

Protetyka słuchu

prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki



Wrocław 2017



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

Dane o prowadzącym

- Prowadzący: prof. dr hab. inż. Andrzej Dobrucki
- Konsultacje (pok. 608 bud. C-5):
- Poniedziałek nieparzysty 11 – 13
- Wtorek 8 – 9
- Wtorek parzysty 9 – 11
- Środa 8 - 9

Program wykładu

- Przyczyny i efekty utraty słuchu, metody badań słuchu, klasyfikacja ubytków słuchu
- Budowa aparatów słuchowych: rodzaje aparatów, elementy budowy aparatu, regulacja, użytkowanie i konserwacja aparatów słuchowych
- Zaawansowane algorytmy przetwarzania sygnałów we współczesnych aparatach słuchowych
- Wkładki uszne i elementy otoplastyki. Metody dopasowania aparatów słuchowych
- Implanty ucha środkowego i implanty ślimakowe

Literatura

- Hojan E. (red.), Protetyka słuchu, Wydawnictwa Naukowe UAM, Poznań 2014
- Śliwińska-Kowalska M. (red.), Audiologia kliniczna, Oficyna Wydawnicza Mediton, Łódź 2005
- Dobrucki A. (red.), Współczesne technologie elektronicznego wspomaganie słyszenia osób niedosłyszących, Wrocław 2016
- Dillon H., Hearing Aids, Boomerang Press and Thieme, Sydney 2001

Warunki zaliczenia

- Sprawdzian w dniu 11.12.2017

Ubytki słuchu i głuchota problem społeczny

- Na świecie ok. 360 mln ludzi ma ubytki słuchu w stopniu co najmniej umiarkowanym (powyżej 40 dB)
- W tym 32 mln dzieci
- W Polsce 6 mln ma problemy ze słuchem
- 900 tys. Poważnie uszkodzony słuch
- 45 – 50 tys. głuchych (niestyszających)

Wpływ niedosłuchu i głuchoty

- Funkcjonowanie w społeczeństwie (komunikacja z innym ludźmi)
- Zaburzenia emocjonalne i socjopatia
- Aspekty ekonomiczne (bezrobocie, brak wykształcenia) szacuje się na 750 ml USD rocznie

Rodzaje i przyczyny głuchoty

- Wrodzona

- Dziedziczna

- Infekcje w okresie ciąży i okołoporodowe

- Nabyta

- Komplikacje przy porodzie

- Niektóre choroby (świnka, różyczka, chroniczne zapalenie ucha, choroba Meniera, nowotwory ucha)

- Niektóre leki i substancje chemiczne (antybiotyki aminoglikozydowe np. gentamycyna, leki przeciwnowotworowe, iuretyki (furosemid))

- Narażenie na długotrwałe działanie hałasu

- Głuchota starcza (presbycusis)

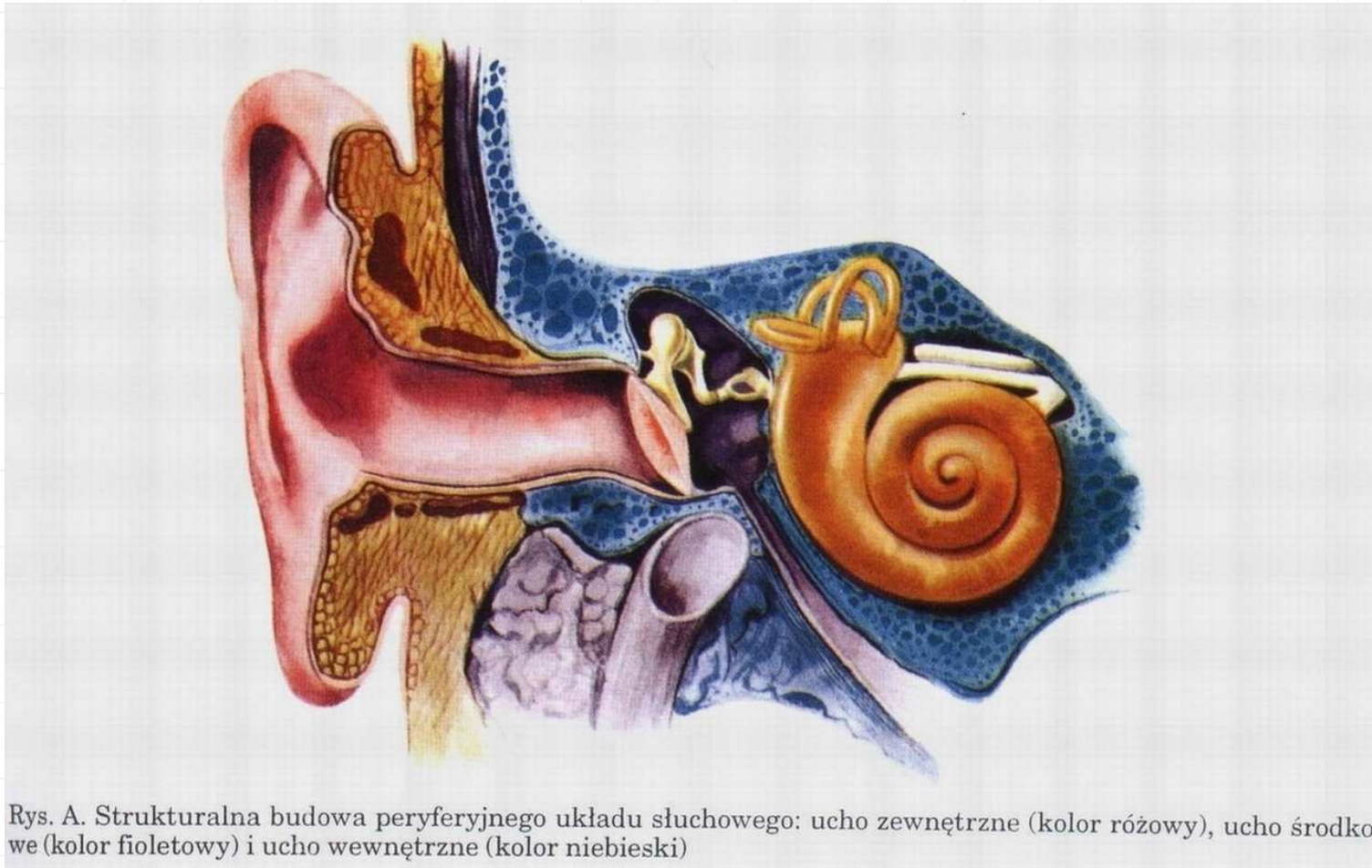
Niedosłuch a wiek

- Noworodki: 2 – 3%
- Dzieci i młodzież do 18 lat: – 5%
- Ludzie młodzi 19 – 44 lat: 4,5 – 5%
- Ludzie w wieku średnim 45 – 64 lat: 14%
- Ludzie starsi 65 – 74 lat: 23%
- Ludzie starzy powyżej 75 lat: 35%

Rodzaje niedosłuchu

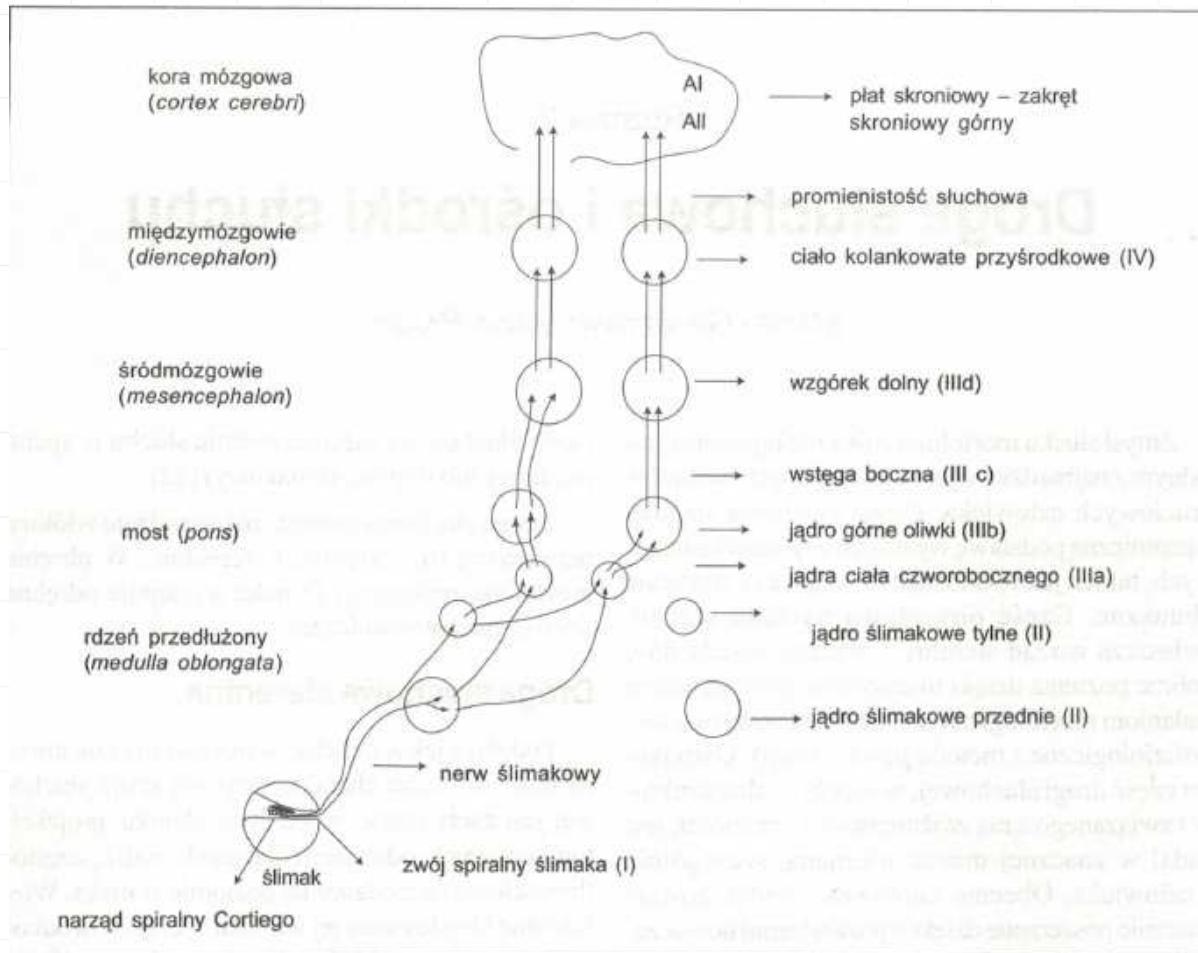
- Przewodzeniowy
- Odbiorczy
 - Ślimakowy
 - Pozaślimakowy (nerw słuchowy)
 - Ośrodkowy (od II neuronu drogi słuchowej do kory słuchowej)
- Mieszany

Budowa ucha



Rys. A. Strukturalna budowa peryferyjnego układu słuchowego: ucho zewnętrzne (kolor różowy), ucho środkowe (kolor fioletowy) i ucho wewnętrzne (kolor niebieski)

Droga słuchowa aferentna



Niedosłuch przewodzeniowy

- Ucho zewnętrzne

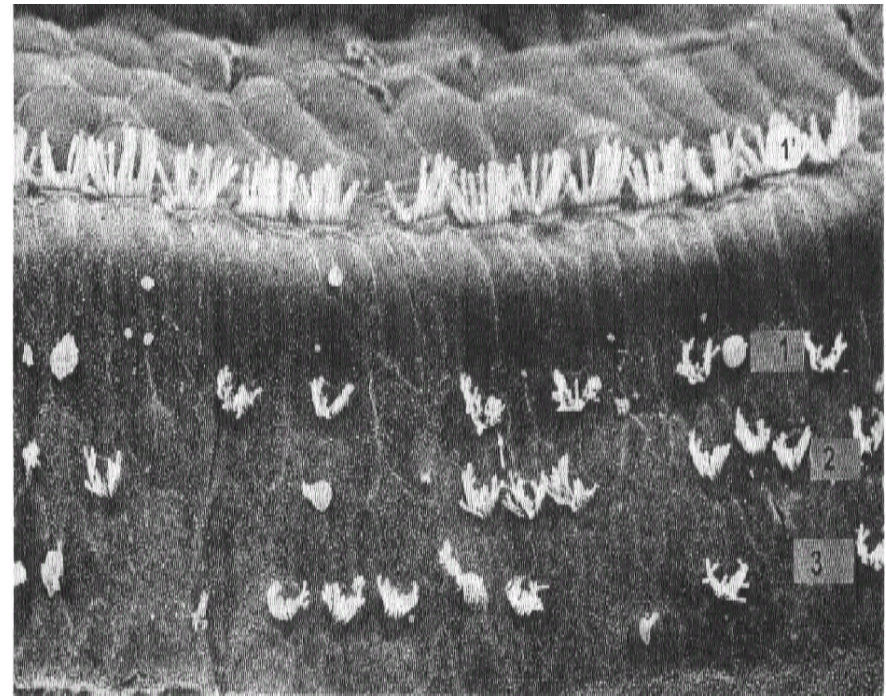
- woskowina
- ciało obce w przewodzie słuchowym zewnętrznym
- wady wrodzone i inne zniekształcenia (np. zwężenia) przewodu słuchowego zewnętrznego
- nowotwory łagodne i złośliwe przewodu słuchowego zewnętrznego

- Ucho środkowe

- zapalenie ucha środkowego: ostre, przewlekłe, wysiękowe
- otoskleroza
- urazy ucha środkowego: np. perforacja błony bębenkowej
- nowotwory łagodne i złośliwe ucha środkowego
- zaburzenia drożności trąbki słuchowej
- wady rozwojowe ucha środkowego

Niedosłuch odbiorczy ślimakowy

- Uszkodzenie komórek słuchowych



Niedosłuch odbiorczy ślimakowy

- wady wrodzone ślimaka
- zapalenie ucha wewnętrznego
- uraz akustyczny: narażenie na hałas
- leki ototoksyczne
- infekcje wirusowe: świnka, różyczka, odra, HIV
- choroba Ménière'a (wodniak błędnika)
- uraz ciśnieniowy
- niedosłuch starczy – łac. *presbycusis*
- zatrucie substancjami chemicznymi : tlenek węgla, metale ciężkie, rozpuszczalniki organiczne, pestycydy

Niedosłuch odbiorczy pozaślimakowy

- guzy kąta mostowo-mózdkowego
- guzy kości skroniowej
- neuropatia słuchowa
- guzy mózgu
- choroby naczyniowe mózgu
 - udar mózgu
 - tętniak
- stwardnienie rozsiane

Badanie słuchu

- Metody subiektywne (wymagają współpracy pacjenta)
 - Próby stroikowe
 - Audiometria tonalna
 - Audiometria mowy
- Metody obiektywne (nie wymagają współpracy pacjenta)
 - Audiometria impedancyjna (tympanometria)
 - Emisje otoakustyczne
 - Słuchowe potencjały wywołane

Próby stroikowe

- próba Webera
- próba Rinnego
- próba Schwabacha

Próba Webera

Subiektywna metoda badania słuchu polegająca na przyłożeniu wprawionego w drgania stroika do czoła lub szczytu czaszki pacjenta. Zadaniem chorego jest określenie w którym uchu dźwięk słyszany jest głośniejsz.

- W przypadku zdrowych badanych dźwięk słyszany jest jednakowo w obu uszach
- Badanemu z przewodzeniowym uszkodzeniem dźwięk wyda się głośniejszy w chorym uchu.
- Chory z odbiorczym uszkodzeniem słuchu będzie lepiej słyszał stroik w uchu zdrowym

Próba Rinnego

Badany określa czas słyszenia drgań widełek ustawionych kolejno na wyrostku sutkowatym (przewodnictwo kostne) i przy małżowinie (przewodnictwo powietrzne)

- W przypadku prawidłowo słyszącego ucha dźwięki wytwarzane przez kamerton znajdujący się w okolicy ujścia przewodu słuchowego słyszane są dłużej niż dźwięki wytwarzane przez kamerton przyłożony do wyrostka sutkowatego (Próba Rinnego dodatnia)
- W przypadku niedosłuchu przewodzeniowego dźwięki kamertonu przystawionego do wyrostka sutkowatego słyszane są dłużej, niż dźwięki przenoszone drogą przewodnictwa powietrznego. (Próba Rinnego ujemna)
- W niedosłuchu odbiorczym przewodnictwo powietrzne upośledzone jest w równym stopniu jak przewodnictwo kostne przez co wynik próby Rinnego jest dodatni, Dlatego próbę Rinnego wykonuje się zawsze razem z próbą Webera.

Próba Schwabacha

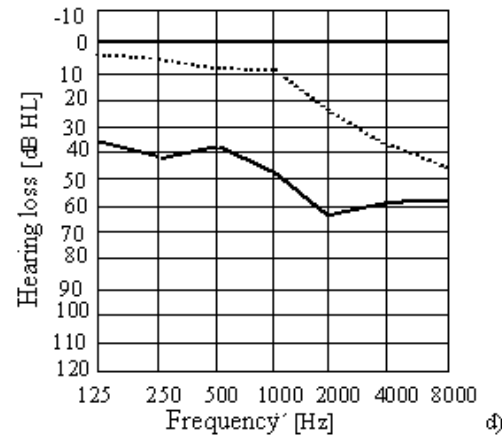
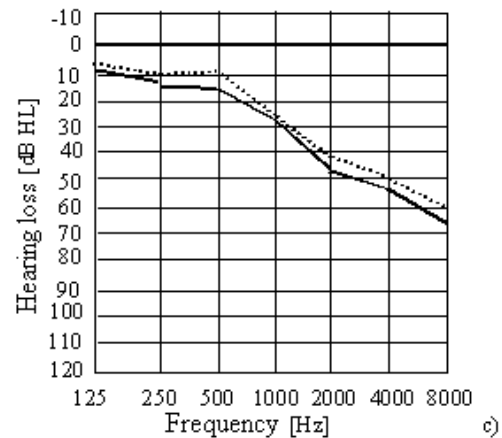
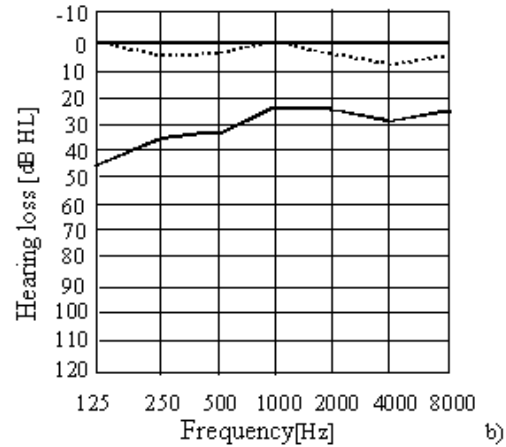
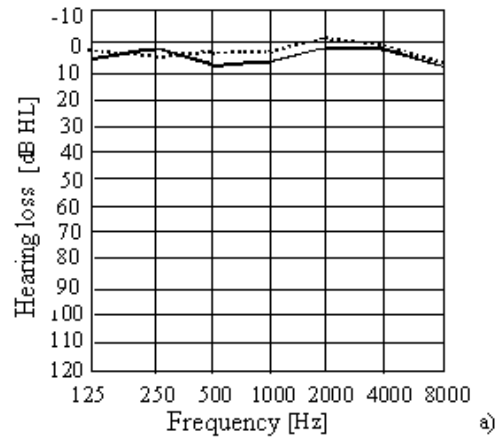
Subiektywna metoda badania słuchu polegająca na przyłożeniu wprowadzonego w drgania stroika do wyrostka sutkowatego kości skroniowej i określeniu czasu słyszenia dźwięku drogą kostną. Czas ten zwykle wynosi dla normalnie słyszającego ucha w przybliżeniu 20-30 sekund. Jest on porównywany do czasu słyszenia u osoby zdrowej (np. badającego).

- Czas odbioru dla przewodnictwa kostnego badanego i badającego są podobne – słuch prawidłowy
- Czas odbioru dla przewodnictwa kostnego badanego jest dłuższy niż ten czas u badającego o co najmniej 15 s – niedosłuch przewodzeniowy
- Czas odbioru dla przewodnictwa kostnego badanego jest krótszy niż ten czas u badającego – niedosłuch odbiorczy

Audiometria tonalna progowa

- Badanie progu słyszenia dla przewodnictwa powietrznego (na słuchawkach)
- Badanie progu słyszenia dla przewodnictwa kostnego (z użyciem wibratora kostnego)
- Wynik podaje się w decybelach HL (Hearing Level)

Audiogramy



- a) Słuch prawidłowy
- b) Niedosłuch przewodzeniowy
- c) Niedosłuch odbiorczy
- d) Niedosłuch mieszany

b) i d)

– rezerwa ślimakowa > 15 dB

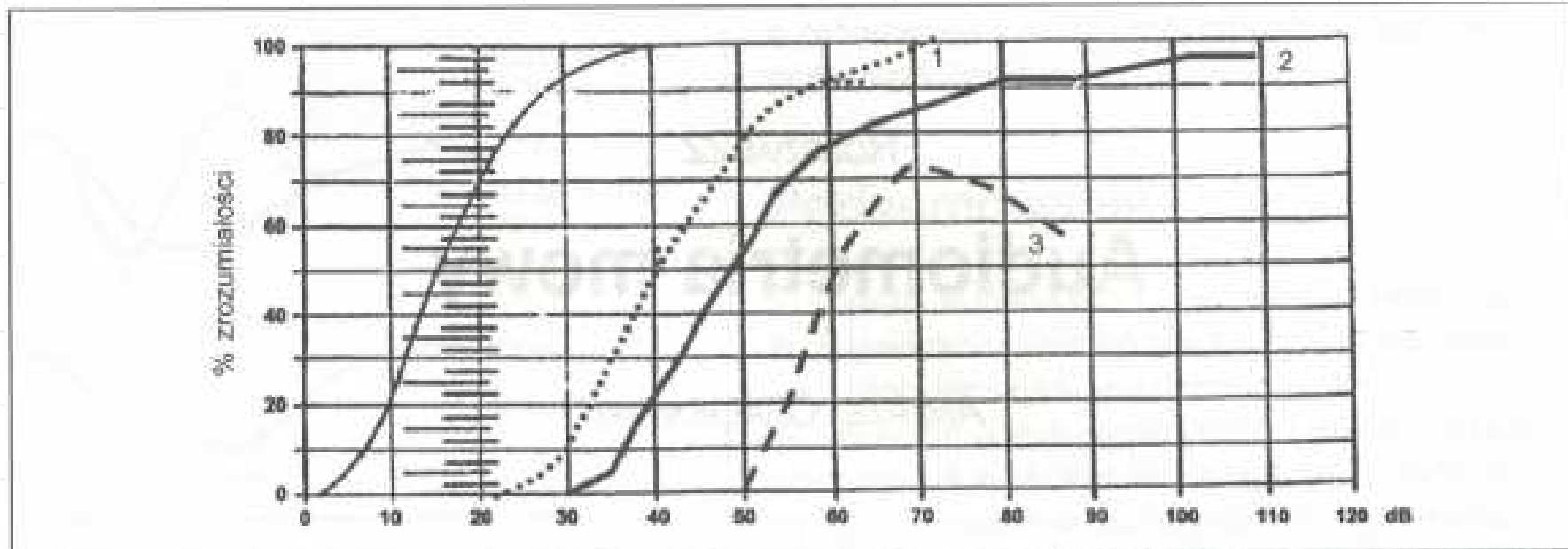
Obliczanie stopnia niedosłuchu wg BIAP (Bureau International d'Audiophonologie)

Ubytek słuchu dla danego ucha jest obliczany jako średnia arytmetyczna ubytków słuchu (w decybelach) dla częstotliwości 500, 1000, 2000 i 4000 Hz

Klasyfikacja ubytków słuchu wg BIAP

- < 20 dB – słuch prawidłowy
- lekki – 21 – 40 dB
- umiarkowany – 41 – 70 dB
- znaczny – 71 – 90 dB
- głęboki – 91 – 120 dB
- całkowita głuchota – powyżej 120 dB

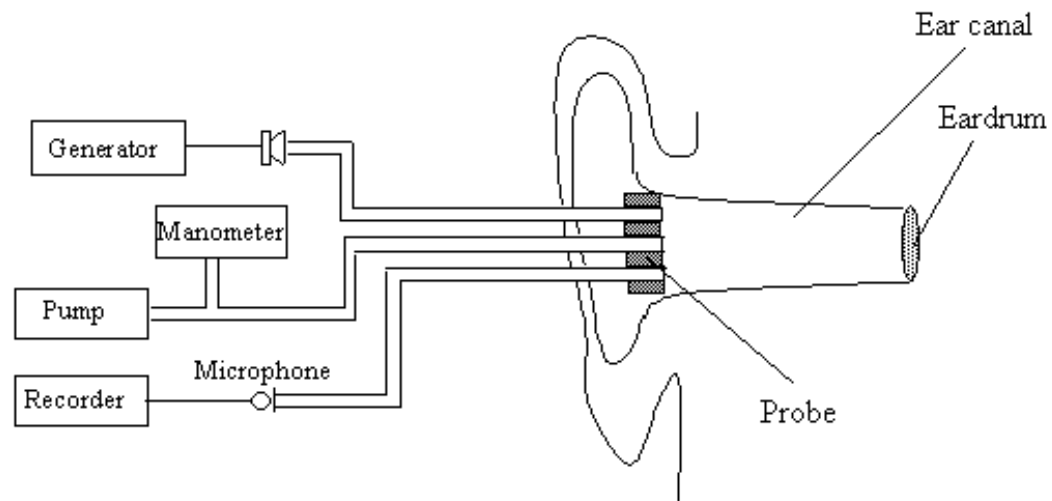
Audiometria mowy



Krzywe artykulacyjne

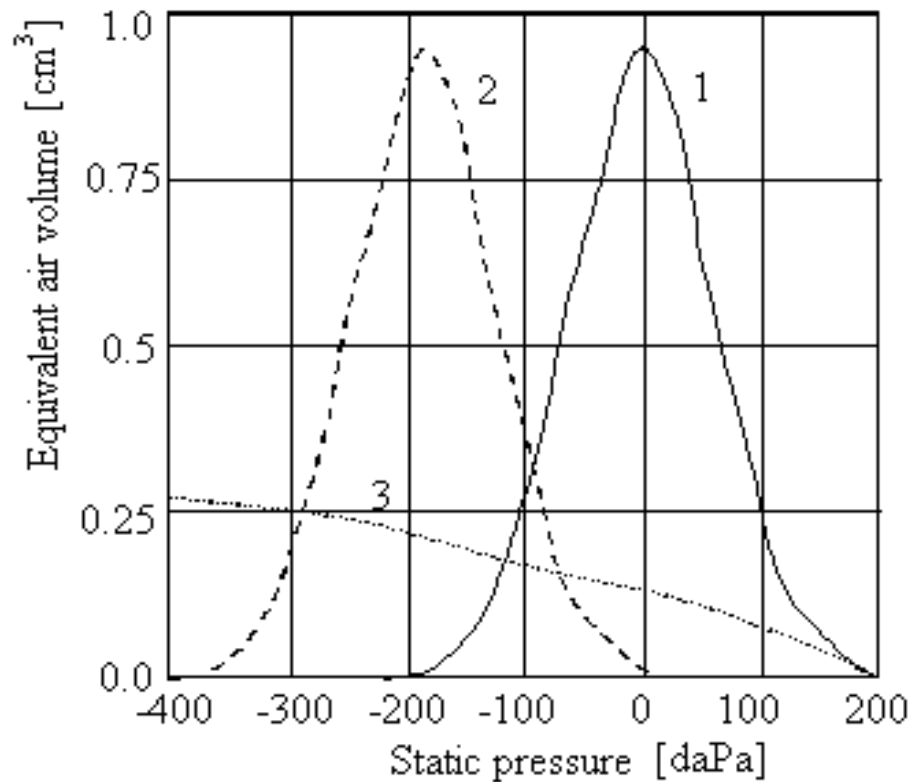
- 1 – niedosłuch przewodzeniowy
- 2 – niedosłuch odbiorczy pozaślimakowy
- 3 – niedosłuch odbiorczy ślimakowy

Tympanometria



$$C_a = \frac{V}{\rho_0 c^2}$$

Tympanogramy

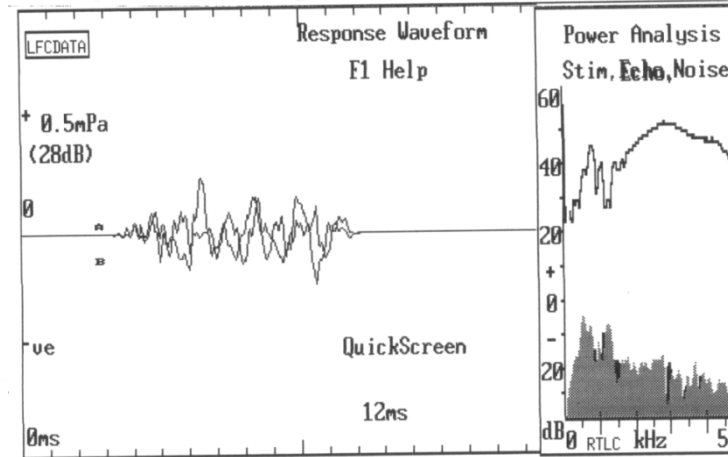
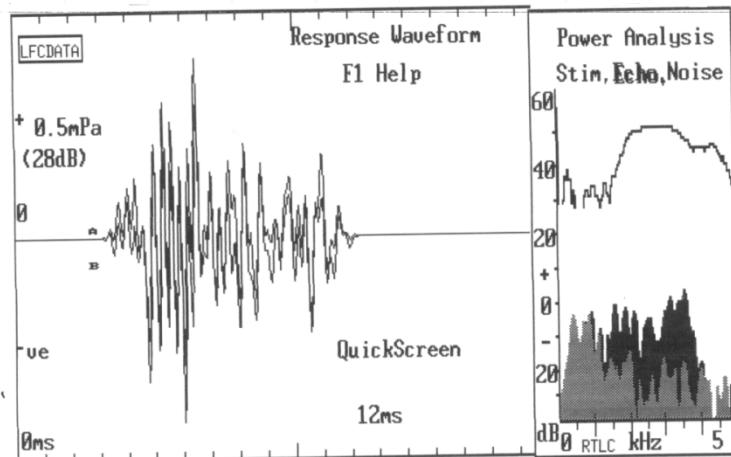


1. Prawidłowy
2. Zapalenie ucha środkowego z obrzękiem trąbki słuchowej
3. Ropne zapalenie ucha środkowego z płynem wypełniającym

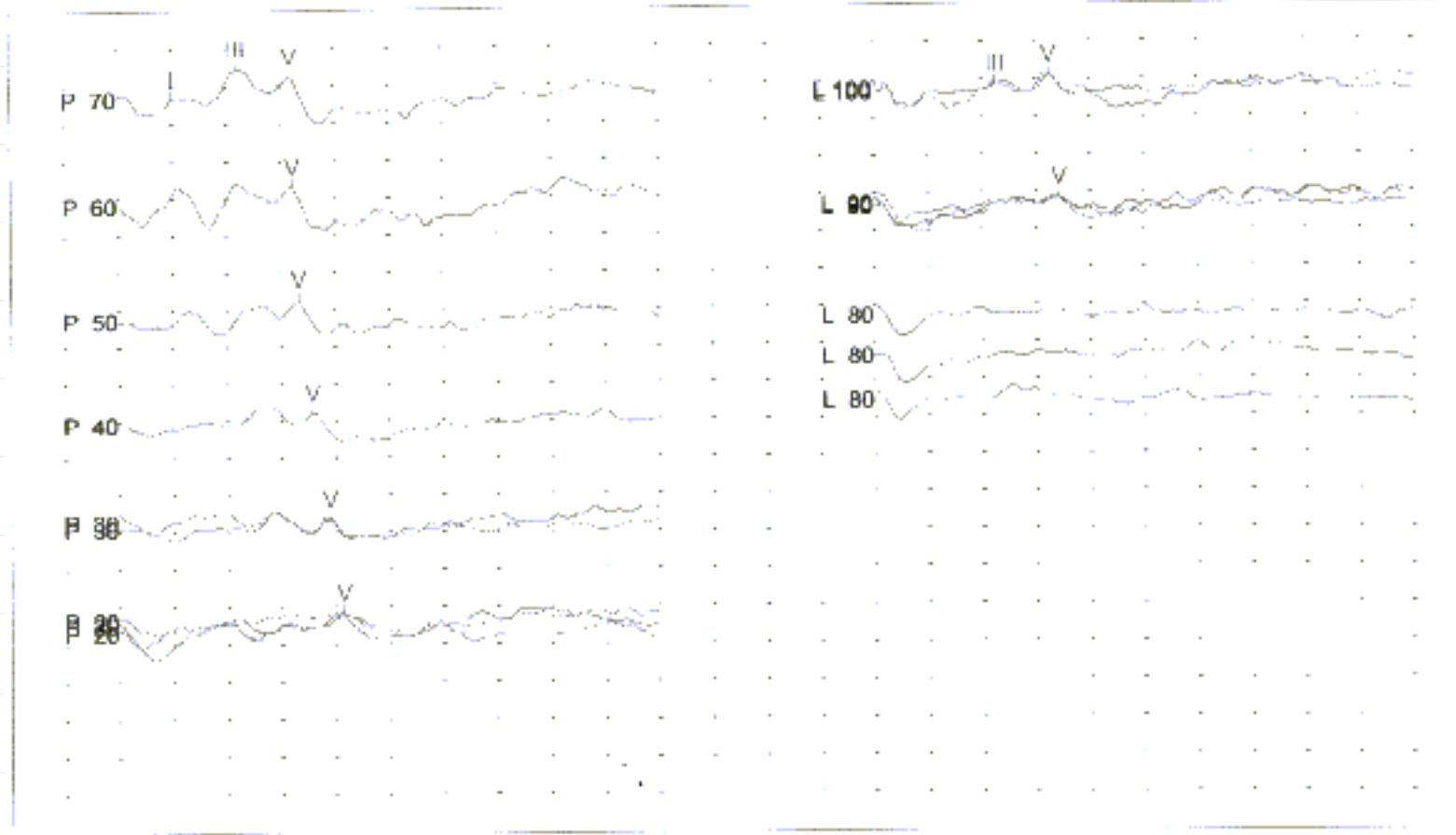
Emisje otoakustyczne

- Spontaniczna(SOAE)
- Wywołana trzaskiem (TEOAE)
- Otoemisja produktów zniekształceń nieliniowych (DPOAE)

Emisje otoakustyczne



Słuchowe potencjały wywołane



Aparat słuchowy

- Aparat słuchowy jest to urządzenie, którego zadaniem jest poprawa słyszenia przez osoby niedosłyszące
- Współczesne aparaty słuchowe są urządzeniami elektronicznymi
- Aparat słuchowy przetwarza dźwięk docierający do niego na sygnał elektroniczny, przetwarza ten sygnał w odpowiedni sposób, wzmacnia go, a następnie przetwarza go z powrotem na sygnał akustyczny (dźwięk), który jest doprowadzony do ucha (organu słuchu) pacjenta

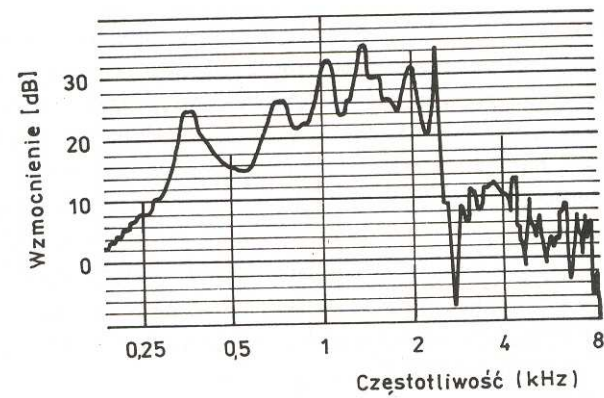
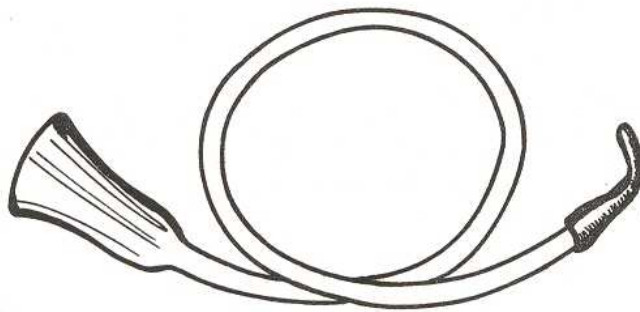
Rys historyczny

- Pierwotne urządzenia poprawiające proces słyszenia oparte były na właściwościach tub jako elementów dopasowujących impedancję, oraz falowodów akustycznych prowadzących sygnał akustyczny

Urządzenia nieelektroniczne

- Zwinięta dłoń (wzmocnienie 5 dB)
- Trąbki i lejki
- Wąż słuchowy (Kirchner, w. XVII)
- Dwie trąbki słuchowe, połączone pałąkiem i zakładane na głowę (Itard, 1821)
- Rurka Rawlinsa (1860)

Wąż słuchowy, rurka Rawlinsa



Aparaty elektryczno-elektroniczne

- Graham Bell – mikrofon węglowy + słuchawka elektromagnetyczna – za słabe, ale stało się podstawą do wynalezienia telefonu (1875)
- Lee de Forest – lampa wzmacniająca (trioda)
- Lata 20-te XX wieku: aparaty walizkowe
- 1934 – Stevens (Amplivox): aparat pudełkowy (kieszonkowy) z regulacją głośności
- 1948 – Bardeen, Brittain – tranzystor
- 1954: aparat okularowy (Viennatone)
- 1960: aparat zauszny (Siemens)
- Lata 80-te: zastosowanie układów scalonych – aparaty wewnętrzne
- Lata 90-te: aparaty cyfrowe

Inne protezy słuchu

- Lata 80-te: protezy BAHA (przewodnictwo kostne)
- Implanty ślimakowe i pniowe (też lata 80-te)
- Implanty ucha środkowego (początek XXI wieku)

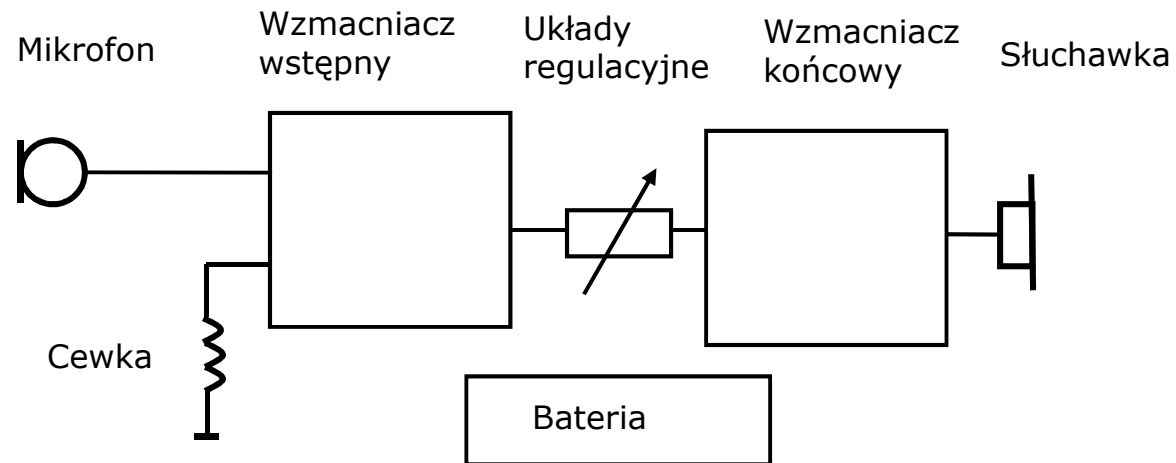
Technologie aparatów słuchowych

- Aparaty analogowe
- Aparaty cyfrowe

Aparaty analogowe

- Zalety
 - Niski koszt
 - Łatwość ręcznej regulacji wzmocnienia
- Wady
 - Ograniczenia w dopasowaniu do każdego rodzaju ubytku słuchu
 - Duże zniekształcenia

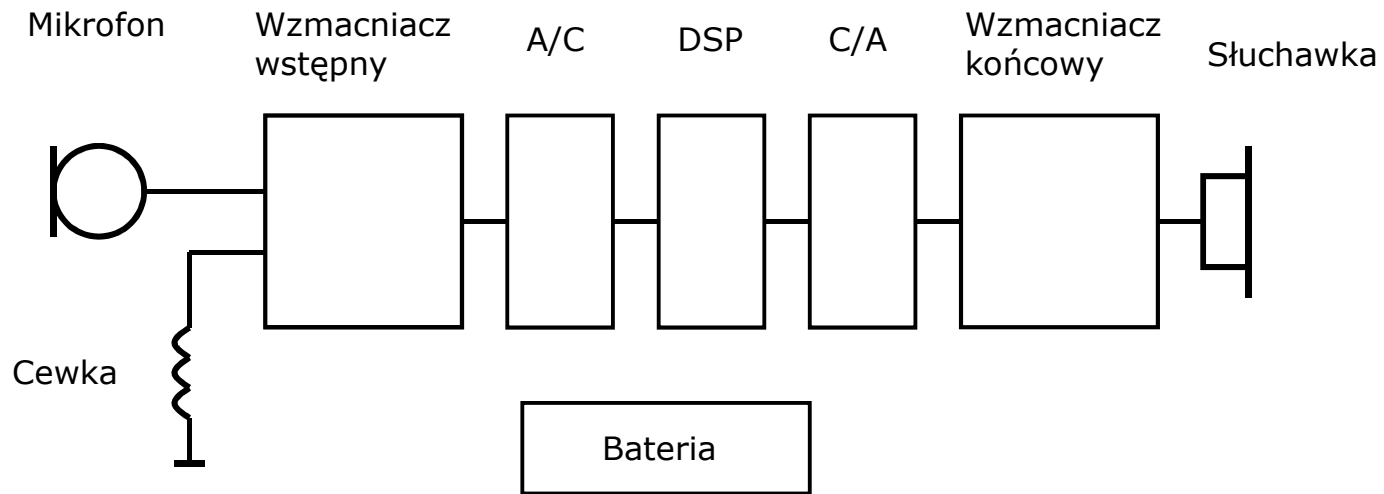
Schemat blokowy analogowego aparatu słuchowego



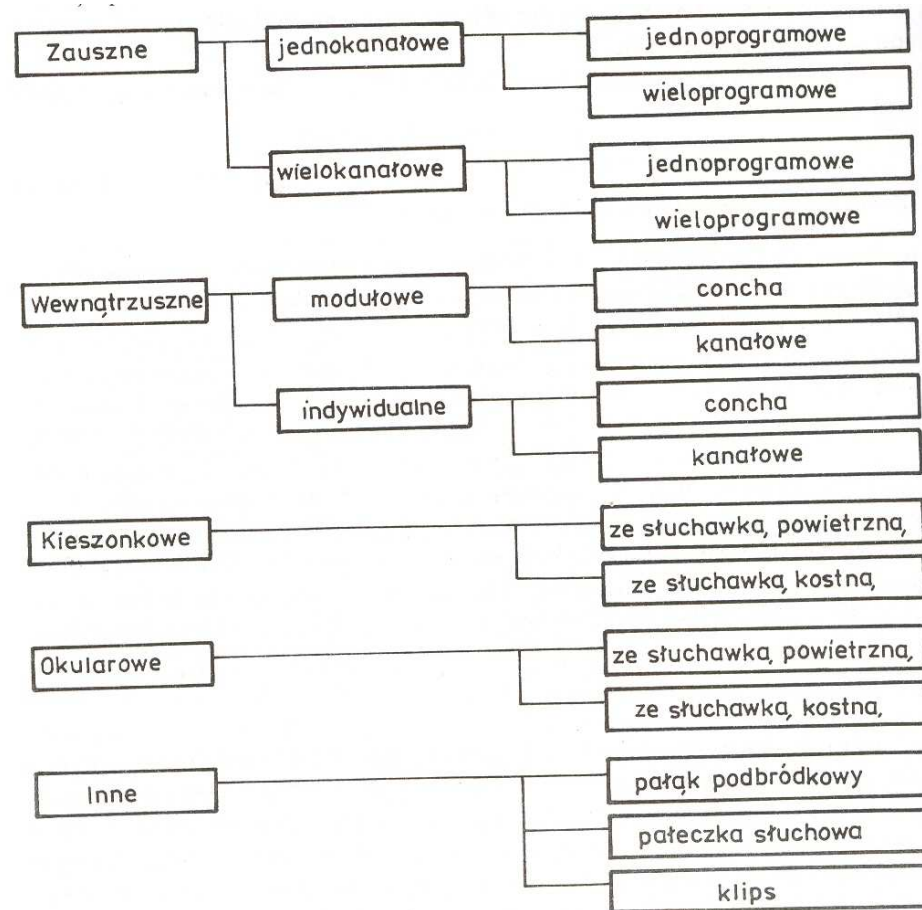
Aparaty cyfrowe

- Zalety
 - Możliwość precyzyjnego dopasowania do każdego rodzaju uszkodzenia słuchu
 - Ekonomiczne w eksploatacji
 - Wiele dodatkowych możliwości np. automatyczna adaptacja do rodzaju sygnału, współpraca z telefonami komórkowymi itd.
- Wady
 - Wysoki koszt

Schemat blokowy cyfrowego aparatu słuchowego



Rodzaje aparatów słuchowych



Rodzaje aparatów słuchowych (2)

- Zauszne (BTE)
- Wewnątrzuszne (ITE)
- Wewnątrzkanałowe (ITC, CIC)

Aparaty zauszne



Aparaty zauszne

- **Zalety:**
 - Prosty w obsłudze (nie wymaga dużej precyzji)
 - Dla każdego ubytku słuchu
 - Ekonomiczny pod względem zużycia baterii
 - Możliwość stosowania dodatkowych urządzeń wspomagających słyszenie
- **Wady:**
 - Mało satysfakcjonujący efekt kosmetyczny

Aparaty wewnątrzuszne



Aparaty wewnętrzne

- **Zalety:**
- Bardziej satysfakcjonujący efekt kosmetyczny
- Ekonomiczny pod względem zużycia baterii
- Łatwy w obsłudze manualnej
- **Wady:**
- Ograniczenia związane z budową anatomiczną ucha
- Ograniczenia związane z patologiami ucha zewnętrznego i środkowego
- Efekt kosmetyczny nie zawsze zgodny z oczekiwaniami pacjenta

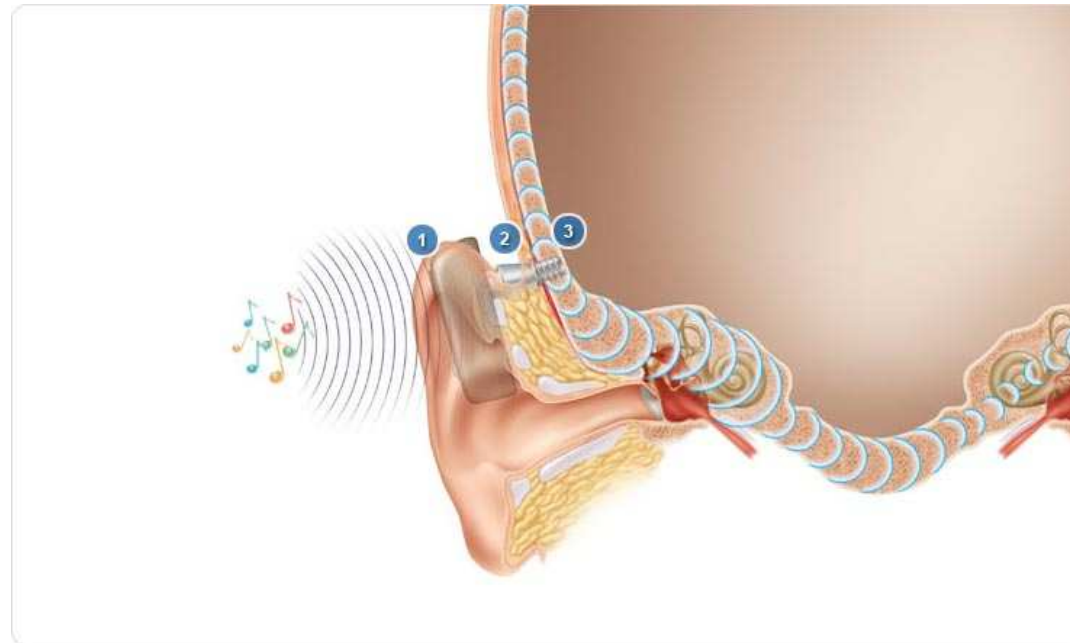
Aparaty wewnątrzkanałowe



Aparaty wewnątrzkanałowe

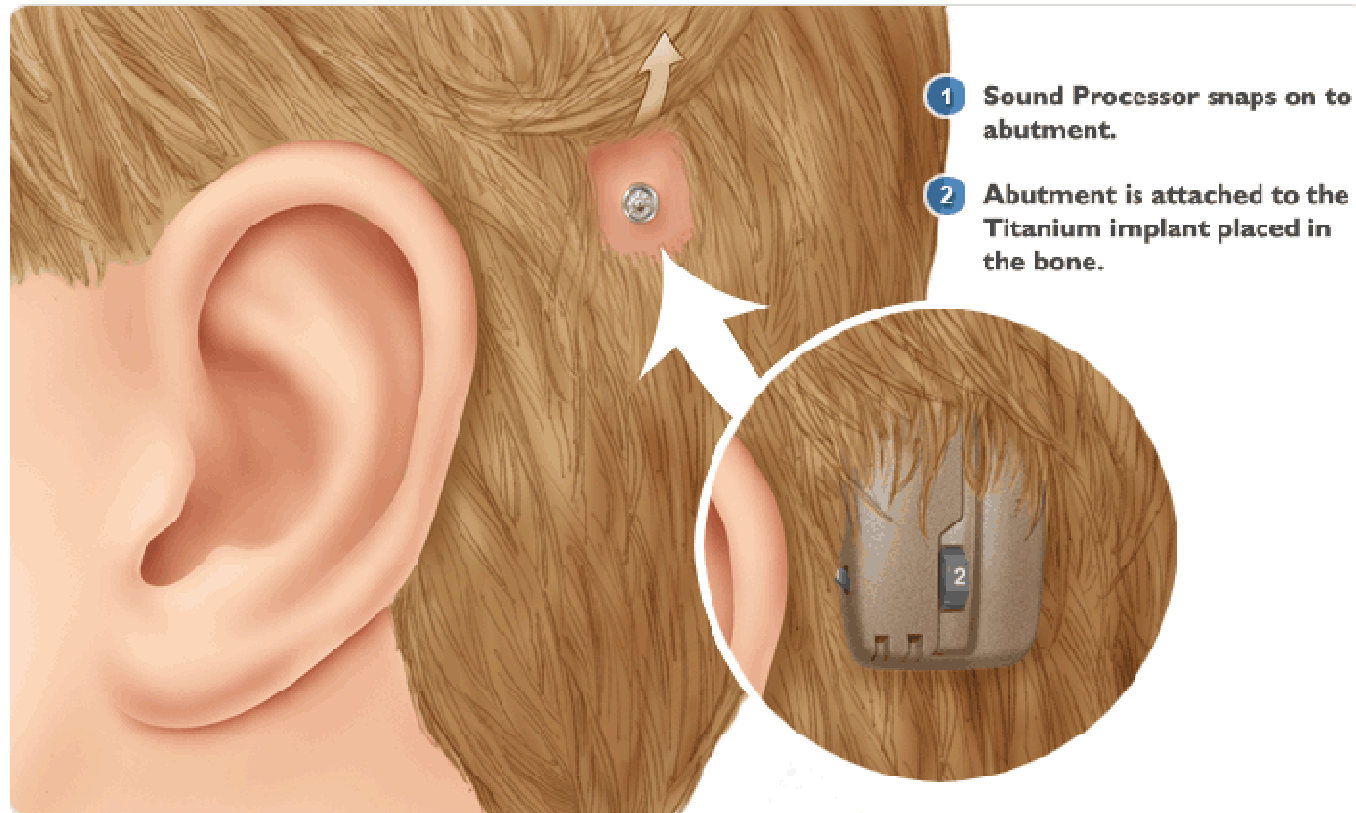
- **Zalety:**
- Idealny efekt kosmetyczny
- **Wady:**
- Konieczność precyzyjnej obsługi manualnej
- Mało ekonomiczne zużycie baterii
- Zaostrzone wymagania co do budowy przewodu słuchowego zewnętrznego
- Ograniczenia związane z patologiami ucha zewnętrznego i środkowego
- Konieczność częstego czyszczenia aparatu

Aparaty (implanty) kostne (BAHA)

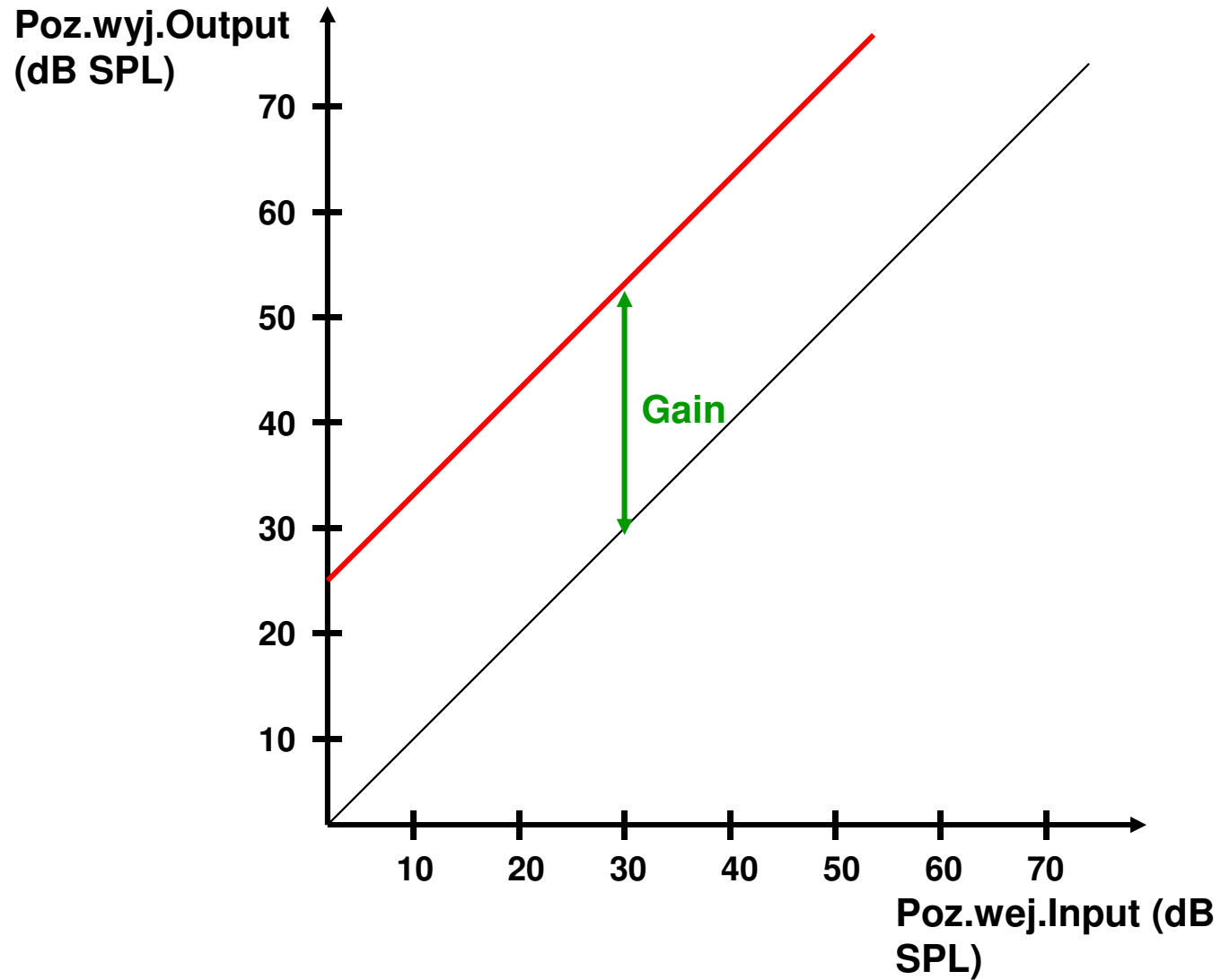


- 1 – procesor
- 2 – łącznik mechaniczny
- 3 – implant tytanowy

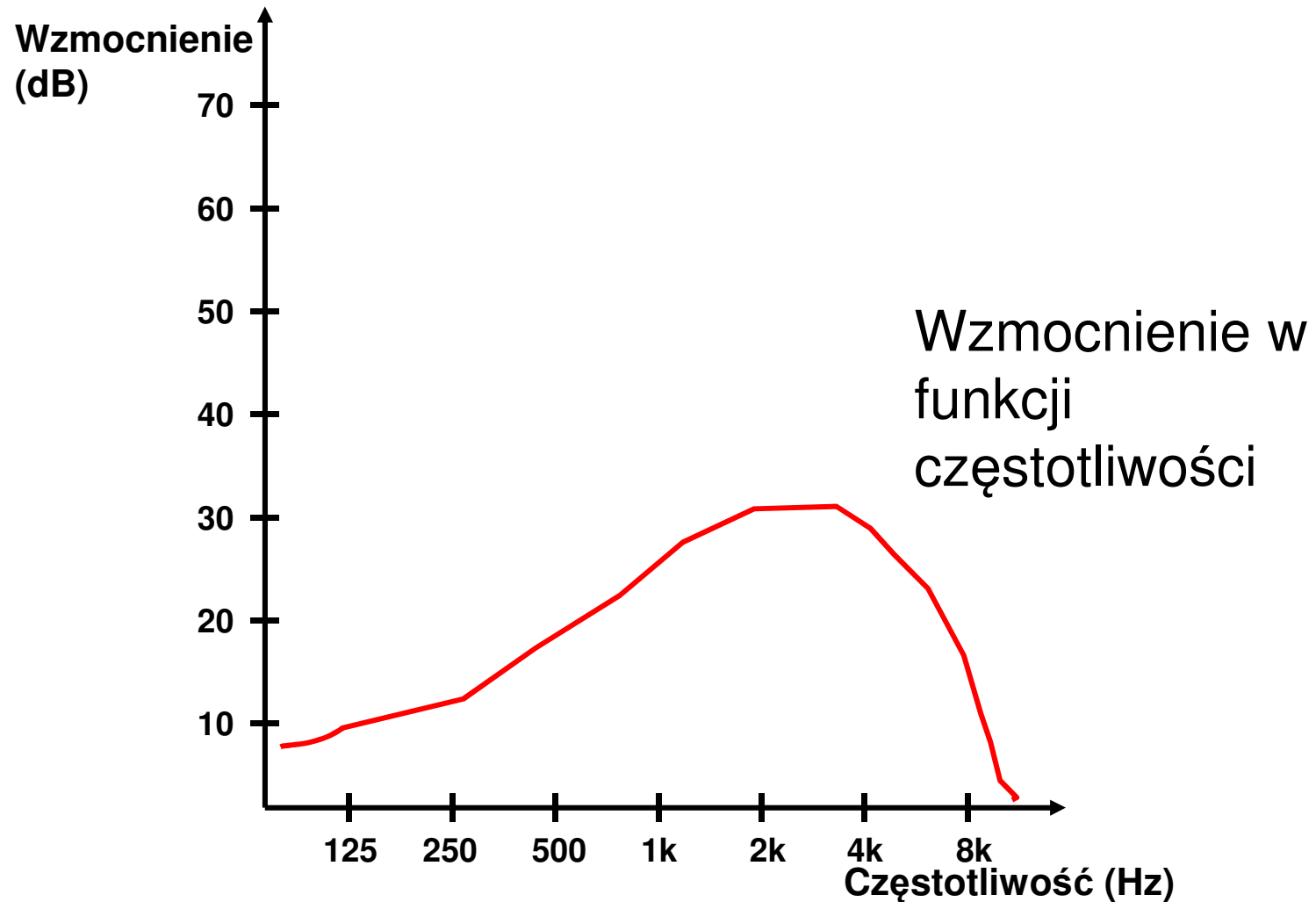
Aparaty kostne



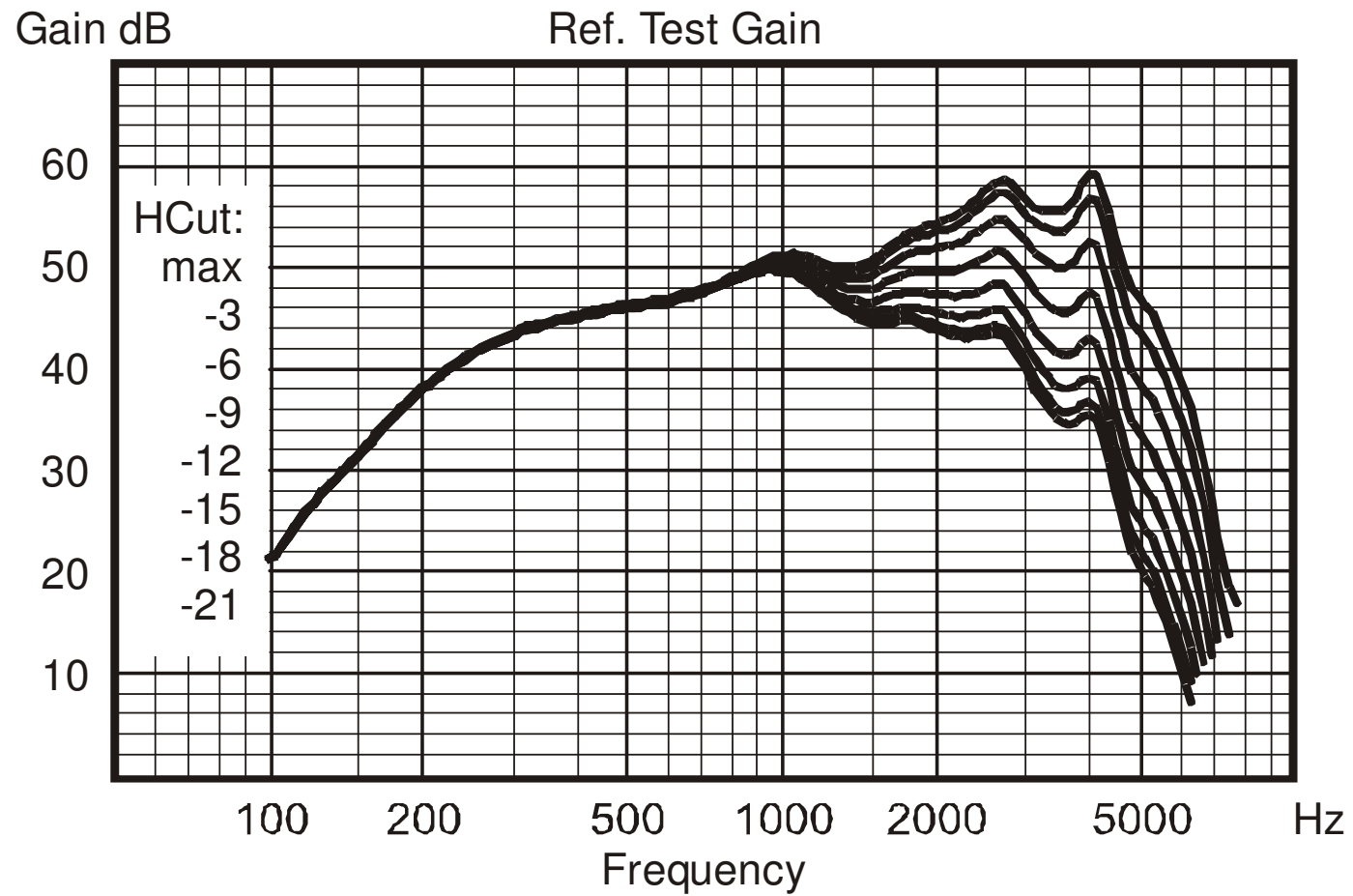
Parametry aparatów słuchowych - wzmacnienie



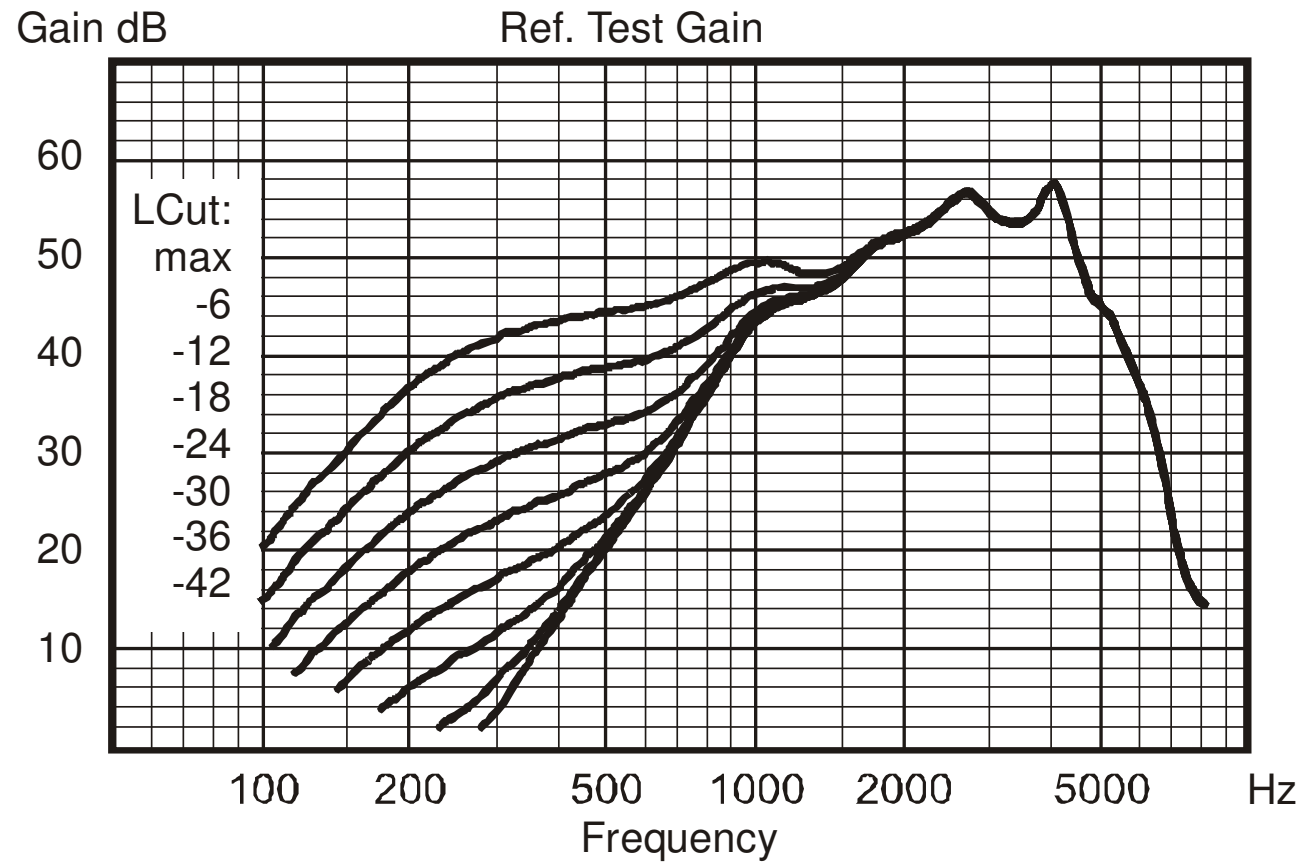
Parametry aparatów słuchowych – charakterystyka częstotliwościowa wzmocnienia



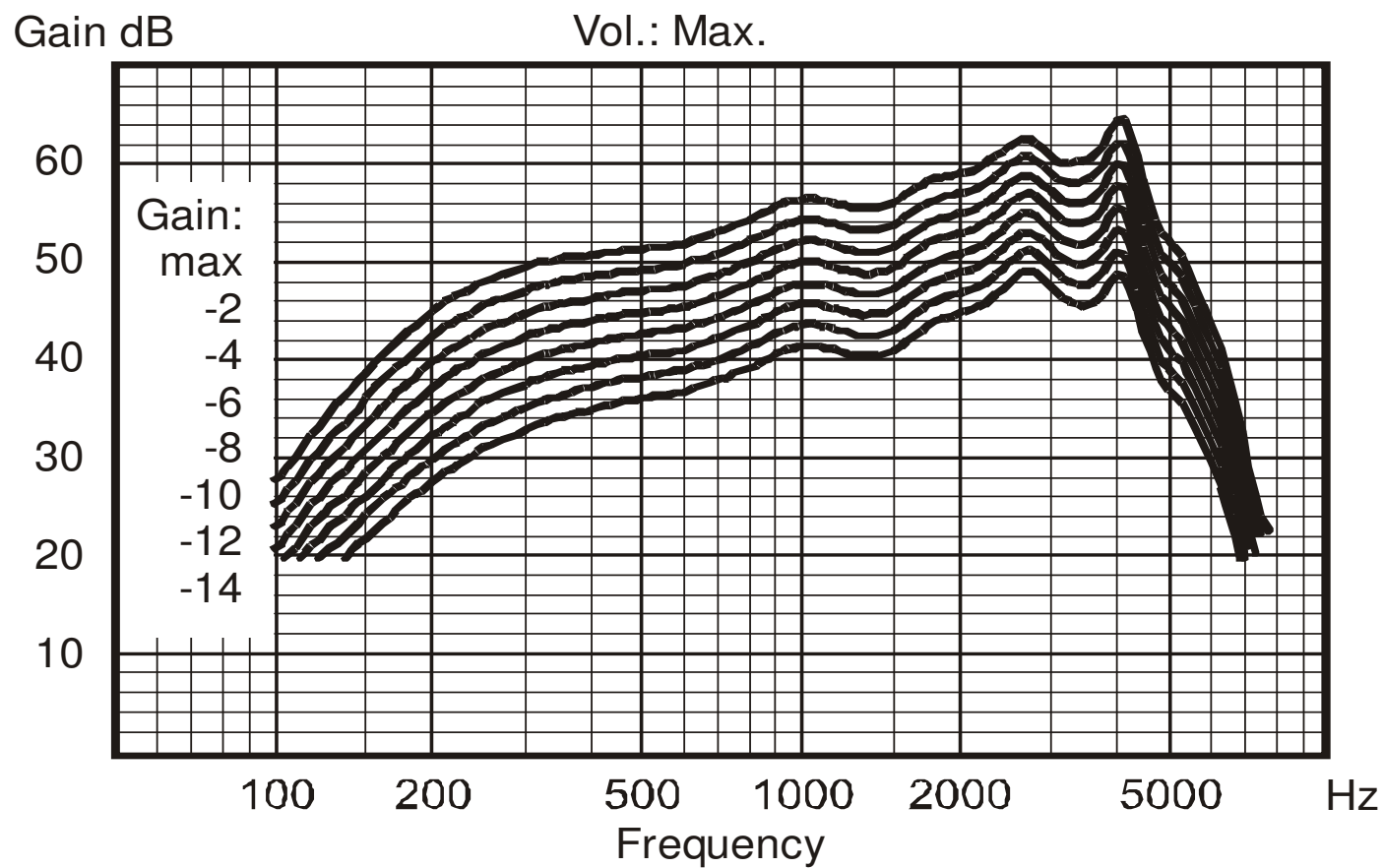
Filtr tonów wysokich



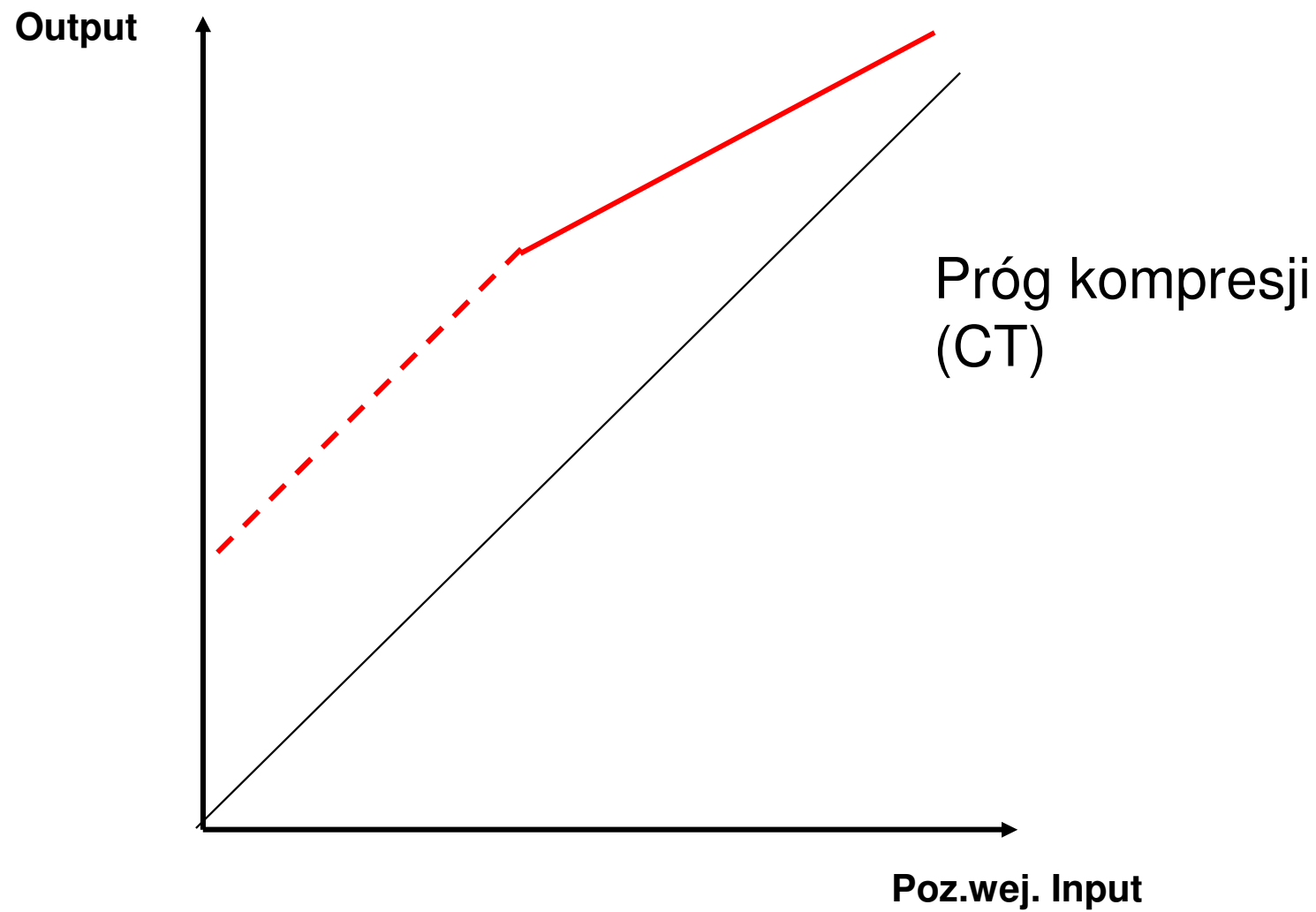
Filtr tonów niskich



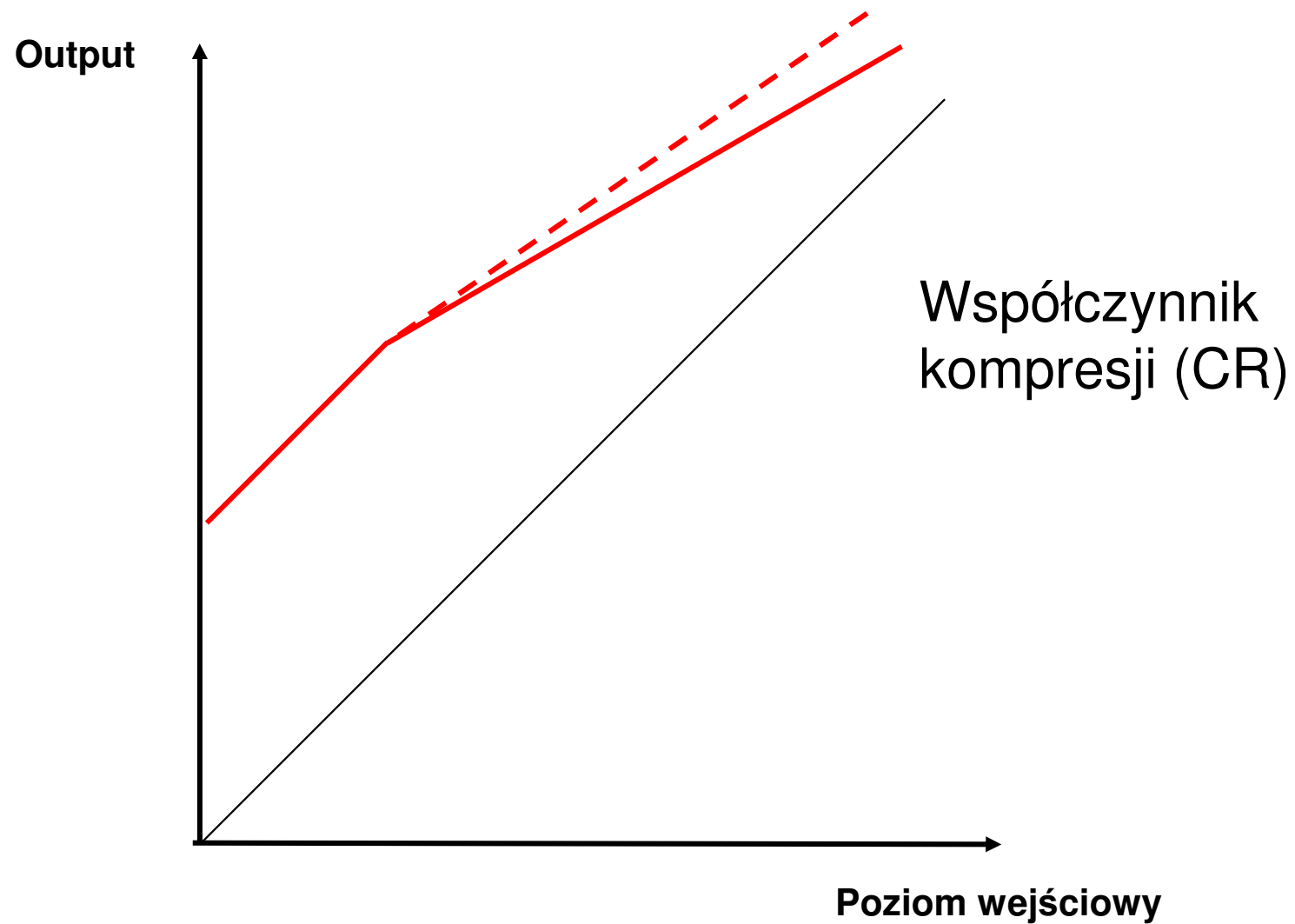
Regulacja wzmacnienia całkowitego



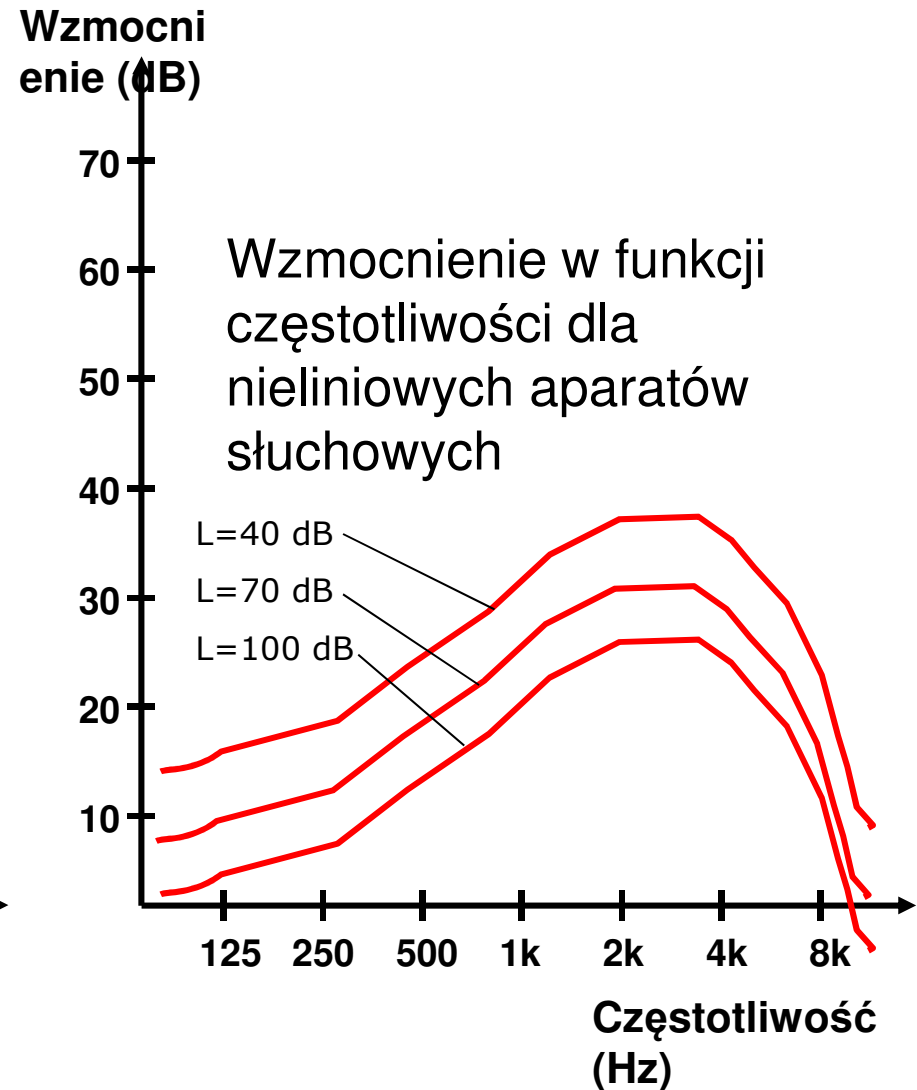
Próg kompresji w nieliniowych aparatach słuchowych



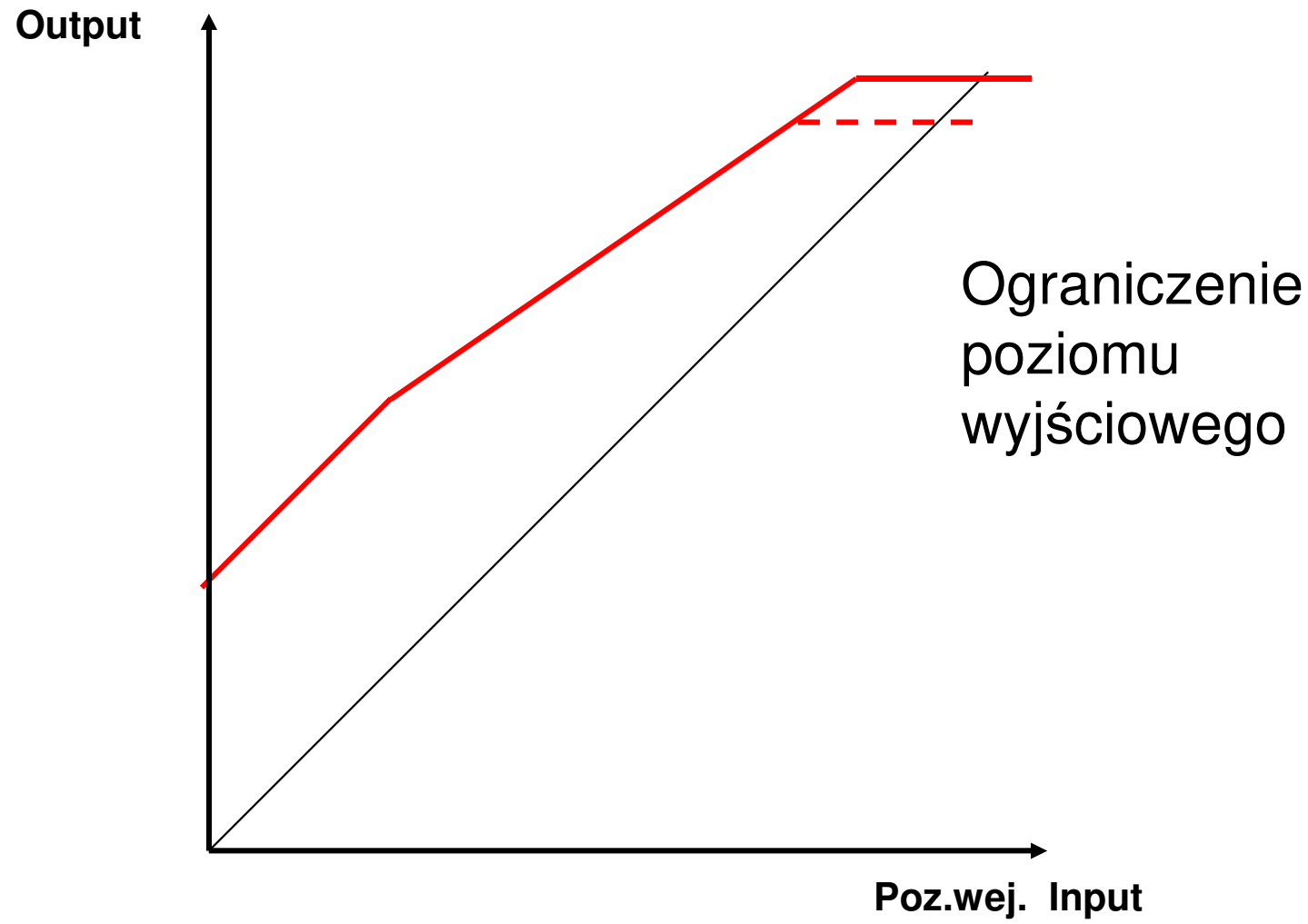
Współczynnik kompresji w nieliniowych aparatach słuchowych



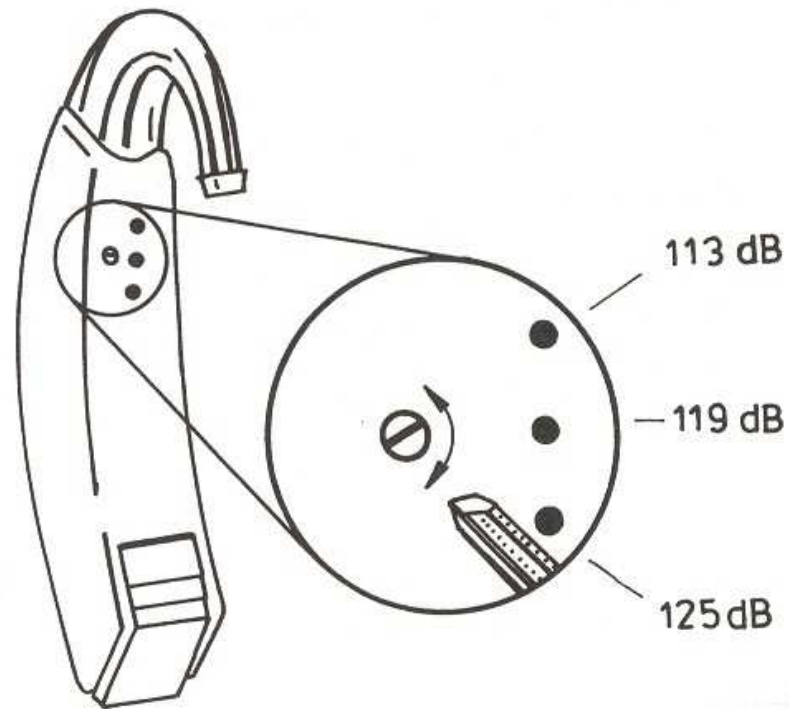
Wzmocnienie w liniowych i nieliniowych aparatach słuchowych



Ograniczenie poziomu wyjściowego



Ograniczenie poziomu wyjściowego - regulacja



Budowa aparatu BTE



Elementy aparatu BTE



1



2



3



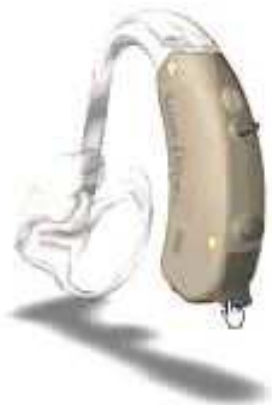
4



5

- 1 – bateria
- 2 – elektronika
- 3 – mikrofon(y)
- 4 – słuchawka
- 5 - cewka

Obsługa aparatu BTE – pojemnik na baterię



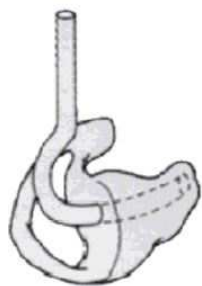
Obsługa aparatu BTE – regulacja wzmacnienia



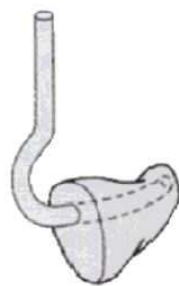
Obsługa aparatów BTE: przełącznik cewka – mikrofon (MT)



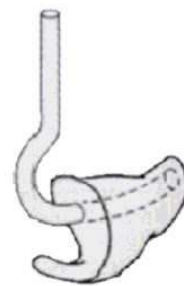
Wkładka uszna



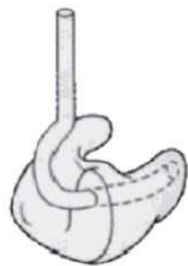
Wkładka ażurowa



Wkładka kanałowa



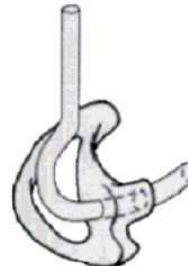
Wkładka klipsowa



Wkładka pełna



Wkładka otwarta



Wkładka półotwarta

Konserwacja wkładki usznej



1



2



3



4

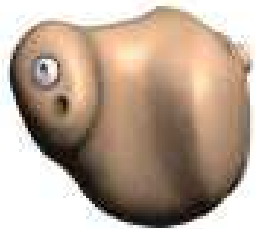
1 – odłączanie wkładki z rurką od aparatu słuchowego

2 – zanurzenie w letniej wodzie z mydłem

3 – płukanie pod bieżącą, letnią wodą

4 – przedmuchiwanie rurki

Budowa aparatu ITE



Elementy aparatu ITE



Bateria



Elektronika

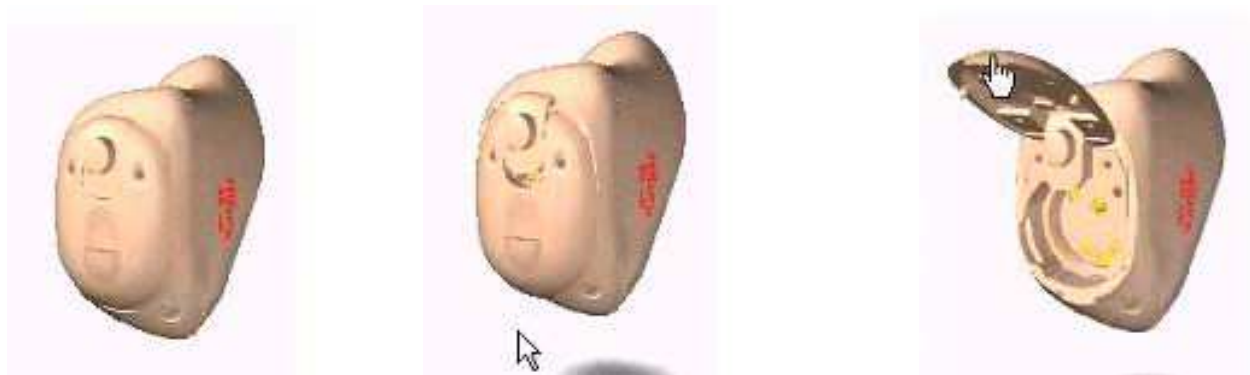


Mikrofony

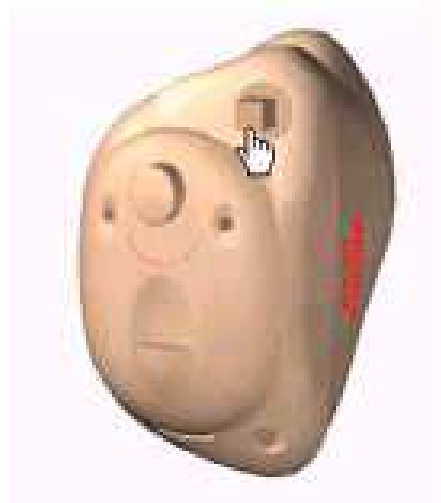


Słuchawka

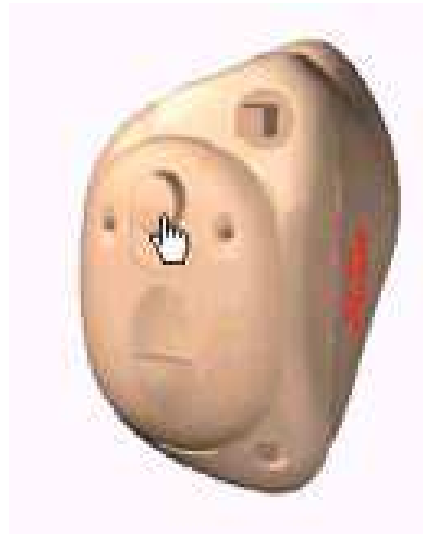
Obsługa aparatu ITE – pojemnik na baterię



Obsługa aparatu ITE – regulacja wzmacnienia



Obsługa aparatów ITE: przełącznik cewka – mikrofon (MT)



Konserwacja aparatu ITE



Narzędzia do konserwacji



Czyszczenie wylotu słuchawki



Czyszczenie wlotu mikrofonu



Czyszczenie otworu wentylacyjnego

Aparat wewnętrzny



Konserwacja aparatów CIC



Czyszczenie
otworu
wylotowego
słuchawki

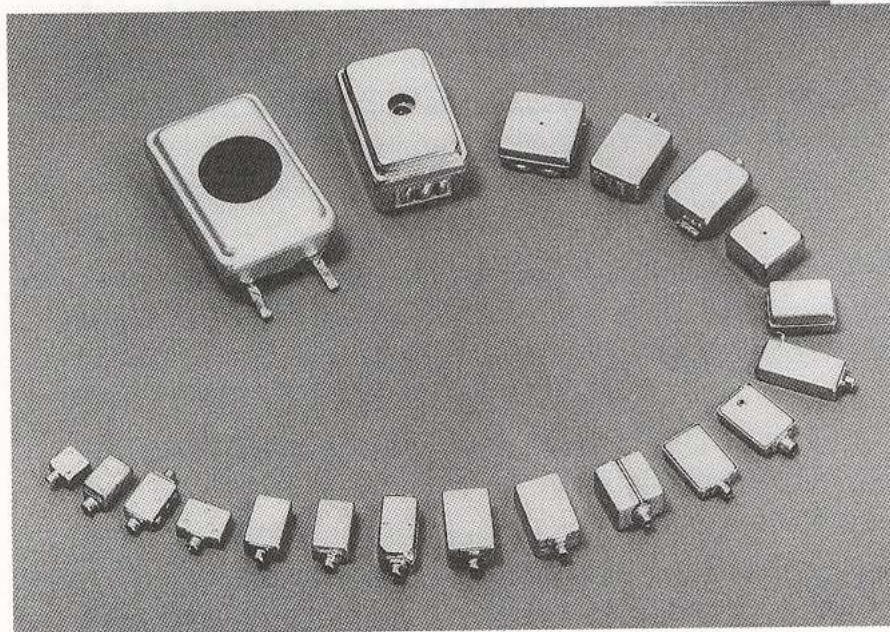


Czyszczenie
otworu
wlotowego
mikrofonu



Czyszczenie
otworu
wentylacyjnego

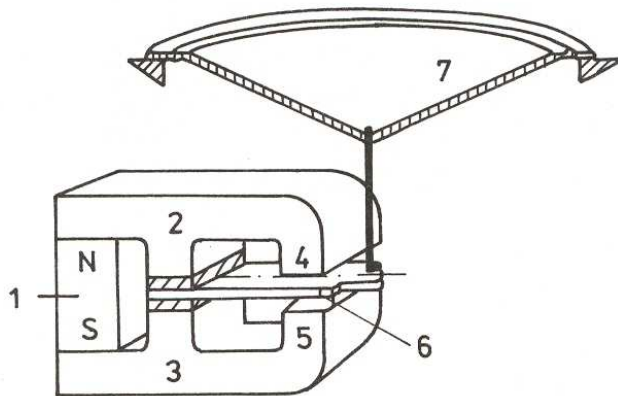
Mikrofony - miniaturyzacja



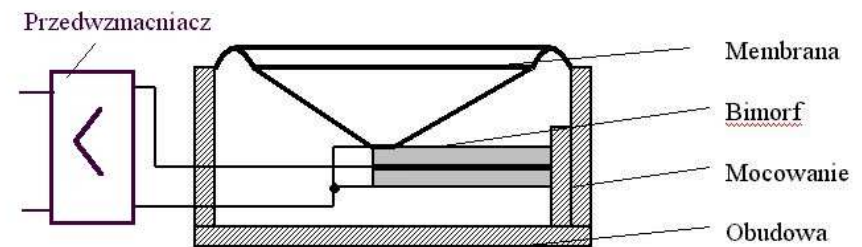
Największy (1954) – 3 cm³

Najmniejszy – 20 mm³ (0.02 cm³)

Mikrofony starego typu

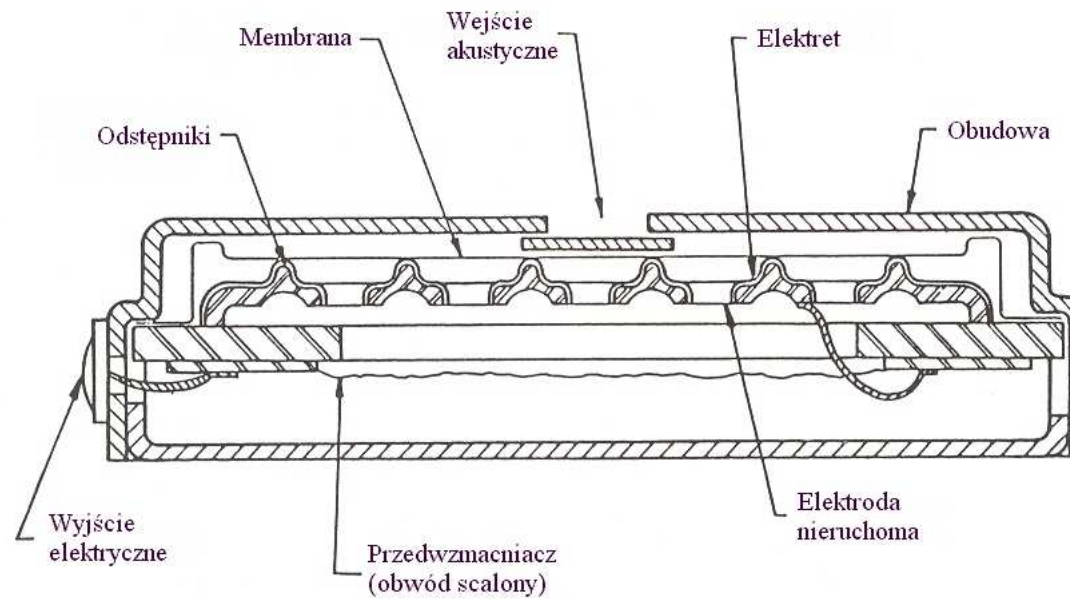


Elektromagnetyczny

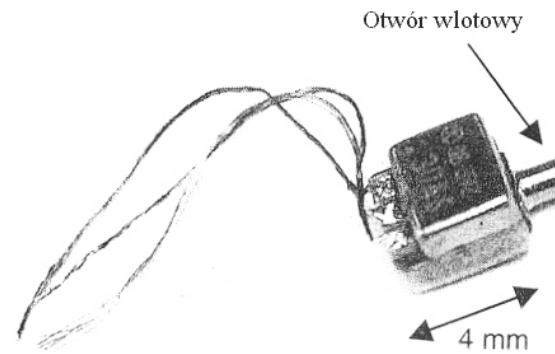
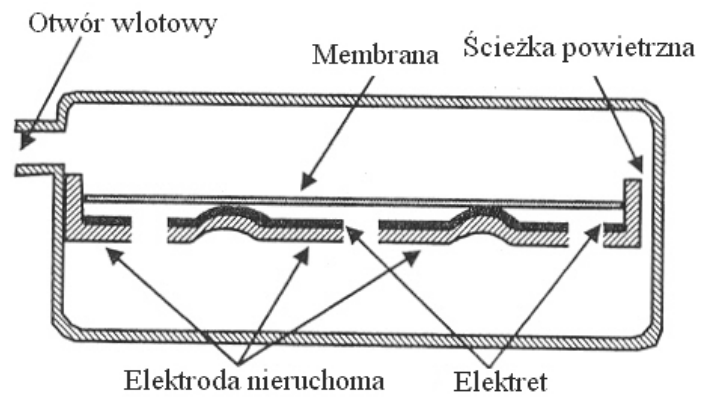


Piezoelektryczny

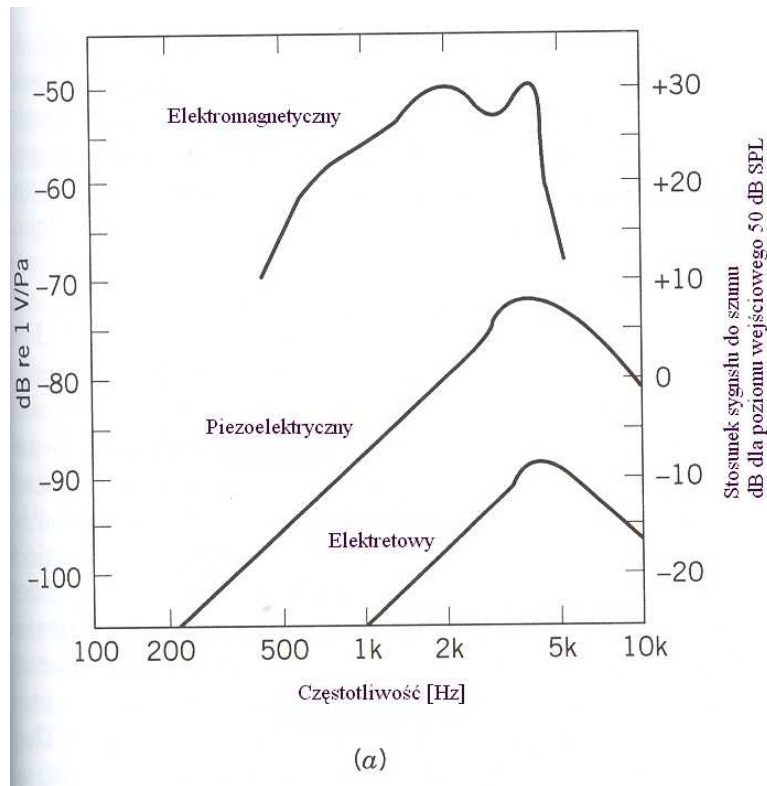
Mikrofony elektretowe



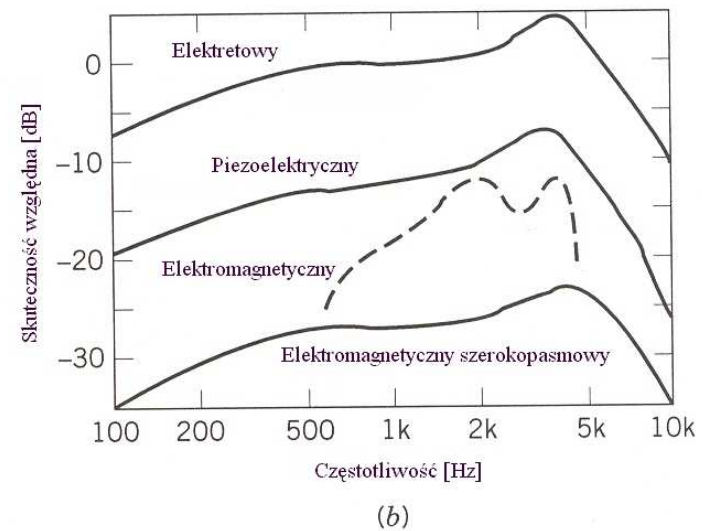
Mikrofony elektretowe



Mikrofony - porównanie

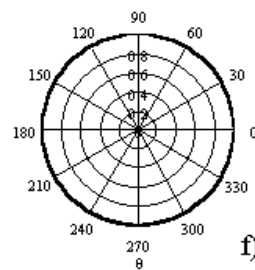
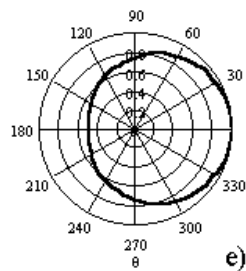
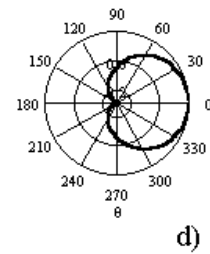
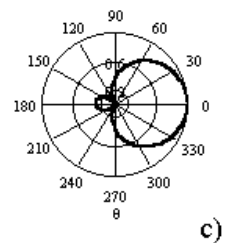
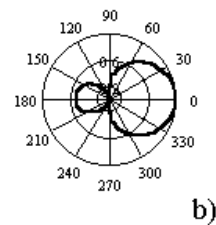
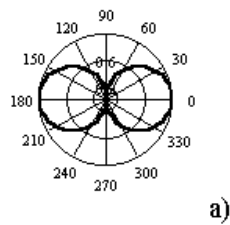


Wzmacniacz o małej impedancji wejściowej (5 k Ω)



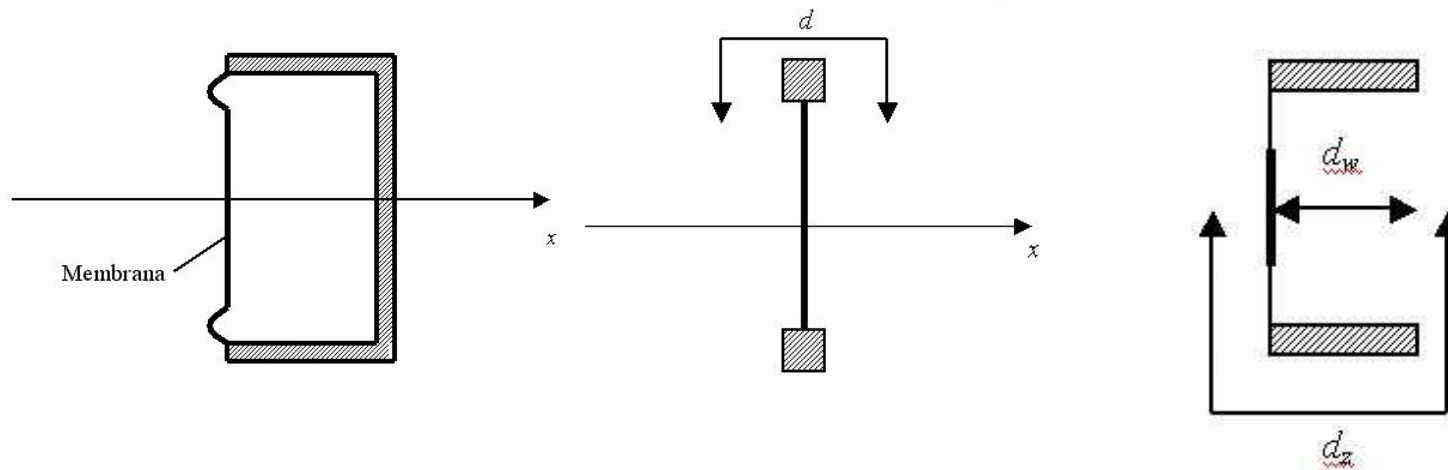
Wzmacniacz o dużej impedancji wejściowej (100 M Ω)

Typy charakterystyk kierunkowości



- a) Ósemka
- b) Hiperkardioida
- c) Superkardioida
- d) Kardioida
- e) Hipokardioida
- f) Koło

Kształtowanie charakterystyki kierunkowości

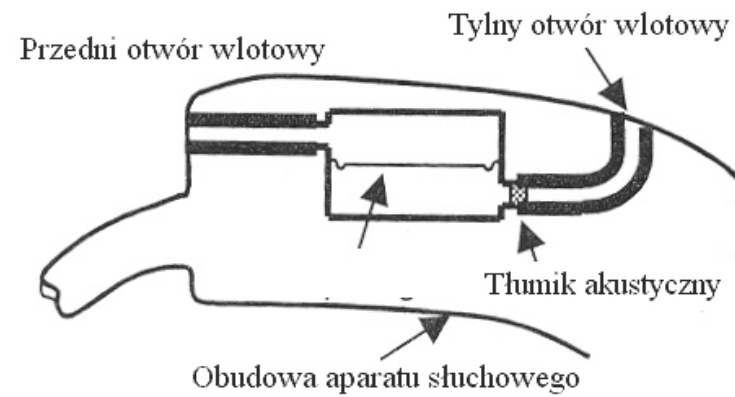


Dookólny (koło)

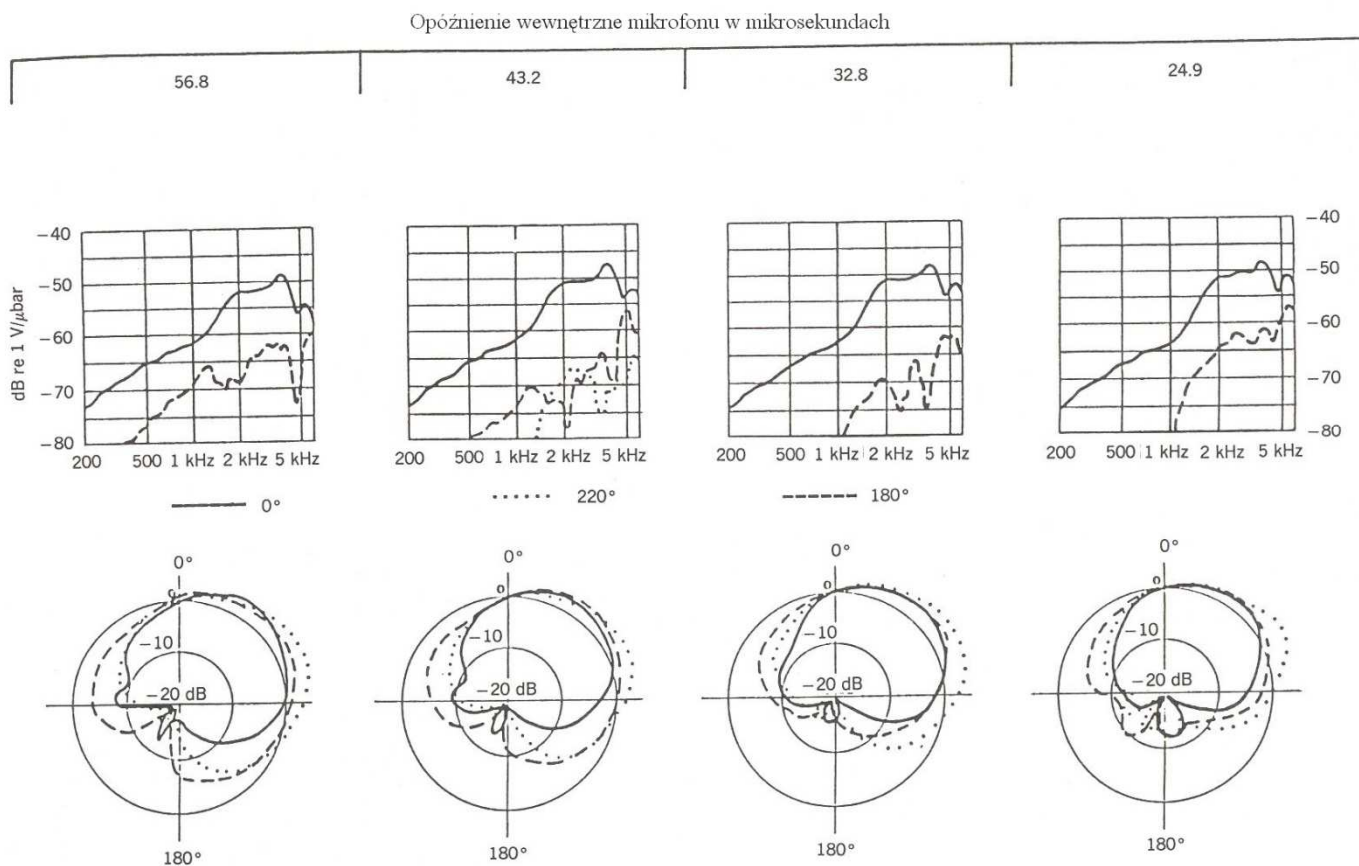
Ósemka

Jednokierunkowy

Mikrofon kierunkowy

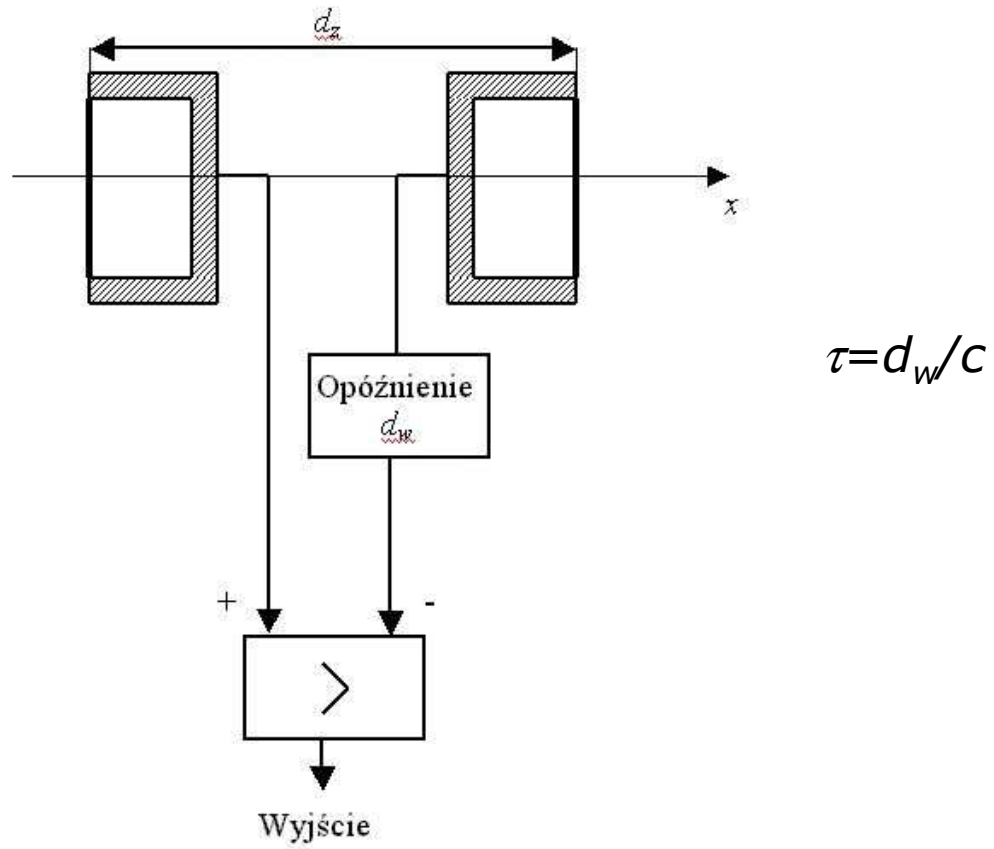


Wpływ opóźnienia wewnętrznego mikrofonu

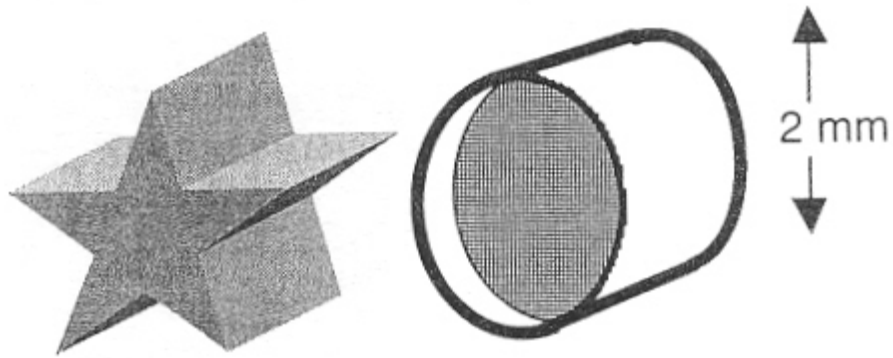


Odległość wlotów – 8.3 mm

Matryca mikrofonowa

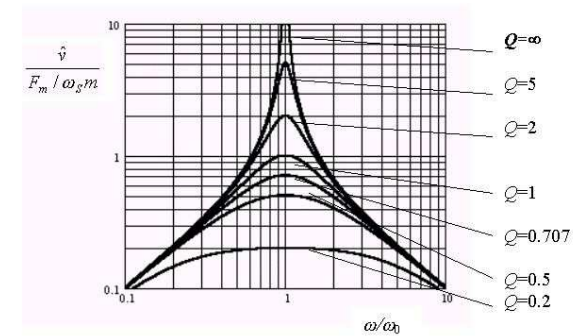


Tłumiki akustyczne

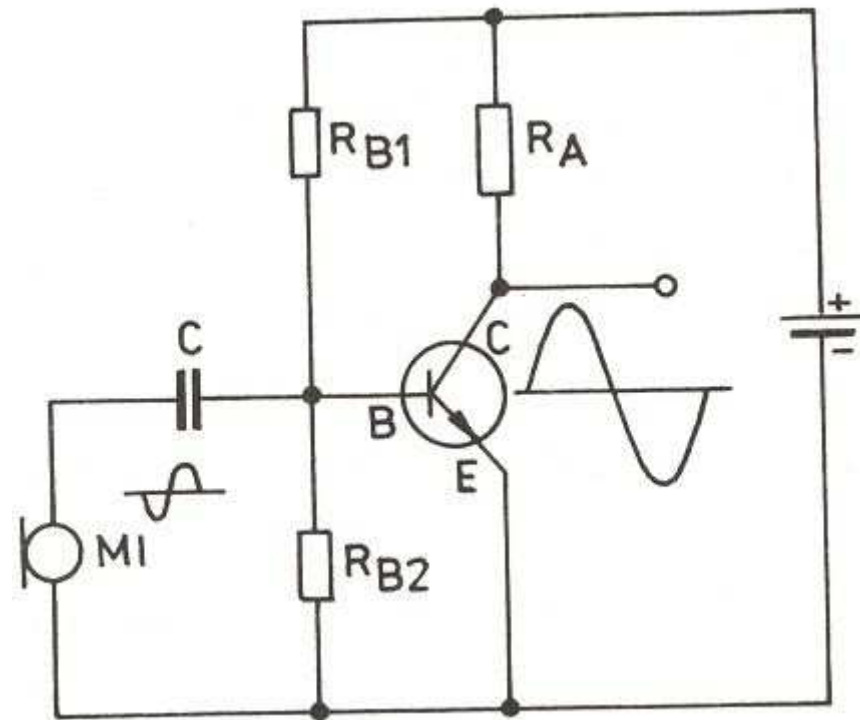


Zadania:

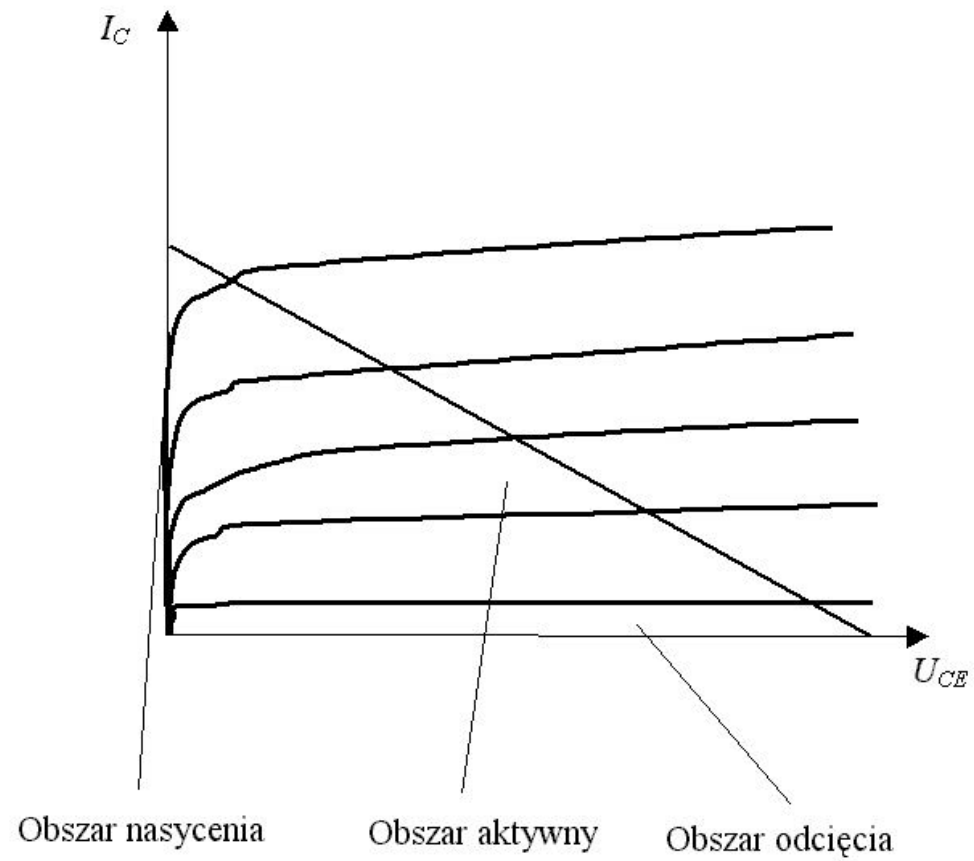
- Tłumienie rezonansów (obniżanie dobroci)
- Ochrona przed wiatrem



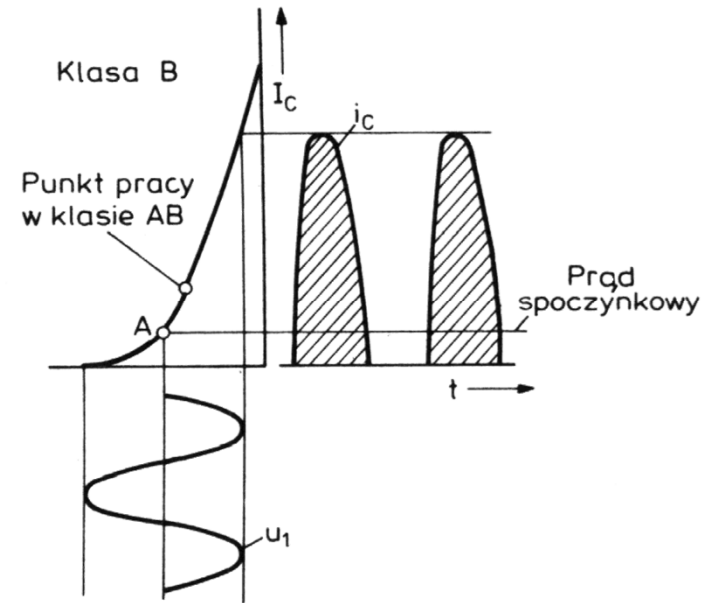
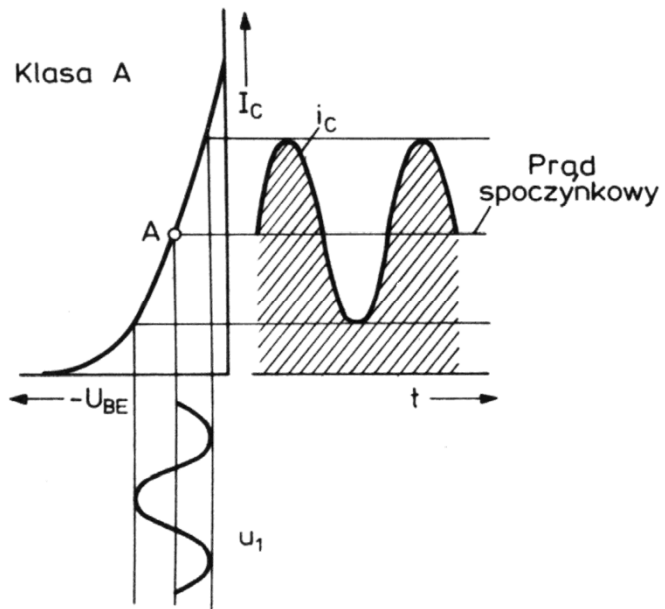
Wzmacniacze



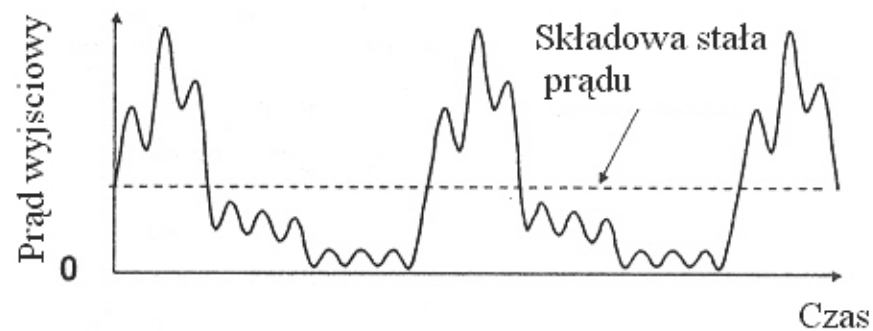
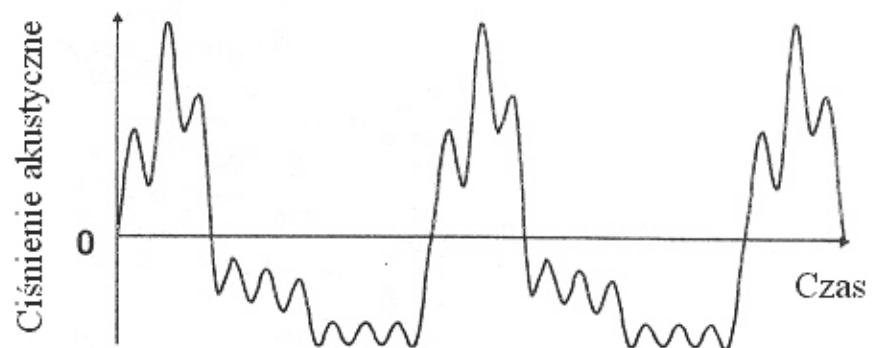
Charakterystyka tranzystora



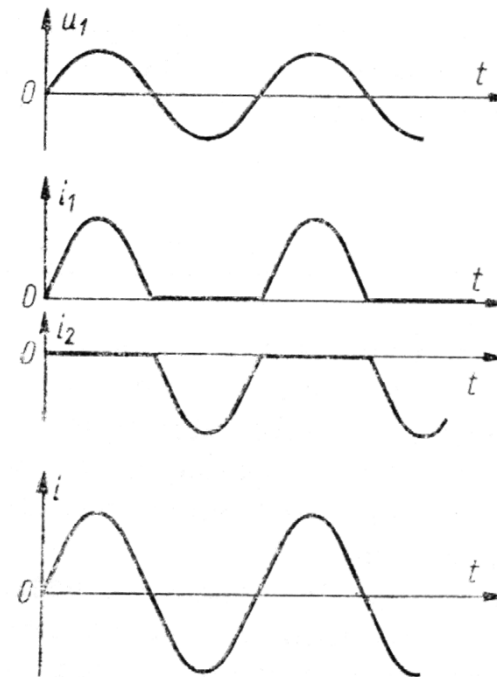
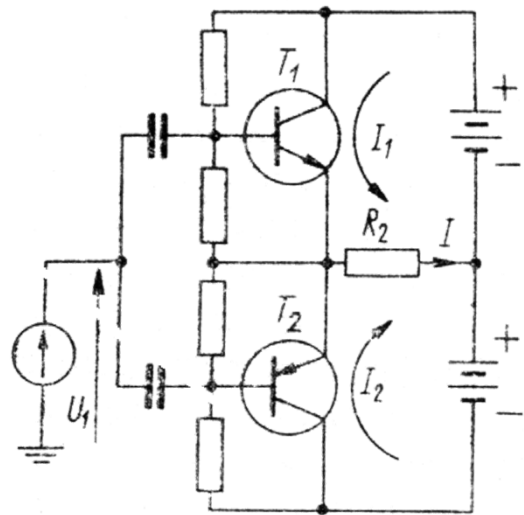
Wzmacniacze mocy klasy A i B



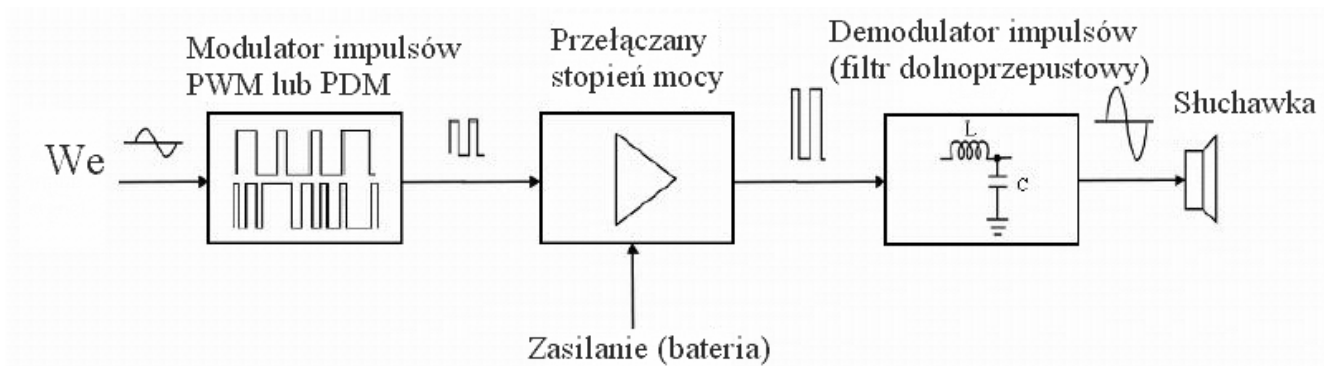
Działanie wzmacniacza w klasie A



Wzmacniacz przeciwzobny



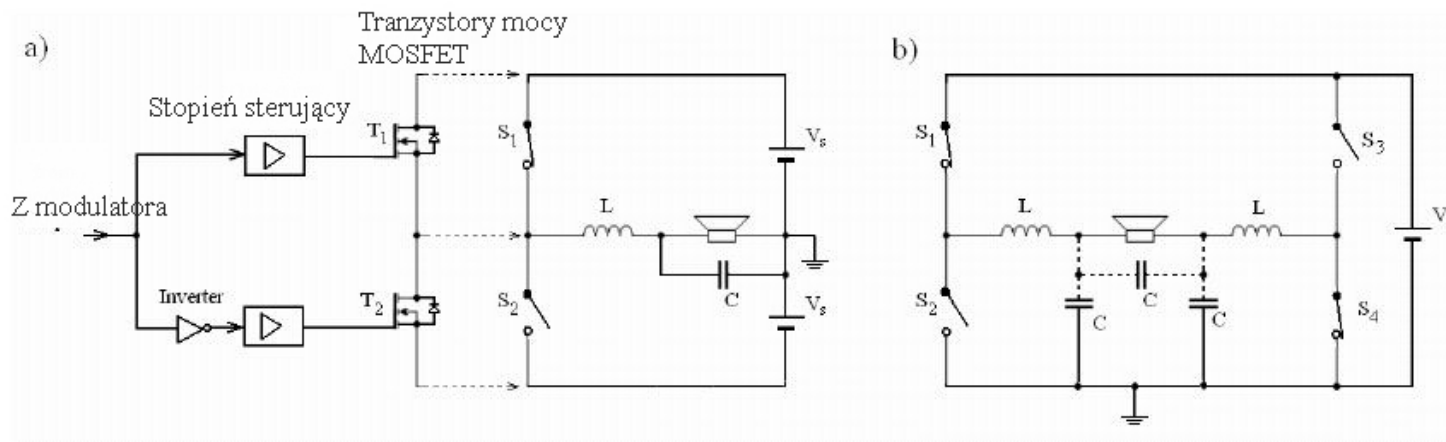
Wzmacniacz klasy D



PWM – modulacja szerokości impulsów

PDM – modulacja gęstości impulsów

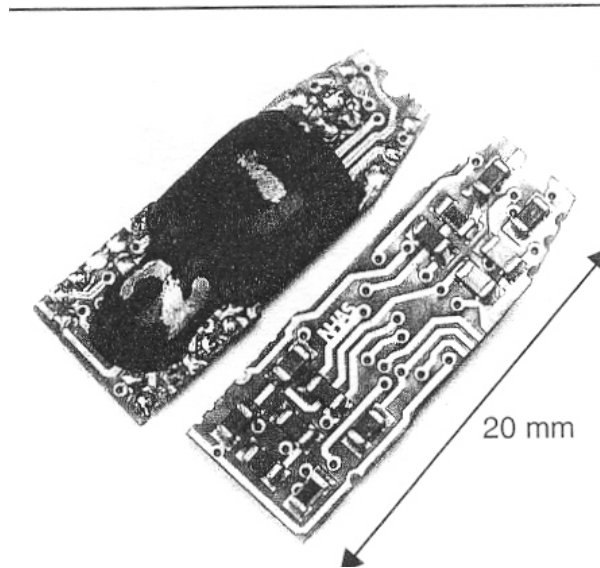
Przełączany stopień mocy



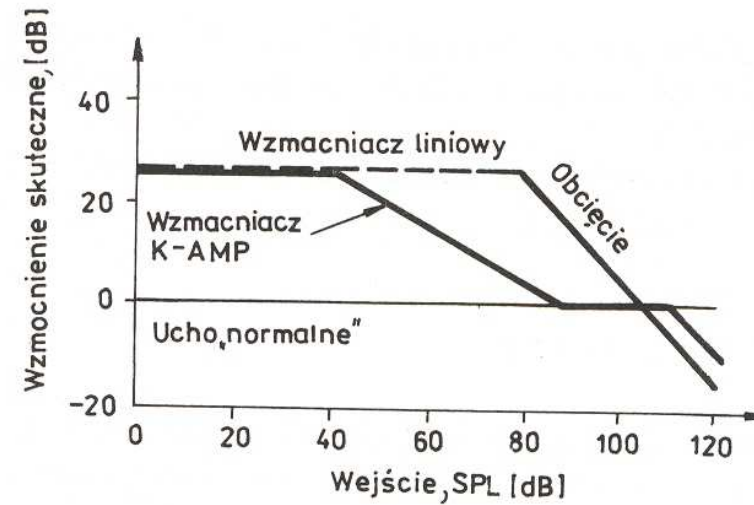
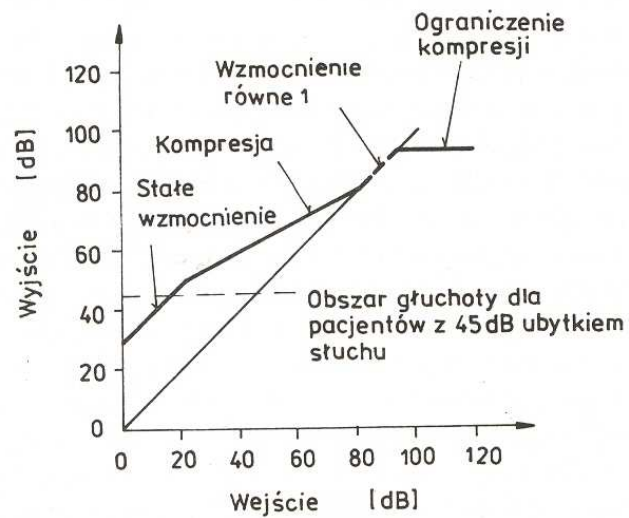
Układ półmostkowy

Układ pełnomostkowy

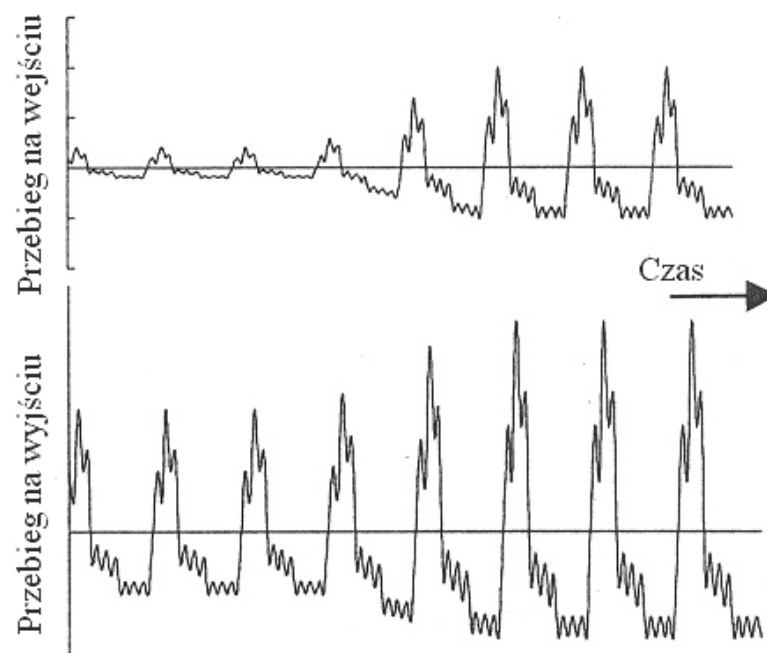
Współczesny wzmacniacz dla aparatów BTE



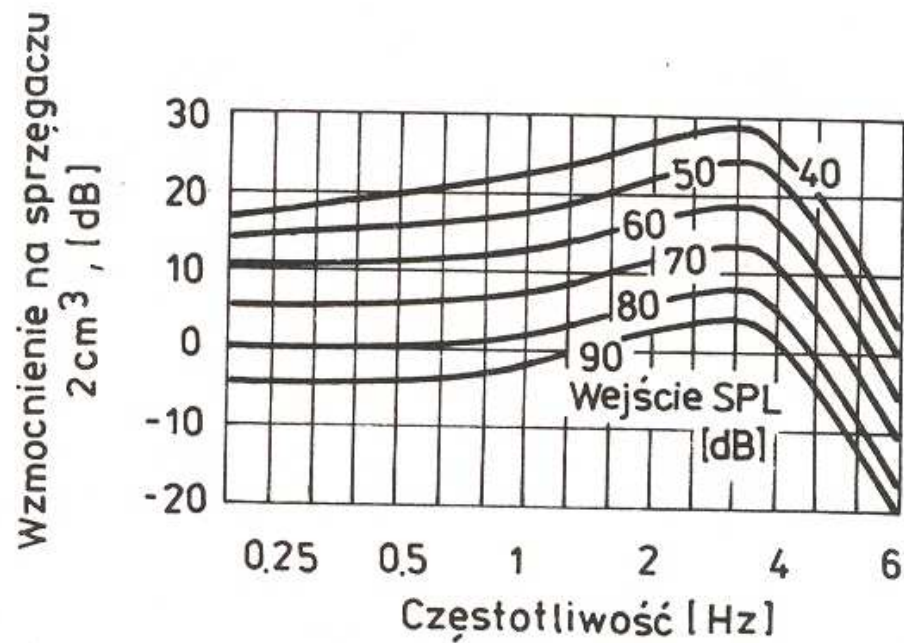
Kompresja w aparatach słuchowych



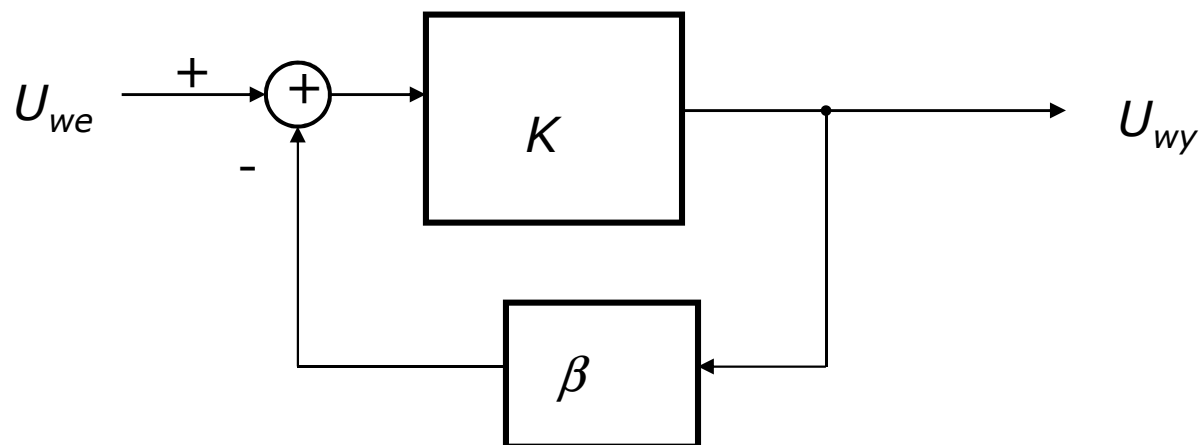
Kompresja w aparatach słuchowych



Charakterystyki częstotliwościowe układu z kompresją

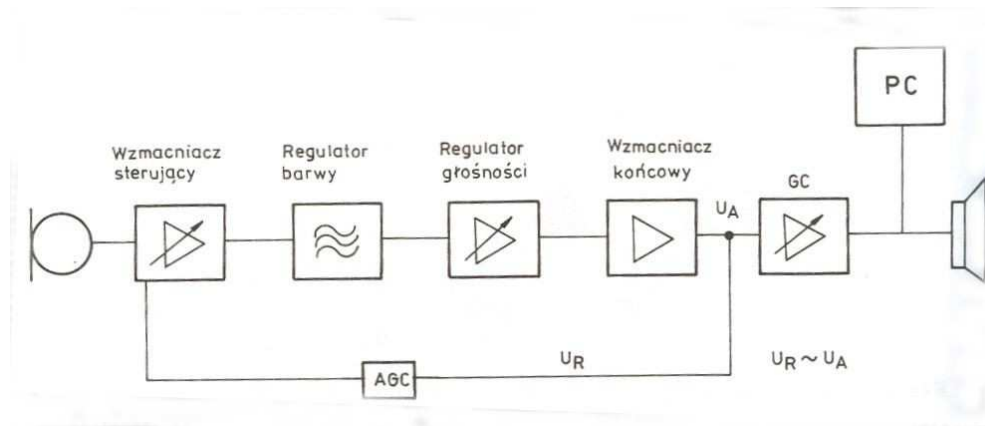


Sprężenie zwrotne

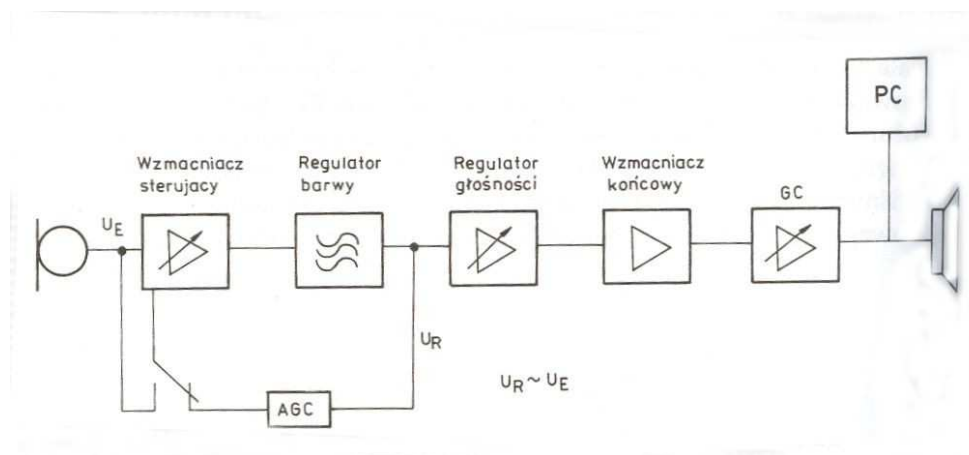


$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{K}{1 + K \cdot \beta}$$

Automatyczna regulacja wzmacnienia (AGC)

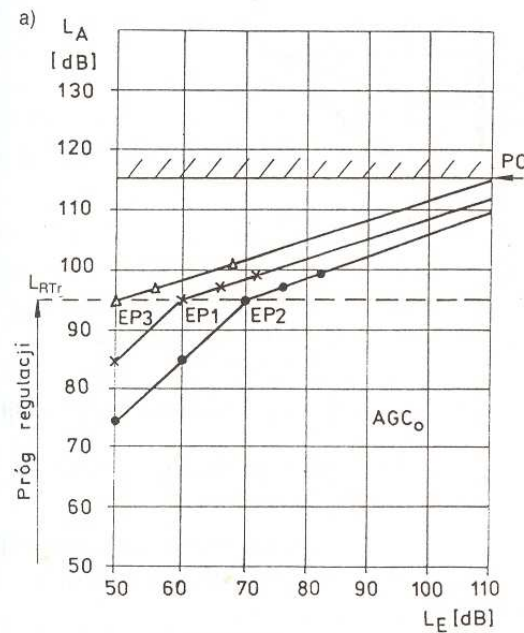


AGC_o



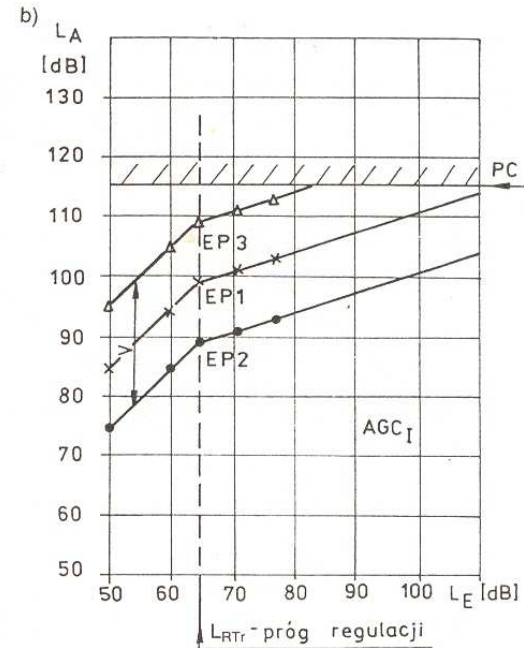
AGC_i

Automatyczna regulacja wzmacnienia



$x = V = 35 \text{ dB} \hat{=} \text{EP1}$
 $\bullet = V = 25 \text{ dB} \hat{=} \text{EP2}$
 $\Delta = V = 45 \text{ dB} \hat{=} \text{EP3}$
 $CV = 3:1$
 $V = L_{RTr} - EP_S$
 $\Rightarrow L_{RTr} = \text{constant}$
 $EP_S = \text{zmienny}$

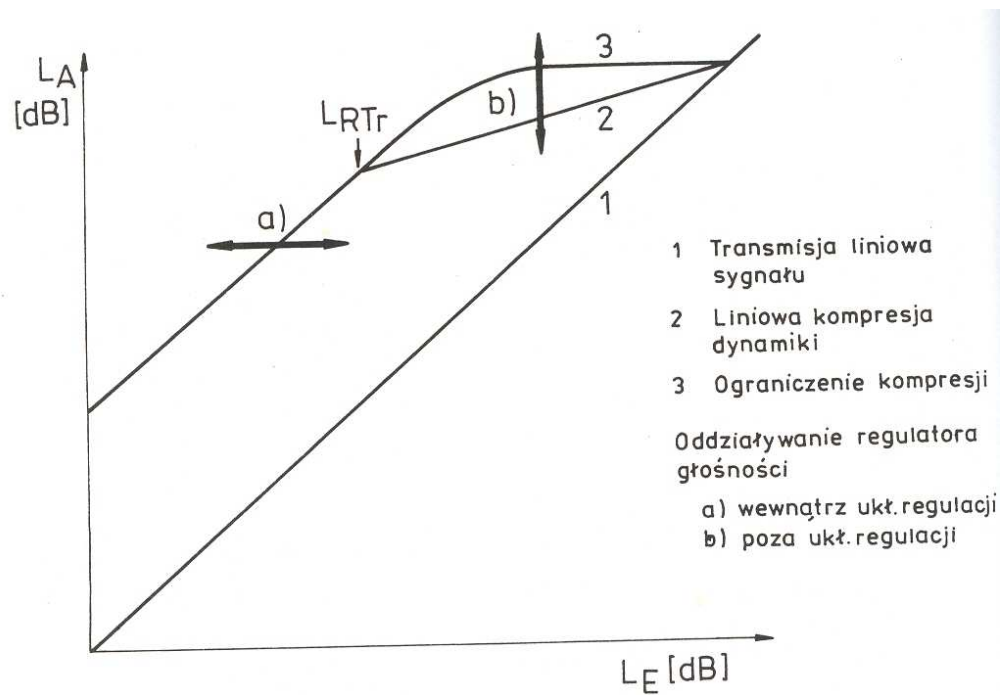
$$\Delta L_A = \frac{\Delta V}{CV}$$



$x = V = 35 \hat{=} \text{EP1}$
 $\bullet = V = 25 \hat{=} \text{EP2}$
 $\Delta = V = 45 \hat{=} \text{EP1}$
 $CV = 3:1$
 $V = L_{RTr} - EP_S$
 $\Rightarrow L_{RTr} = \text{constant}$
 $EP_S = \text{zmienny}$

$$\Delta V = \Delta L_A$$

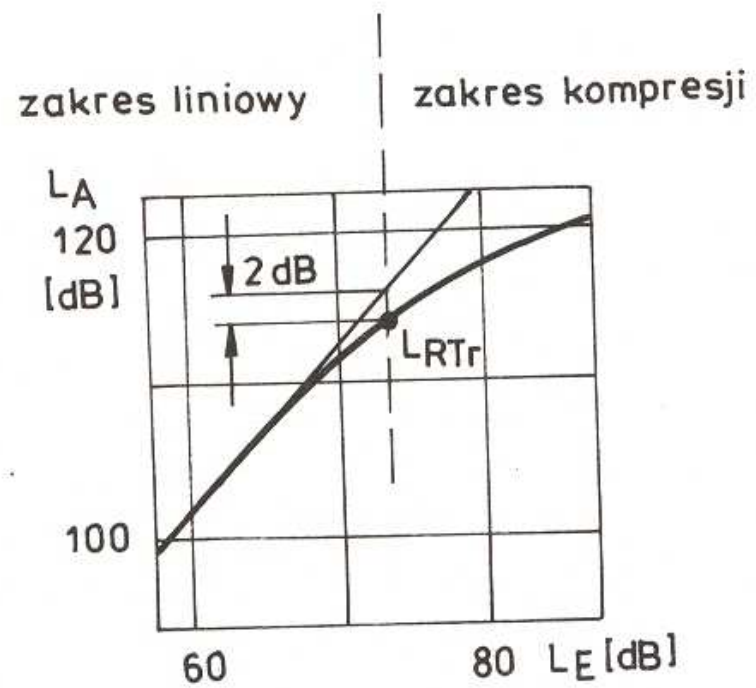
Regulacja głośności w układach AGC_o i AGC_i



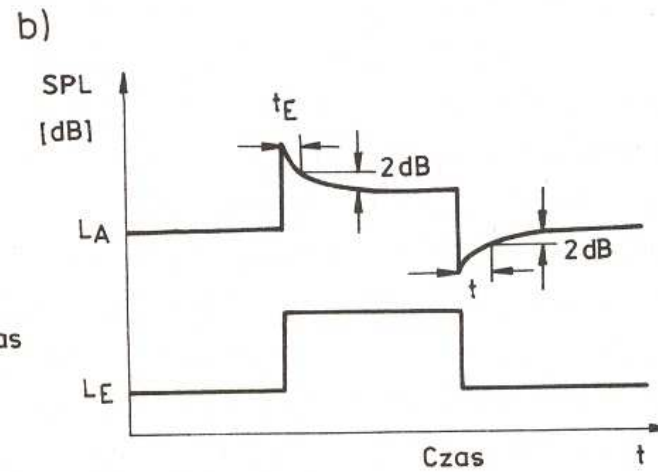
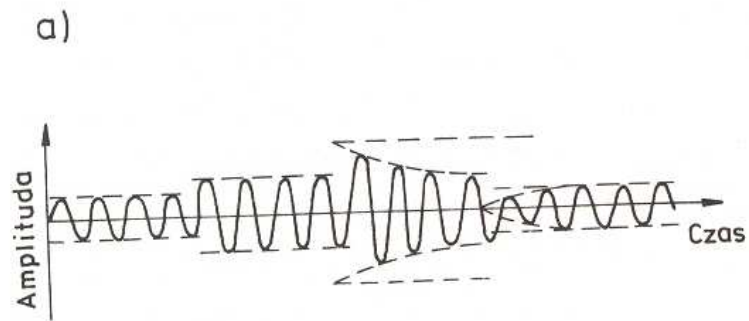
Wsp. kompresji

$$C_R = \frac{\Delta L_E}{\Delta L_A} \geq 1$$

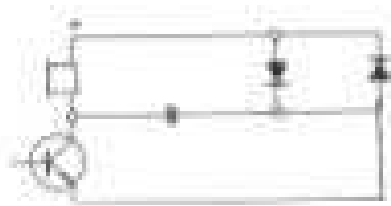
Wyznaczanie progu kompresji



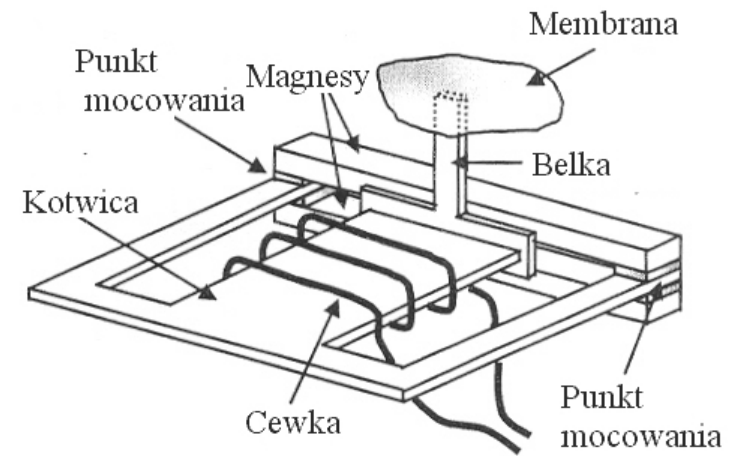
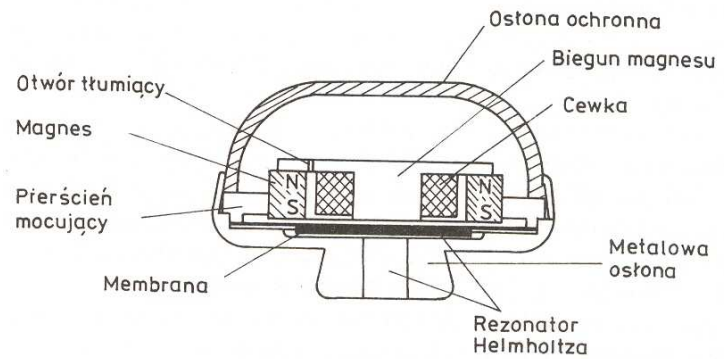
Stałe czasowe układu kompresji



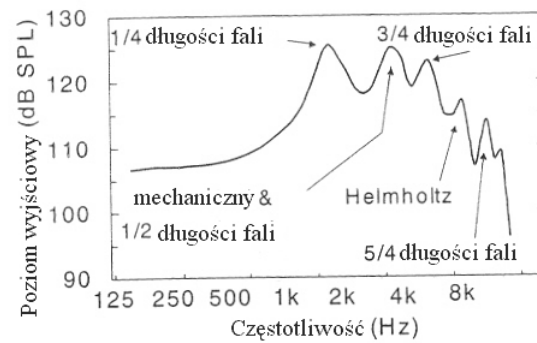
Ogranicznik poziomu wyjściowego



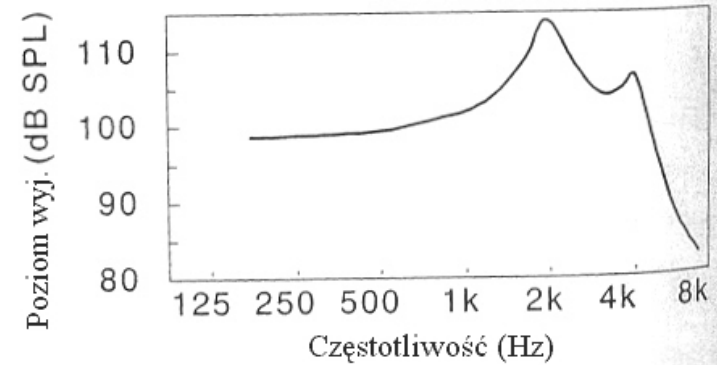
Słuchawki elektromagnetyczne



Charakterystyka częstotliwościowa słuchawki

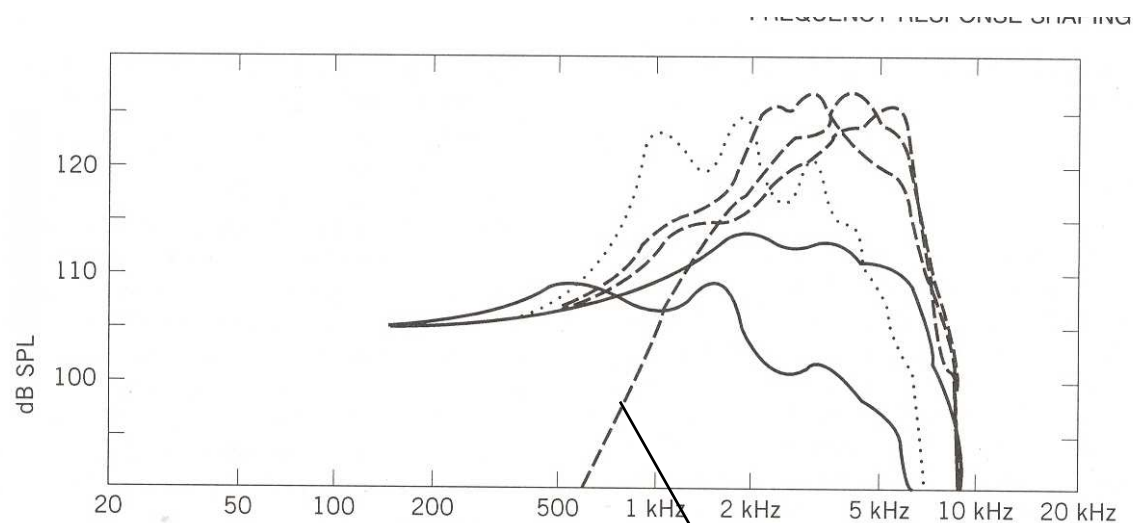


Aparaty BTE



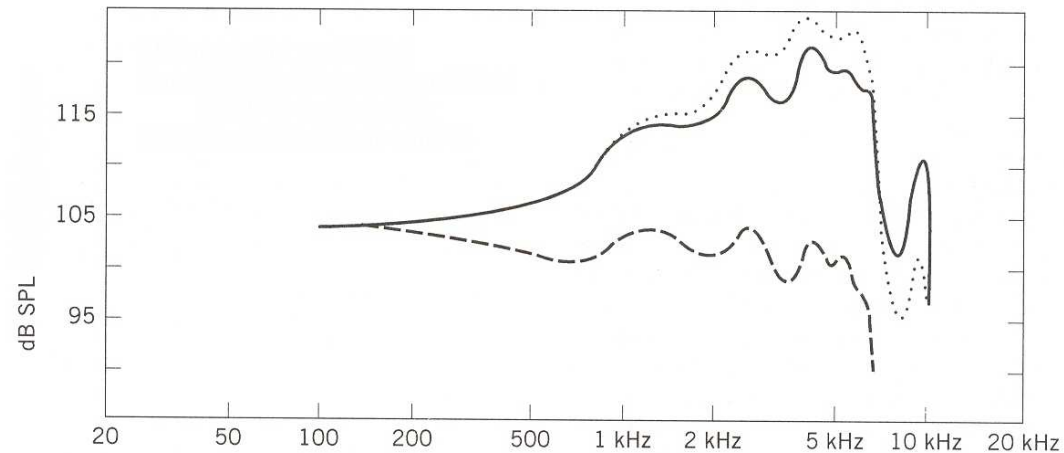
Aparaty ITE i ITC

Wpływ wkładki usznej na charakterystykę częstotliwościową



Wpływ otworu wentylacyjnego

Wpływ impedancji wzmacniacza

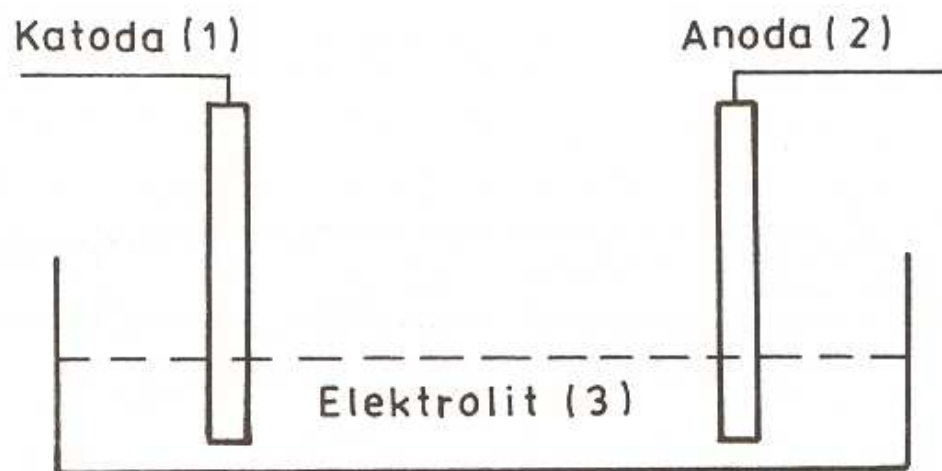


I. ciągła – duża impedancja

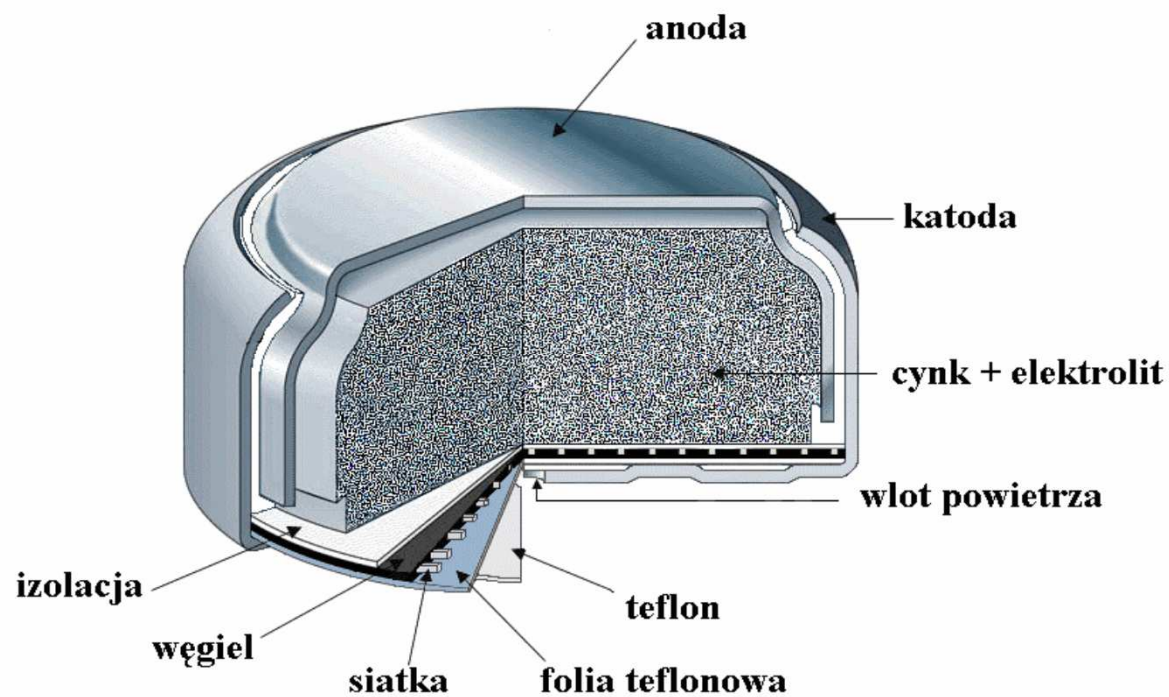
I. kropkowana – duża impedancja + kondensator bocznikujący

I. przerywana – mała impedancja

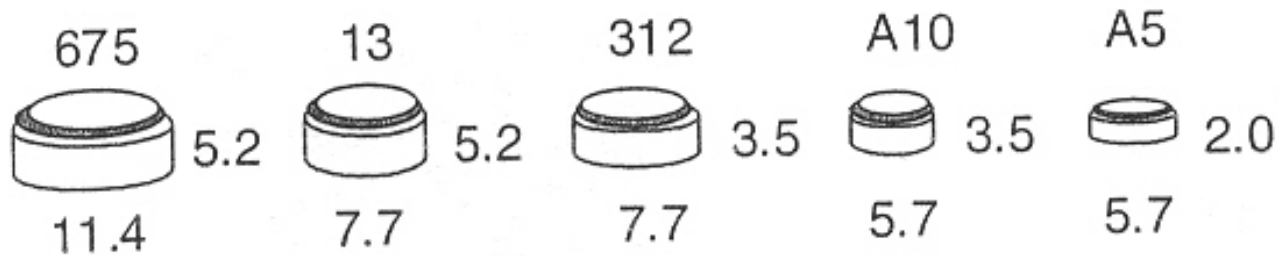
Baterie-schemat działania ogniwa elektrochemicznego



Budowa baterii cynkowo-powietrznej



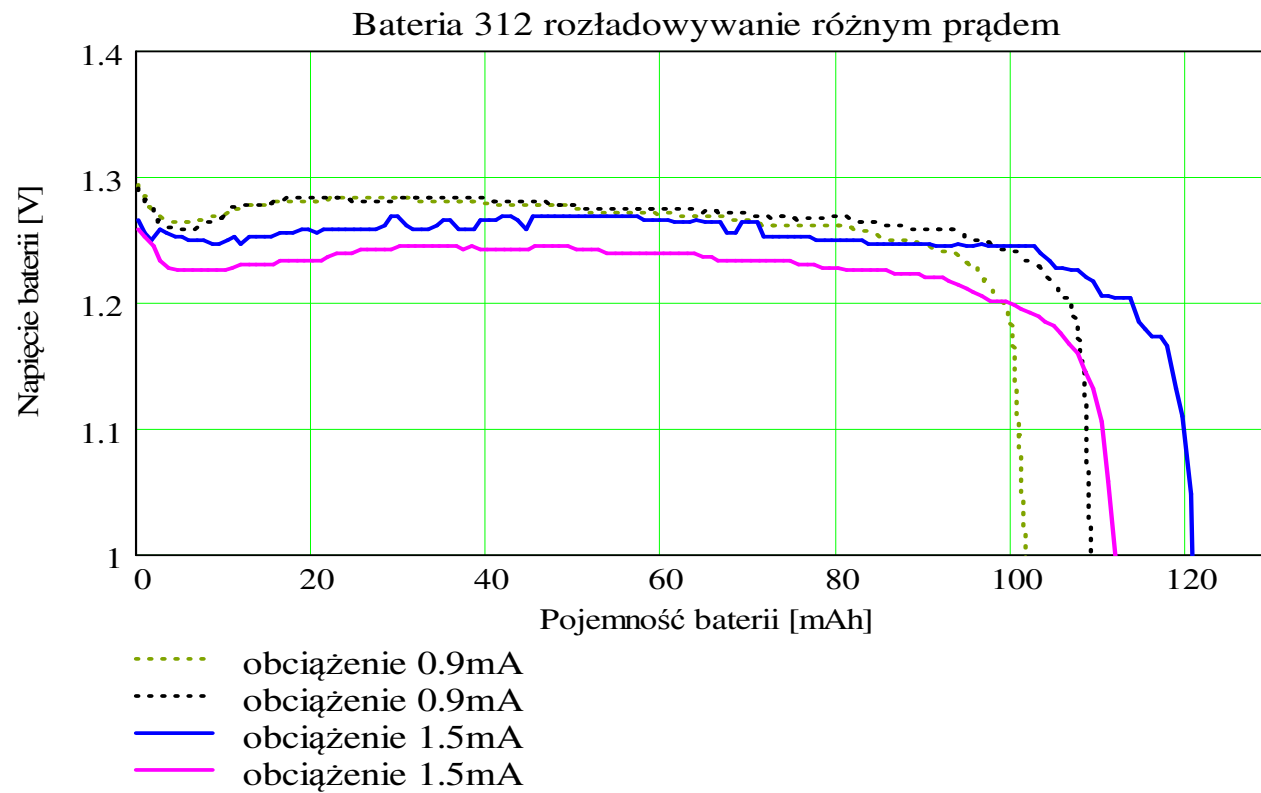
Baterie cynkowo- powietrzne



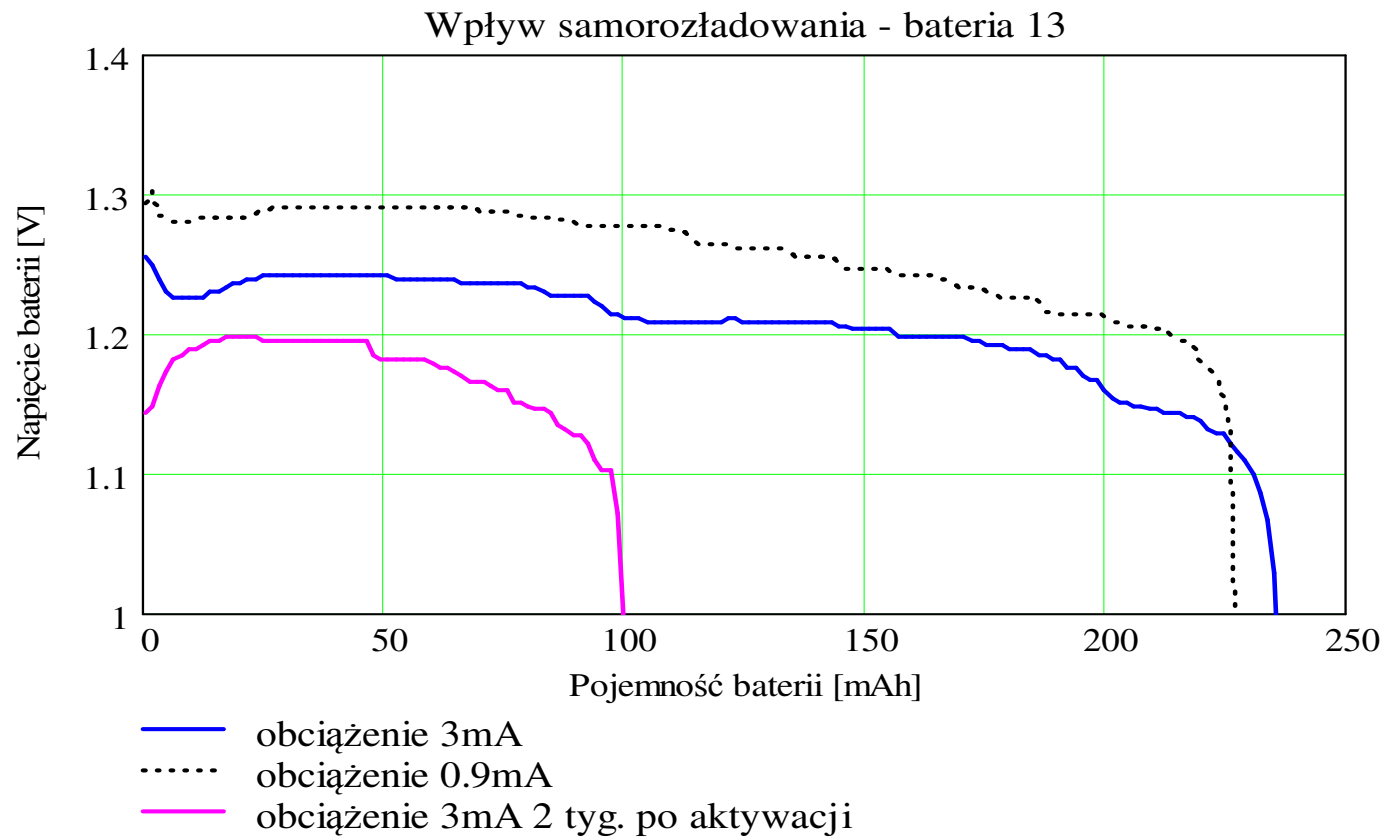
Parametry baterii cynkowo-powietrznych

Typ baterii	Typ baterii (wg IEC)	Pojemność (mAh)	Zastosowanie w aparatach
675	PR44	575	BTE
13	PR48	260	BTE, ITE
312	PR41	140	ITE, ITC
A10 (lub 10A, lub 230)	PR70	70	ITC, CIC
A5	-	35	CIC

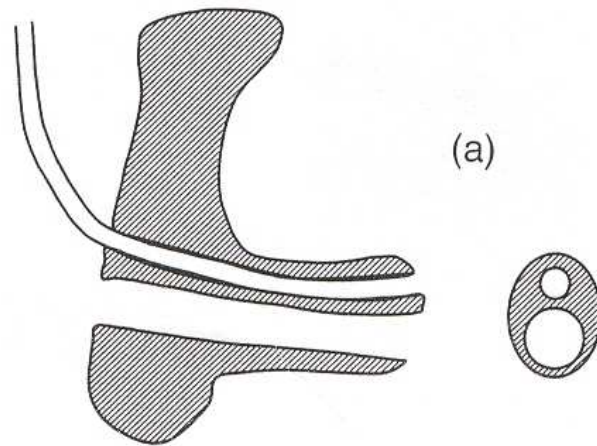
Rozładowanie baterii typu 312



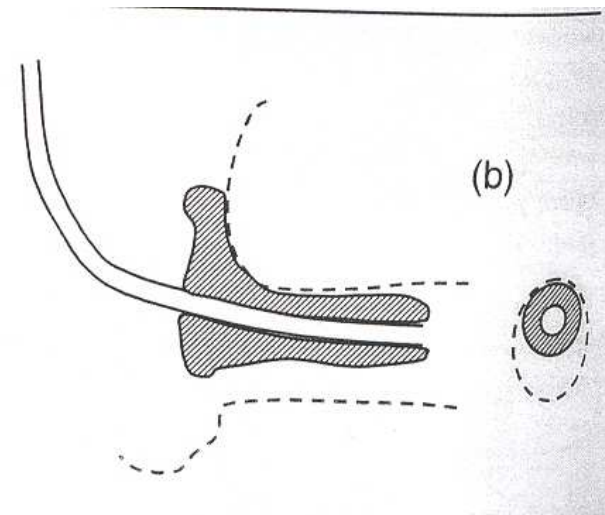
Rozładowanie baterii typu 13



Wkładki uszne

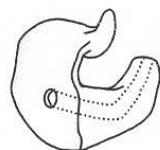


a) Wkładka pełna z dużym otworem wentylacyjnym

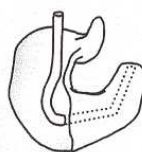


b) Wkładka otwarta, tzw. wkładka Janssena

Wkładki uszne



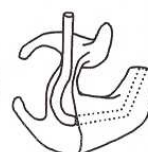
Wkładka standardowa



Pelna



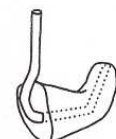
Szkieletowa



Półszkieletowa



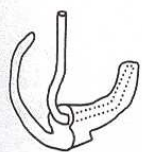
Kanałowa z zankowaniem



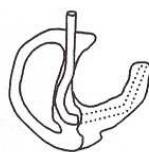
Kanałowa



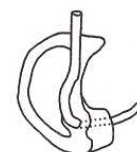
Kanałowa z otworem



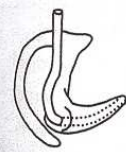
CROS - A



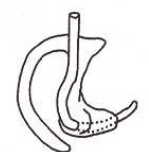
CROS - B



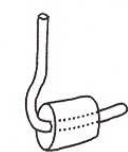
CROS - C



Janssen

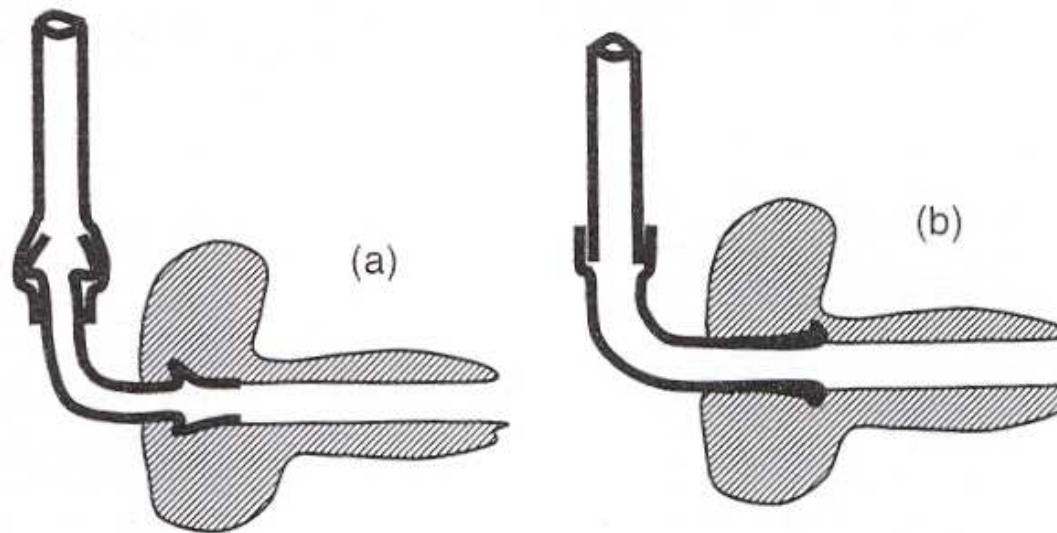


Pola swobodnego

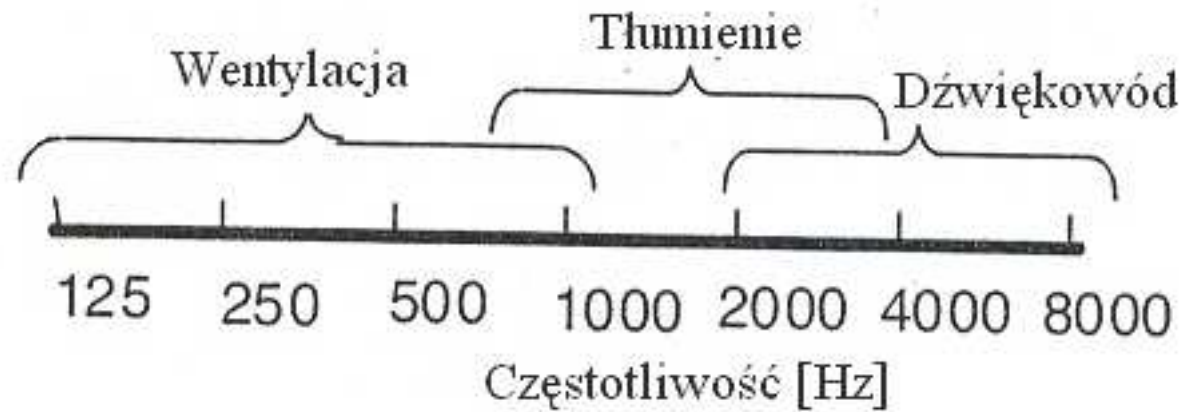


Z tuleją

Połączenie wkładki usznej z rurką aparatu słuchowego



Wpływ poszczególnych elementów wkładki usznej na charakterystykę częstotliwościową aparatu słuchowego

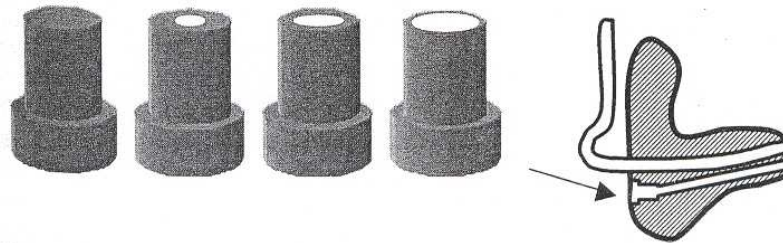
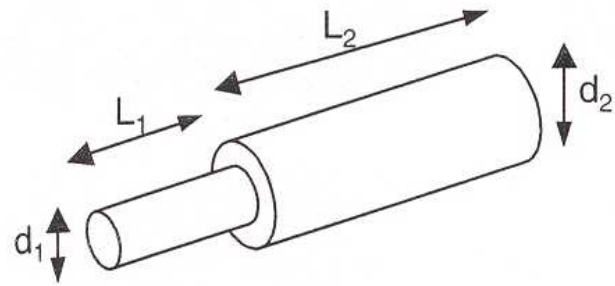


Masa akustyczna otworu wentylacyjnego

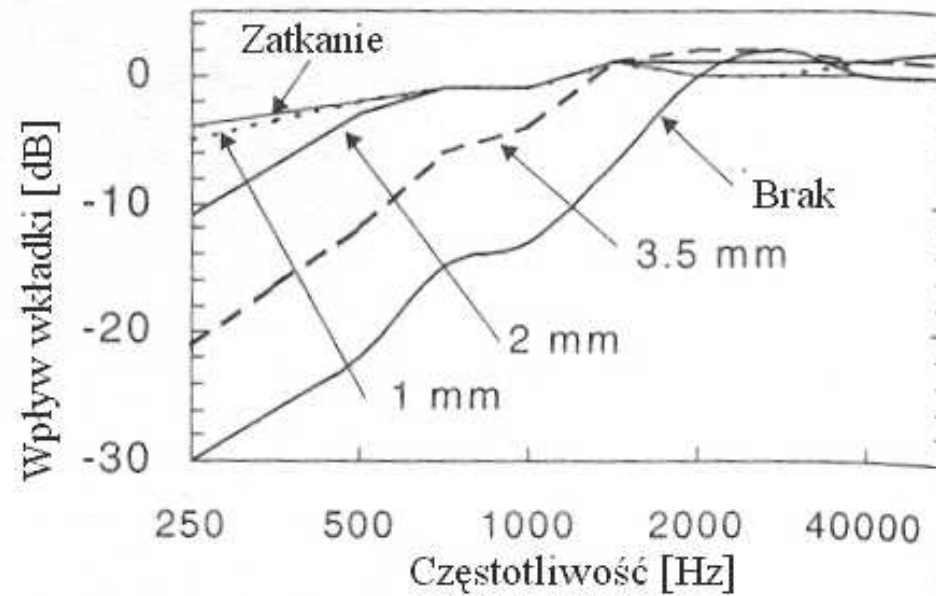
$$M_a = \frac{\rho_0 l'}{S}$$

$$l' = l + \frac{1}{2} \sqrt{\pi S}$$

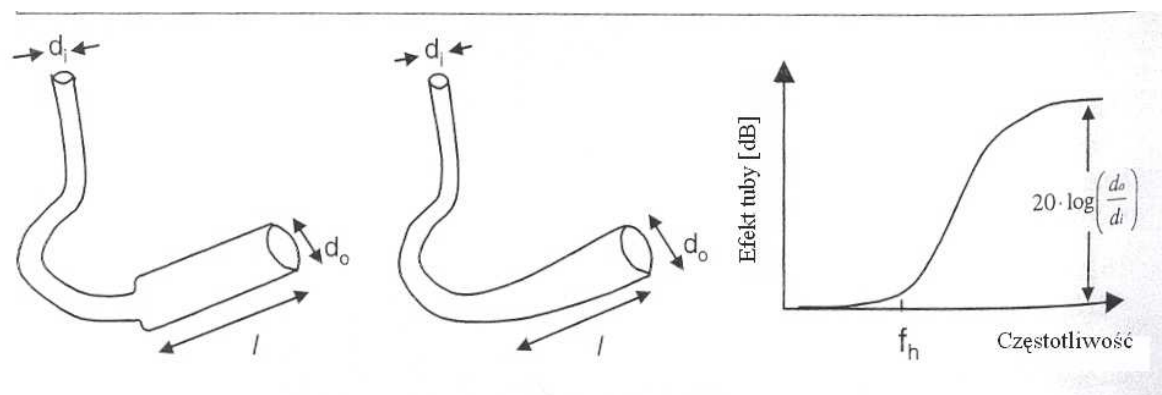
Regulacja masy akustycznej przez zastosowanie wkładek



Wpływ średnicy wkładki do otworu wentylacyjnego na charakterystykę częstotliwościową aparatu słuchowego



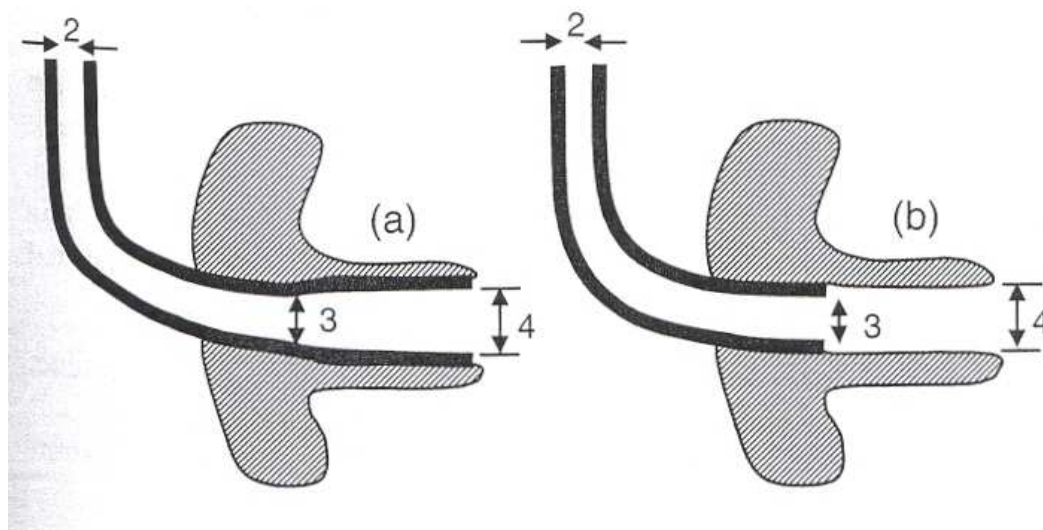
Wzrost skuteczności w zakresie dużych częstotliwości spowodowany zastosowaniem tuby



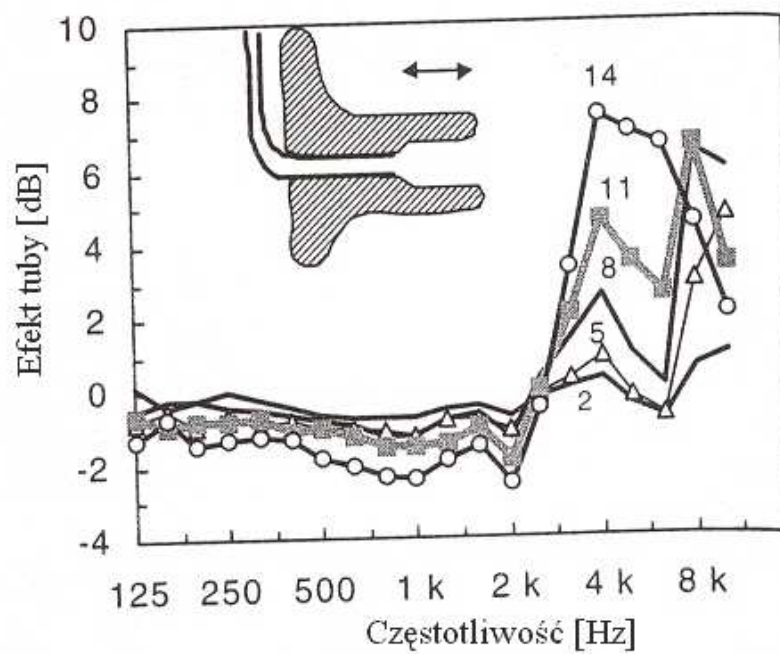
Częstotliwość graniczna tuby

$$f_h = \frac{0.367c}{l} \log\left(\frac{d_o}{d_i}\right)$$

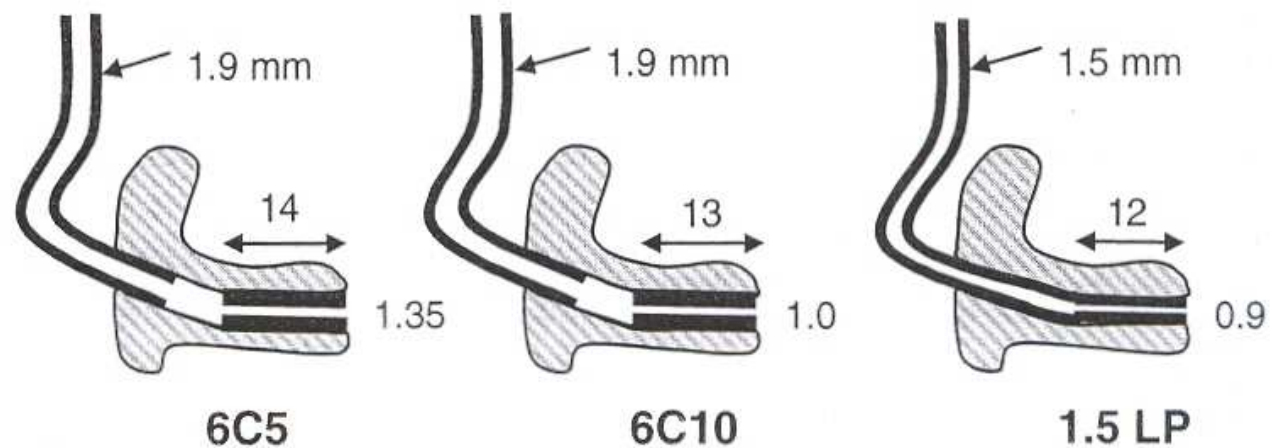
Tuby Libby'ego



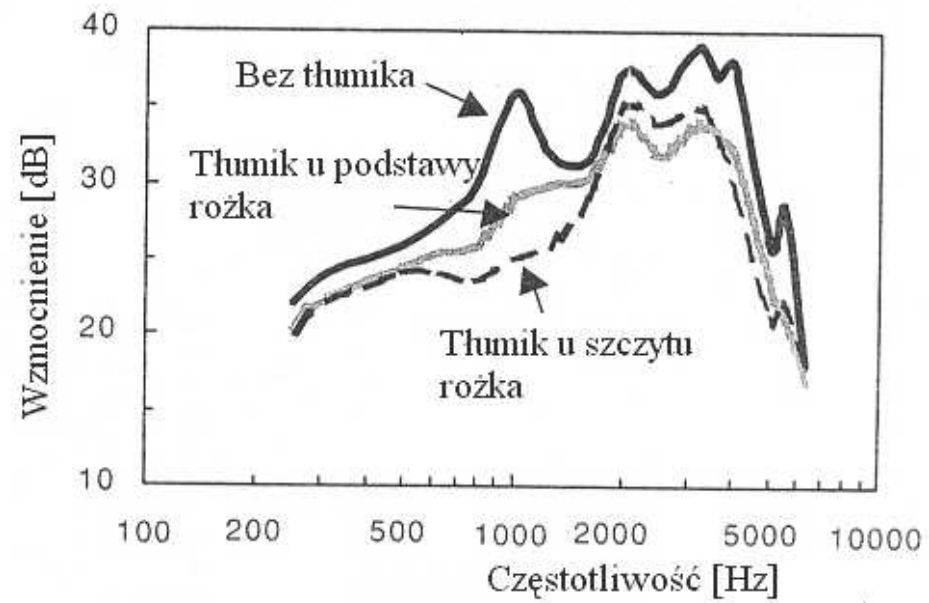
Wpływ długości tuby na charakterystykę aparatu słuchowego



Zwężenia końcowego odcinka dźwiękowodu



Wpływ tłumika



Dopasowanie otwarte



Słuchawka w kanale (RIC)



Dopasowanie aparatów słuchowych

- Oparte na audiogramie pacjenta
 - Reguła Lybargera
 - Berger
 - POGO (Perception Of Gain and Output)
 - NAL (National Acoustic Laboratory)
- Oparte na skalowaniu głośności
 - WHS (Würzburger Hörfeld Skalierung)
 - HGJ (Hojan-Geers-Jeziarska)
 - A-Life

Reguła Lybargera

Wzmocnienie $IG = \frac{1}{2}HTL$

IG - Insertion Gain (wzmocnienie skuteczne)

HTL - Hearing Threshold Loss

Metoda Bergera

f [Hz]	500	1000	2000	3000	4000	6000
IG [dB]	HTL/2	HTL/1.6	HTL/1.5	HTL/1.7	HTL/1.9	HTL/2

Poprawki dla typu aparatu

f [Hz]	500	1000	2000	3000	4000
BTE [dB]	1	0	-2	-11	-9
ITE [dB]	1	2	-6	-6	5

POGO

Częstotliwość Wzmocnienie

250	$\frac{1}{2}$ HTL -10
500	$\frac{1}{2}$ HTL - 5
1000	$\frac{1}{2}$ HTL
2000	$\frac{1}{2}$ HTL
3000	$\frac{1}{2}$ HTL
4000	$\frac{1}{2}$ HTL

Gdy HTL > 65 dB

Dodatkowe wzmocnienie = $\frac{1}{2}$ (HTL-65)

NAL

$$250 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 17 + X$$

$$500 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 8 + X$$

$$750 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 3 + X$$

$$1000 \quad \text{HTL} \times 0.31 + 1 + X$$

$$1500 \quad \text{HTL} \times 0.31 + 1 + X$$

$$2000 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 1 + X$$

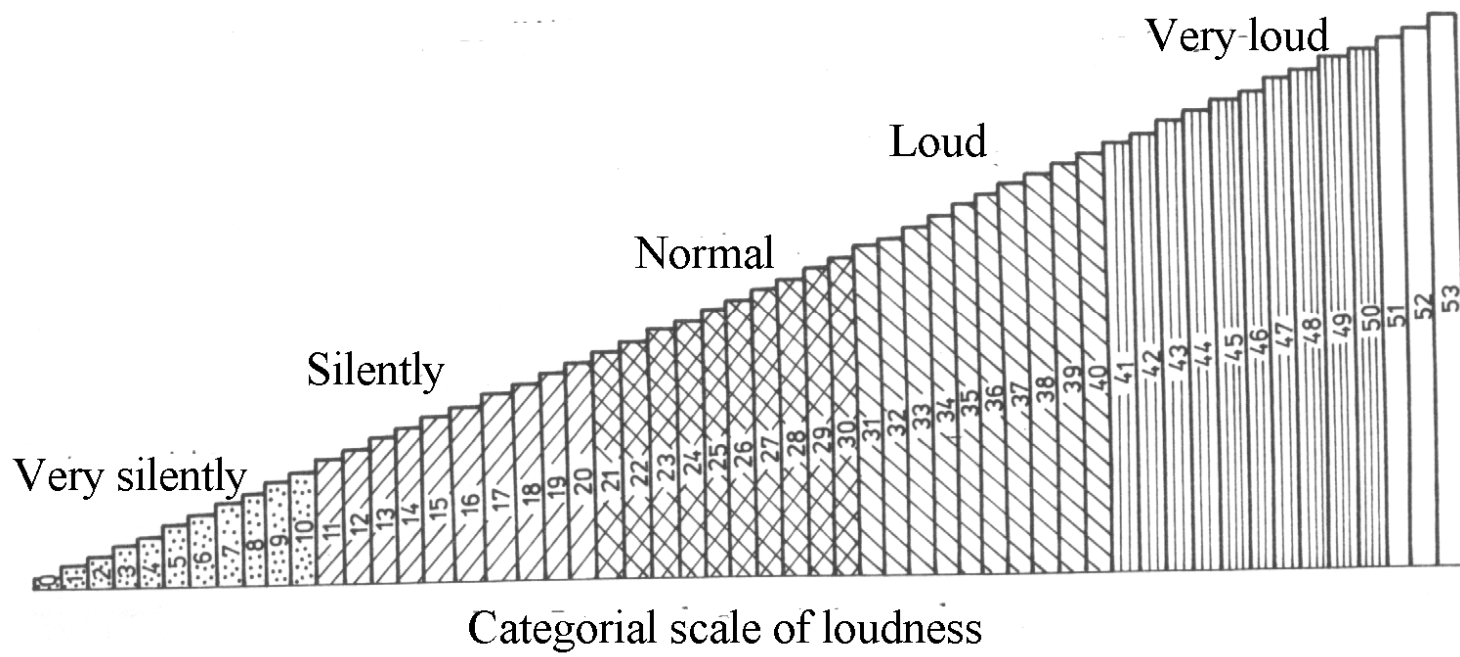
$$3000 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 2 + X$$

$$4000 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 2 + X$$

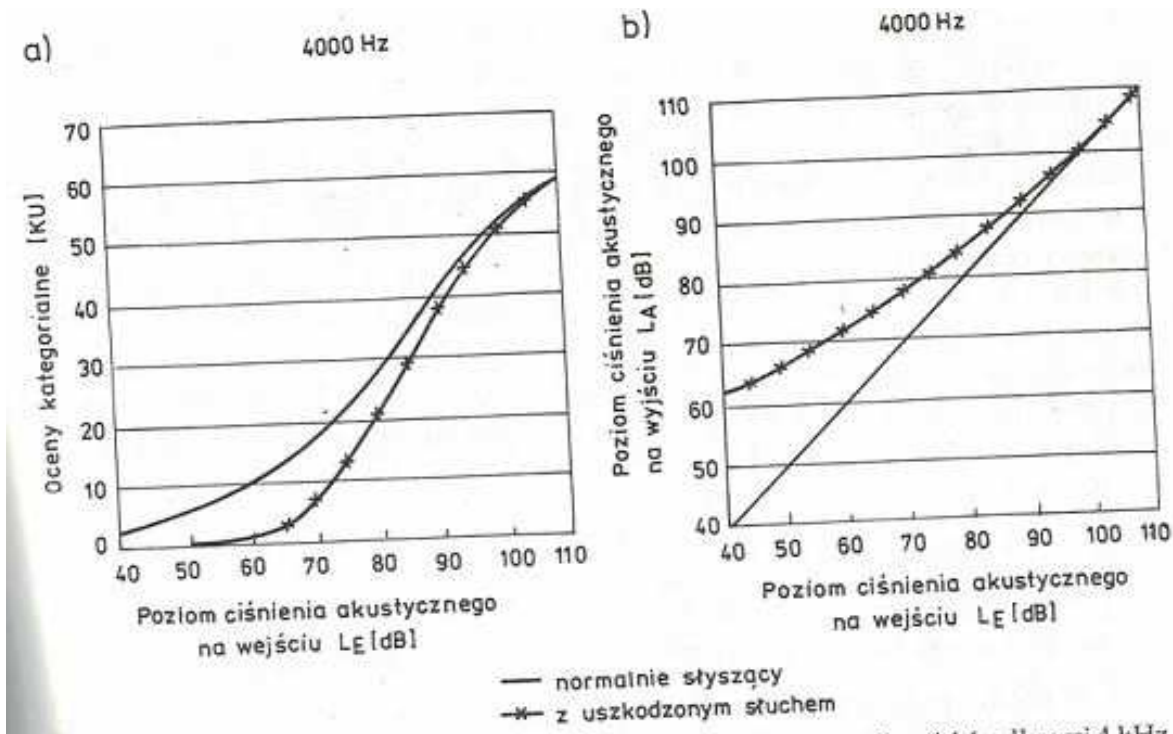
$$6000 \quad \text{HTL} \times 0.31 - 2 + X$$

$$X = (\text{HTL}500 + \text{HTL}1000 + \text{HTL}2000) \times 0.05$$

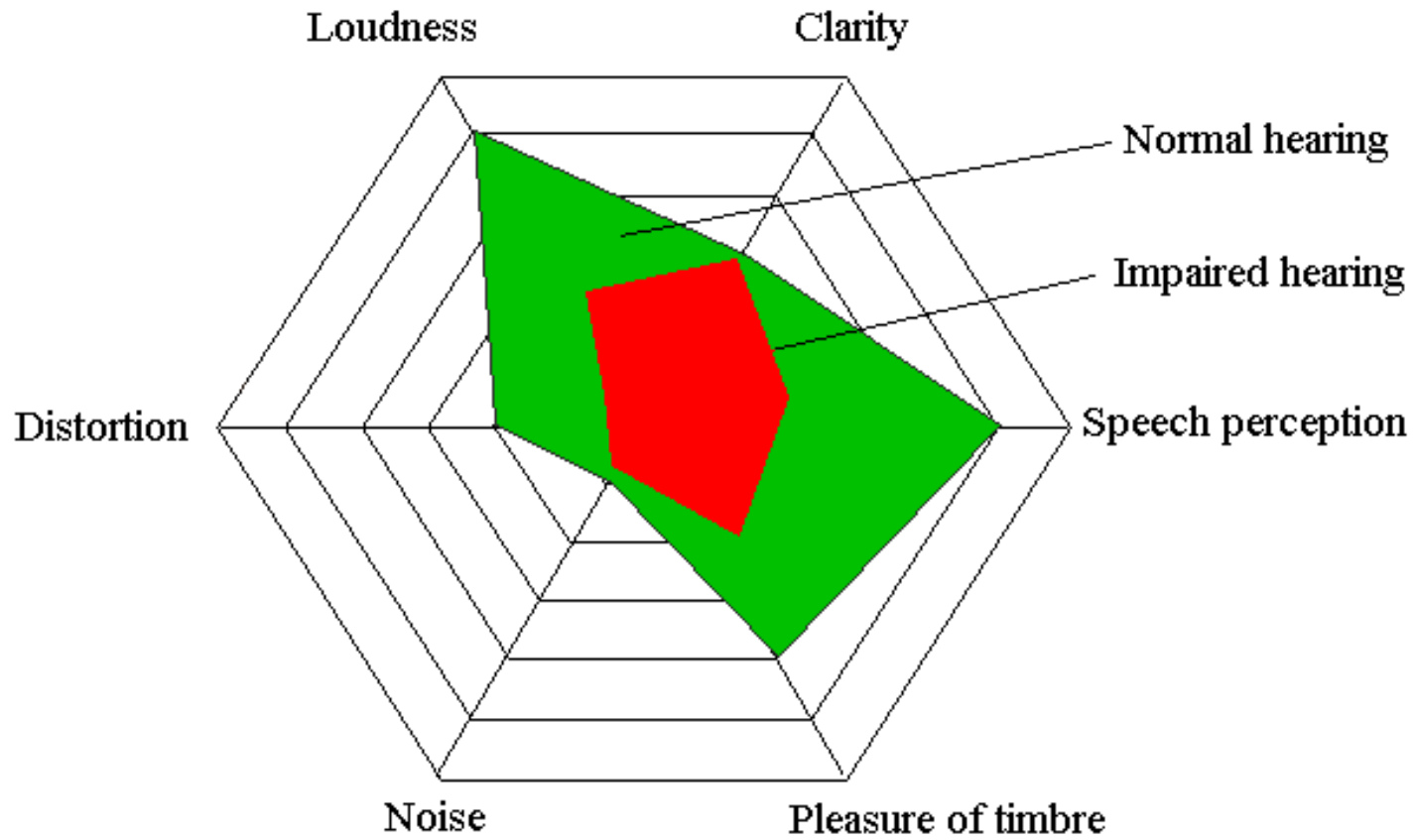
WHS i HGJ



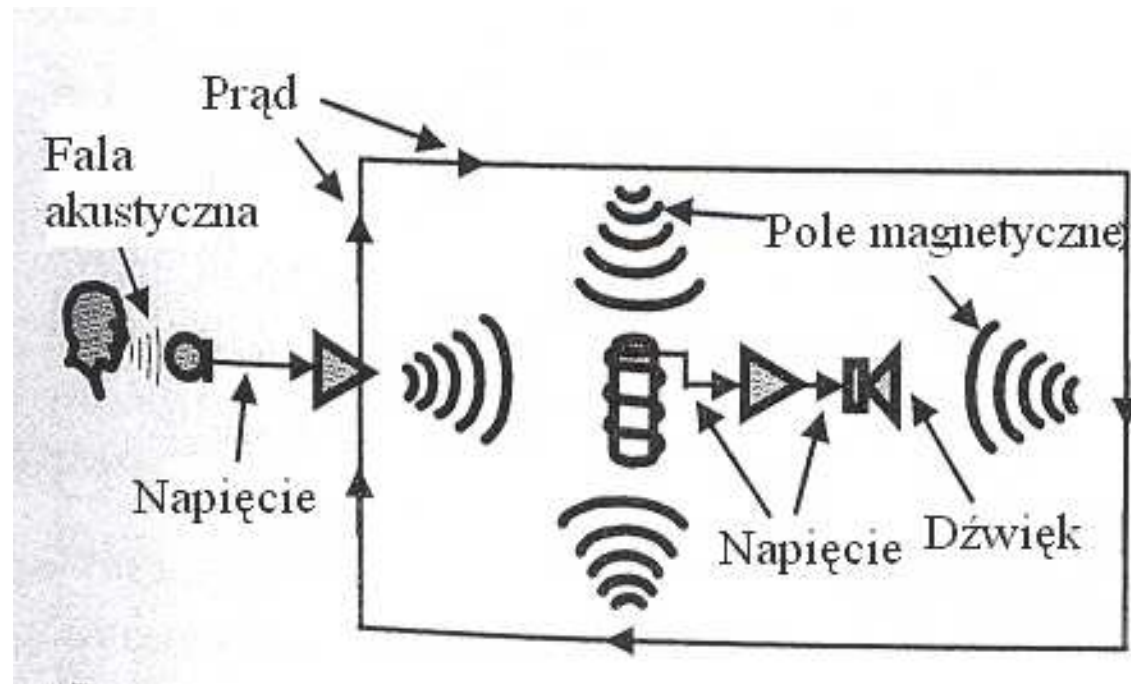
Dobieranie głośności wg metody WHS



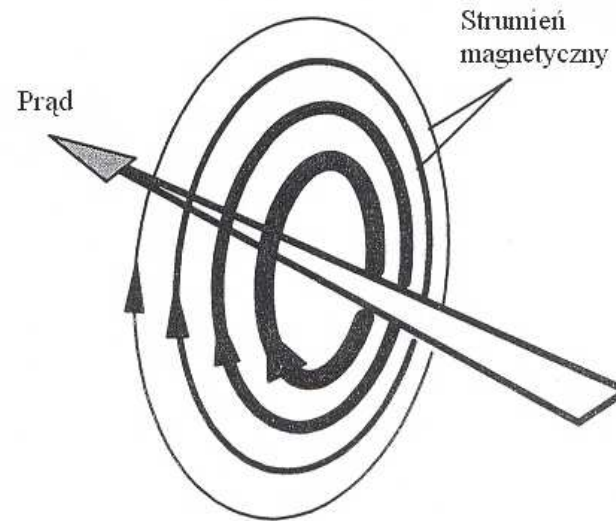
A-Life



Zasada działania pętli indukcyjnej



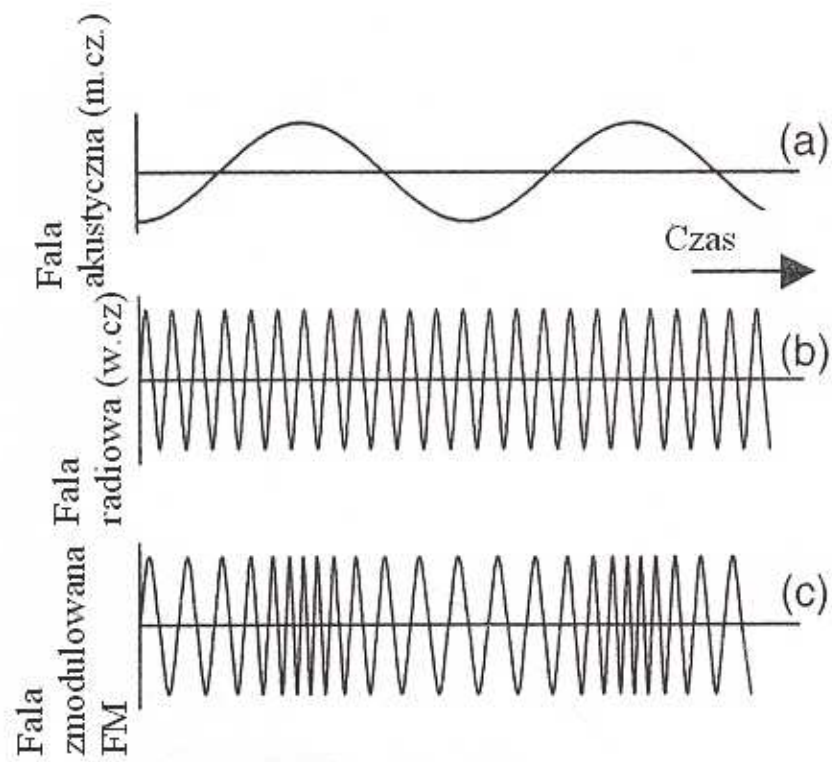
Pole magnetyczne wokół przewodu z prądem



Natężenie pola magnetycznego wewnątrz
pętli

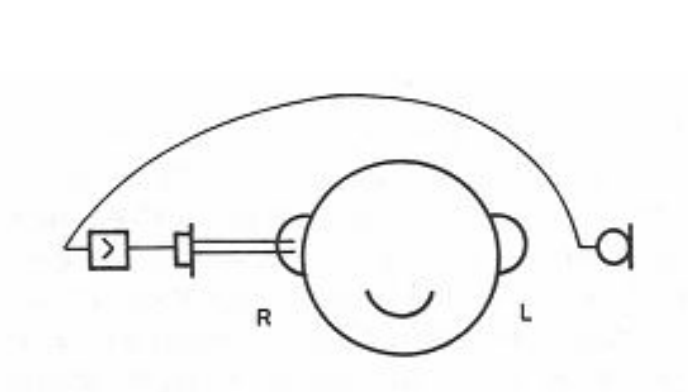
$$H = \frac{ni}{d}$$

Zasada modulacji częstotliwości (FM)

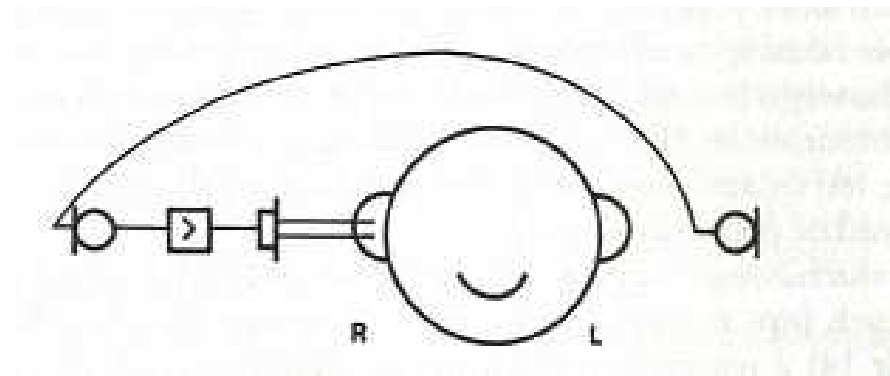


Urządzenia CROS i BICROS

CROS – Contralateral Routing Of Signals



CROS



BICROS



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wrocławska