

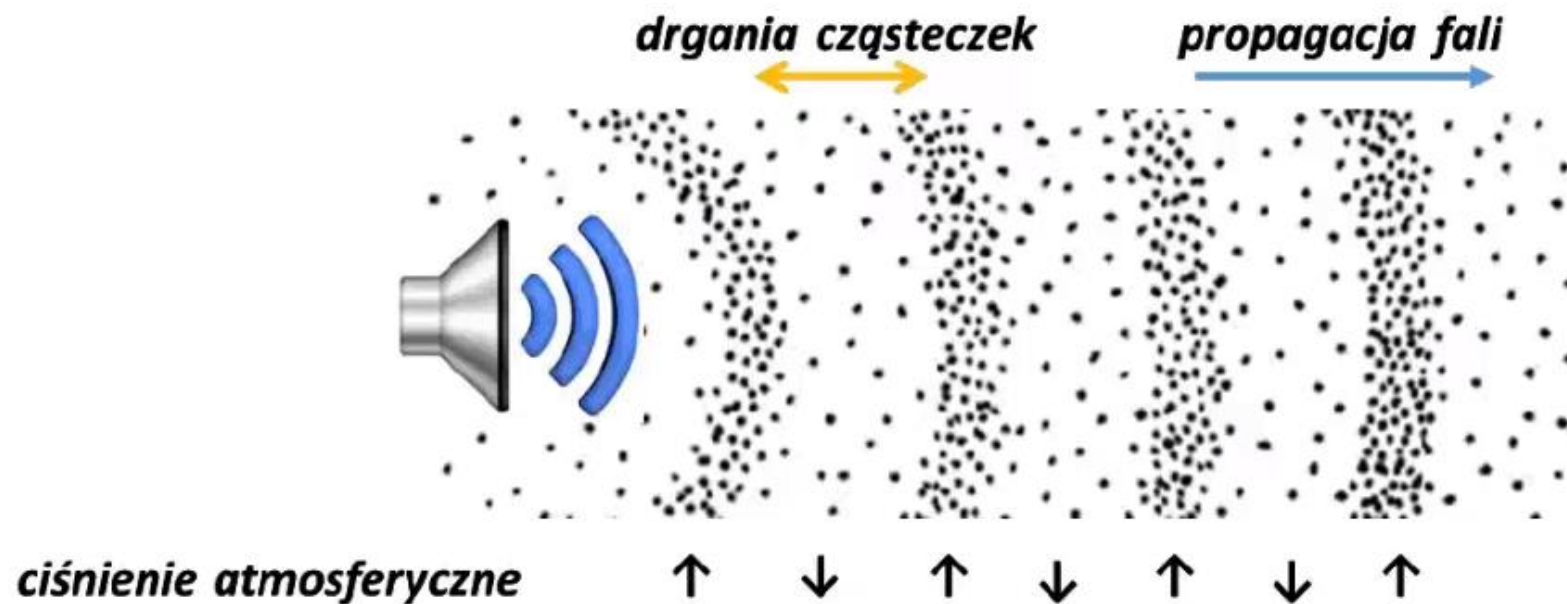
# Wykład

03.01.2022r.

## FALE MECHANICZNE 2

### FALE AKUSTYCZNE

**Fala akustyczna** – rozchodzące się w przestrzeni zaburzenie, któremu towarzyszą drgania cząsteczek ośrodka. Drgające cząsteczki ośrodka przenoszą energię mechaniczną (dochodzi do naprzemiennego zagęszczania i rozrzedzania środowiska), ale ich średnie położenie nie ulega zmianie.



*Fala akustyczna wymaga obecności ośrodka (ciało stałe, ciecz, gaz)!*

### WIELKOŚCI OPISUJACE FAŁĘ AKUSTYCZNA

Częstotliwość – określa liczbę cykli zjawiska, jaka zachodzi w czasie jednej sekundy, decyduje o **wysokości dźwięku**

$$f \left[ \frac{1}{s} \right] = [Hz]$$

Amplituda – największe wychylenie cząsteczek ośrodka z położenia równowagi, od amplitudy zależy **głośność dźwięku**

$$A [m]$$

Okres fali – czas, w jakim fala pokona odległość równą długości fali

$$T [s]$$

Długość fali – najmniejsza odległość pomiędzy dwoma punktami o tej samej fazie drgań, odległość, jaką pokonuje fala w czasie jednego okresu

$$\lambda [m]$$

## FALE MECHANICZNE 2

Prędkość dźwięku – określa szybkość rozchodzenia się fali, zależy od gęstości i ściśliwości ośrodka

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad \left[ \frac{m}{s} \right]$$

gdzie:

$B$  – moduł ściśliwości

$\rho$  – gęstość ośrodka

*Rozchodzenie fali akustycznej w powietrzu jest procesem adiabatycznym!*

$$B = \kappa \cdot p = \frac{c_p}{c_v} \cdot p$$

gdzie:

$\kappa$  – współczynnik adiabaty

$p$  – ciśnienie gazu

$c_p, c_v$  – ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, objętości

$$V = \sqrt{\frac{\kappa \cdot p}{\rho}}$$

Dla gazu doskonałego:

$$p \cdot v = n \cdot R \cdot T = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{1}{M} \cdot \frac{m}{v} \cdot R \cdot T = \frac{1}{M} \cdot \rho \cdot R \cdot T$$

$$\frac{p}{\rho} = \frac{R \cdot T}{M}$$

$$V = \sqrt{\frac{\kappa \cdot R \cdot T}{M}}$$

CECHY DŹWIĘKU

1. Wysokość dźwięku
2. Głośność dźwięku
3. Barwa

WYSOKOŚĆ DŹWIĘKU = CZĘSTOTLIWOŚĆ

Infradźwięki:  $f < 16 \text{ Hz}$

Dźwięki słyszalne:  $16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$

Ultradźwięki:  $f > 20 \text{ kHz}$

Hiperdźwięki:  $f > 10^{10} \text{ Hz}$

### GŁOŚNOŚĆ DŹWIĘKU = NATĘŻENIE

Głośność – związana jest z natężeniem fali, czyli mocą przenoszoną przez falę na jednostkę powierzchni. Odzwierciedla fizjologiczne właściwości ucha i zależy od częstotliwości (największa czułość ucha przypada w zakresie 2-3 kHz)!

$$I \sim A^2 \cdot f^2 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

*Pomiar głośności w jednostkach natężenia jest niewygodny, bo dźwięk o natężeniu  $n$  razy większym niż inny dźwięk, nie będzie odbierany jako  $n$  razy głośniejszy!*

### Prawo Webera i Fechnera:

Zmiana intensywności subiektywnego wrażenia dźwiękowego (**poziomu natężenie dźwięku**) wywołwanego przez dwa dźwięki jest proporcjonalna do logarytmu natężeń porównywanych dźwięków.

$$\beta = \log \frac{I}{I_0}$$

gdzie:

$\beta$  – poziom natężenia dźwięku

$I$  – natężenia analizowanego dźwięku

$I_0$  – natężenie poziomu zerowego, dla częstotliwości 1 kHz  $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ .

*Jednostką poziomu natężenia dźwięku jest bel [B]!*

$$1 B = 10 dB$$

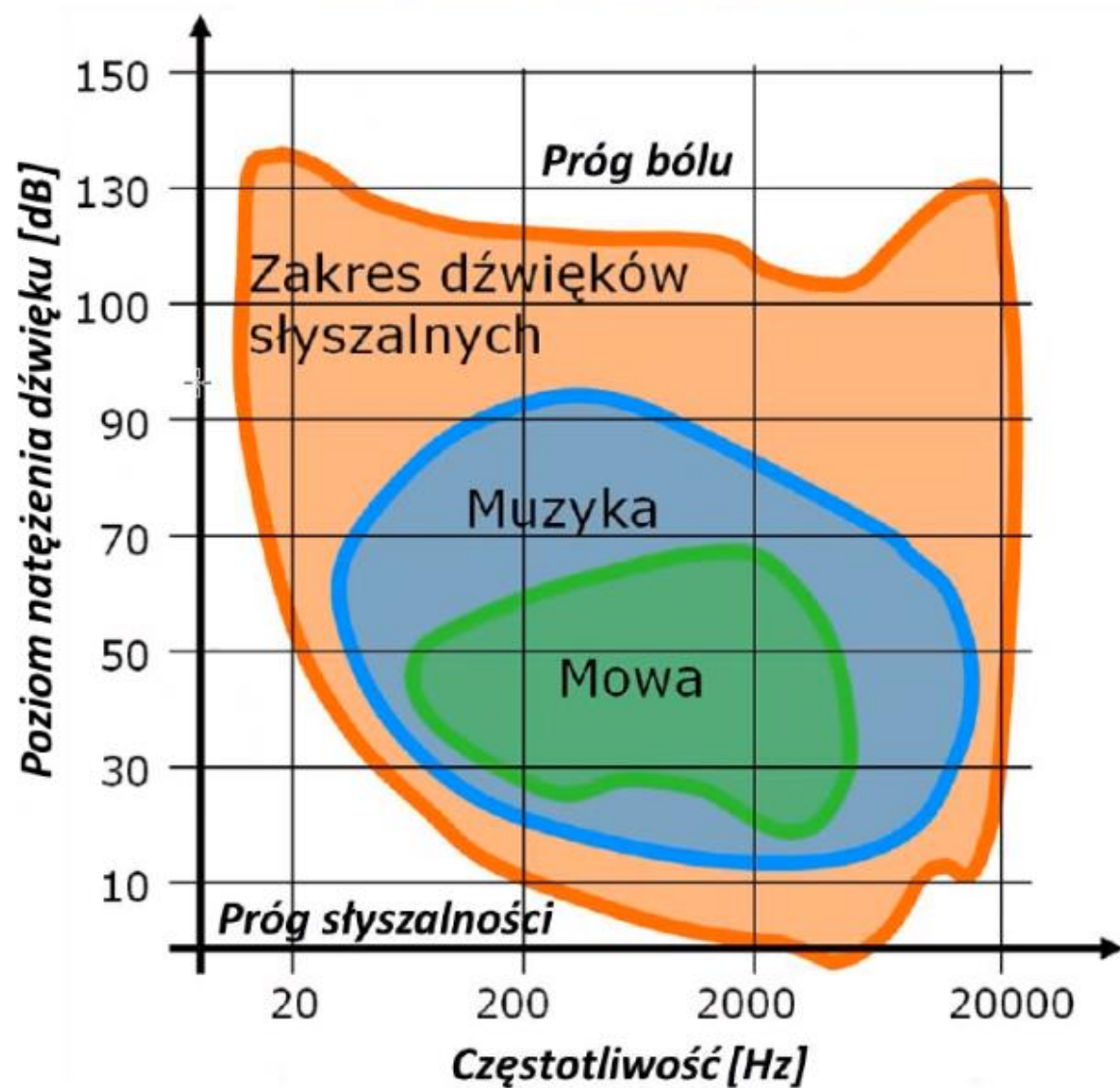


## FALE MECHANICZNE 2

### Poziomy natężenia wybranych dźwięków

<i>Dźwięk</i>	<i>Poziom natężenia dźwięku [dB]</i>
<i>szept</i>	<i>10</i>
<i>rozmowa</i>	<i>45</i>
<i>odkurzacz</i>	<i>60</i>
<i>dźwięk budzika</i>	<i>90</i>
<i>hałas na ruchliwej ulicy</i>	<i>110</i>
<i>dyskoteka</i>	<i>120</i>
<i>granica bólu</i>	<i>130</i>

Próg bólu i próg słyszalności

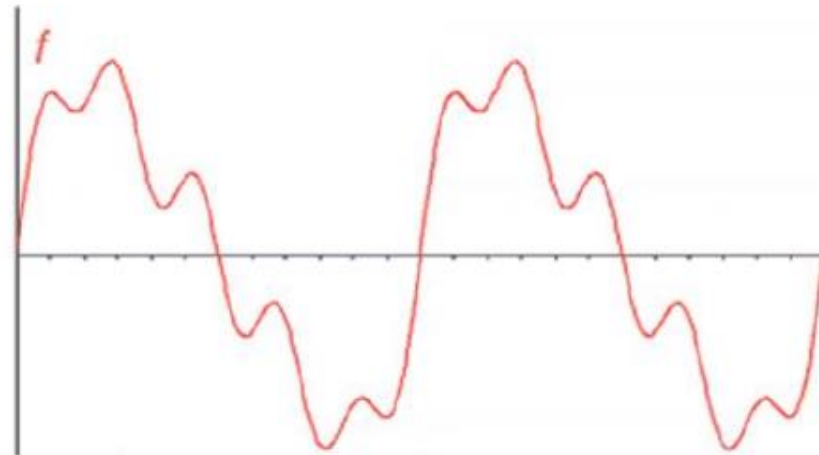
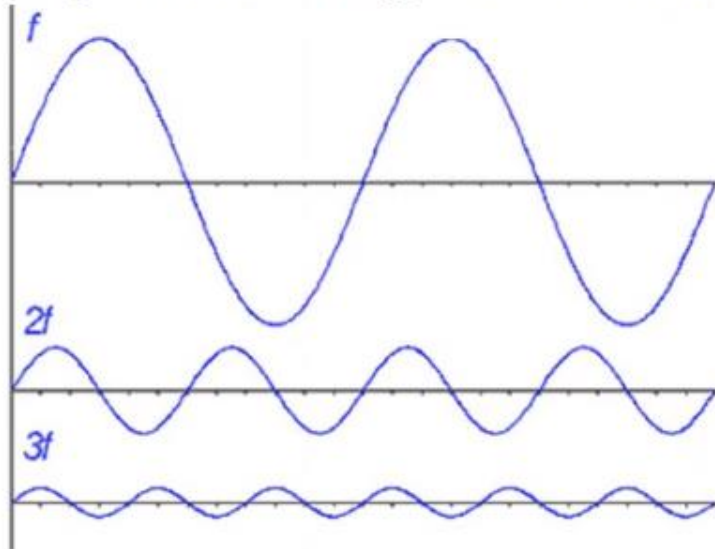


## BARWA DŹWIĘKU

**Barwa** – zawartość w dźwięku różnych częstotliwości podstawowych. Cecha dźwięku, która pozwala odróżnić brzmienie głosu, instrumentów. Uzależniona jest od liczby, rodzaju i natężenia tonów składowych.

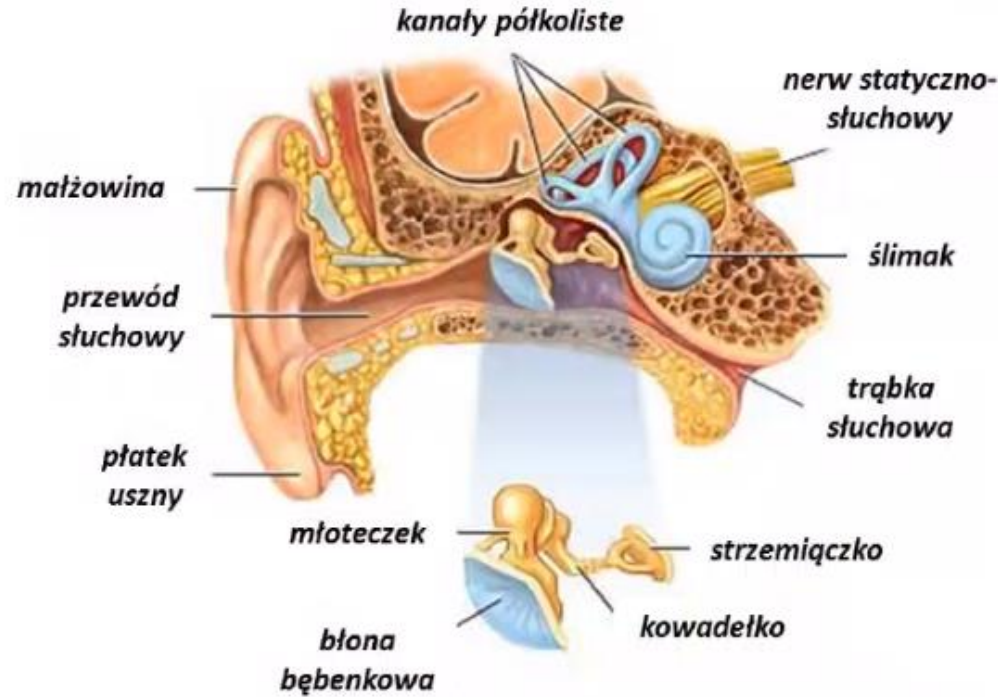
Barwa może zmieniać się nieznacznie w zależności od:

- sposobu wzbudzania drgań (pociągnięcie smyczkiem, szarpnięcie, uderzenie)
- siły wzbudzenia (głośności dźwięku)



*Każdy dźwięk da się złożyć z pewnej ilości dźwięków podstawowych: tonów!*

**BUDOWA I DZIAŁANIE NARZĄDU SŁUCHU**



1. Fale dźwiękowe przewodem słuchowym zewnętrznym docierają do błony bębenkowej
2. Drgania błony bębenkowej poruszają przylegający do niej młoteczek
3. Z młoteczka są przekazywane na kowadełko i strzemiączko
4. Za pośrednictwem okienka owalnego trafiają do ucha wewnętrznego
5. W uchu wewnętrznym drgania są zamieniane na impulsy nerwowe
6. Nerwem słuchowym docierają do ośrodków słuchowych w korze mózgowej

**ULTRADŹWIĘKI**

Zwierzęta wykorzystują ultradźwięki w celu **echolokacji**.

**Nietoperze** używają ultradźwięków do wykrywania owadów latających w ciemnościach.

**Wieloryby** używają ultradźwięków do namierzania ławic ryb lub planktonu.

**Delfiny** posiadają najdoskonalszy zmysł echolokacji. Na ich głowach znajduje się rezonator pozwalający na generowanie precyzyjnie ukierunkowanego strumienia ultradźwięków. Ogromne mózgi delfinów są w stanie przetworzyć uzyskane w ten sposób dane w trójwymiarowy model otoczenia, są w stanie zajrzeć do wnętrza innych istot.



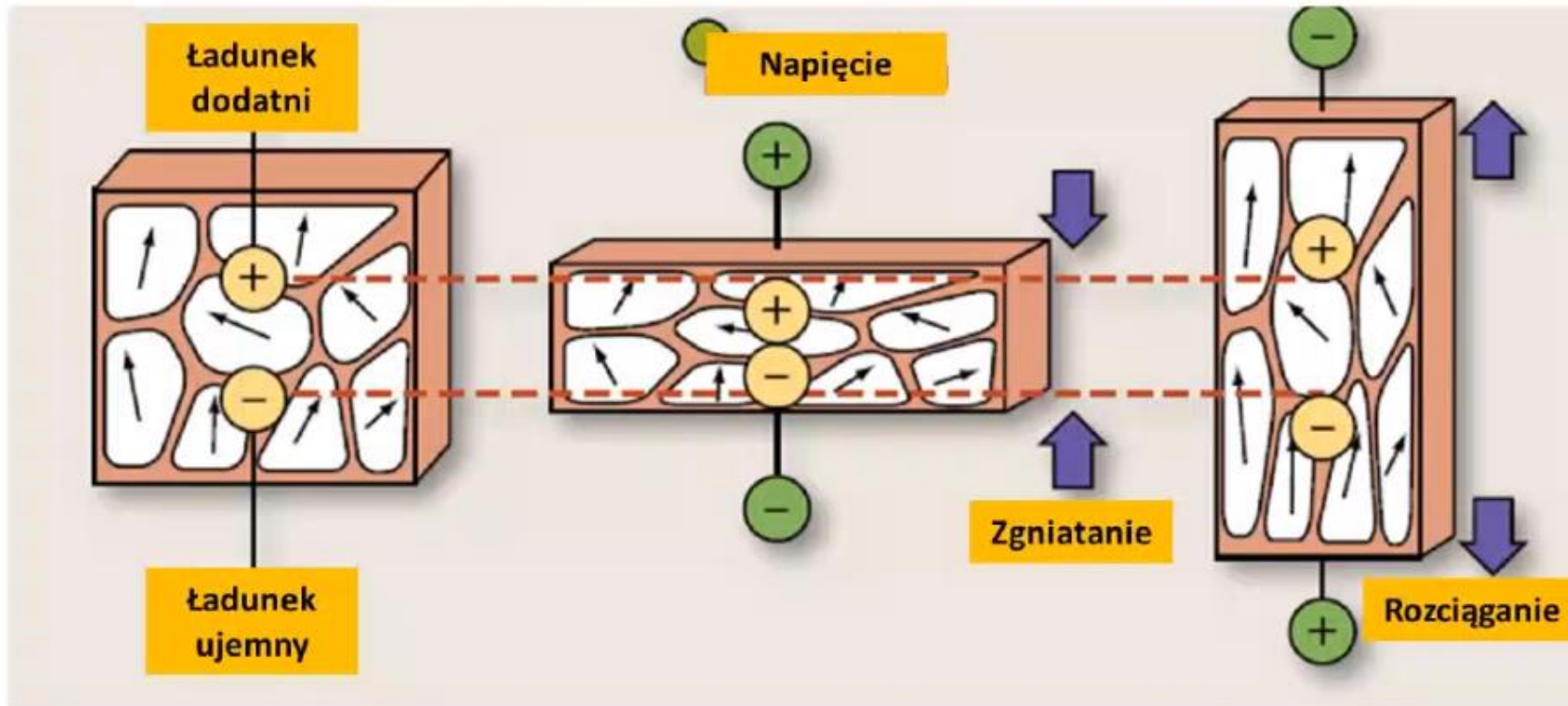
**ULTRASONOGRAFIA**



WYTWARZANIE I REJESTRACJA ULTRADŹWIĘKÓW

Proste zjawisko piezoelektryczne – zmiana rozmiarów kryształu (deformacja) powoduje pojawienie się na jego powierzchni ładunków elektrycznych;

Odwrotne zjawisko piezoelektryczne – zmiana wymiarów kryształu pod wpływem przyłożonego pola elektrycznego.

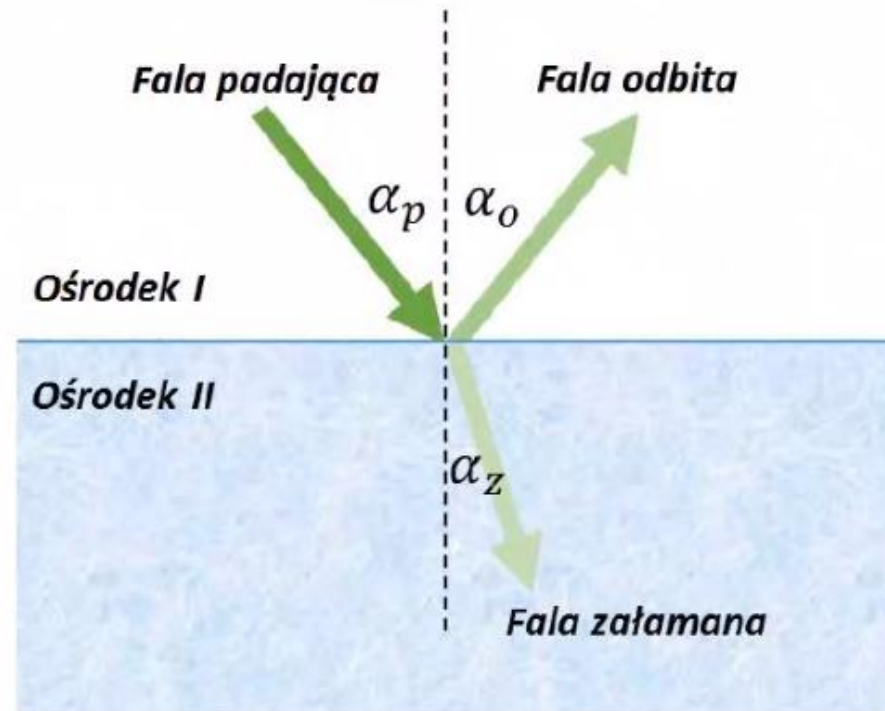


### PRĘDKOŚĆ FAL DŹWIĘKOWYCH W OŚRODKACH

<i>Obszar biologiczny</i>	<i>Prędkość dźwięku [m/s]</i>
<i>powietrze</i>	<i>330</i>
<i>płuca</i>	<i>650-1180</i>
<i>tkanka tłuszczowa</i>	<i>1450</i>
<i>woda</i>	<i>1495</i>
<i>wątroba</i>	<i>1550</i>
<i>nerki</i>	<i>1560</i>
<i>krw</i>	<i>1570</i>
<i>śledziona</i>	<i>1578</i>
<i>mięśnie</i>	<i>1590-1610</i>
<i>kości</i>	<i>2700-4080</i>



ODDZIAŁYWANIE ULTRADŹWIĘKÓW Z TKANKAMI



**Odbicie** – na skutek odbicia powstaje echo, które wracając do odbiornika niesie informację o strukturze ośrodka. Ilość energii, jaka ulegnie odbiciu zależy od **impedancji akustycznej ośrodków**.

**Załamanie** – zachodzi, gdy fala pada na granicę ośrodków pod kątem innym niż  $0^\circ$ . Kąt załamania zależy od prędkości rozchodzenia się fali w obu ośrodkach.

**Pochłanianie i rozpraszanie**

*Dla tkanek miękkich różnice prędkości ultradźwięków są małe i przy małych kątach padania ultradźwięki poruszają się praktycznie bez zmiany pierwotnego kierunku!*

### ODBICIE ULTRADŹWIĘKÓW NA GRANICY <sup>I</sup>TKANEK

Współczynnik odbicia (R):

$$R = \frac{I_o}{I_p} \sim \Delta Z^2$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1$$

$I_o$  – natężenie fali odbitej

$I_p$  – natężenie fali padającej

Impedancja akustyczna (Z) [rail] – wielkość określająca, jaki opór stawia ośrodek fali dźwiękowej

$$Z = \rho \cdot V$$

$\rho$  – gęstość ośrodka

## FALE MECHANICZNE 2

### Impedancja akustyczna ośrodków

<i>Ośrodek</i>	<i>Impedancja akustyczna (Z) [<math>\frac{kg}{m^2 \cdot s}</math>]</i>
<i>tkanki miękkie</i>	$1,38 - 1,66 \cdot 10^6$
<i>kości</i>	$3,7 - 7,3 \cdot 10^6$
<i>powietrze</i>	$0,0004 \cdot 10^6$

### Współczynniki odbicia dla granicy ośrodków

<i>Granica</i>	<i>Współczynnik odbicia (R)</i>
<i>tkanki miękkie – powietrze</i>	<i>0,99</i>
<i>tkanki miękkie – płuca</i>	<i>0,52</i>
<i>tkanki miękkie – kości</i>	<i>0,43</i>
<i>tkanka tłuszczowa – wątroba</i>	<i>0,0079</i>
<i>tkanka miękka – mięśnie</i>	<i>0,0004</i>

**RODZAJE BADAŃ ULTRASONOGRAFICZNYCH**

**USG 2D** – płaski dwuwymiarowy przekrój



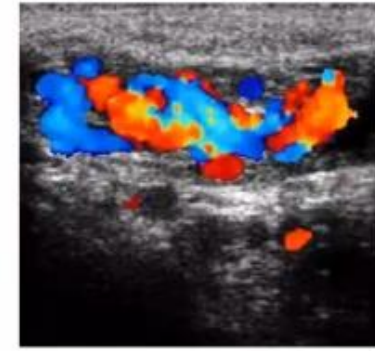
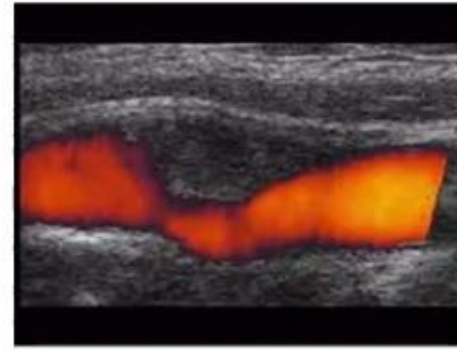
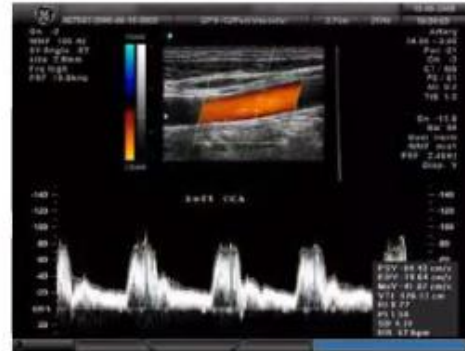
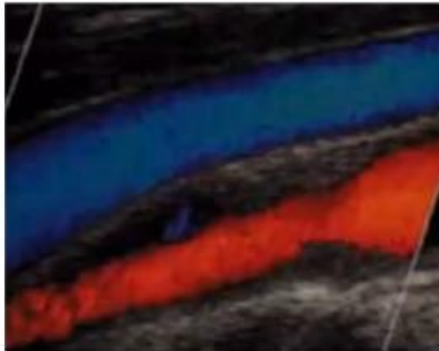
**USG 3D** – statyczny obraz w trzech wymiarach

**USG 4D** – ruchomy obraz w trójwymiarze, śledzący z pewnym opóźnieniem ruchy narządów czy dziecka.



**USG dopplerowskie** – ultradźwięki odbite od poruszającej się masy krwinkowej powracają do sondy z inną niż pierwotna częstotliwością. Różnica tych częstotliwości jest podstawą uzyskiwania obrazów dopplerowskich.

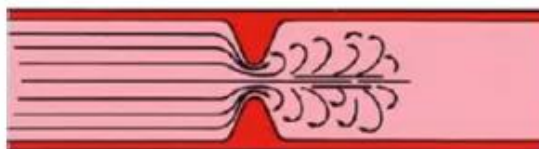
- 1. Kolorowy obraz jest wynikiem cyfrowego przetwarzania otrzymanych sygnałów!*
- 2. Barwa w obrazie uzależniona jest od kierunku przepływu krwi – możemy odróżnić krew żylną od tętniczej!*



- 3. Możliwy jest dokładny pomiar prędkości przepływu krwi oraz określenie charakteru przepływu (korkowy, laminarny czy burzliwy)*



**Przepływ laminarny**



**Przepływ turbulentny**

