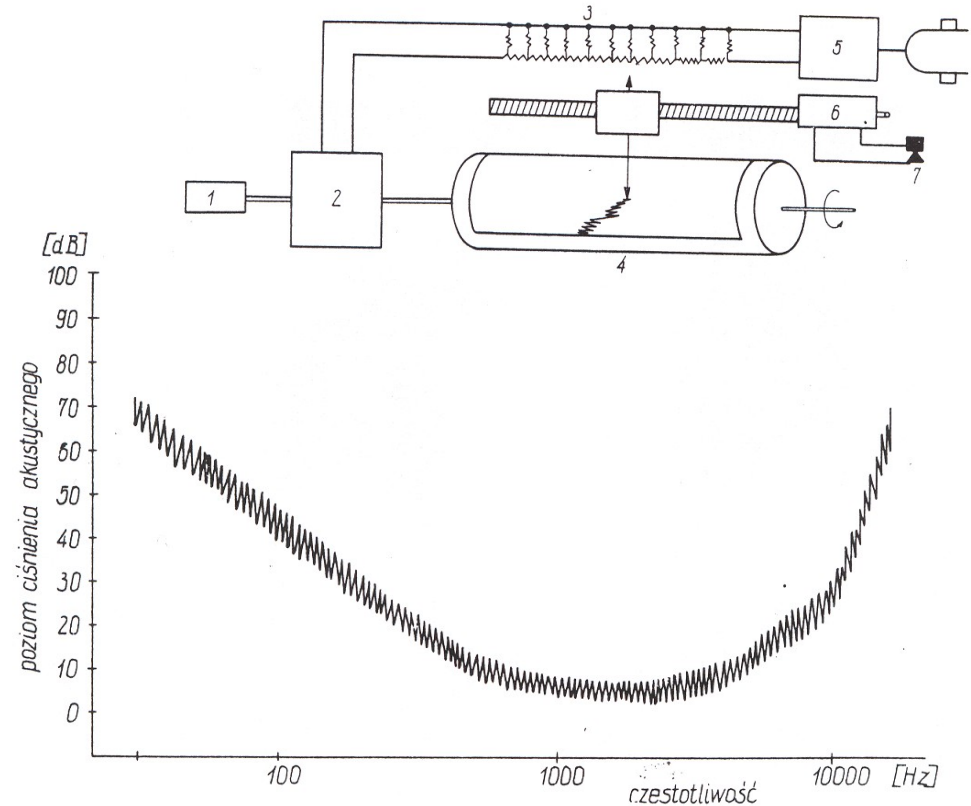


Pierwszy audiometr automatyczny z zapisem ciągłym (ciągła zmiana częstotliwości i poziomu) zaproponowany przez Bekesy'ego.

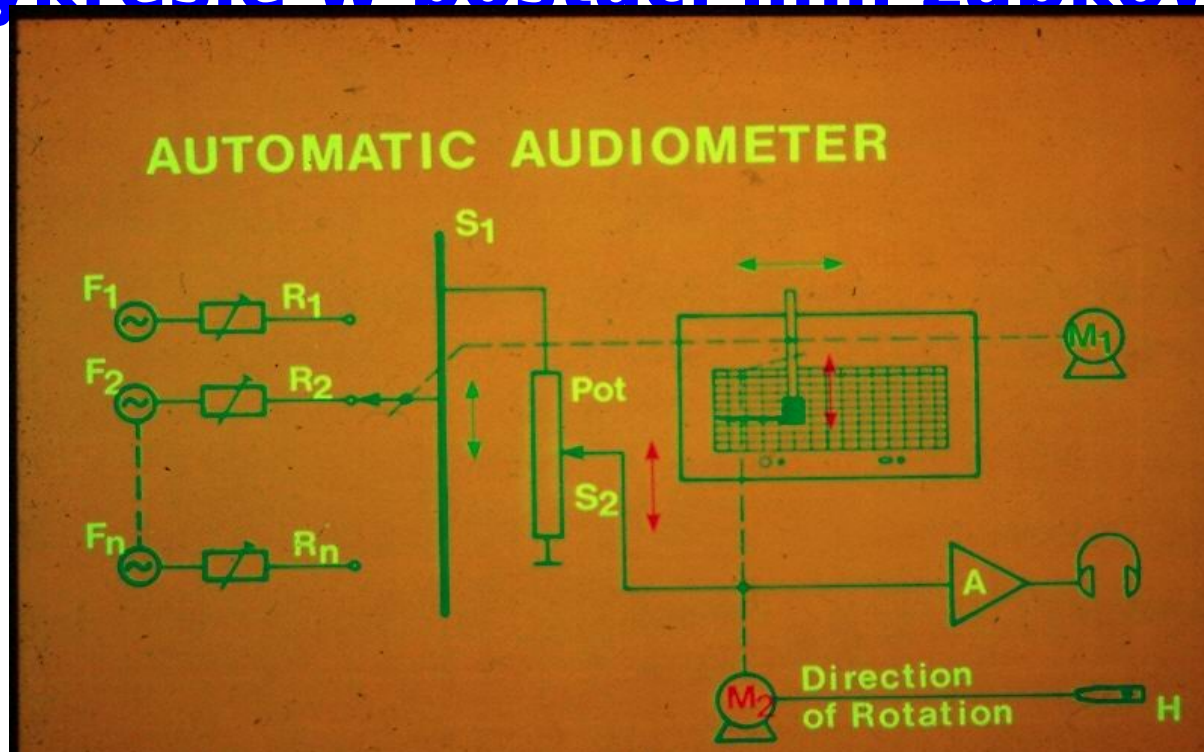
W audiometrze takim słuchacz ma wpływ na kierunek zmiany zapisu poziomu ciśnienia słuchanego sygnału a zmiana częstotliwości w słyszalnym paśmie częstotliwości jest ciągła i trwa około 23 minut.

Wady :

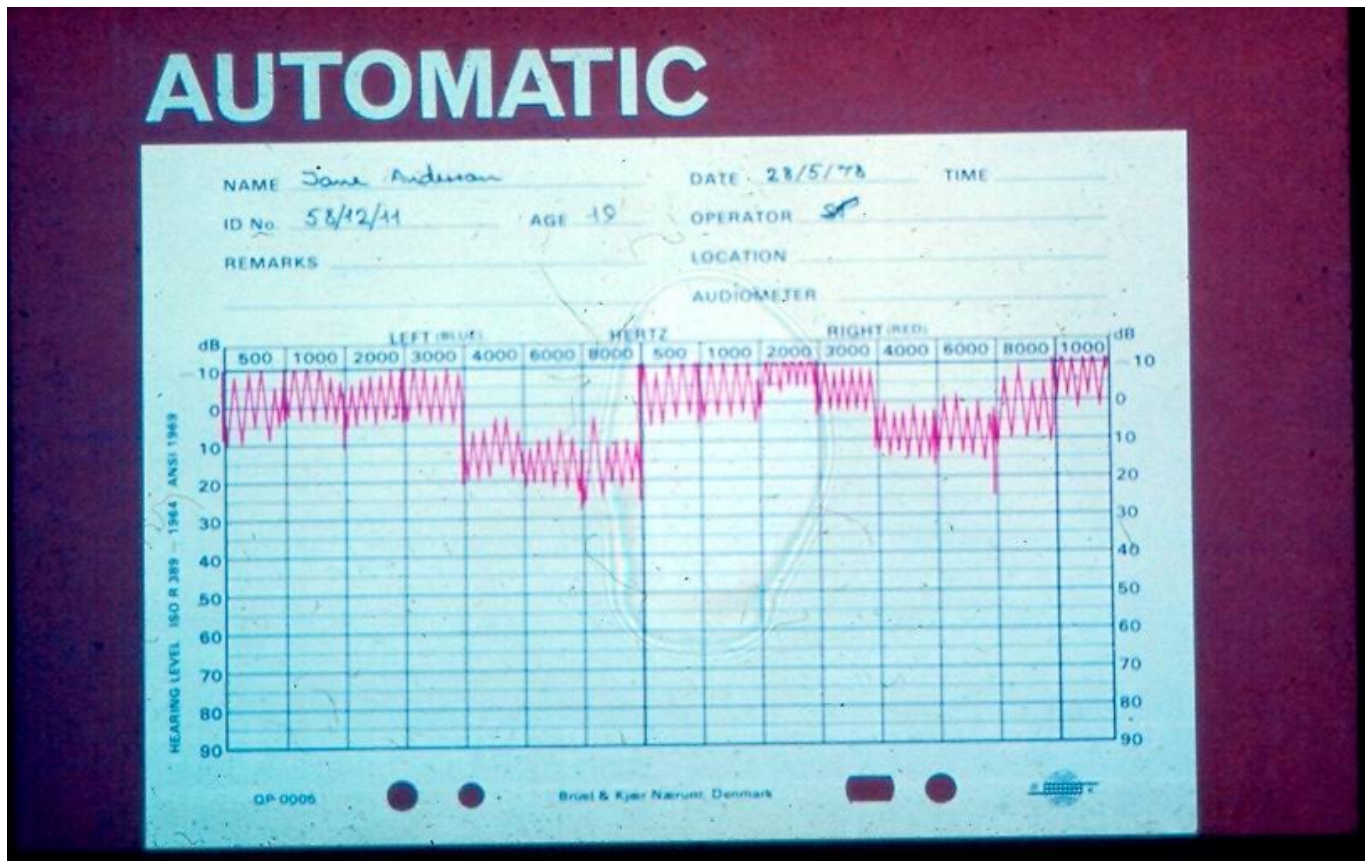
- trudność pomiarów, ich specyfika,
- długi czas trwania pomiaru,
- konieczność pełnej koncentracji uwagi przez cały czas pomiaru (czyli pomiar pełnej charakterystyki) - co jest istotnym utrudnieniem zwłaszcza przy pomiarze słuchu u dzieci lub u ludzi obłożnie chorych.



We współczesnym audiometrze automatycznym częstotliwość zmienia się co 30 sekund, a kontakt słuchacza z bodźcem istniejący w czasie pomiaru uwidacznia się na wykresie w postaci linii zabkowanej.



Przykład audiogramu uzyskanego za pomocą takiego audiometru.

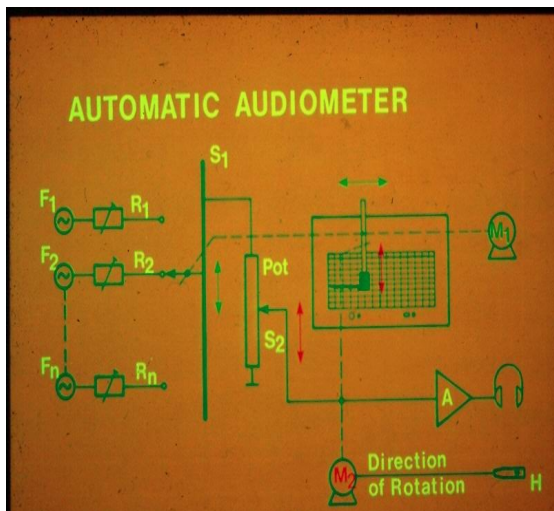
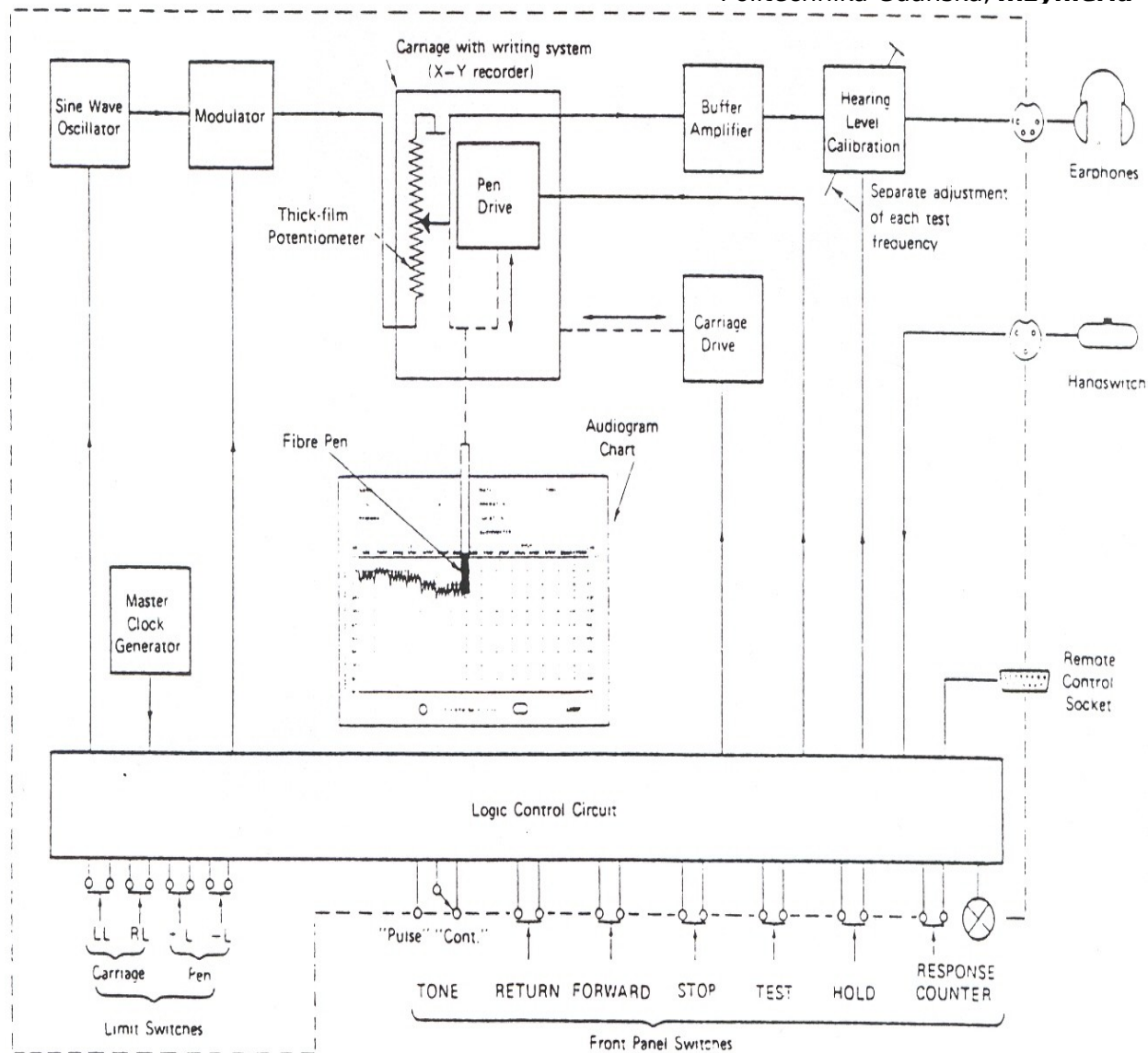


Audiometr automatyczny

Elektroniczna aparatura medyczna

Politechnika Gdańska, *Inżynieria*

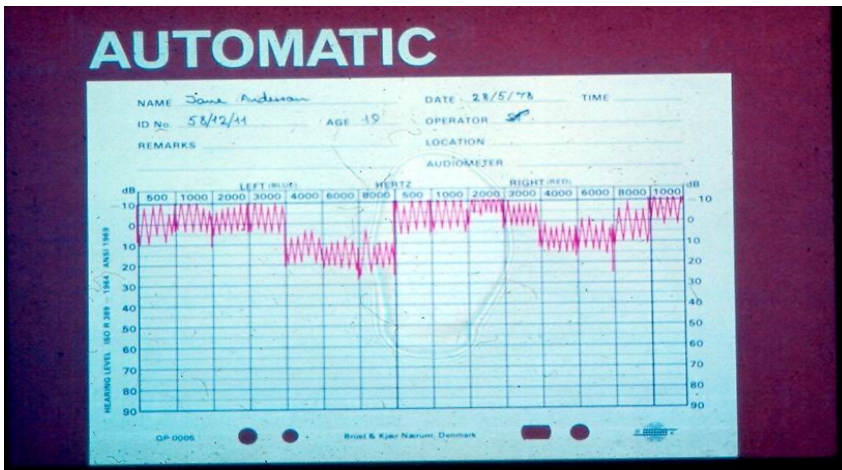
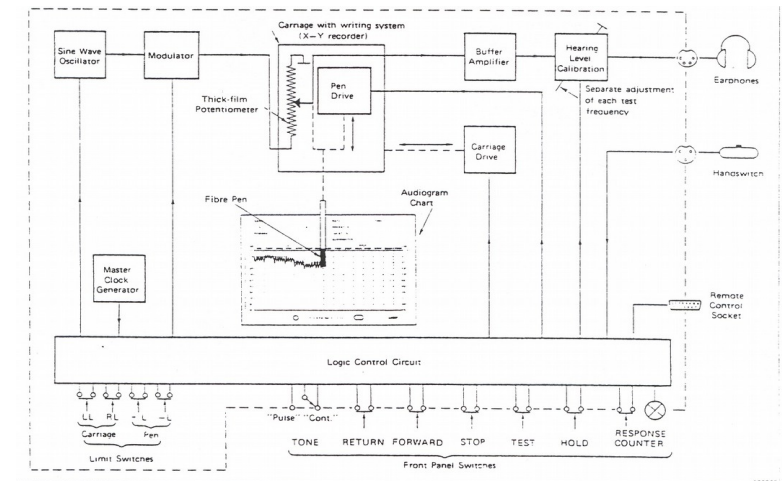
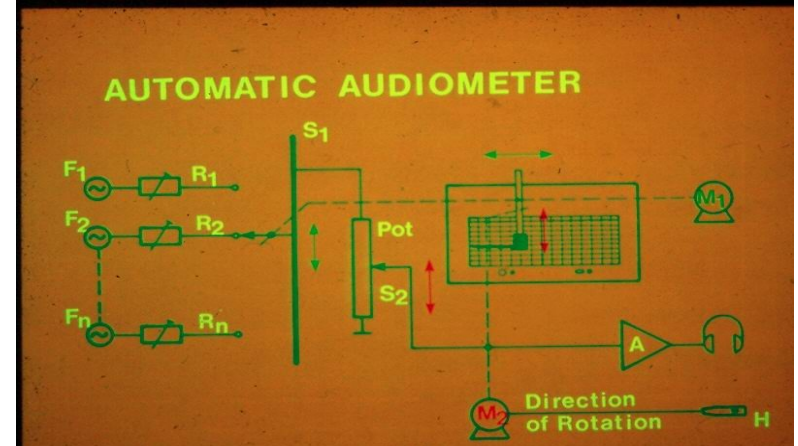
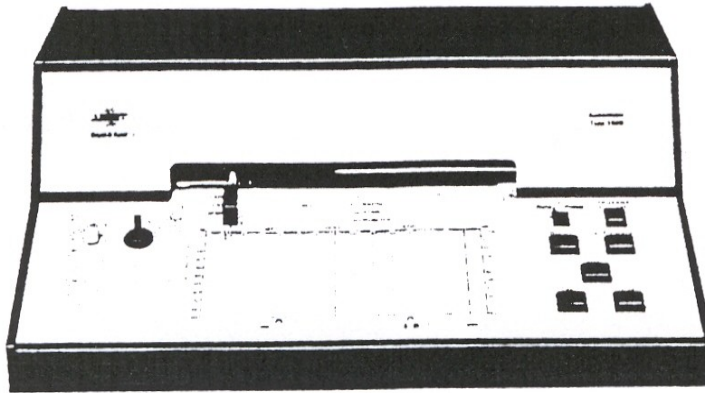
Schemat elektryczny automatycznego audiometru rejestrującego firmy Bruel&Kjaer.



Audiometr automatyczny

Elektroniczna aparatura medyczna

Politechnika Gdańska, **Inżynieria
Biomedyczna**



Bardzo ważną rzeczą jest, aby zmierzona danemu pacjentowi wartość ubytku słuchu **nie zależała** od zastosowanego audiometru. Z tego więc względu wszystkie audiometry powinny być cechowane i okresowo sprawdzane.

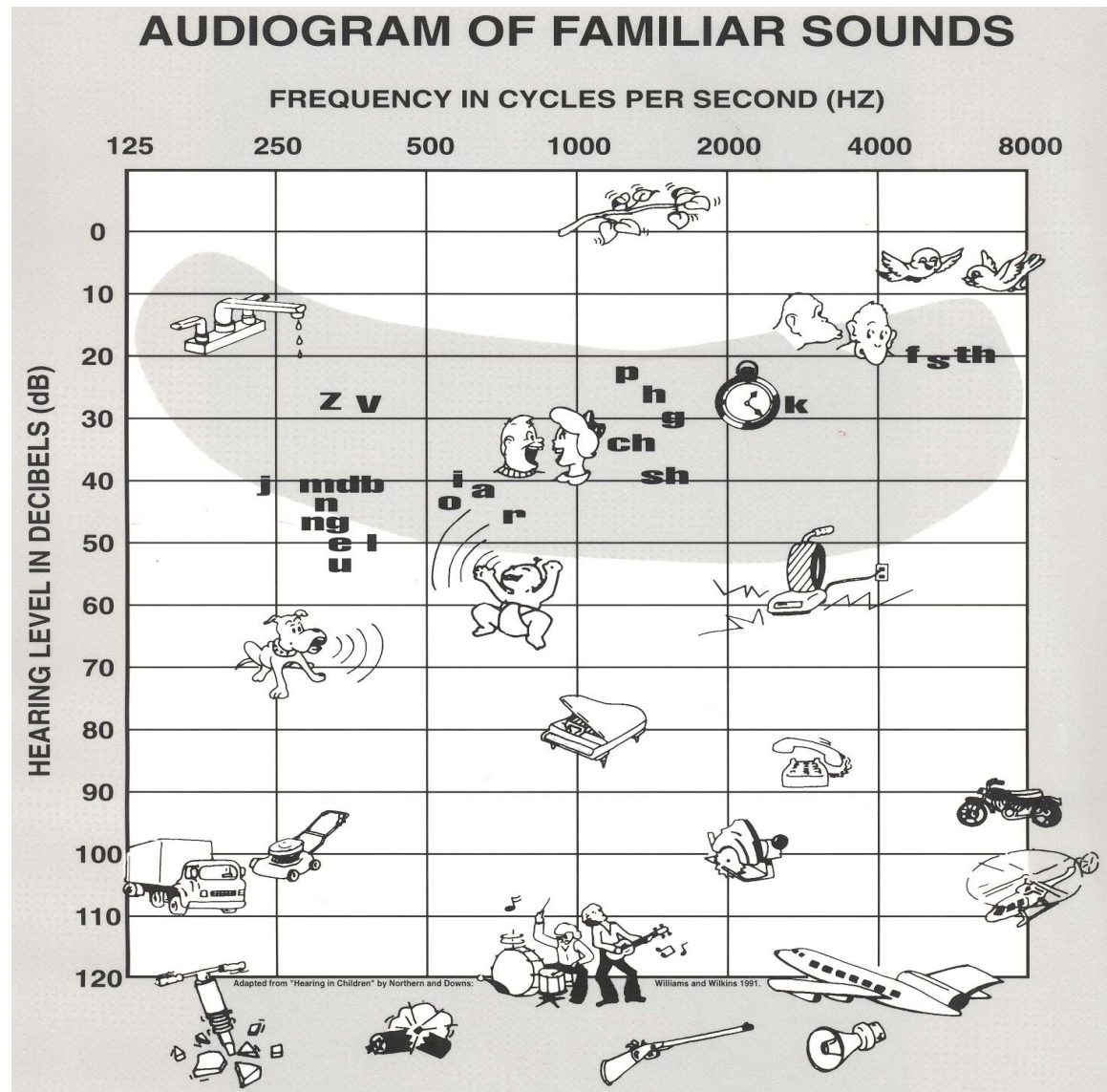
Sprawdzane są między innymi:

- wartości częstotliwości,
- wartości zniekształceń nie linearnych poszczególnych tonów generatora,
- dokładność i wartości skoków tłumików,
- wartości poziomów szumu zagłuszającego,
- oraz wartości zakłóceń.

Najważniejszą rzeczą jest jednak okresowe sprawdzanie ciśnienia dźwięku odpowiadającego dolnej granicy słyszalności dla przewodnictwa powietrznego podawanego słuchaczowi oraz pomiar przyśpieszenia odpowiadający dolnej granicy słyszalności dla przewodnictwa kostnego osoby o „normalnym” progu słyszenia.

Sprawdzający pomiar poziomu ciśnienia akustycznego wykonuje się przy użyciu **sztucznego ucha**, które ma dla danej częstotliwości obciążyć akustycznie słuchawkę tak samo jakby była obciążona uchem naturalnym i przedstawia taką samą impedancję akustyczną jak ucho osoby „normalnej”.

Audiogram rodzaje źródeł



- Technika audiometryczna służąca do eliminacji odpowiedzi przez nietestowane ucho.
- Odpowiedni poziom szumu dostarczany do nietestowanego ucha a do testowanego sygnał.
- Poziom maskowania musi przewyższać próg nietestowanego ucha ale nie wywoływać crossover.

- Określa jak osoba słyszy i rozumie mowę.
- Rodzaje testów
 - Mowa ciągła, zdanie logiczne o naturalnej intonacji
 - Spondeje, wyrazy dwusylabowe, identyczny akcent na każdą sylabę
 - Logatomy (jedno, wielosylabowe) bez znaczenia semantycznego
 - Wyrazy zrównoważone fonetycznie (w takiej samej proporcji jak w mowie)
- Próg percepcji mowy (ang. SRT speech reception threshold)
- SRT powinno korelować z wynikami z tonalnego badania PTA (pure tone audiometry)

- Rozpoznawanie słów punkty %, ang. WRS
- 20-50 fonetycznie zbalansowanych słów
- Straty w przewodnictwie
 - B. wysoka wartość WRS
- Straty sensorowoneuralne
 - Słaby WRS
- Zmyślone słowa (źle zinterpretowane)

Table 5.3.
Auditory Behavior Index for Infants: Stimulus and Level of Response*

Age	Noisemakers (Approx. SPL)	Warbled Pure Tones (Re: dB HL)	Speech (Re: dB HL)	Expected Response	Startle to Speech (Re: dB HL)
0–6 wk	50–70 dB	78 dB	40–60 dB	Eye-widening, eye-blink, stirring or arousal from sleep, startle	65 dB
6 wk–4 mo	50–60 dB	70 dB	47 dB	Eye-widening, eye-shift, eye-blinking, quieting; beginning rudimentary head turn by 4 mo	65 dB
4–7 mo	40–50 dB	51 dB	21 dB	Head-turn on lateral plane toward sound; listening attitude	65 dB
7–9 mo	30–40 dB	45 dB	15 dB	Direct localization of sounds to side, indirectly below ear level	65 dB
9–13 mo	25–35 dB	38 dB	8 dB	Direct localization of sounds to side, directly below, ear level, indirectly above ear level	65 dB
13–16 mo	25–30 dB	32 dB	5 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB
16–21 mo	25 dB	25 dB	5 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB
21–24 mo	25 dB	26 dB	3 dB	Direct localization of sound on side, above and below	65 dB

- Impedancja – opór w przepływie akustycznym
- Admitancja – łatwość przepływu
- Testowana za pomocą:
 - Tympanometrii
 - Innych metod

Audiometria impedancyjna

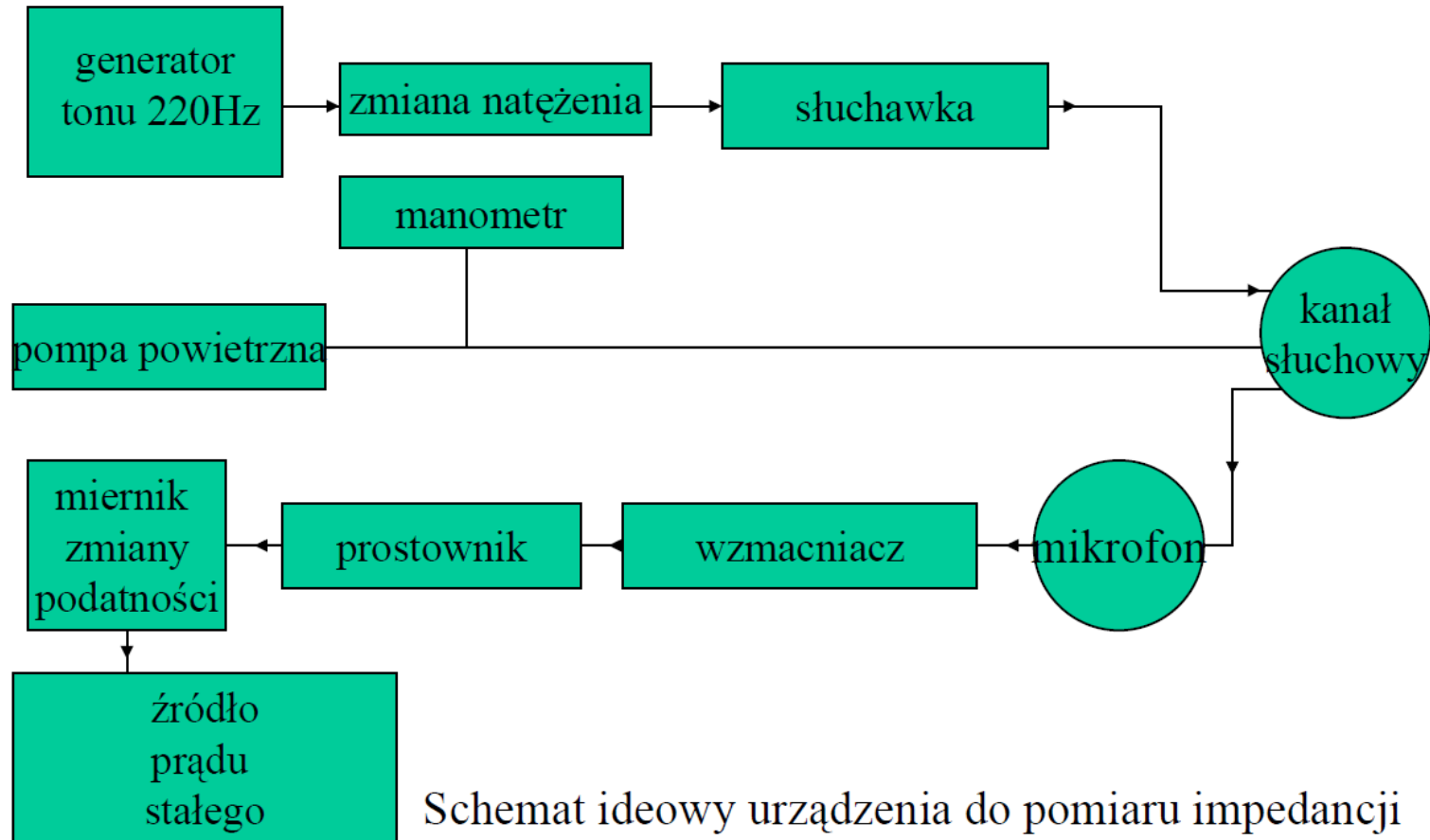
- 1934 r. - skonstruowanie mostka do pomiaru impedancji akustycznej przez Schustera,
- 1946 r. - Merz opisuje zastosowanie mostka impedancyjnego w badaniach słuchu

Obiektywna i nieinwazyjna

Pozwala określić miejsce uszkodzenia i charakter procesu chorobowego

Testy obejmują:

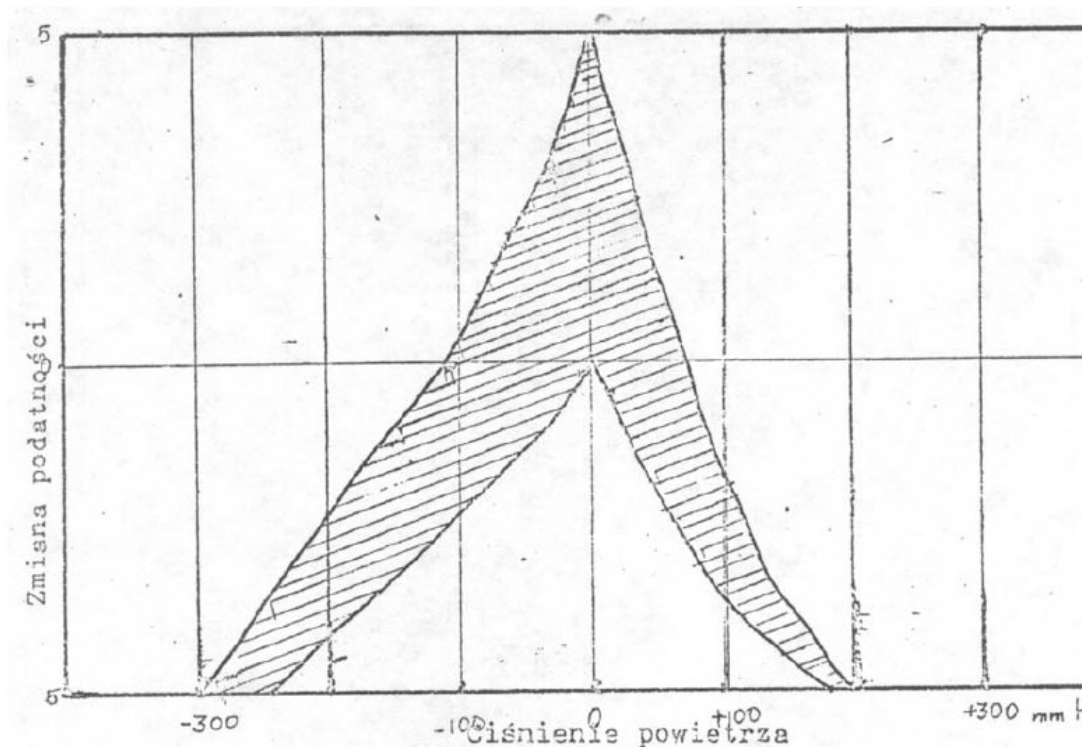
- Pomiar impedancji akustycznej
- Tympanogram
- Pomiar odruchu strzemiączkowego



Tympanogram prawidłowy charakteryzuje się tym, iż maksymalną podatność uzyskuje się przy ciśnieniu 0 mmH₂O.

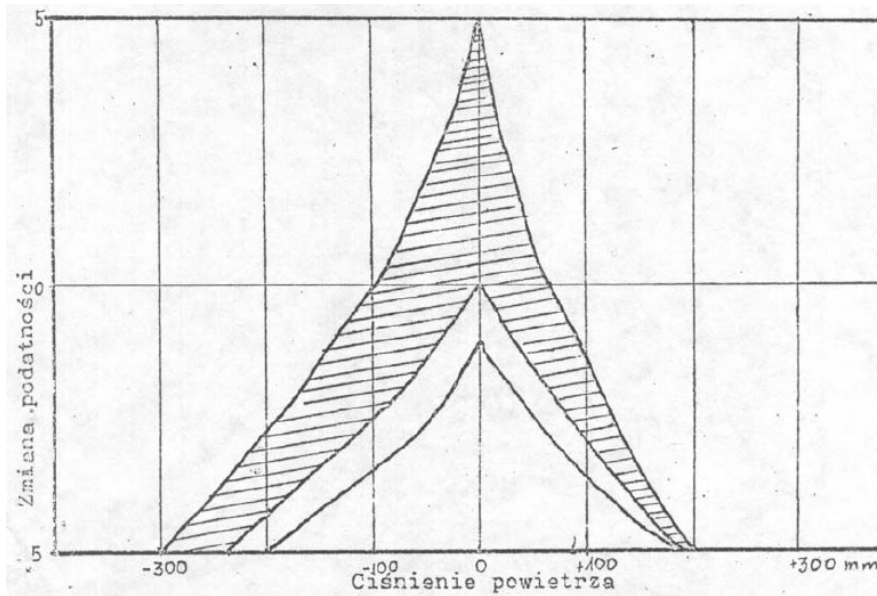
Tego typu tympanogramy spotykane są zazwyczaj u osób ze słuchem prawidłowym lub z czystym odbiorczym upośledzeniem słuchu.

W niedosłuchu typu przewodzeniowego tympanogram A uzyskuje się w przypadku unieruchomienia strzemiączka [1], [2], [3], [4], [5].

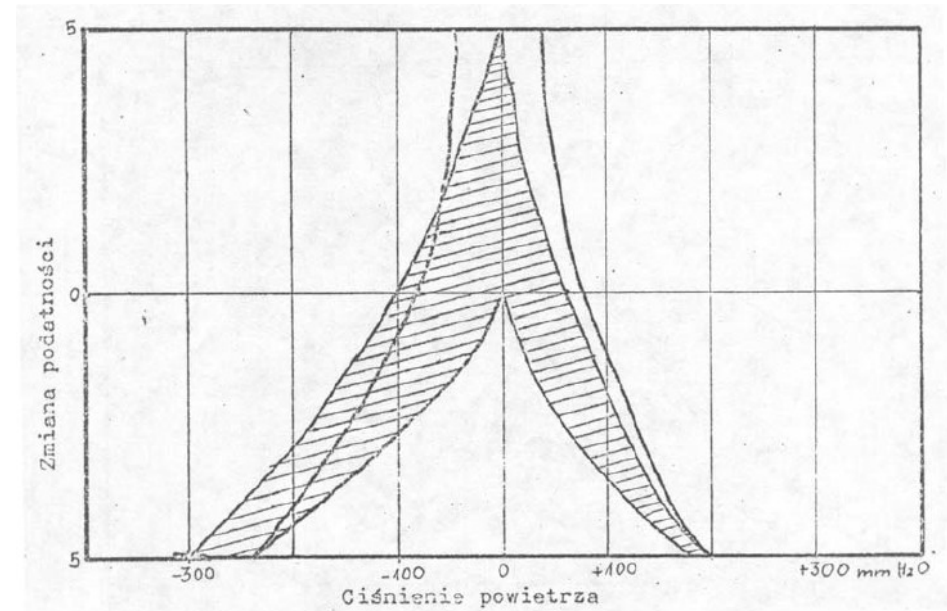


Tympanogram prawidłowy

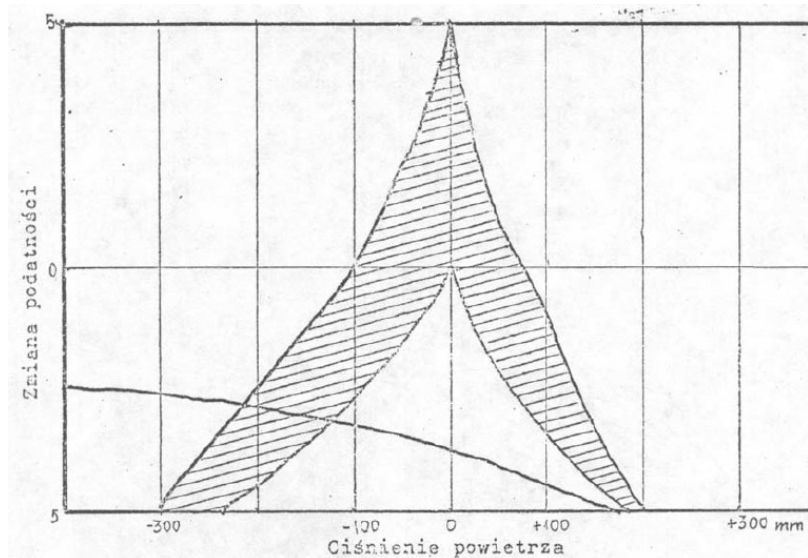
Tympanogram - przykłady



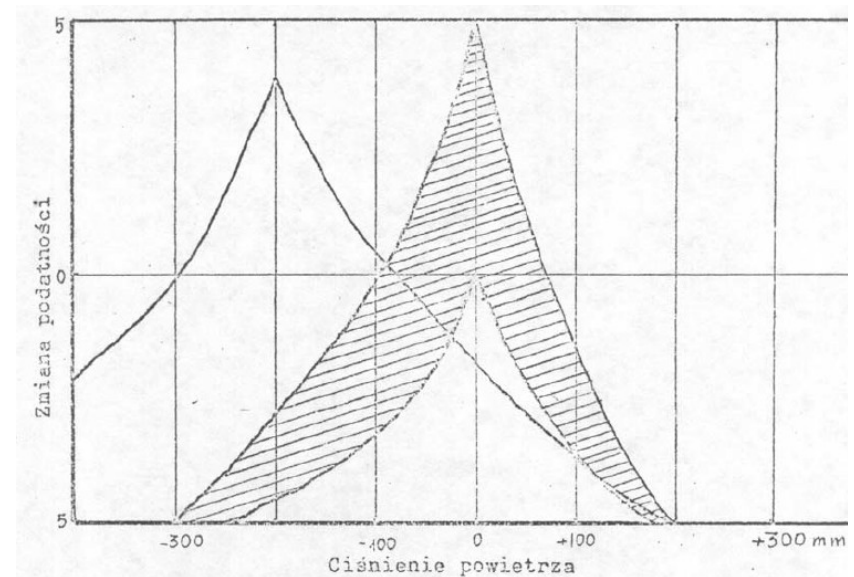
Przypadek prawidłowego ciśnienia w uchu środkowym ale o ograniczonej podatności. Może to być efekt np. zgrubienia błony.



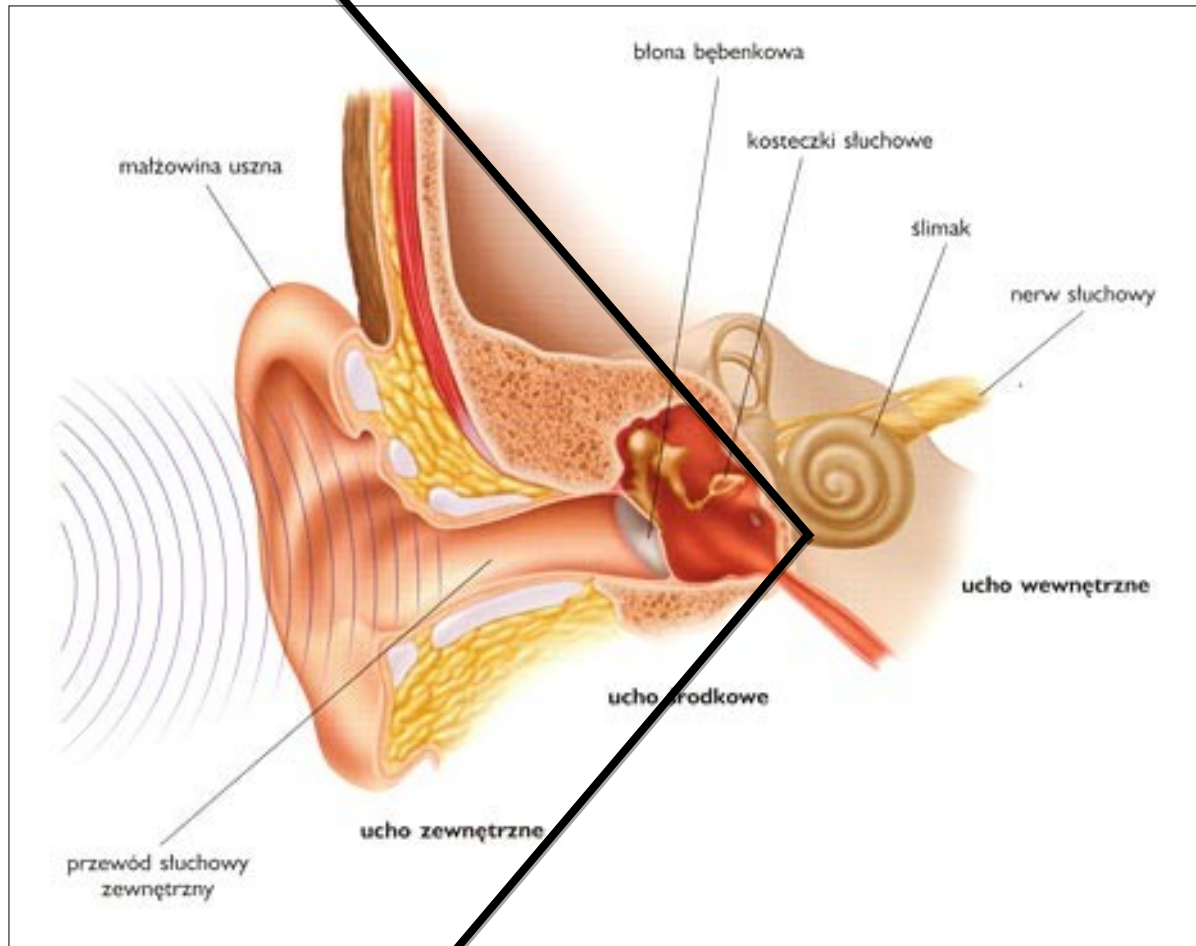
Otwarty szczyt, który wychodzi poza granice pomiarowe. Niewielkie zmiany ciśnienia wywołują duże zmiany podatności (np. przerwanie łańcucha kosteczek, zmiany pooperacyjne błony



Brak reakcji błony na zmianę ciśnienia, brak maksimum. Najczęściej nieruchomość błony np. perforacja, zamknięcie przewodu słuchowego, itp



Przesunięty szczyt, przypada na ciśnienia poniżej 100 mmH₂O, np. obecność płynu w uchu środkowym, zaburzenia pracy trąbki słuchowej



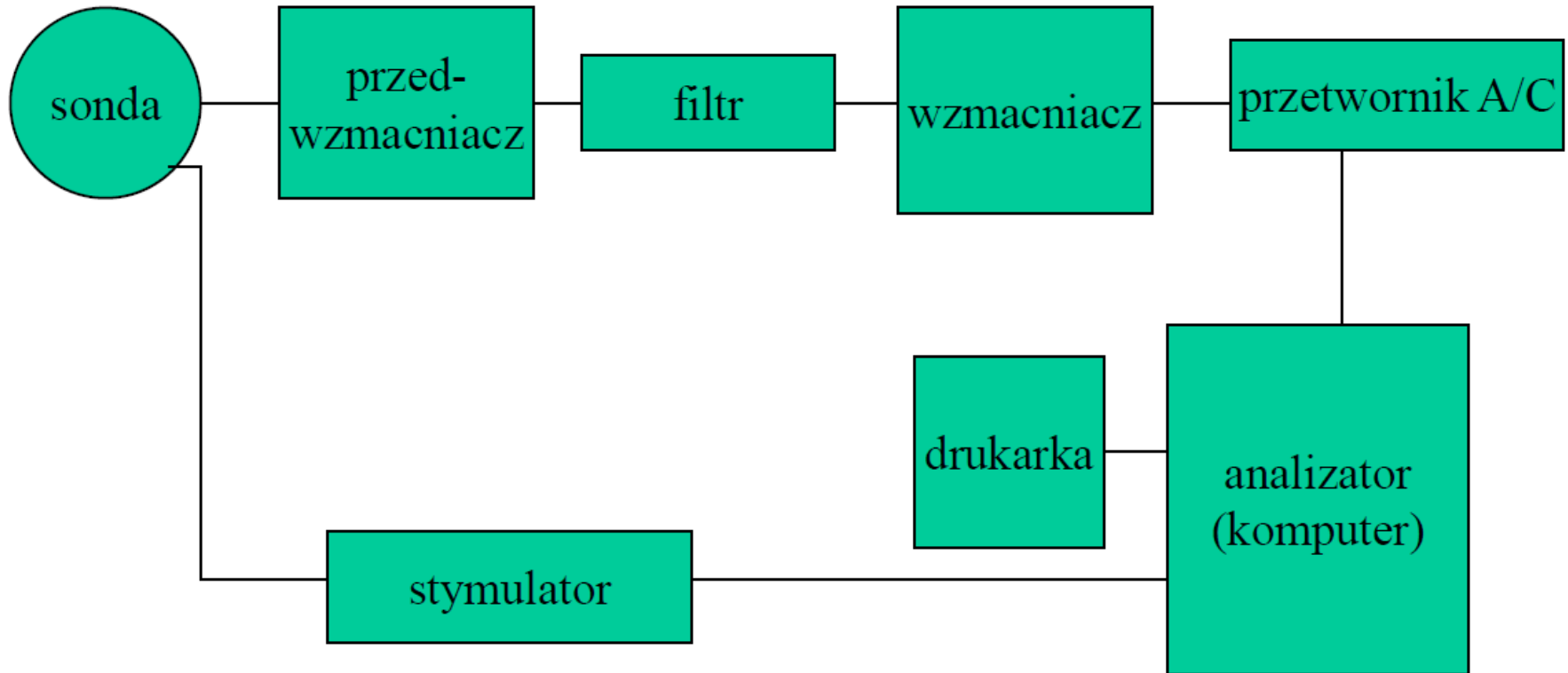
Audiometria impedancyjna

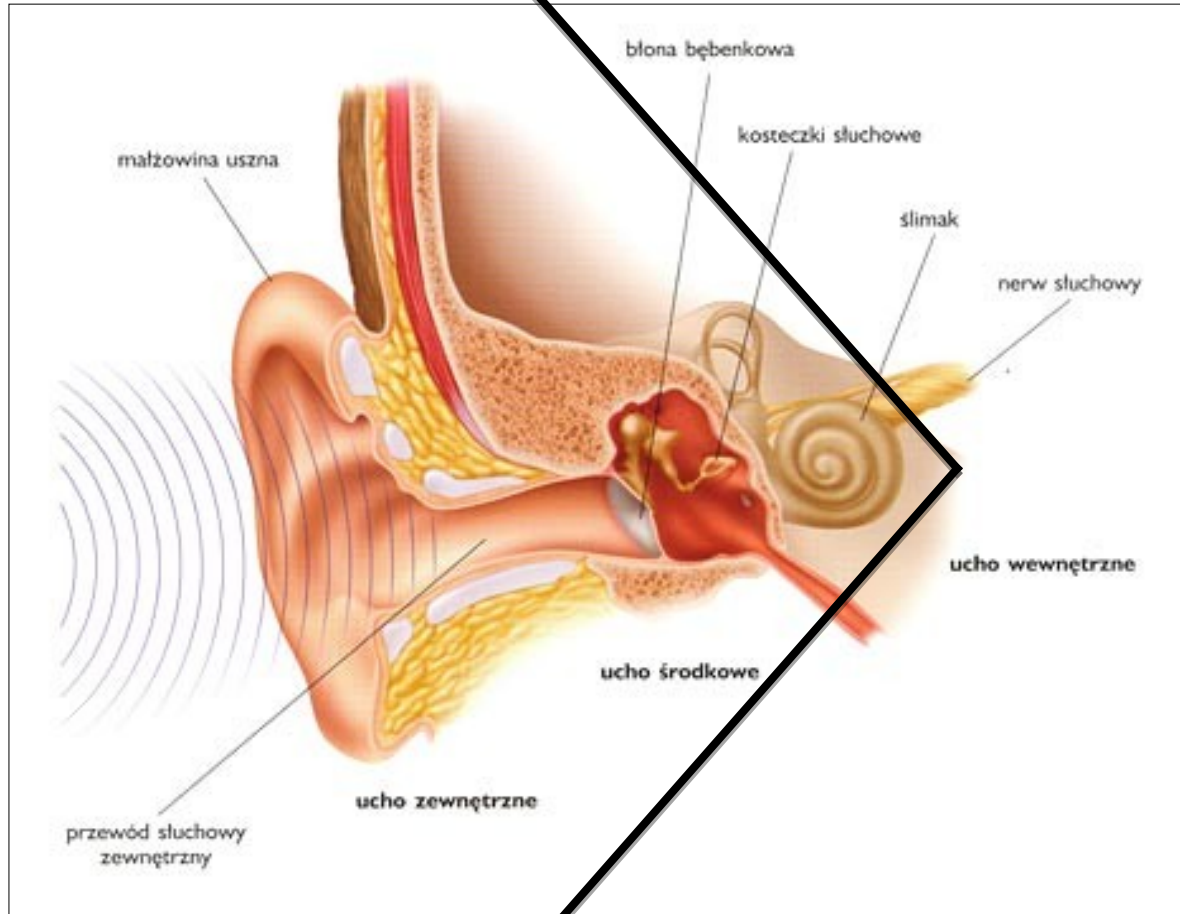
- Ocenę ruchomości błony bębenkowej
- Określenie ciśnienia w uchu środkowym
- Ocenę funkcjonowania trąbki słuchowej
- Ocenę ciągłości łańcucha kosteczek
- Ocenę nieprawidłowości zanikania odruchu strzemiączkowego
- Wykazanie upośledzenia słuchu

OTOEMISJA AKUSTYCZNA (1978 r. – D. Kemp).

W zależności od sposobu pomiaru otoemisję akustyczną można podzielić na:

- otoemisja spontaniczna - SOAE (*ang. Spontaneous Otoacoustic Emissions*)
- otoemisja wywołana - TEOAE (*ang. Transient Evoked Otoacoustic Emissions*)
- otoemisja produktów zniekształceń nieliniowych – DPOAE (*ang. Distortion Products Otoacoustic Emissions*)
- otoemisja specyficzna częstotliwościowo – SPOAE (*ang. Stimulus Frequency Otoacoustic Emissions*)





Otoemisja akustyczna

- Zalety pomiarów otoemisji akustycznej:
 - nieinwazyjność,
 - dokładność i obiektywność,
 - łatwość realizacji,
 - monitorowanie funkcji ślimaka,
 - pozwala na rozdzielanie pomiędzy ubytkami słuchu pochodzenia ślimakowego i pozaślimakowego,
 - zastosowanie w celach obiektywnego stwierdzenia ubytków słuchu,
 - zastosowanie w badaniach przesiewowych noworodków,
 - tańsze i mniej czasochłonne od pomiaru ABR,
 - przyjęte przez kilka organizacji jako metody badań przesiewowych u noworodków

Audiometria elektrofizjologiczna:

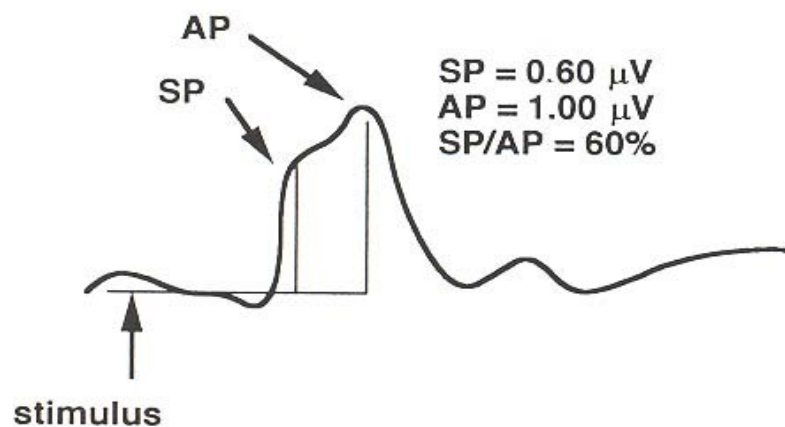
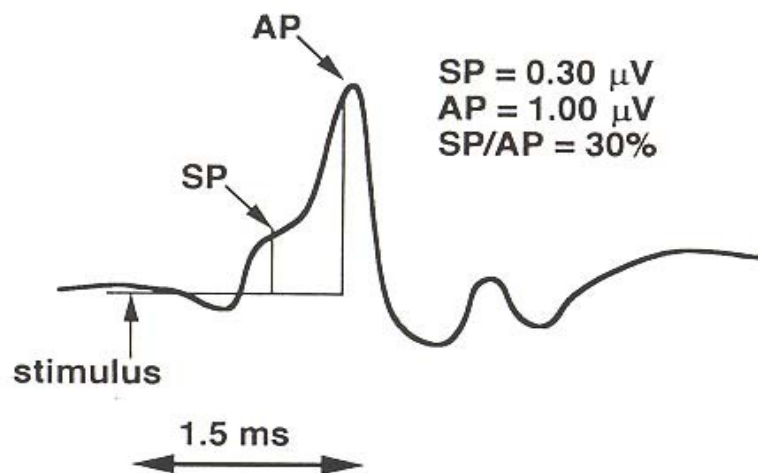
- obiektywna metoda diagnozowania drogi słuchowej,
- metoda oparta o zapis biopotencjałów elektrycznych, będących odbiciem aktywacji poszczególnych etapów drogi słuchowe

Audiometria elektrofizjologiczna - podział:

- biopotencjały zbierane z błony bębenkowej,
- metoda elektrokochleografii ECoG,
- biopotencjały zbierane z powierzchni głowy pacjenta:
 - potencjały wywołane pnia mózgu (potencjały wczesne) - ABR
potencjały średniolatencyjne - MLR
 - badanie odpowiedzi korowych – CERA
 - potencjały późne - CNV

- Pomiar potencjałów powstałych w wyniku stymulacji najbardziej obwodowych części systemu słuchu.
- 3 główne składowe:
 - Mikrofonowanie ślimakowe
 - Potencjał sumacyjny
 - Potencjał czynnościowy

- Nieinwazyjna
 - Kanał ucha
 - Błona
- Inwazyjna
 - Przebłonowy



- Impulsy generowane przez układ nerwowy możliwe do zarejestrowania na czaszce.
- Nie bezpośrednią metodą pomiaru słyszenia.
- Wykrywane od 25 tygodnia ciąży.
- Nie są zmieniane przez sen, opanowanie, uwagę.

ABR - Auditory Brainstem
Responses

- Najczęściej używane
- Średnie poziomy natężenia powodujące szeroka odpowiedź neuronowych jednostek.
- Powtarzalna fala V o wartości do 10 dB.
- Ograniczony zakres częstotliwości

Click or Transient Evoked
ABR

- Bardziej dokładne niż TE-ABR
- Zwiększone okresy latencji niż w TE-ABR.

Tone Burst ABR

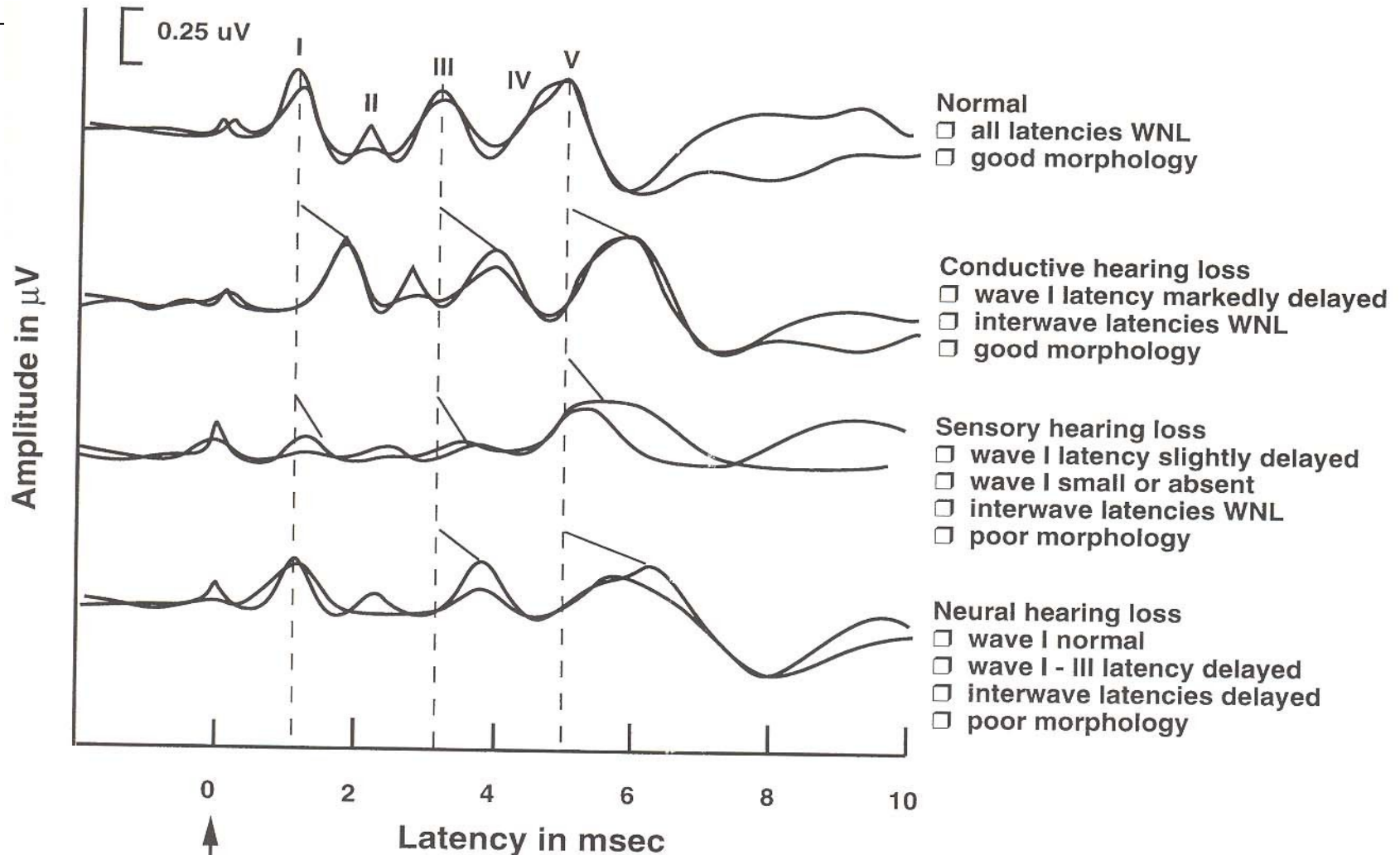
- Tak samo dokładne jak przewodnictwo powietrzne.
- Szczególnie użyteczna w anomaliach strukturalnych, stenoza kanałowa

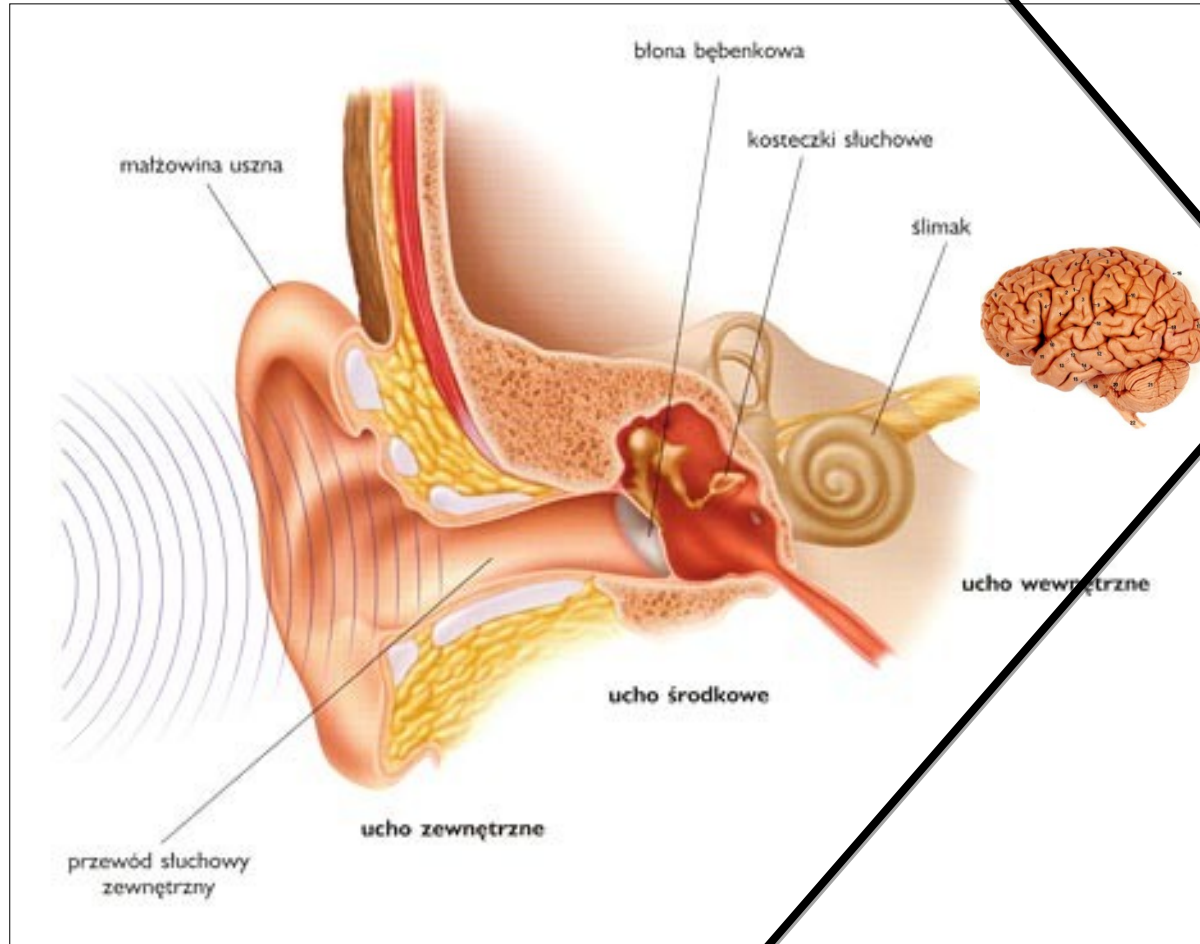
Bone Conduction ABR

- Primary goal is a clear and reliable Wave I
 - Wave I : distal 8th nerve
 - Wave II : proximal 8th nerve
 - Wave III : cochlear nuclei
 - Wave IV : SOC
 - Wave V : Lateral Lemniscus

ABR

ABR





Potencjały wywołane

- Wyniki audiometryczne są ważne gdy rzeczywiście badamy ucho.
- Tłumienie międzyuszne odzwierciedla crossover.
- Przewodnictwo powietrzne od 40-80dB
- Przewodnictwo kostne nawet od 0dB