

# BIOMECHANIKA UCHA LUDZKIEGO



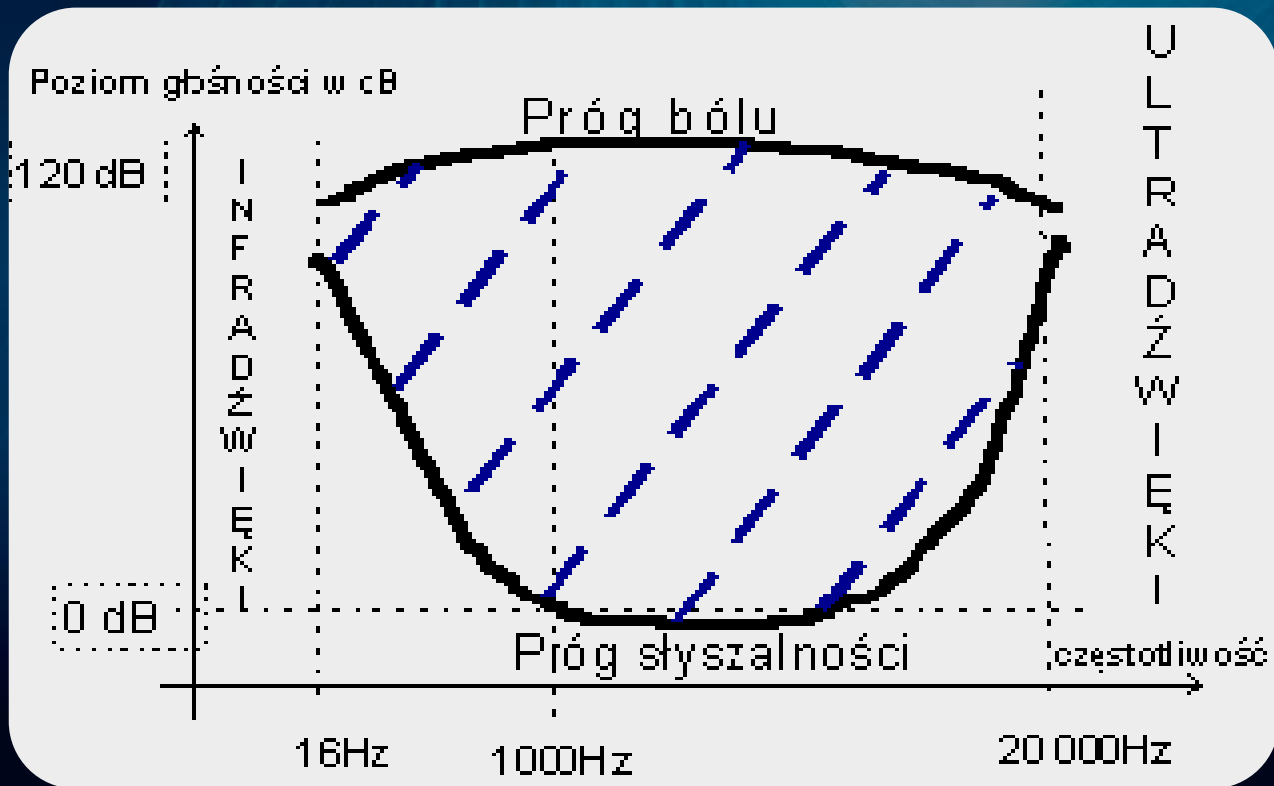
# PLAN PREZENTACJI

- Co słyszemy ?
- Dlaczego słyszemy ?
- Jak oceniamy słuch ?
- Co zrobić gdy nie słyszemy ?
  - ✓ rodzaje niedosłuchu
  - ✓ metody leczenia



# Co słyszymy?

- Infradźwięki  $< 20\text{Hz}$  (słonie)
- Ultradźwięki  $> 20\ 000\text{Hz}$  (delfiny, nietoperze)

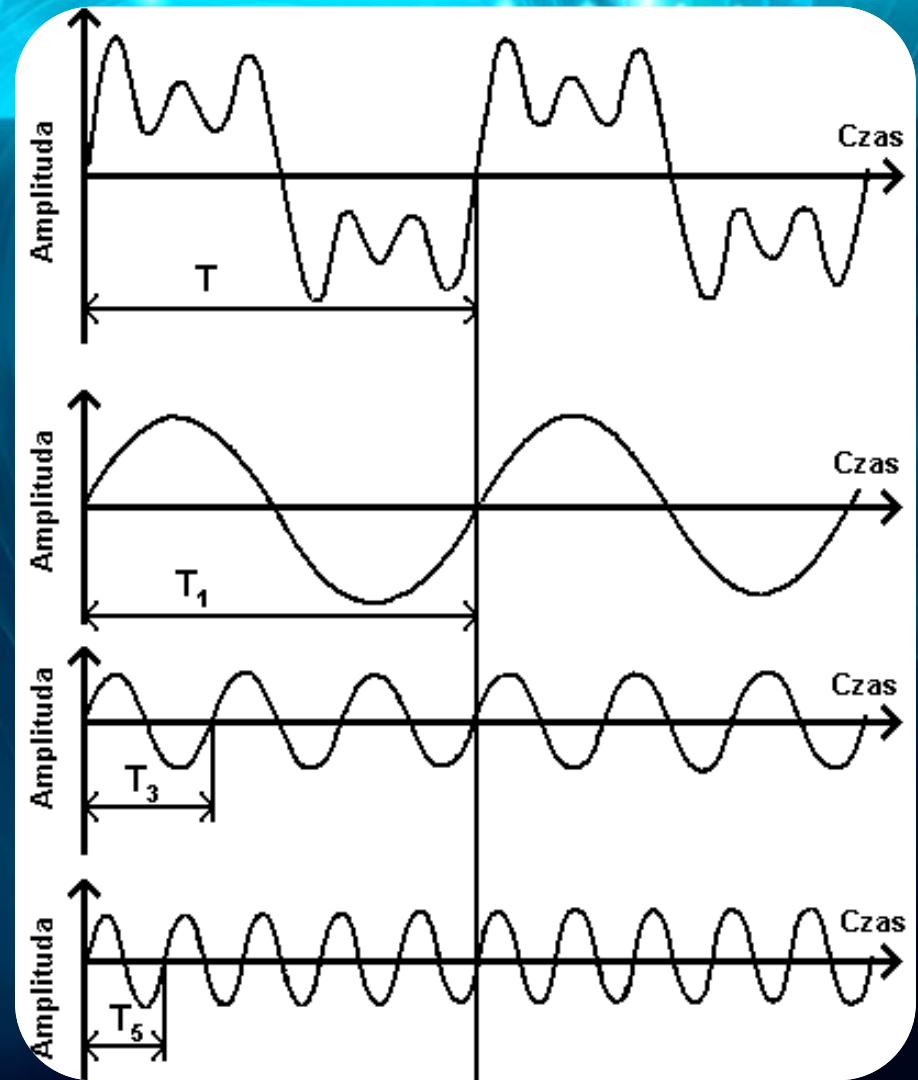


# Co słyszymy?

## Muzyka, Szum

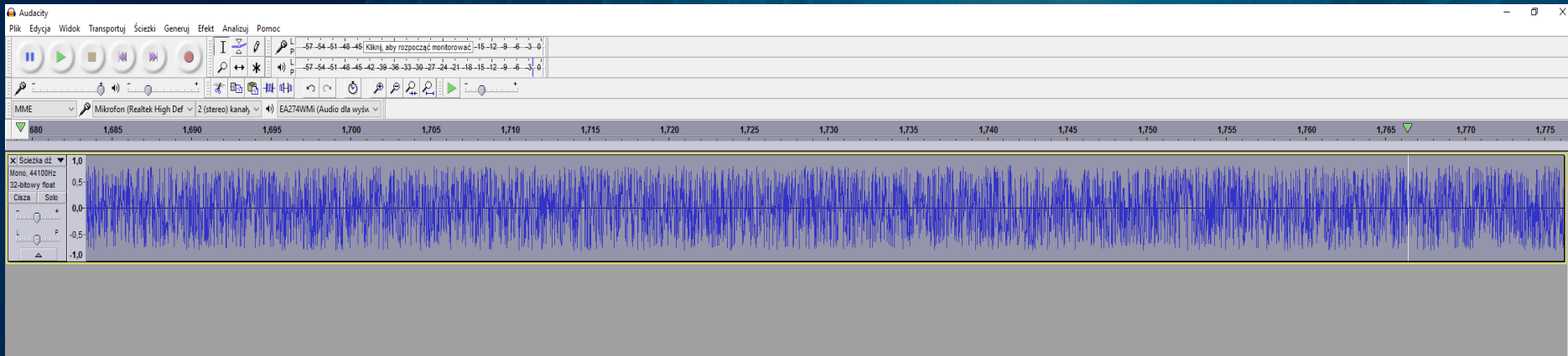
- 12kHz – do 63 lat
- 15kHz – do 38 lat
- 16kHz – do 30 lat
- 17kHz – do 19 lat
- 18kHz – do 15 lat
- 19kHz – do 11 lat

TEST



# Co słyszymy?

- Analiza fali akustycznej (w dziedzinie czasu)
- Analiza widma (w dziedzinie częstotliwości)



[Jak wygląda fala dźwiękowa - oscyloskop](#)



# Co słyszymy?

- Barwa dźwięku (subiektywna cecha dźwięku odczuwana słuchem i odróżniająca od siebie dźwięki o tej samej głośności i wysokości (wytwarzane przez różne źródła)
- Wysokość dźwięku (częstotliwość) – efekt DOPPLERA
- Natężenie dźwięku

2 - krotny wzrost natężenia oznacza wzrost poziomu głośności o ok. 3 dB

10 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 10 dB

100 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 20 dB

1000 - krotny wzrost natężenia daje wzrost poziomu głośności o 30 dB

itd...



# Dlaczego słyszymy?

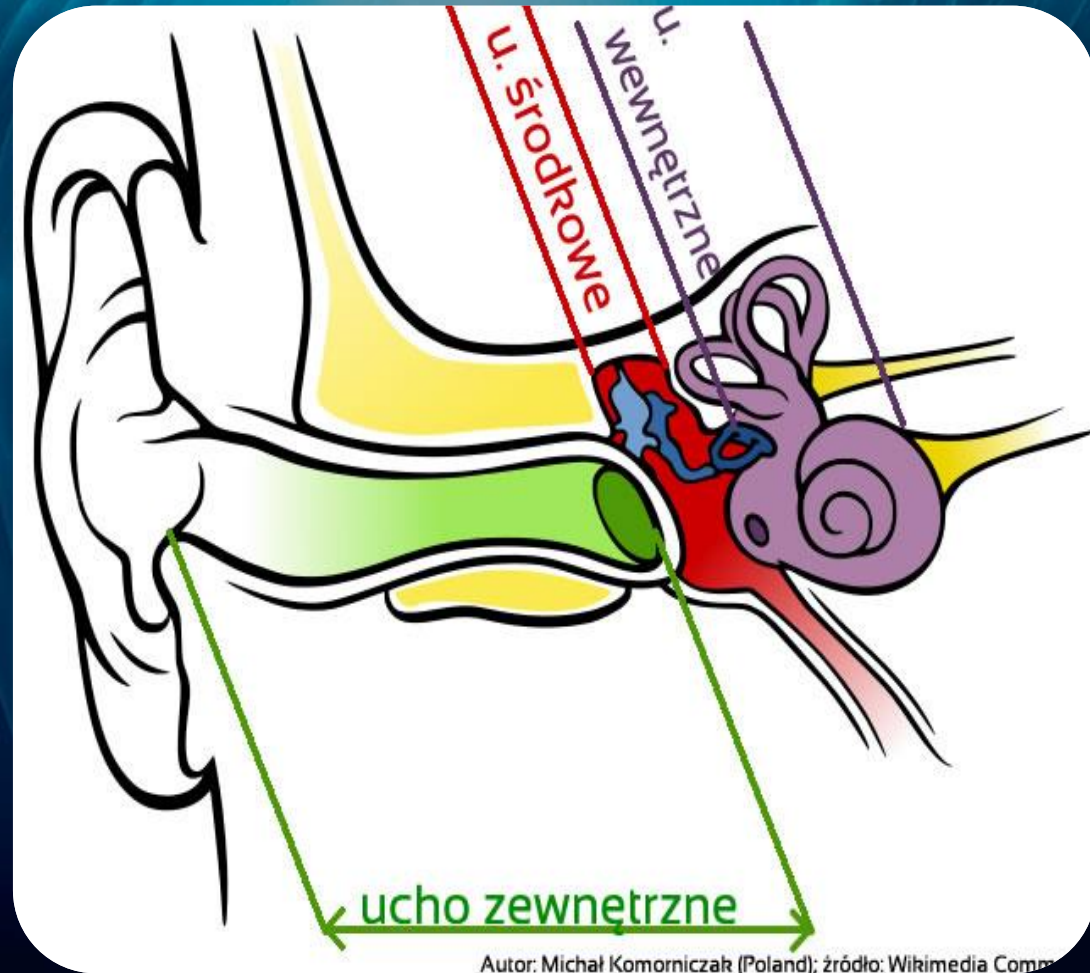
- To narząd słuchu występujący tylko u kręgowców.
- Odbiera fale dźwiękowe, przekształca je w drgania mechaniczne, a te w impulsy nerwowe.



# Podział ucha

Ucho składa się z trzech części.

- UCHO ZEWNĘTRZNE
- UCHO ŚRODKOWE
- UCHO WEWNĘTRZNE



Autor: Michał Komorniczak (Poland); źródło: Wikimedia Commons





**Kosteczki słuchowe:**

Strzemiączko

Kowadełko

Młoteczek

Kanał półkolisty

Nerw przedsionkowy

Nerw ślimakowy

Przewód słuchowy wewnętrzny

Ślimak

Trąbka słuchowa (Eustachiusza)

Błona bębenkowa

małżowina uszna

przewód słuchowy zewnętrzny

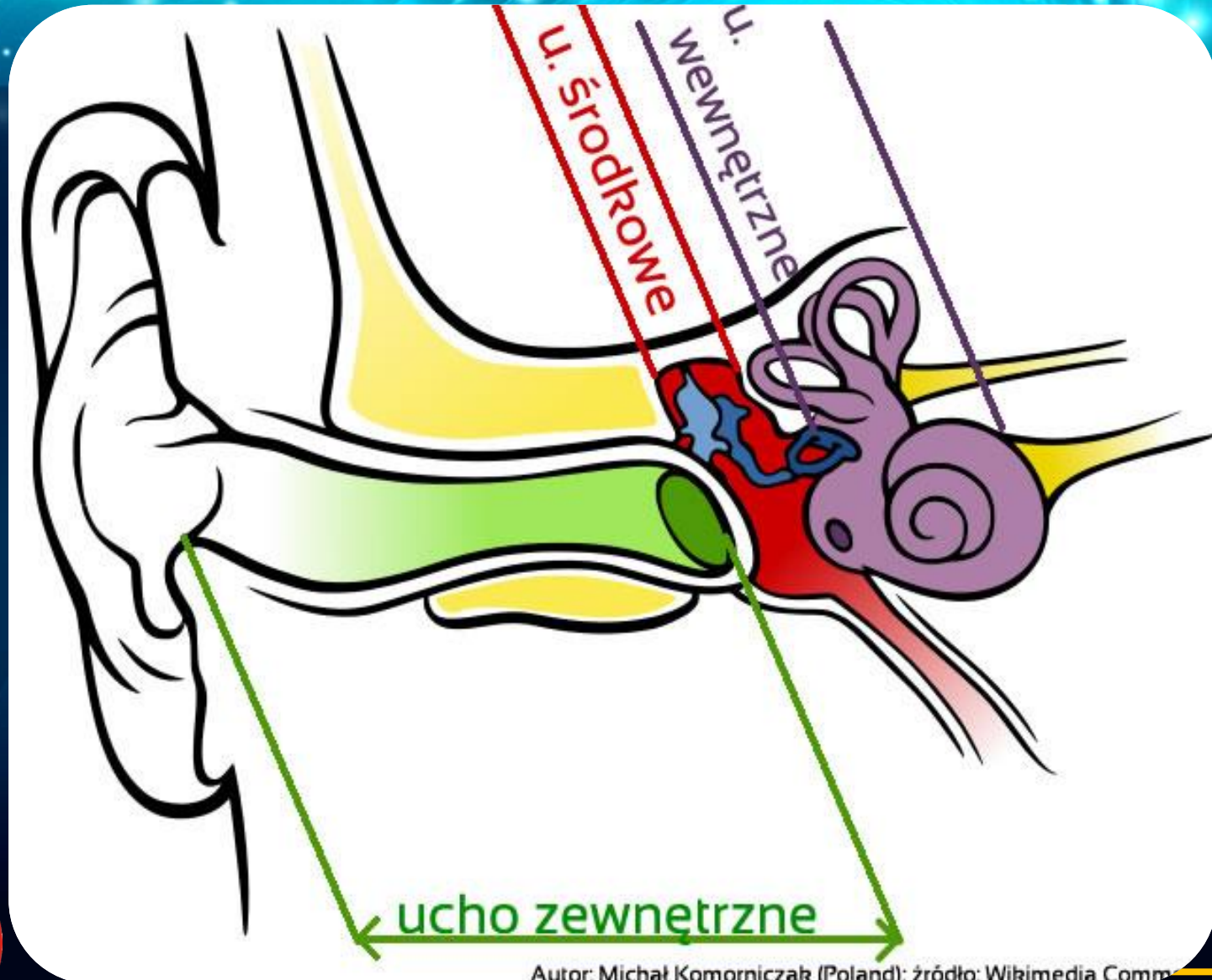
# Ucho środkowe

## Ucho zewnętrzne

- Kos
  - Młote
  - Kowa
  - Strze
  - Trą
- Małżowina uszna
  - Kanał słuchowy
  - Ślimak



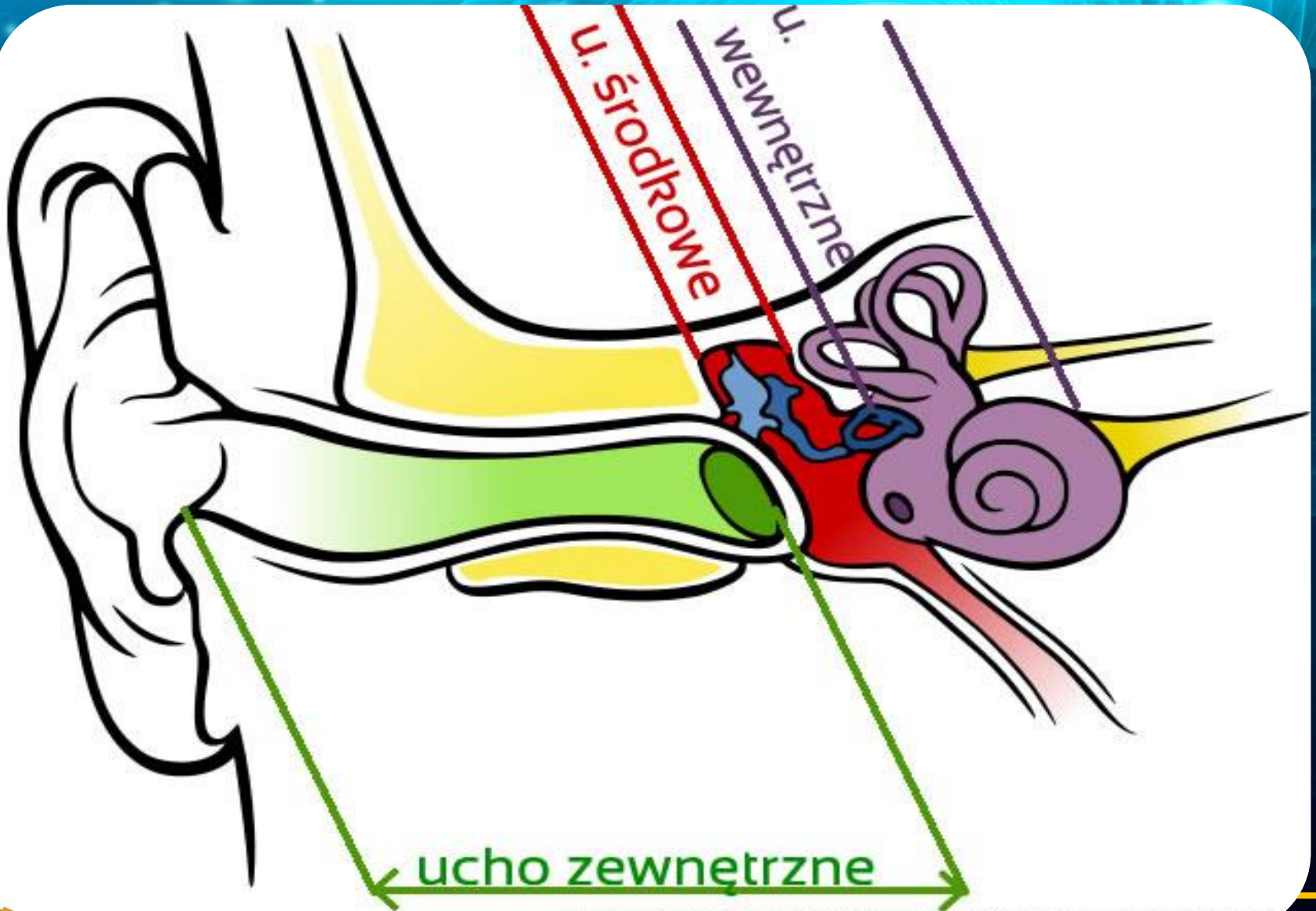
# Ucho środkowe



Autor: Michał Komorniczak (Poland); źródło: Wikimedia Commons



# Ucho wewnętrzne



Autor: Michał Komorniczak (Poland); źródło: Wikimedia Commons



# Ucho wewnętrzne

Ucho wewnętrzne to również:

- **Okienko owalne** - błona stykająca się bezpośrednio ze strzemiączkiem, ułatwiająca przejście drgań z ucha środkowego do wnętrza ślimaka.
- **Okienko okrągłe** – błona nie stykająca się z zewnątrz z żadną z kostek, ale również mogąca przekazywać (nie wzmacnione) drgania do wnętrza ślimaka.



# Ucho wewnętrzne

Choć ucho kojarzy nam się prawidłowo ze zmysłem słuchu, podstawową jego funkcją jest udział w utrzymywaniu RÓWNOWAGI ciała.

W woreczku i łagiewce błędnika znajdują się wapienne ziarenka – STATOLITY, które naciskają na komórki receptorowe wyściełające te części ucha wewnętrznego.

Różne pozycje ciała sprawiają, że ziarenka te naciskają coraz to inne komórki receptorowe, co wywołuje ich pobudzenie i wyzwolenie impulsu nerwowego przewodzonego do mózgu.

Dzięki temu człowiek odczuwa swoją pozycję w stosunku do podłoża.



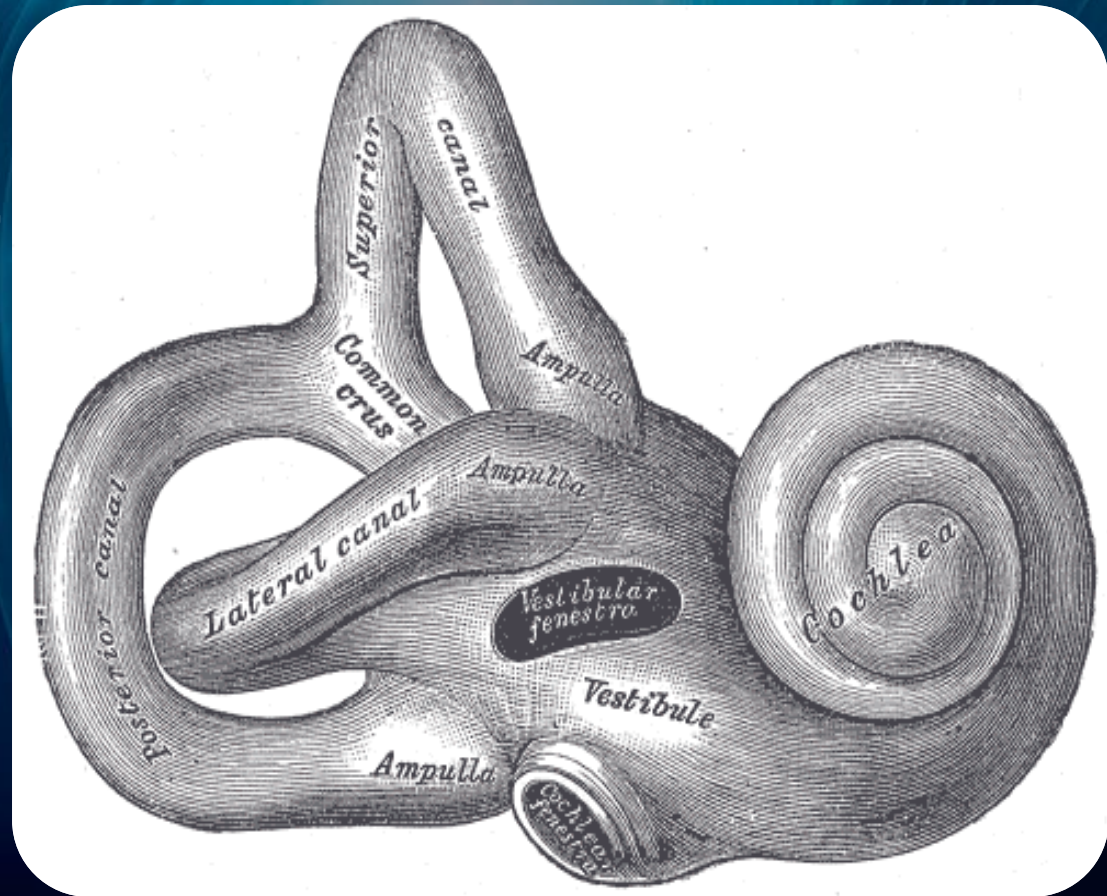
# Kanały półkoliste

- Wraz ze zmianą pozycji ciała w przewodach półkolistych przemieszcza się płyn i zmienia położenie wypustek komórek zmysłowych.
- Odkształcenie inicjuje impuls nerwowy na powierzchni komórek zmysłowych.
- Ułożenie kanałów w trzech prostopadłych do siebie płaszczyzn sprawia, że ruch ciała (głównie głowy) w dowolnym kierunku powoduje ruch płynu w co najmniej jednym z trzech przewodów.



# Ślimak

- Ślimak w uchu wewnętrznym jest spiralnie skręconą rurką, która ma kształt muszli ślimaka.
- Kanały ślimaka są wyścielone przez komórki zmysłowe zaopatrzone w liczne WYPUSTKI CYTOPLAZMATYCZNE



# Ślimak

- Ślimak składa się z trzech zbiegających się u szczytu ślimaka kanałów, pomiędzy którymi znajduje się cienka błona.
- Dwa spośród nich – przewód przedsionkowy i przewód bębenkowy – połączone są na szczycie ślimaka i wypełnione **perylimfą**.
- Kanał środkowy, zwany przewodem ślimakowym wypełniony jest **endolimfą**, w której zatopiony jest właściwy narząd słuchu – tak zwany **narząd Cortiego** (lub narząd spiralny).





# Narząd Cortiego

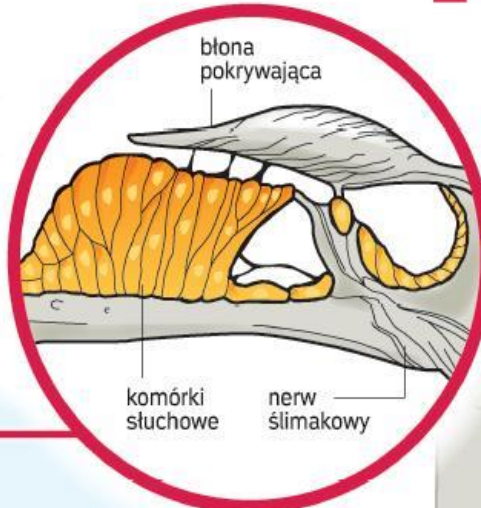
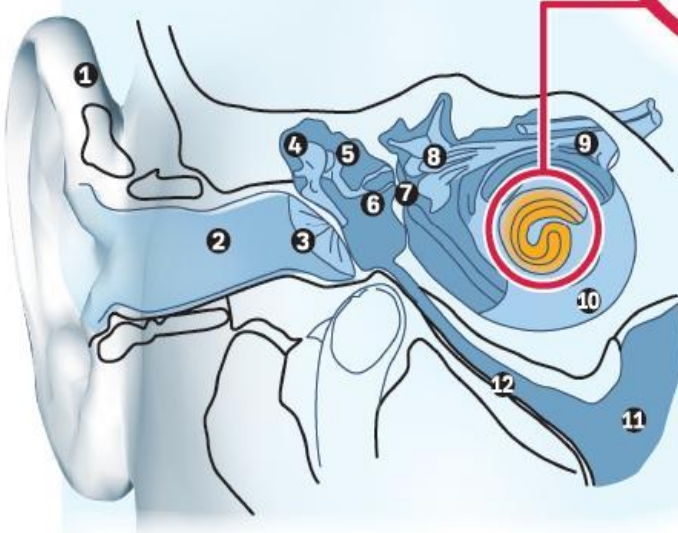
Zbudowany jest z około 24 000 orzęsionych komórek nabłonkowych ułożonych rzędami wzdłuż zwiniętego kanału ślimaka.

Każda komórka wyposażona jest w włosowaty wyrostek, który dochodzi do światła kanału ślimakowego.



## Przekrój ucha

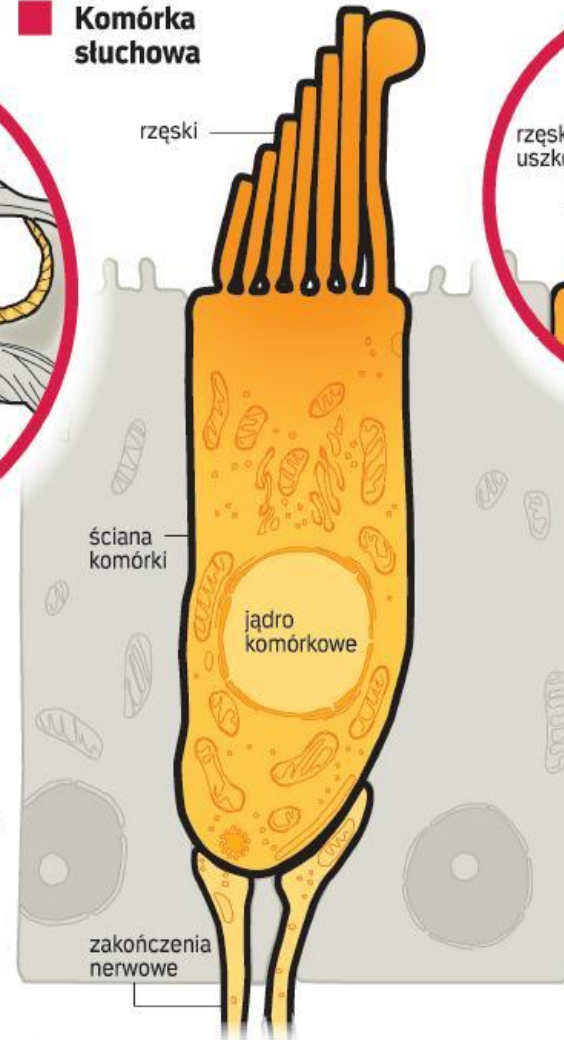
- |                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| 1. małżowina        | 7. przedsionek             |
| 2. przewód słuchowy | 8. kanały półkoliste       |
| 3. błona bębenkowa  | 9. nerw statyczno-słuchowy |
| 4. młoteczek        | 10. ślimak                 |
| 5. kowadełko        | 11. gardło                 |
| 6. strzemiączko     | 12. trąbka słuchowa        |



## Narząd Cortiego

Znajduje się w ślimaku i jest wyposażony w liczne komórki słuchowe pośredniczące w zamianie ruchów płynu wywołanych falami akustycznymi w impulsy nerwowe. To właśnie uszkodzenie komórek słuchowych powoduje utratę słuchu

## Komórka słuchowa



## Uszkodzenie rzęsek

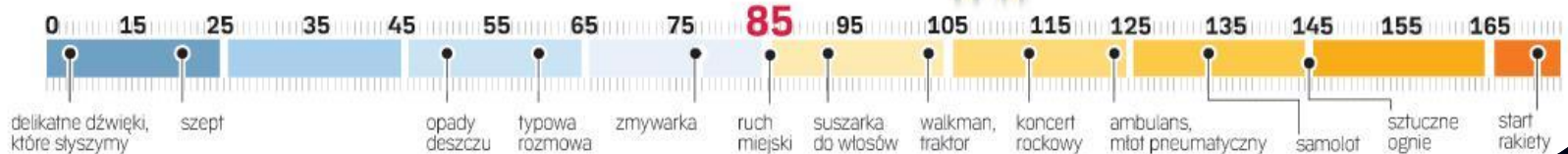
Palenie i otyłość pogarszają krążenie krwi, co szkodzi uchu wewnętrznemu: rzęski obumierają, jeśli otrzymują zbyt mało tlenu wraz z krwią

Zniszczenie rzęsek jest przyczyną

**90** proc.

przypadków utraty słuchu

## Skala słyszalności dźwięków w decybelach



# Proces słyszenia

- U kręgowców lądowych narząd słuchu przetwarza fale dźwiękowe w falę ciśnienia w płynie wewnątrz ślimaka.
- Fala dźwiękowa przechodzi **przez przewód słuchowy zewnętrzny**, wprawiając w drgania  **błonę bębenkową**, położoną na granicy pomiędzy uchem zewnętrznym a środkowym.
- W uchu środkowym drgania przenoszone są za pomocą trzech małych kosteczek: **młoteczka, kowadełka i strzemiączka**.

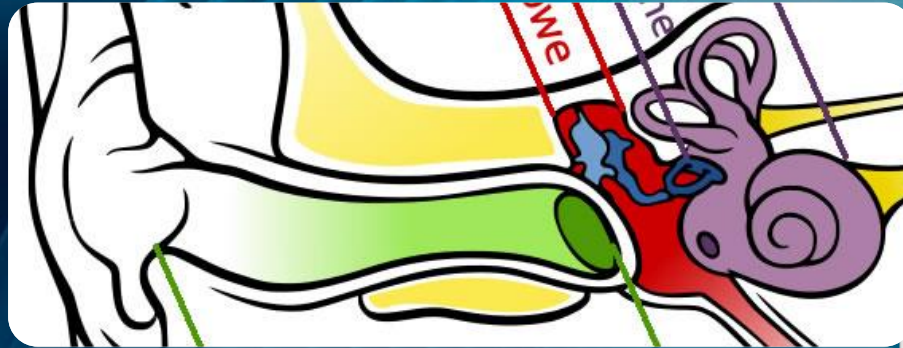


# Proces słyszenia

- Strzemiączko kontaktuje się z **okienkiem owalnym**. Ten system kosteczek słuchowych przenosi drgania błony bębenkowej na płyn wypełniający **kanał przedsionkowy** i przestrzeń wewnątrz **ślimaka**.
- Fala ciśnienia uciska błonę oddzielającą trzy kanały ślimaka, jest przenoszona do kanału bębenkowego i powoduje, że błona okienka owalnego staje się na przemian wklęsła i wypukła.
- Powoduje to, że **narząd Cortiego** ociera się o błonę – bodziec ten inicjuje przewodzenie **impulsów nerwowych** w dendrytach neuronów u podstawy każdej komórki rzęsatej.



# Proces słyszenia



Fala dźwiękowa dociera do małżowiny usznej i przewodu słuchowego

Drga błona bębenkowa i kosteczki słuchowe (wzmocnienie dźwięku)

Drga płyn w ślimaku

Wypustki komórek zmysłowych są poruszane - co wywołuje impuls nerwowy

Impulsy nerwowe są przewodzone do mózgu za pomocą nerwu słuchowego

W ośrodku słuchu w korze mózgowej powstaje wrażenie słyszenia

A jak to jest w praktyce ???

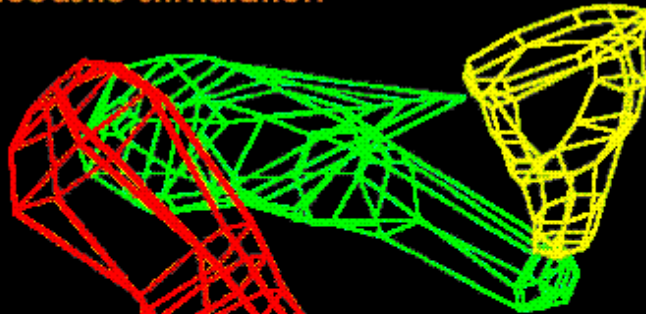


# Kosteczki słuchowe



# Ruchy kosteczek słuchowych

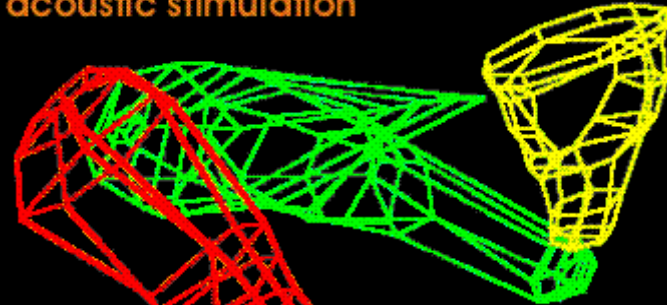
acoustic stimulation



100 Hz

Institute of  
Communication Acoustics  
Ruhr-University Bochum  
Germany

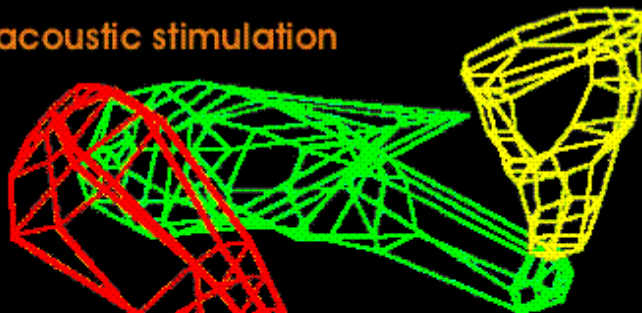
acoustic stimulation



1000 Hz

Institute of  
Communication Acoustics  
Ruhr-University Bochum  
Germany

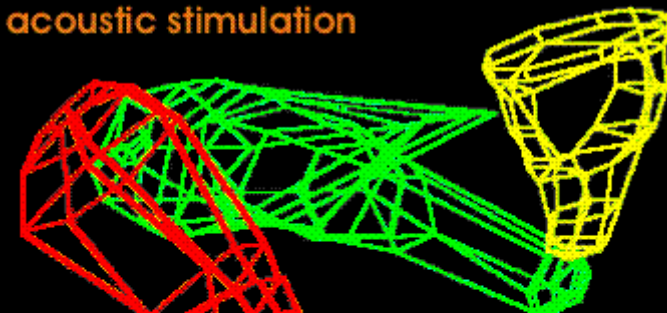
acoustic stimulation



5000 Hz

Institute of  
Communication Acoustics  
Ruhr-University Bochum  
Germany

acoustic stimulation



10000 Hz

Institute of  
Communication Acoustics  
Ruhr-University Bochum  
Germany



# Ocena słuchu

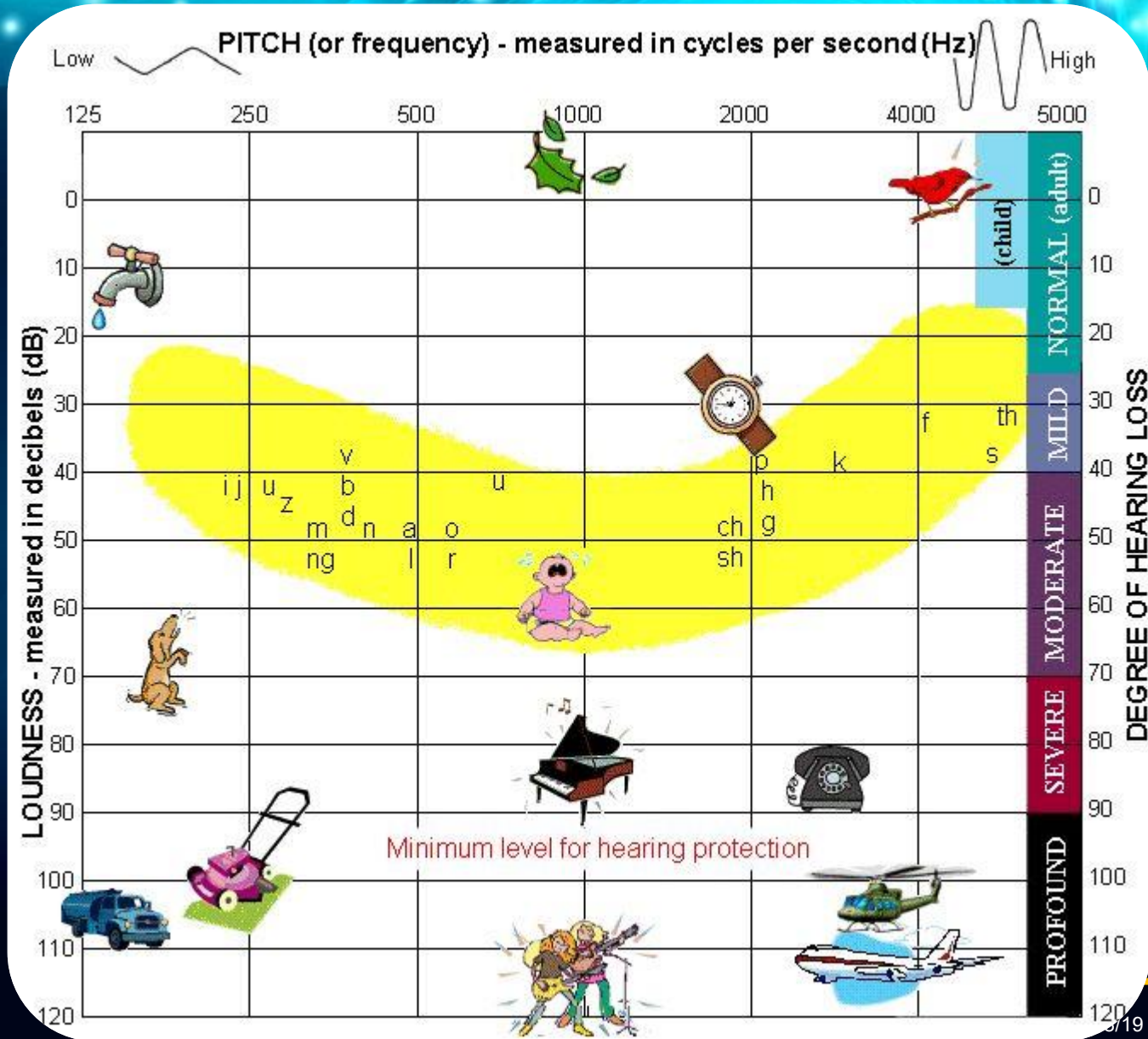
## Audiometria i Audiogram

Wynikiem audiometrii tonalnej jest krzywa progu słyszenia dla przewodnictwa powietrznego i kostnego w skali częstotliwości, czyli tak zwany audiogram. Audiogram jest to graficzne przedstawienie zdolności słyszenia. W trakcie testu słuchu sprawdza się go dla różnych zakresów częstotliwości i natężenia dźwięku.





# Ocena słuchu



# Dlaczego nie słyszymy

## ➤ **Utrata słuchu: odbiorcza**

- Uszkodzenie ślimaka lub nerwu słuchowego. Dźwięk jest doprowadzany do ucha wewnętrznego, natomiast jest nieprawidłowo przekształcany na impulsy nerwowe.

Pierwsze oznaki: złe rozumienie mowy

## Przyczyny:

- hałas
- choroby ucha wewnętrznego
- nagła głuchota
- starzenie się narządu słuchu



# Dlaczego nie słyszymy

## ➤ **Utrata słuchu: przewodzeniowa**

- Zaburzone zostaje przenoszenie dźwięków od małżowiny usznej, przez ucho środkowe, do ucha wewnętrznego.

Pierwsze oznaki: osoba słyszy wszystko znacznie ciszej

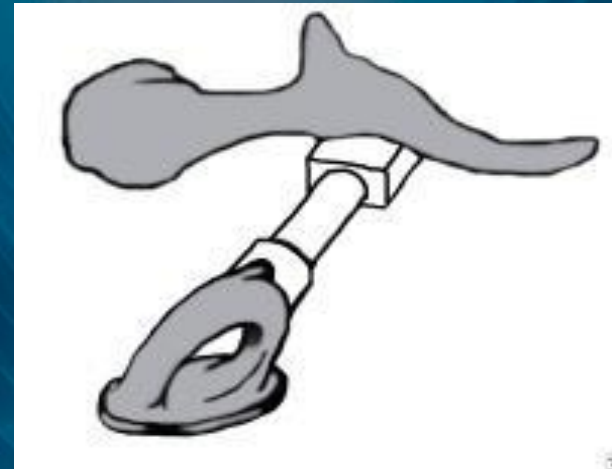
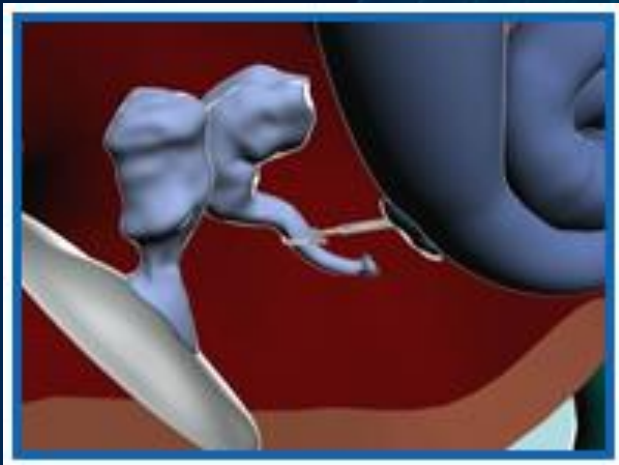
## Przyczyny:

- czop woskowy
- choroby ucha zewnętrznego
- deformacje przewodów słuchowych
- choroby ucha środkowego
- uszkodzenie błony bębenkowej



# Dlaczego nie słyszymy

- Utrata słuchu odbiorcza - uszkodzenia ucha wewnętrznego
- Utrata słuchu przewodzeniowa – Uszk. ucha środkowego



# Co wtedy zrobić?



# Co wtedy zrobić ?

## ➤ Odbiorcza utrata słuchu – implant ślimakowy

zaawansowane urządzenie elektroniczne, wszczepiane podczas operacji chirurgicznej osobom z obustronną głuchotą lub obustronnym głębokim niedosłuchem zmysłowo-nerwowym



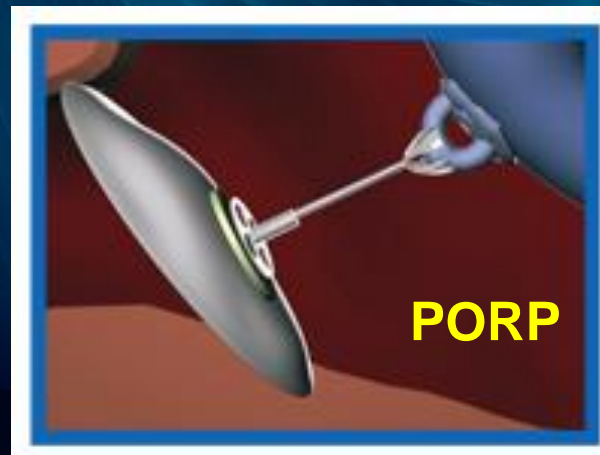
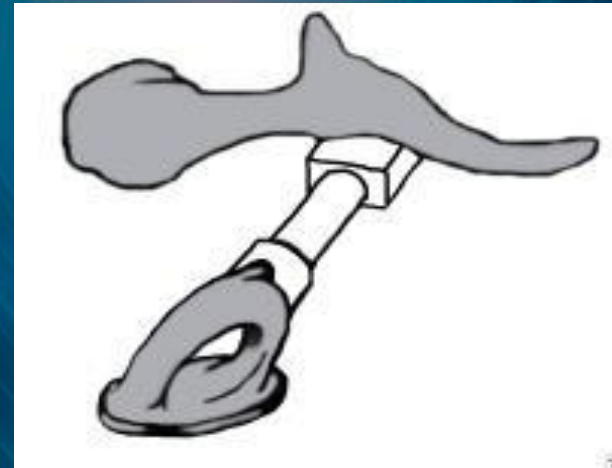
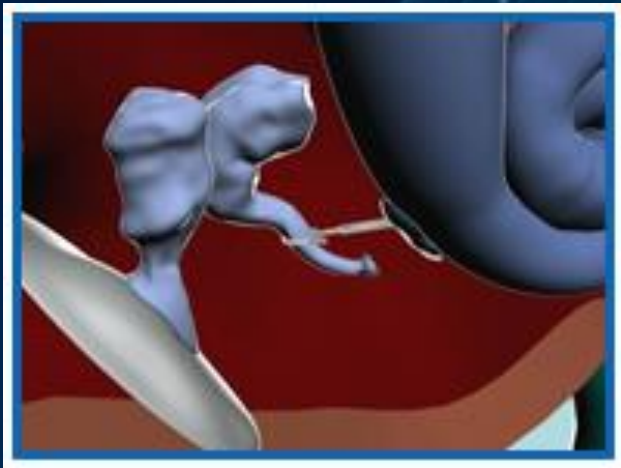
Jak działa implant

???



# Protezy ucha środkowego

- Utrata słuchu przewodzeniowa – uszk. ucha środkowego



# Protezy ucha środkowego

- Utrata słuchu przewodzeniowa – uszk. ucha środkowego





# Implant BAHA

Wykorzystuje przewodnictwo kostne i omija łańcuch kosteczek słuchowych

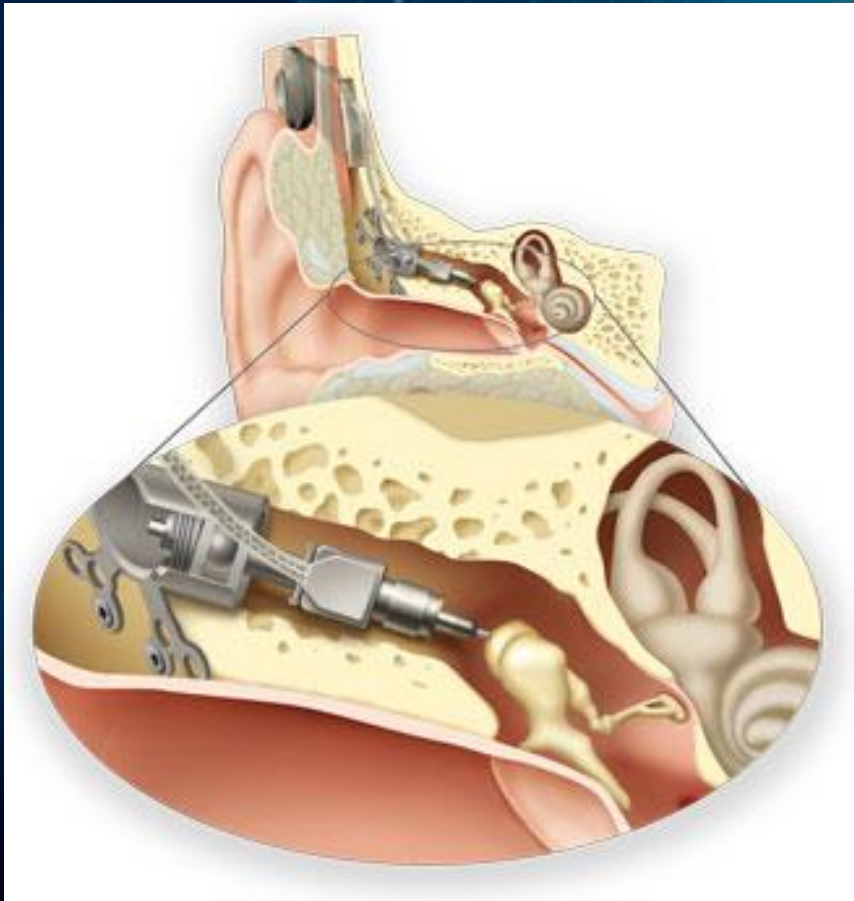


Działanie    Przykład



# Implant ucha środkowego

- Przewodzeniowa utrata słuchu – implant ucha środkowego



Prof. Henryk Skarżyński  
[Kajetany](#)



# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

## Biomechanika ucha ludzkiego

POLITECHNIKA LUBELSKA  
Katedra Mechaniki Stosowanej  
dr inż. Kamil Jonak  
dr hab. inż. Rafał Rusinek, prof. PL

---

Projekt „Politechnika Lubelska - Regionalna Inicjatywa Doskonałości”  
- finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo  
Nauki  
i Szkolnictwa  
Wyższego

