

*Diagnostyka i protetyka słuchu i wzroku*

---

# APARATY SŁUCHOWE

# Wprowadzenie

---

## Aparat słuchowy (ang. *hearing aid*)

– urządzenie, którego zadaniem jest przetwarzanie odbieranych sygnałów w taki sposób, aby:

- dźwięki przekazywane do uszkodzonego narządu słuchu użytkownika aparatu były przez niego dobrze słyszane,
- przetwarzana mowa była zrozumiała

Aparat słuchowy musi być dostosowany do charakterystyki słuchu użytkownika.

# Rozwiązania konstrukcyjne

---

Najważniejsze typy aparatów słuchowych:

- **BTE** (*Behind-The-Ear*) – zauszne
- **ITE** (*In-The-Ear*) – wewnętrzne
- **ITC** (*In-The-Canal*) – wewnątrzkanałowe
- **CIC** (*Completely-In-Canal*)  
– wewnątrzkanałowe o wysokim stopniu miniaturyzacji

# Rozwiązania konstrukcyjne

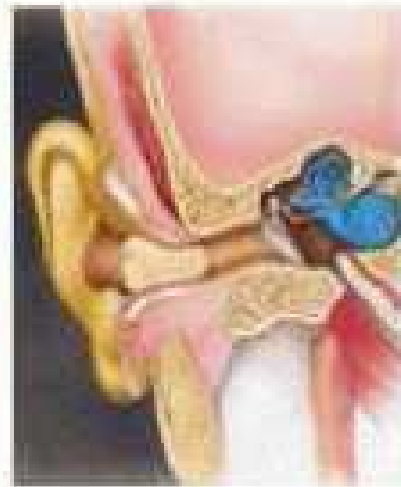
a) BTE



b) ITE



c) ITC



d) CITC



# Aparat słuchowy zauszny BTE

---



# Aparat słuchowy zminiaturyzowany (ITC)

---



# Aparaty zminiaturyzowane

---

## Zalety typów zminiaturyzowanych:

- są mniej widoczne (małe rozmiary)
  - aspekt psychologiczny
- brak układu akustycznego (mniejsze zniekształcenia)

## Wady:

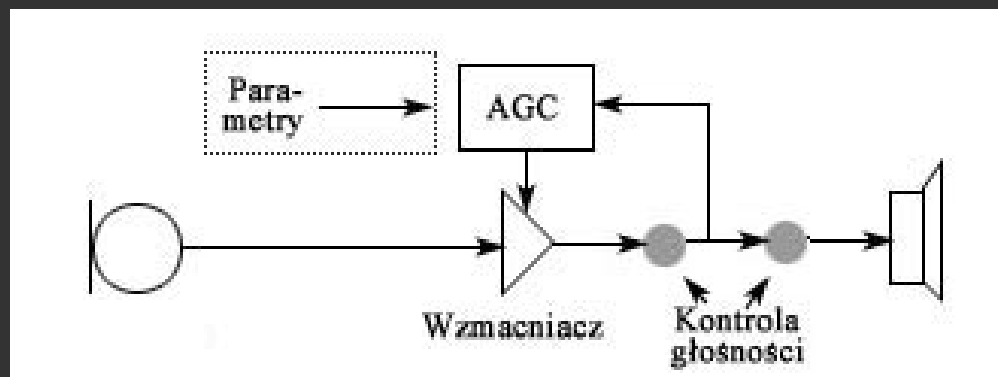
- małe wzmocnienie maksymalne (mogą powstawać sprzężenia akustyczne)
- trudna obsługa (małe rozmiary)
- u niektórych – zła tolerancja
- wysoka cena

# Budowa aparatu analogowego

---

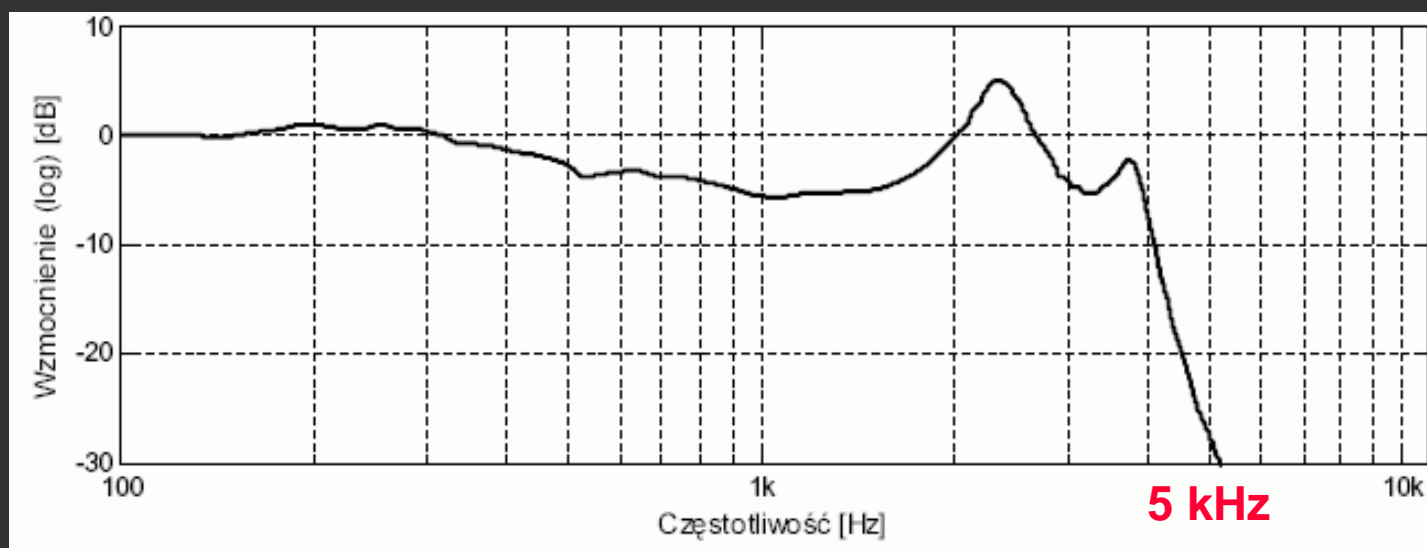
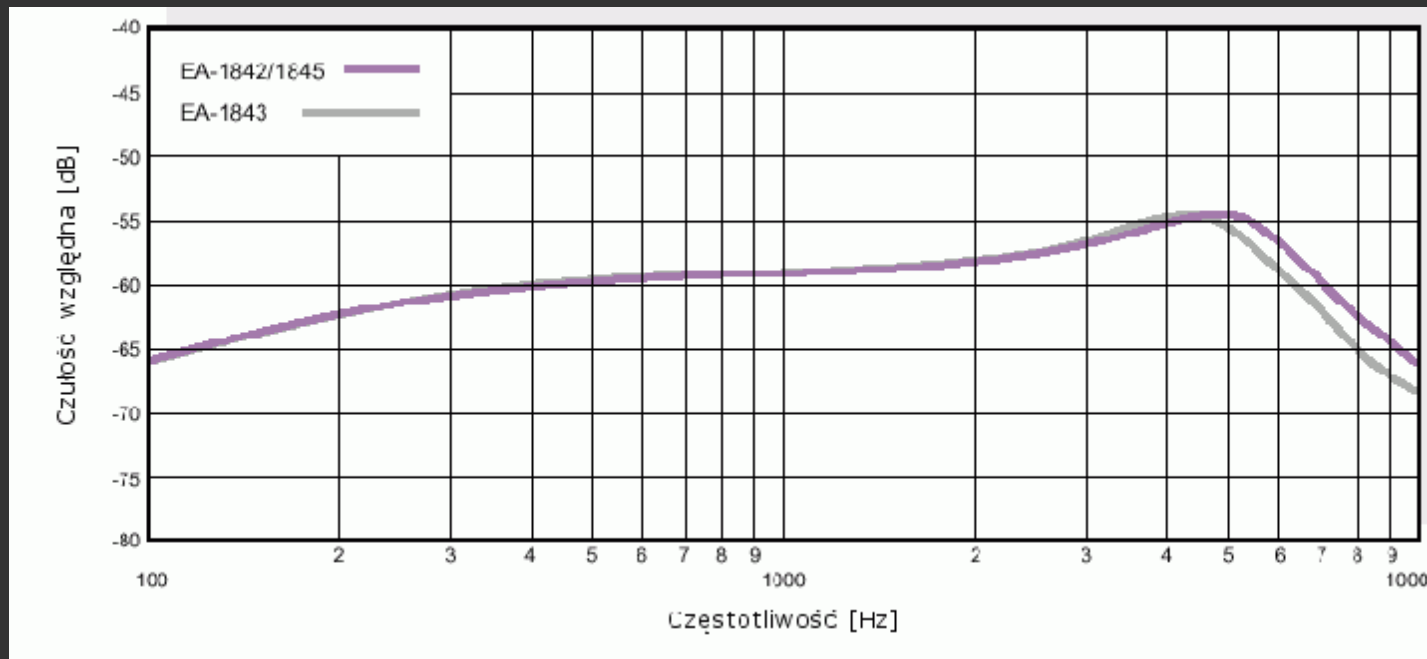
Elementy składowe aparatu słuchowego:

- mikrofon
- wzmacniacz
- układ kompresji lub regulacji wzmocnienia
- słuchawka
- zasilanie
- elementy kontrolne





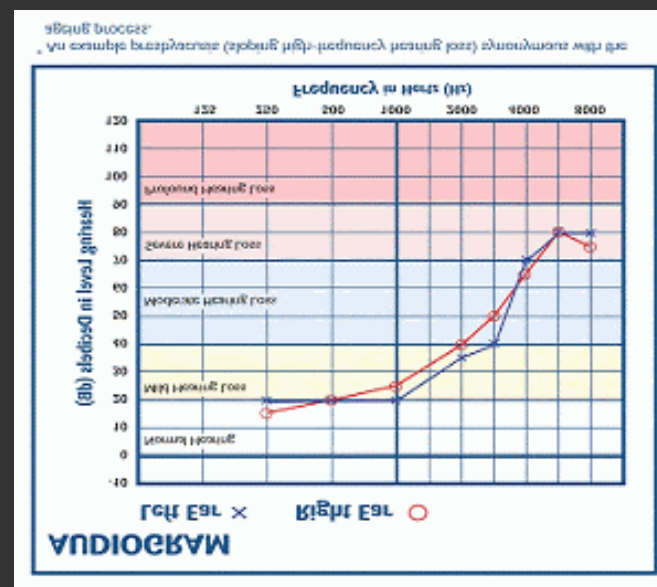
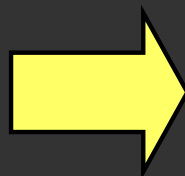
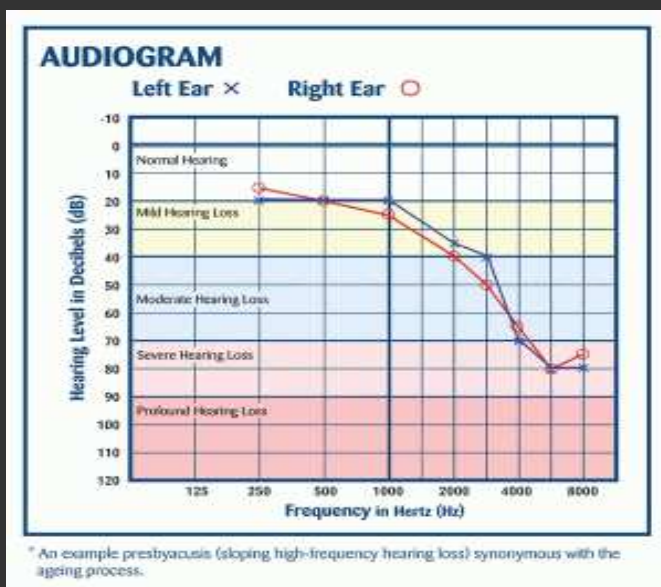
# Mikrofon i słuchawka - charakterystyki



# Wzmacniacze

Wzmacniacz w aparacie słuchowym dokonuje wzmocnienia sygnału:

- w całym paśmie częstotliwości
  - wzmocnienie „główne” (*master*)
- w zakresach częstotliwości
  - dopasowanie do charakterystyki ubytku słuchu (rodzaj korektora graficznego)

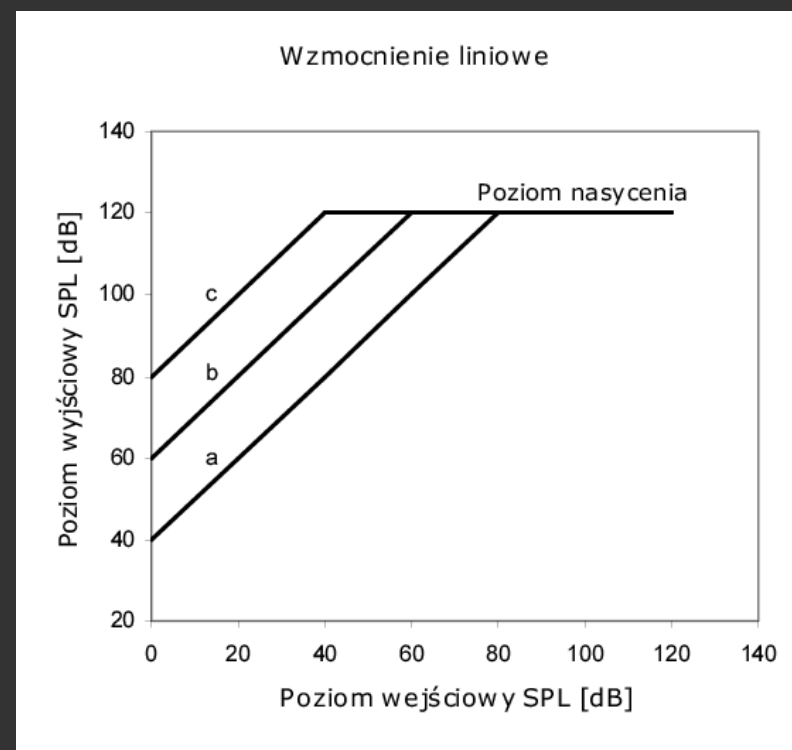


# Wzmacniacze liniowe

Najprostsze wzmacniacze w aparatach słuchowych – układy o wzmacnieniu liniowym.

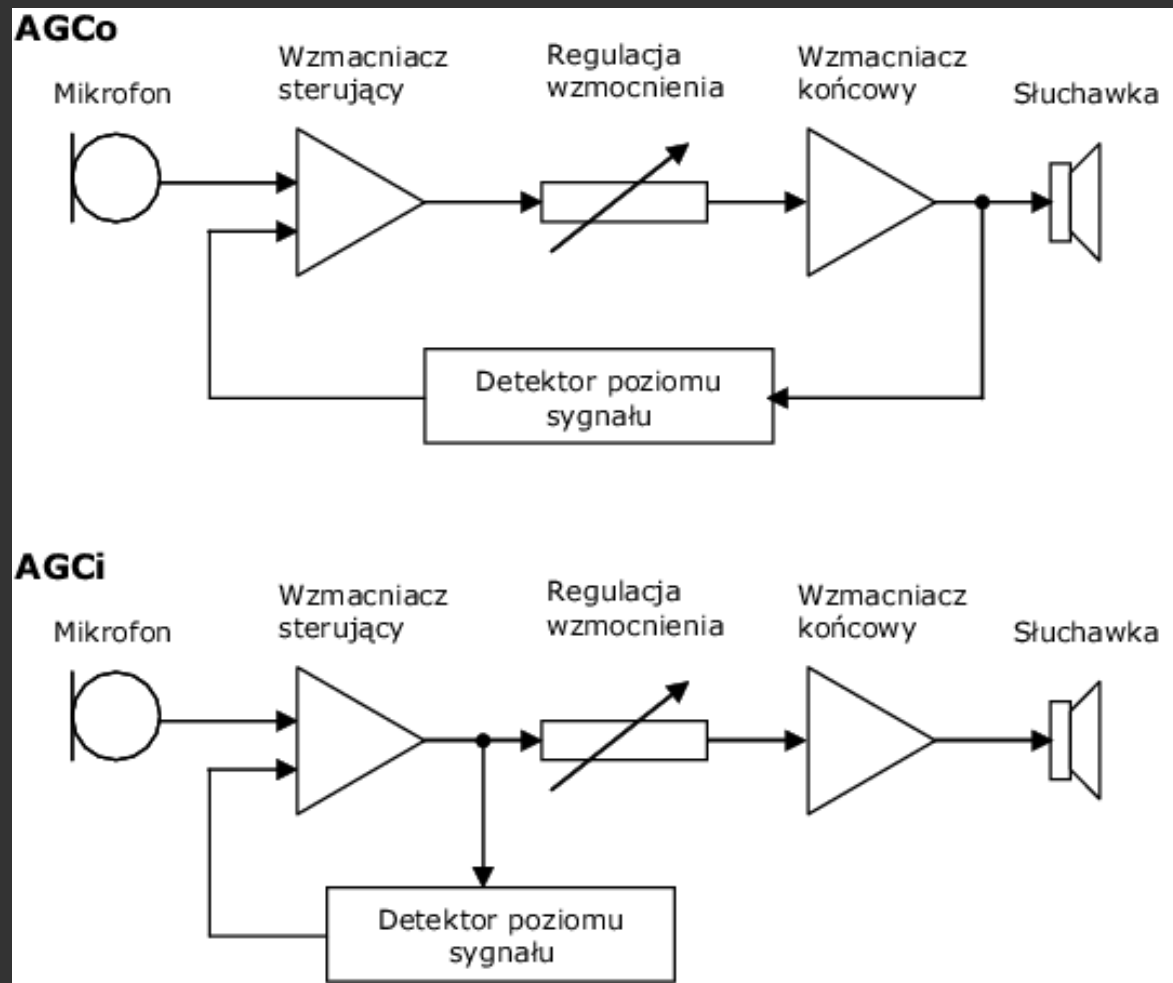
Powyżej **poziomu nasycenia** poziom wyjściowy przestaje narastać – zabezpieczenie przed przesterowaniem układu i zbyt dużym poziomem dźwięku.

Wzmacniacze tego typu powodują nadmierne wzmacnianie głośnych fragmentów sygnału.



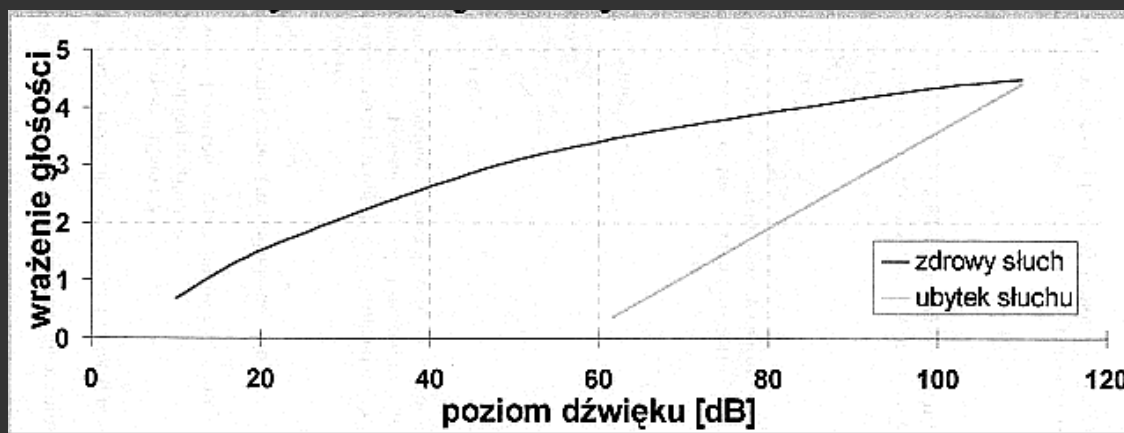
# Automatyczna regulacja wzmacnienia

ARW – ang. *automatic gain control* (AGC)  
układy wzmacniaczy, w których wzmacnienie  
jest zależne od poziomu sygnału.



# Problem wzmocnienia liniowego

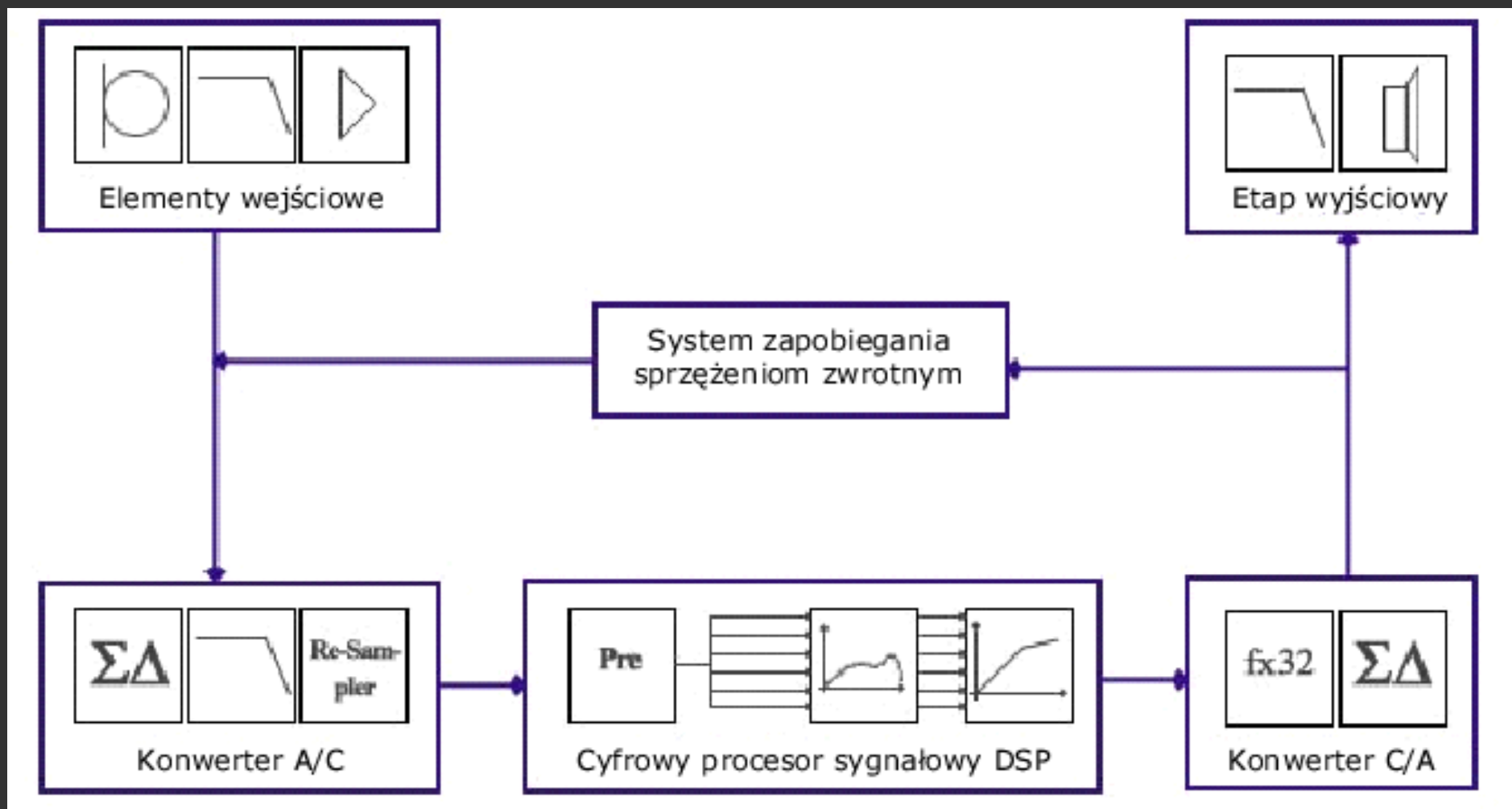
- Większość osób z upośledzonym słuchem ma dużo mniejszy zakres dynamiki słyszenia.
- Zakres dynamiki słuchu jest różny dla różnych częstotliwości.
- Różny jest kształt charakterystyki słyszenia w różnych pasmach częstotliwości.
- Liniowe wzmocnienie sygnału powodowałoby, że ciche dźwięki byłyby niesłyszalne, a dźwięki głośne mogłyby powodować ból



# Cyfrowy aparat słuchowy

Mikrofon

Słuchawka



DSP – wzmacnianie i „wzbogacanie” sygnału

# Funkcje aparatów cyfrowych

---

Funkcje odpowiadające aparatom analogowym:

- regulacja głośności w pasmach częstotliwości (wzmacnianie + „kompresja”)

Dodatkowe możliwości aparatów cyfrowych:

- automatyczny dobór programu
- redukcja sprzężeń zwrotnych
- redukcja szumu i zakłóceń
- filtracja przestrzenna
- przetwarzanie percepcyjne

# Automatyczny dobór programu

---

**Programy** - zestawy ustawień aparatu słuchowego, dostosowane do różnych warunków otoczenia, np. „głośna ulica” lub „cichy pokój”.

Wybór programu:

- ręczny - przez użytkownika
- automatyczny - aparat słuchowy analizuje warunki akustyczne i dobiera najlepszy program

**Korzyści:** dopasowanie wzmocnienia aparatu do warunków akustycznych otoczenia, redukcja szumu, lepsza jakość dźwięku



# Redukcja sprzężeń zwrotnych

---

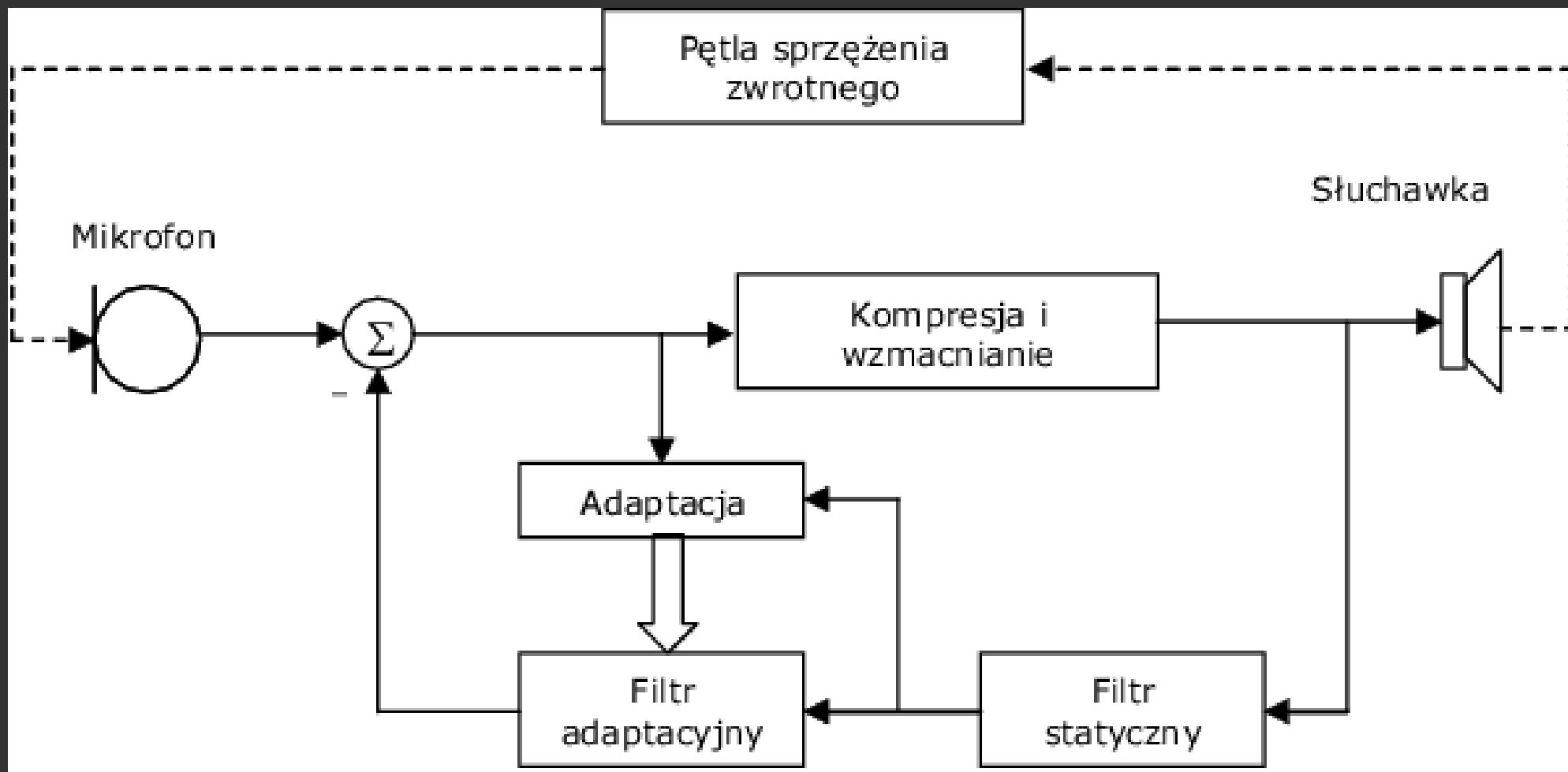
Problem sprzężeń zwrotnych w aparatach słuchowych: powodują konieczność zmniejszenia wzmocnienia, zniechęcają do użytkowania aparatu.

Metody redukcji sprzężeń:

- separacja przetworników akustycznych
- statyczna – zmniejszenie wzmocnienia w niektórych zakresach częstotliwości
- dynamiczna – *feedback cancellation* – monitorowanie sygnału, usuwanie sprzężeń w czasie rzeczywistym, zachowanie wzmocnienia aparatu

# Redukcja sprzężeń zwrotnych

## Schemat ukł. *Digital Feedback Suppression* (DFS)



**Korzyść:** zwiększenie wzmocnienia o ok. 10 dB bez ryzyka powstania sprzężeń zwrotnych

# Redukcja szumu – *spectral enhancement*

---

Układ *Fine-scale Noise Canceller*:

- analiza sygnału w 20 pasmach częstotliwości
- wyznaczenie stosunku sygnał-szum w każdym paśmie
- zmniejszenie wzmocnienia aparatu w pasmach o dużym poziomie szumu
- przy redukcji wzmocnienia uwzględniany jest wpływ danego pasma na zrozumiałość mowy

**Korzyść:** zmniejszenie poziomu szumu przy zachowaniu możliwie największego poziomu i najlepszej zrozumiałości mowy

# Filtracja przestrzenna

---

Odseparowanie sygnału zakłócającego od sygnału użytecznego poprawia zrozumiałość mowy.

W praktyce:

- sygnał użyteczny dochodzi z wybranego kierunku
- sygnał zakłócający – ze wszystkich kierunków (np. efekt „cocktail-party”).

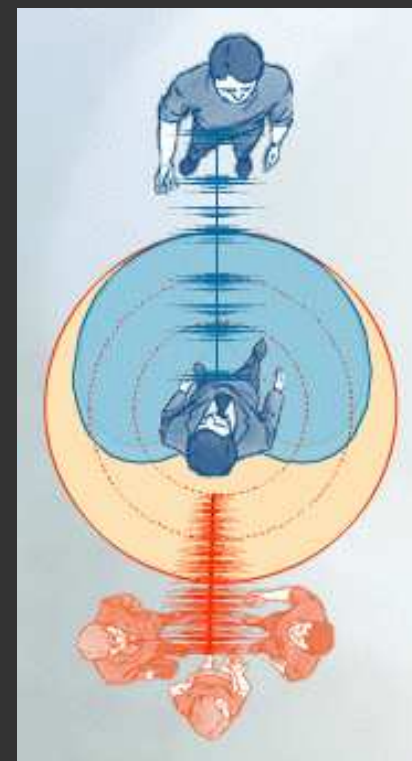
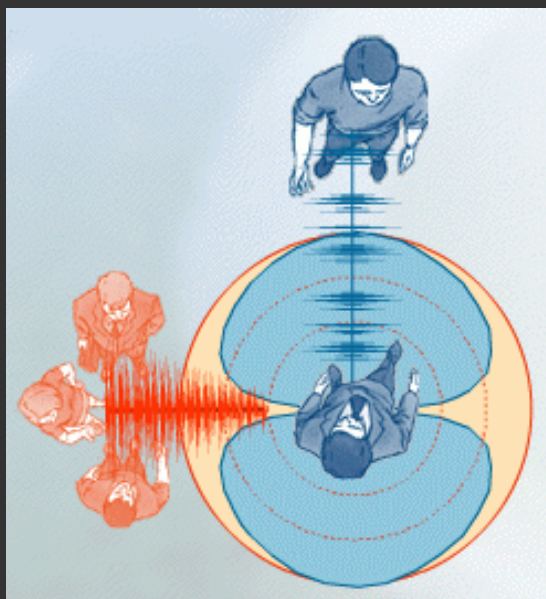
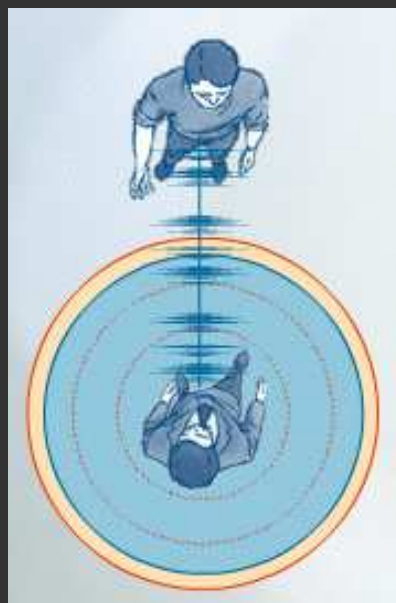
**Filtracja przestrzenna** (*spatial filtering*) – oddzielenie sygnału użytecznego od zakłóceń.

Jeden mikrofon (nawet kierunkowy) nie umożliwia uzyskania zadawalającej separacji sygnałów. Stosuje się min. 2 mikrofony.

# Filtracja przestrzenna

---

Ilustracja działania układu *Digital AudioZoom*



# Percepcyjne przetwarzanie sygnału

---

## Przykład rozwiązania – *Digital Perception Processing* – DPP (Phonak)

- analiza sygnału w 20 pasmach krytycznych słuchu
- na podstawie analizy obliczany jest wzorzec pobudzenia komórek słuchowych w ślimaku
- uwzględnienie zjawisk maskowania składowych widma

### Korzyści:

- lepsze dopasowanie aparatu w przypadku objawu wyrównywania głośności