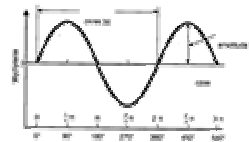


Postrzeganie słuchowe

Dźwięk

Dźwięk prosty (ton):

- częstotliwość,
- amplituda,
- faza,

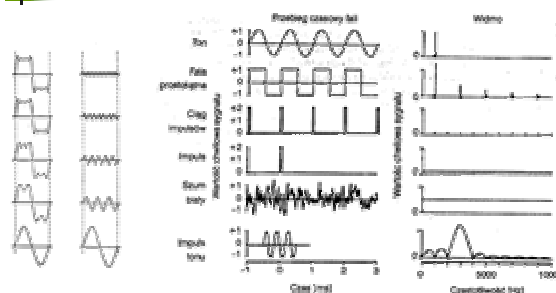


Dźwięk okresowy (okresowy),

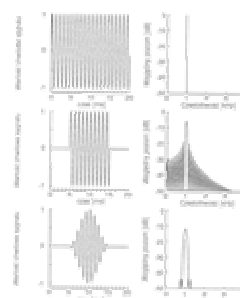
Dźwięk złożony:

- składowa podstawowa (pierwsza harmoniczna, np. 220 Hz)
- kolejne harmoniczne (alkwoty, np. 440, 660 Hz),

Widmo sygnału



Okno transformaty Fouriera



Pomiar natężenia dźwięku

- Natężenie dźwięku
 - energia przenoszona w polu dźwiękowym w ciągu sekundy (moc) przypadająca na jednostkę powierzchni (W/m^2),
 - proporcjonalne do kwadratu zmian ciśnienia,
 - duży zakres wartości percepowanych przez człowieka ($1 - 10^{14}$),
- Poziom ciśnienia/natężenia akustycznego dźwięku (SPL - ang. *sound pressure level*):

$$\text{SPL} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}]$$

gdzie: I_0 - natężenie odniesienia (bliski progowi słyszalności dla tonu 1000 Hz),
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

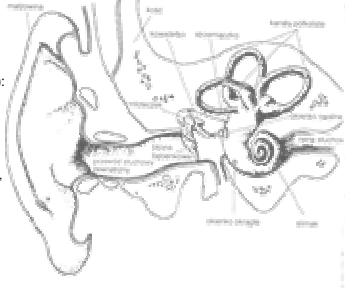
- Poziom wrażenia (SL - ang. *sensation level*) - I_0 (indywidualny próg absolutny danej osoby)

Związek pomiędzy poziomem dźwięku, względnym natężeniem i ciśnieniem

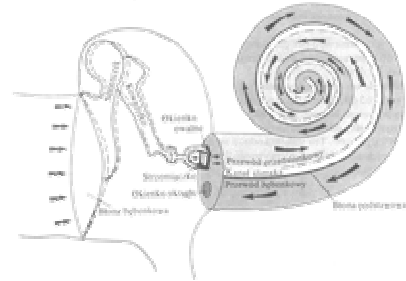
Poziom dźwięku dB SPL	Względne natężenie $\frac{I}{I_0}$	Względne ciśnienie $\frac{p}{p_0}$	Przykład
140	10^{12}	10^6	bliski wystrzał z niedaleko
120	10^{10}	10^5	głęboka grupa rockowa
100	10^8	10^4	krzyk w bliskiej odległości
80	10^6	3160	rozmowa
60	10^4	316	szła rozmowa
40	10^2	31.6	cichy szepot
20	10^0	10	obcizka poza masażem, nocą
0.5	0.5	2.1	średni próg absolutny dla 1000 Hz
0	1	1	poziom odniesienia
-10	0.1	0.316	

Budowa i podstawowe funkcje układu słuchowego

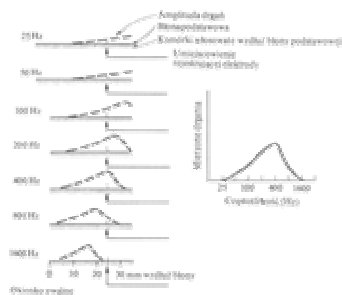
- Ucho zewnętrzne:
 - małżowina,
 - przewód słuchowy zew.,
- Ucho środkowe (dopasowanie imp.):
 - błona bębenkowa,
 - młoteczek, kowadełko, strze-mięczko (+ mięśnie),
 - okienko owalne,
- Ucho wewnętrzne:
 - ślimak (dwie błony - podstawna 3.5 cm, błona Reissnera),
 - kanały półkoliste,
 - nerw słuchowy



Struktura peryferyjna układu słuchowego człowieka



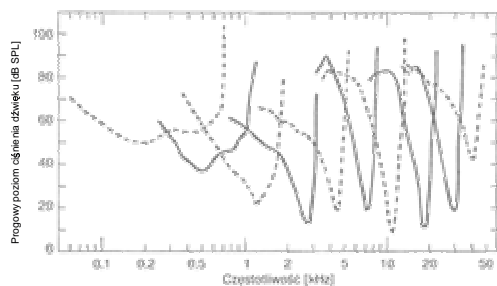
Organa błony podstawowej



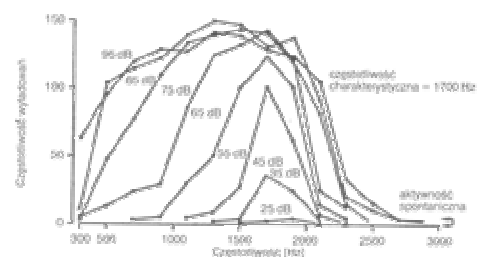
Kodowanie częstotliwości oraz poziomu natężenia akustycznego dźwięku

- wyładowania spontaniczne i progi pobudzenia neuronu:
 - 61% (18 - 250 wyładowań/sek.) - niski próg pobudzenia, ok. 0 dB SPL,
 - 23% (0.5 - 18 wyładowań/sek.),
 - 16% (< 0.5 wyładowań/sek.) - wysoki próg pobudzenia, ok. 80 dB SPL
- krzywe strojenia,
- częstotliwość / poziom natężenia dźwięku a częstotliwość wyładowań neuronu,
- synchroniczność fazowa (< 4-5 kHz),

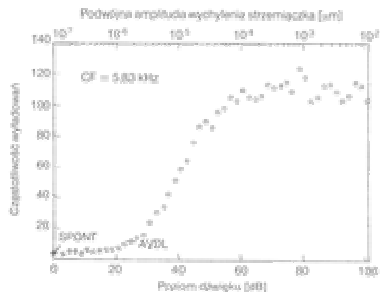
Krzywe strojenia



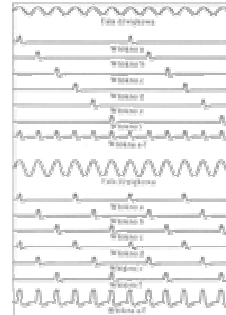
Krzywe jednakowego poziomu natężenia dla pojedynczego neuronu



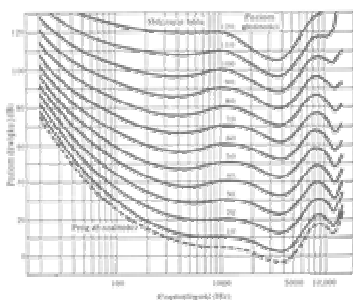
Częstotliwość wyładowań a poziom dźwięku



Teoria salwy



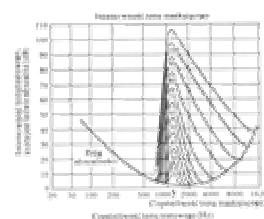
Warstwy równej głośności



Maskowanie dźwięków

Eksperyment:

- ton testowy,
- ton maskujący (stała częstotliwość i intensywność),
- krzywa maskowania



Przestrzenne spostrzeganie dźwięku

- Lokalizacja horyzontalna:
 - różnica w czasie, wynikająca z różnicy długości dróg (d) od źródła do lewego i prawego ucha (< 1.3 kHz):

$$d = r\theta + r \sin(\theta),$$

$$r = \text{promień głowy (8 cm)},$$

$$\theta = \text{kąt, pod jakim ustawione jest źródło dźwięku.}$$
 co np. daje różnicę w czasie równą $270 \mu\text{s}$, dla $\theta = 30^\circ$
 - różnica w intensywności (> 5 kHz):
 - 300 Hz – 1 dB,
 - 1.100 Hz – 4 dB,
 - 4.200 Hz – 5 dB,
 - 10.000 Hz – 6 dB,
 - 15.000 Hz – 10 dB.

cd. przestrzennego spostrzegania dźwięku

- Wnioskowanie o wertykalnym położeniu źródła dźwięku bazuje na charakterystyce widmowej (barwa) na którą wpływ mają:
 - zróżnicowane tłumienie (wzmocnienie), odbicia różnych części głowy, korpusu,
 - ruchy głowy,

Biblioteka OpenAL

- Wieloplatformowa biblioteka służąca generowaniu bodźców dźwiękowych w trójwymiarowej przestrzeni;
- Trzy podstawowe obiekty:
 - Buffers,
 - Sources (położenie, orientacja, prędkość, parametry stożka akustycznego,...);
 - Listner (położenie, orientacja, prędkość,...);
- Dodatkowe zjawiska akustyczne, np. efekt Dopplera;
- <http://www.openal.org/>

MP3 (ISO 11172-3)

Kompresja MP3 bazując na :

- psychoakustyce
 - maskowanie częstotliwościowe (jednoczesne),
 - maskowanie czasowe,
 - zróżnicowana wrażliwość układu słuchowego na tony o różnych częstotliwościach,
- klasycznej technice kompresji bezstratnej (algorytm Huffmana) prowadzi średnio do **dziesięciokrotnej kompresji** sygnału akustycznego.

Parametry kompresji:

- CBR vs. VBR (constant/variable bitrate)
 - e.g. 128 kbps,
 - stereo/mono
- Sampling rate vs. bitrate
 - eg. 44.1 (CD), 48, 96 kHz