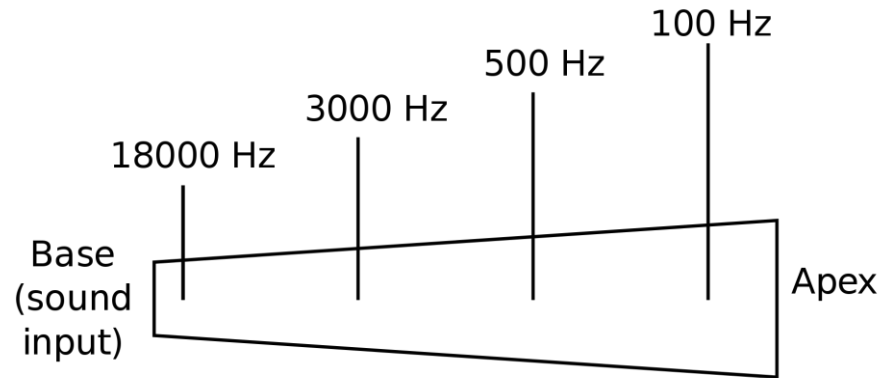




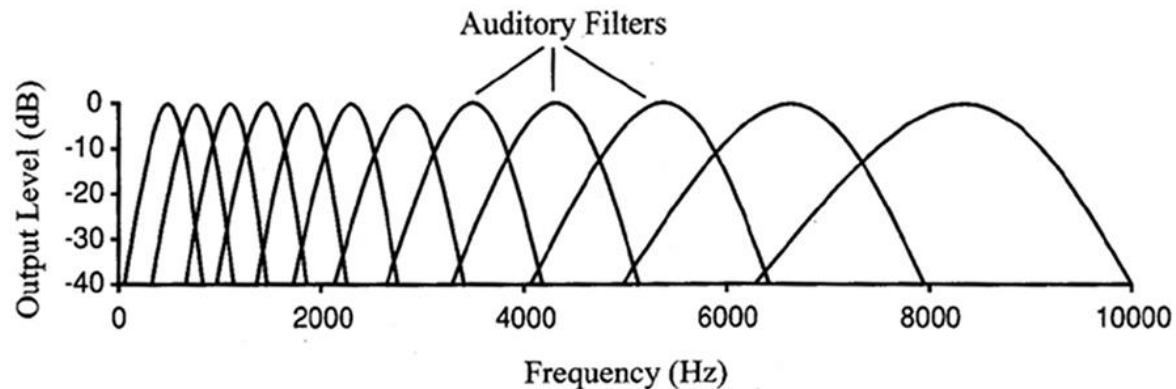
# Efekty subiektywne

Bartłomiej Mróz | EA726 | [bartlomiej.mroz@pg.edu.pl](mailto:bartlomiej.mroz@pg.edu.pl)

# Pasma krytyczne



Uproszczony schemat błony podstawnej, przedstawiający zmianę częstotliwości charakterystycznej od podstawy do wierzchołka



Critical Band (Bark)	Center Frequency (Hz)	Bandwidth (Hz)
1	50	100
2	150	100
3	250	100
4	350	100
5	450	110
6	570	120
7	700	140
8	840	150
9	1000	160
10	1170	190
11	1370	210
12	1600	240
13	1850	280
14	2150	320
15	2500	380
16	2900	450
17	3400	550
18	4000	700
19	4800	900
20	5800	1100
21	7000	1300
22	8500	1800
23	10500	2500
24	13500	3500

Źródła: [https://en.wikipedia.org/wiki/Critical\\_band](https://en.wikipedia.org/wiki/Critical_band)  
<https://www.avid.com/resource-center/how-to-eq-with-the-equivocate-plugin>

# Pasma krytyczne

Zdolność do oddzielnego słyszenia częstotliwości jest znana jako rozdzielczość częstotliwości lub selektywność częstotliwości. Kiedy sygnały są postrzegane jako ton kombinowany, mówi się, że znajdują się w tym samym **paśmie krytycznym**. Uważa się, że efekt ten występuje z powodu filtrowania w ślimaku (narząd słuchu w uchu wew.). Złożony dźwięk jest dzielony na składowe o różnych częstotliwościach, które powodują wibracje w określonym miejscu na rzęskach wewnątrz błony podstawnej w ślimaku. Komponenty te są następnie kodowane niezależnie w nerwie słuchowym, który przekazuje informacje dźwiękowe do mózgu. To indywidualne kodowanie występuje tylko wtedy, gdy składowe częstotliwości są wystarczająco różne pod względem częstotliwości, w przeciwnym razie znajdują się w tym samym paśmie krytycznym i są kodowane w tym samym miejscu – a zatem są postrzegane jako jeden dźwięk zamiast dwóch.

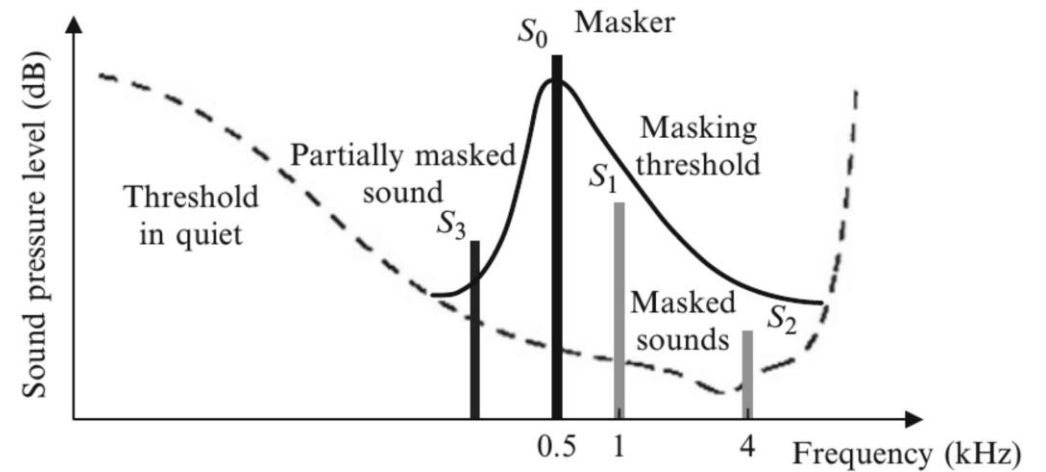
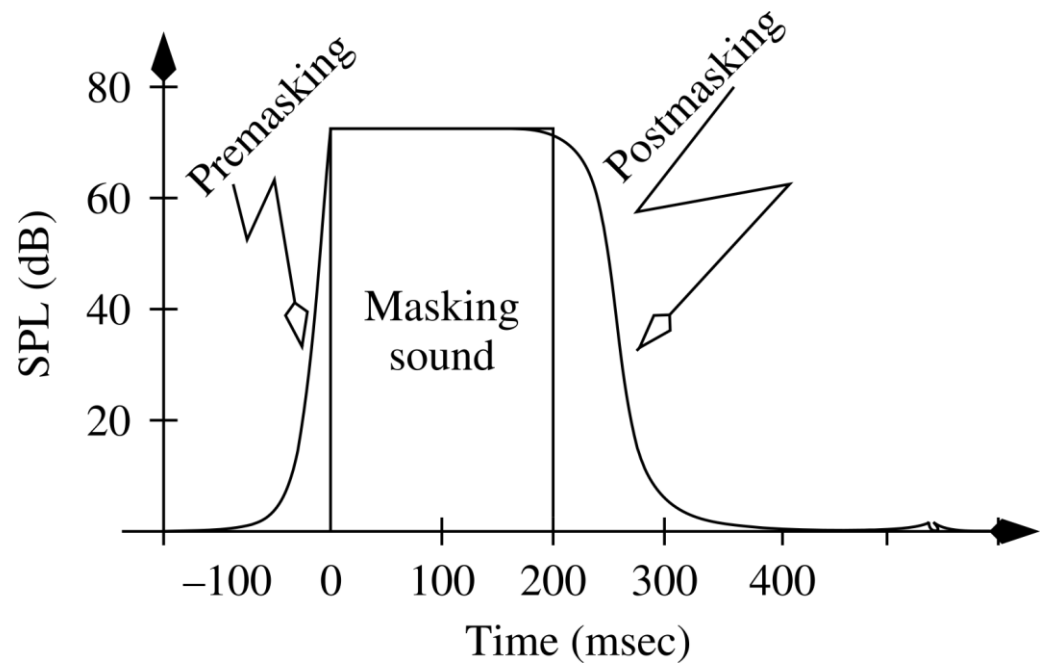
Filtry, które odróżniają jeden dźwięk od drugiego, nazywane są filtrami słuchowymi, kanałami odsłuchowymi lub **krytycznymi szerokościami pasma**.

# Maskowanie (psychoakustyka)

Maskowanie jest to zjawisko (proces) w którym próg słyszalności dźwięku podwyższa się wskutek obecności dźwięku zagłuszającego. Maskowanie w dziedzinie częstotliwości jest znane jako maskowanie jednoczesne, maskowanie częstotliwości lub maskowanie widmowe. Maskowanie słuchowe w dziedzinie czasu jest znane jako maskowanie czasowe lub maskowanie nierównoczesne.

- Zagłuszanie całkowite (podwyższenie progu)
- Zagłuszanie częściowe (obniżenie głośności)
- Maskowanie jednoczesne
- Maskowanie nierównoczesne

# Maskowanie czasowe

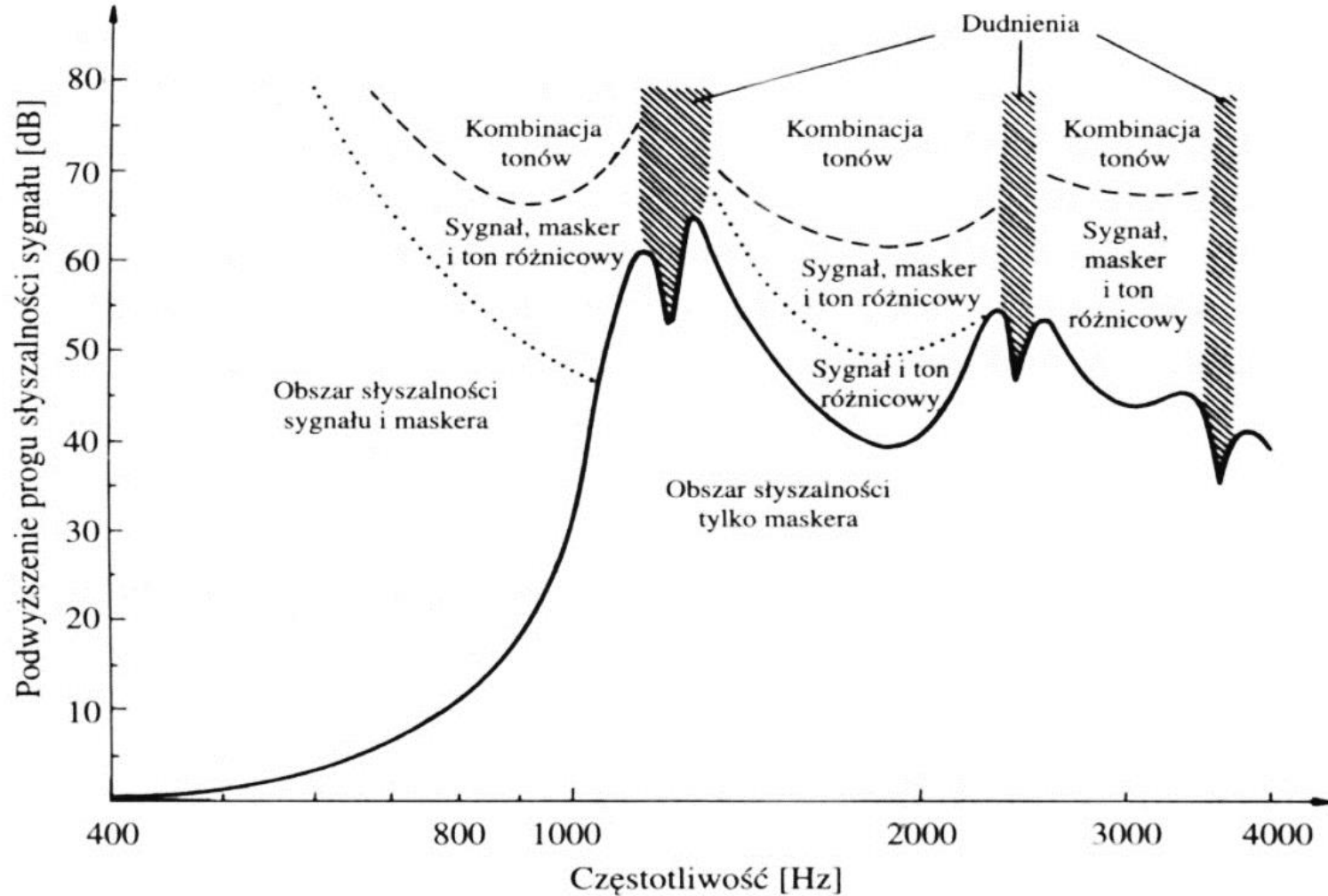


Źródła: Sayood, K. (2018). Chapter 17 - Audio Coding. In K. Sayood (Ed.), *Introduction to Data Compression (Fifth Edition)* (pp. 579-601). Morgan Kaufmann. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809474-7.00017-3>  
Menendez-Ortiz, Alejandra & Feregrino, Claudia & Garcia-Hernandez, Jose Juan. (2017). Audio Reversible Watermarking Scheme in the intDCT Domain with Modified Prediction Error Expansion. 105-110. 10.1145/3082031.3083246.

# Maskowanie czasowe

- Maskowanie przedbodźcowe (wsteczne) – sygnał (w czasie) występuje przed maskerem
- Maskowanie jednoczesne (ale bodźcowe) – wynik maskowania zależy od czasu maskowania (czasu trwania sygnału i maskera)
- Maskowanie resztkowe, następcze – masker występuje (w czasie) przed sygnałem

# Maskowanie częstotliwościowe



# Maskowanie częstotliwościowe

Dla częstotliwości tonu zagłuszanego równej częstotliwości tonu zagłuszającego i częstotliwości bardzo bliskich zauważa się zjawisko dudnień i nieznaczne zmniejszenie efektu zagłuszania. To samo zauważa się dla częstotliwości bliskich częstotliwościom harmonicznym tonu zagłuszającego, co jest efektem pojawiania się tonów subiektywnych które mogą powodować powstawanie tonów różnicowych.

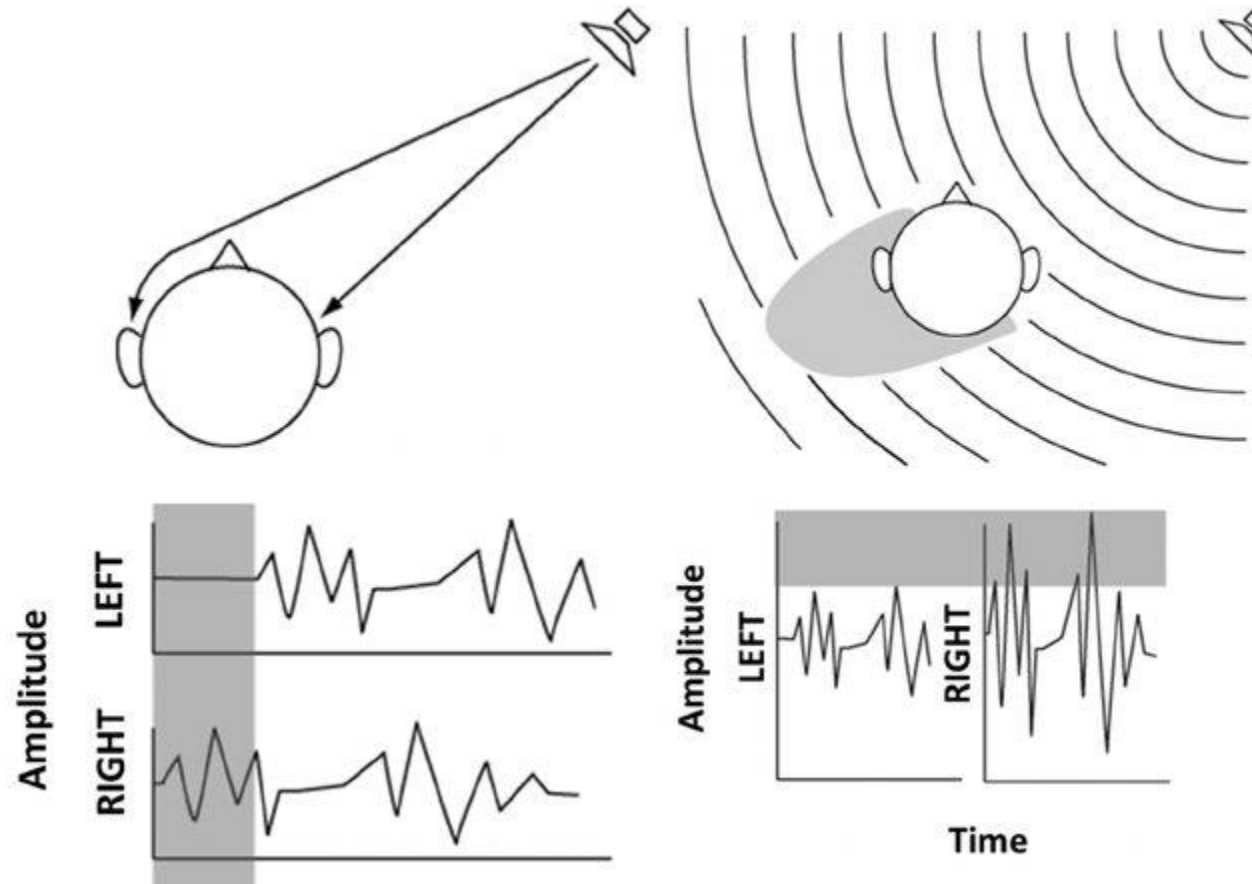




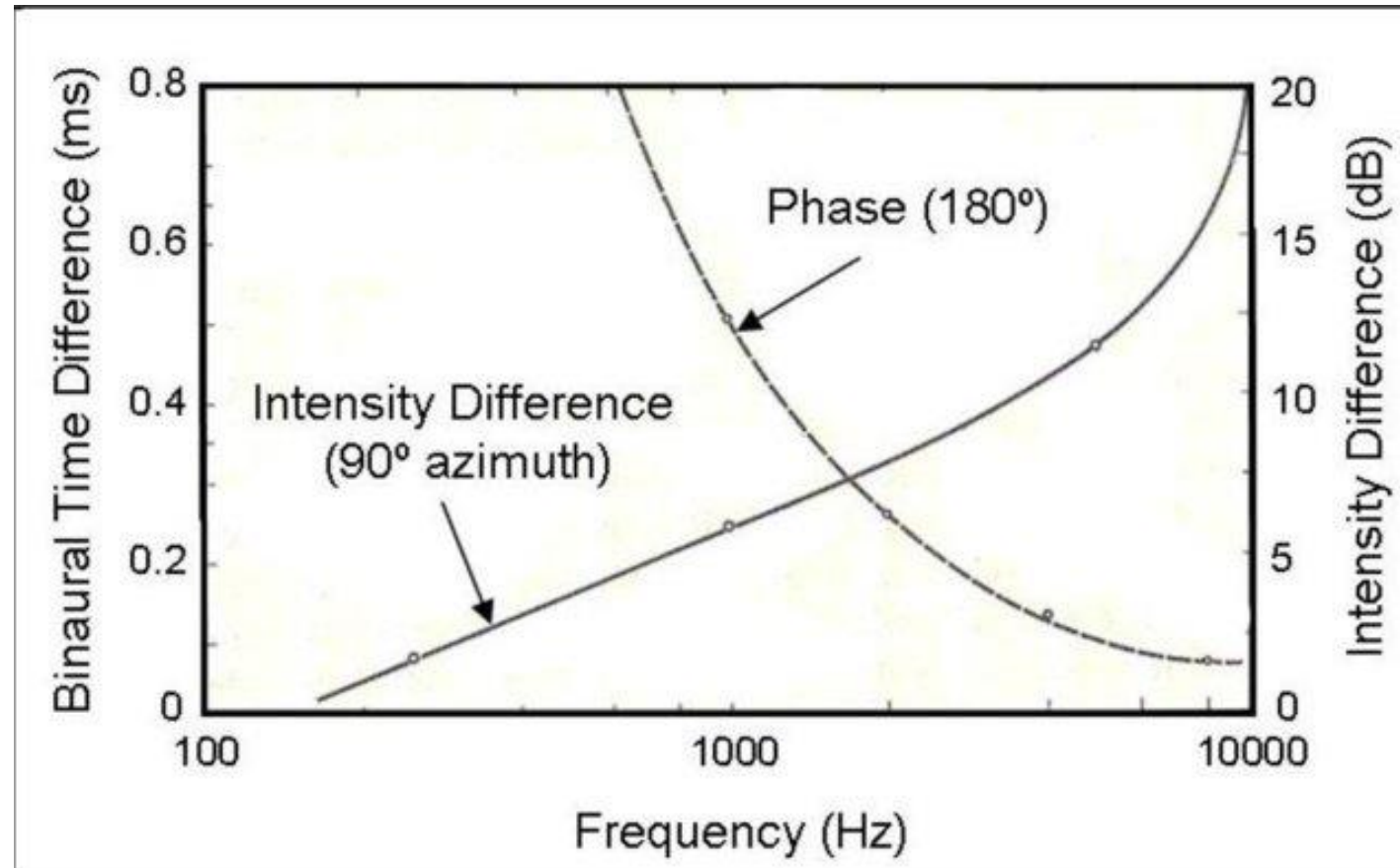
# Właściwości słyszenia dwuuszynowego

Bartłomiej Mróz | EA726 | bartlomiej.mroz@pg.edu.pl

# Różnica w czasie nadejścia sygnału, różnica w poziomie sygnału



# Różnica w czasie nadejścia sygnału, różnica w poziomie sygnału



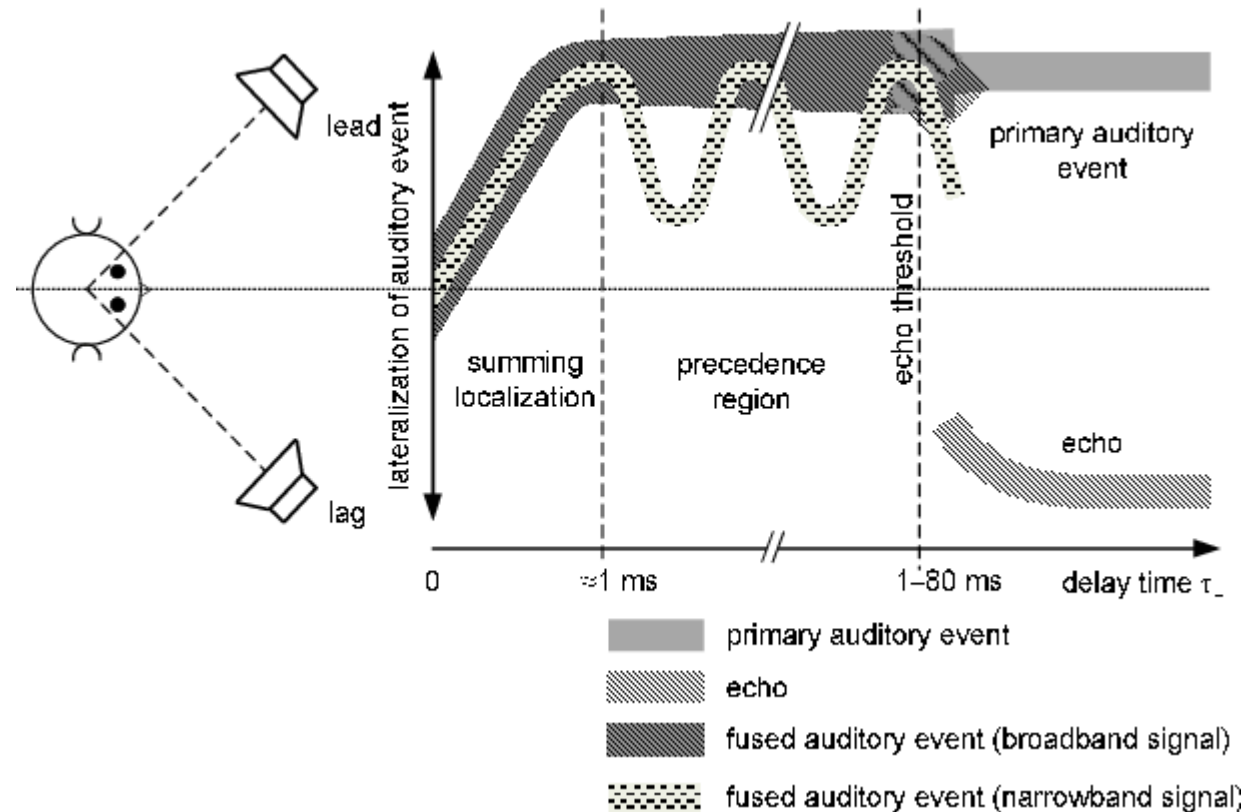
Ogólna zależność ITD (linia przerywana, lewa skala) i ILD (linia ciągła, prawa skala) od częstotliwości.

Źródło: Gulick, W. L., Gescheider, G. A., & Frisina, R. D. (1989). Hearing: Physiological acoustics, neural coding, and psychoacoustics. Oxford University Press.

# Różnica w czasie nadejścia sygnału, różnica w poziomie sygnału

- ITD – *Interaural Time Difference* – międzyuszna różnica czasowa jest jedną z podstawowych wskazówek dostępnych dla układu słuchowego do określania przestrzennej lokalizacji źródeł dźwięku. ITD powstaje z powodu rozdzielenia dwojga uszu w przestrzeni i wynikających z tego różnic w długości ścieżki, którą dźwięk musi pokonać, aby dotrzeć do dwojga uszu.
- ILD – *Interaural Level Difference* – międzyuszna różnica poziomów odnosi się do faktu, że dźwięk dochodzący z prawej strony ciała jest bardziej intensywny w prawym uchu niż w lewym uchu z powodu tłumienia fali dźwiękowej przechodzącej przez głowę.

# Sumowanie lokalizacji, efekt precedencji / prawo pierwszego czoła fali akustycznej



# Sumowanie lokalizacji

Sumowanie lokalizacji ma miejsce, gdy dwie lub więcej spójnych fal dźwiękowych dociera w ograniczonym przedziale czasu i odbierane jest tylko jedno wrażenie dźwiękowe. Jeśli zmiany czasu są mniejsze niż 1 ms, zmiany czasu i poziomu wszystkich źródeł dźwięku mają wpływ na kierunek odbieranego dźwięku. Wynikające z tego zdarzenie dźwiękowe nazywane jest źródłem fantomowym.

Sumowanie lokalizacji jest podstawą stereofonii.

# Efekt precedencji, prawo pierwszego czoła fali akustycznej

Efekt pierwszeństwa lub prawo pierwszego czoła fali (zwany też efektem Haasa) jest binauralnym efektem psychoakustycznym. Kiedy po dźwięku następuje inny dźwięk oddzielony wystarczająco krótkim opóźnieniem czasowym (poniżej progu echa słuchacza), słuchacze postrzegają pojedyncze zdarzenie dźwiękowe; jego postrzegana lokalizacja przestrzenna jest zdominowana przez lokalizację pierwszego nadchodzącego dźwięku (front pierwszej fali). Opóźniony dźwięk wpływa również na postrzeganą lokalizację. Jednak jego efekt jest tłumiony przez pierwszy nadchodzący dźwięk.

Efekt pierwszeństwa jest ważny przy słyszeniu w zamkniętych pomieszczeniach. Za pomocą tego efektu nadal możliwe jest określenie kierunku źródła dźwięku (np. kierunku mówcy) nawet w obecności odbić od ścian.

# Efekt precedencji, prawo pierwszego czoła fali akustycznej

Efekt Haasa można zastosować w systemach nagłośnieniowych. Sygnał dla głośników umieszczonych w odległych miejscach od sceny może być opóźniony elektronicznie o wartość równą czasowi, w jakim dźwięk przemieszcza się w powietrzu ze sceny do odległego miejsca, plus około 10 do 20 milisekund i odtwarzany na poziomie do 10 dB głośniejszy niż dźwięk wydobywający się ze sceny. Pierwsze pojawienie się dźwięku ze źródła na scenie określa postrzeganą lokalizację, podczas gdy nieco późniejszy dźwięk z opóźnionych głośników po prostu zwiększa postrzegany poziom dźwięku bez negatywnego wpływu na lokalizację. W tej konfiguracji słuchacz zlokalizuje wszystkie dźwięki z kierunku dźwięku bezpośredniego, ale skorzysta na wyższym poziomie dźwięku, który został wzmocniony przez głośniki.



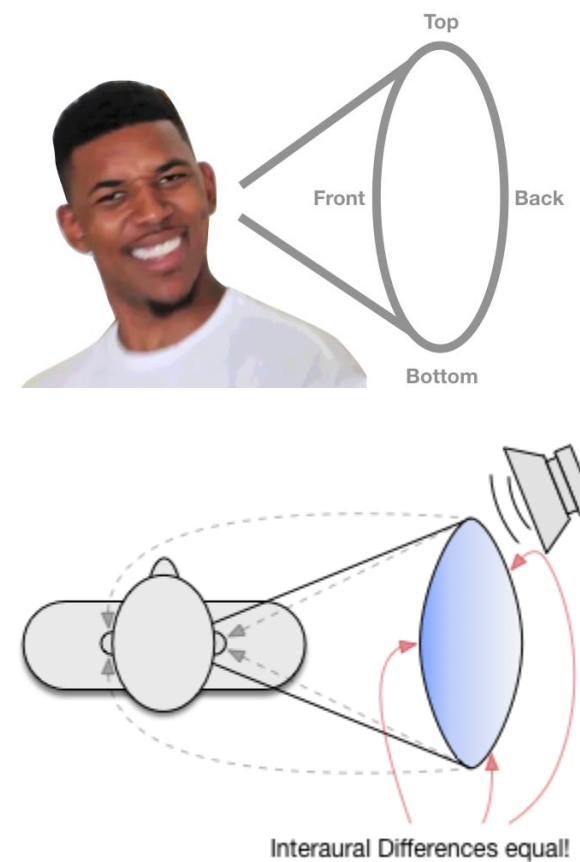
# Binauralna różnica poziomów maskowania, *cocktail party effect*

Binauralna różnica poziomów maskowania (BMLD – *binaural masking level difference*) to zjawisko polegające na tym, że sygnał, który jest identyczny w każdym uchu ( $S_0$ ), zamaskowany przez identyczny hałas w każdym uchu ( $N_0$ ), może być o 12–15 dB lepiej wykrywalny przez odwrócenie w fazie tonu lub szumu w jednym uchu ( $S_\pi$ ,  $N_\pi$ ).

Zamaskowany próg (detekcji) sygnału może czasami być niższy podczas słuchania dwójgiem uszu niż jednym; świadczy o tym zjawisko BMLD. BMLD można podsumować w następujący sposób: wykrywanie sygnału w szumie jest lepsze, gdy różnica faz lub poziomów sygnału w obu uszach nie jest taka sama jak maskera. Tym samym sygnał i maska wydają się pochodzić z różnych miejsc w przestrzeni; w związku z tym BMLD wydaje się być powiązany z tzw. *“cocktail party effect”*.

# Stożek dezorientacji (*Cone of Confusion*)

Pomimo ich wielkiej roli w lokalizacji poziomej, sygnały dwuuszne są tylko marginalnie przydatne do lokalizacji pionowej lub różnicowania przód-tył. Wynika to z przestrzennej niejednoznaczności spowodowanej symetrią głowy, powszechnie określanej jako stożek dezorientacji (Wallach, 1939). Stożek dezorientacji to wyimaginowany stożek rozciągający się na zewnątrz od każdego ucha wzdłuż osi międzyusznej i reprezentujący lokalizację źródła dźwięku, powodującą te same różnice międzyuszne.

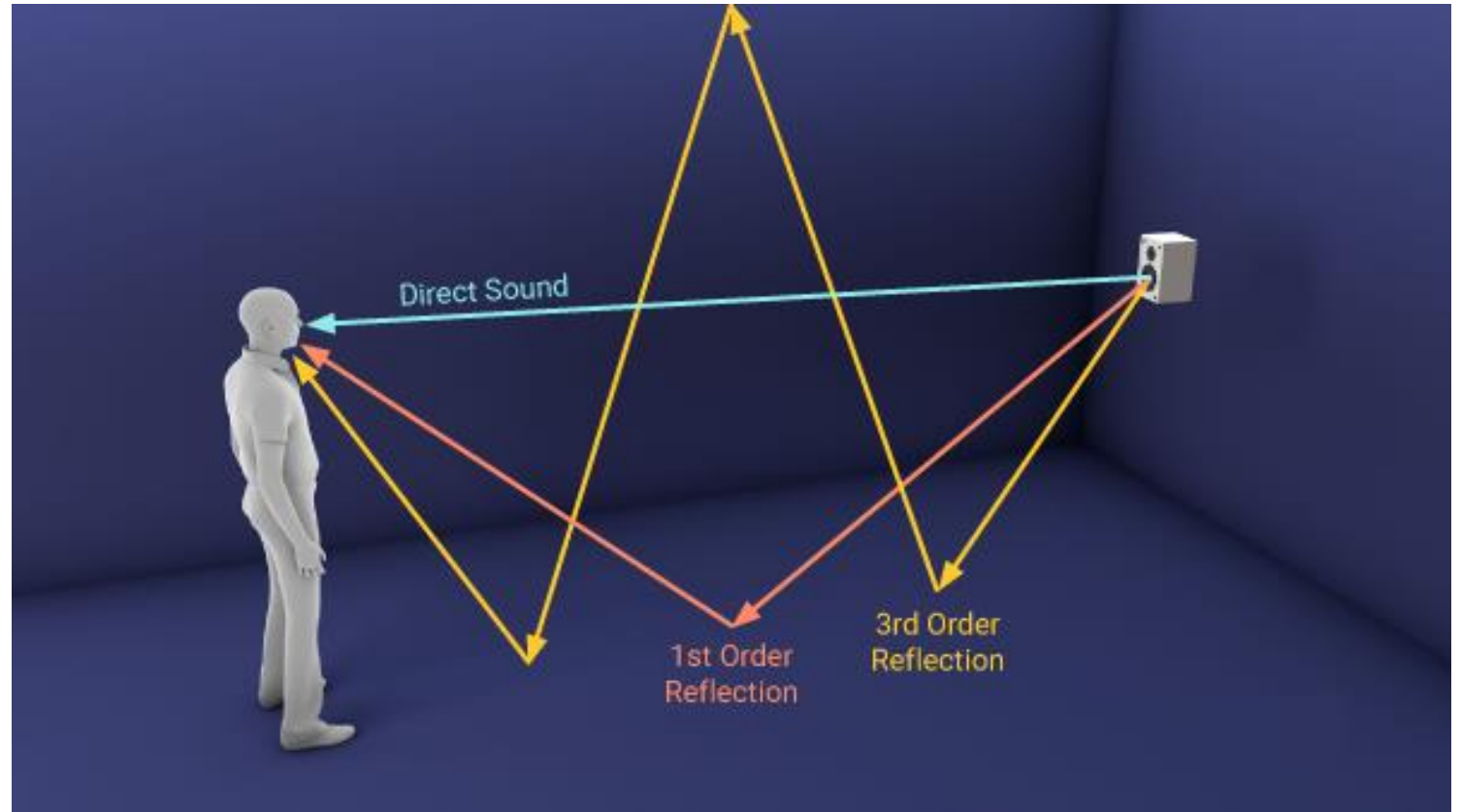


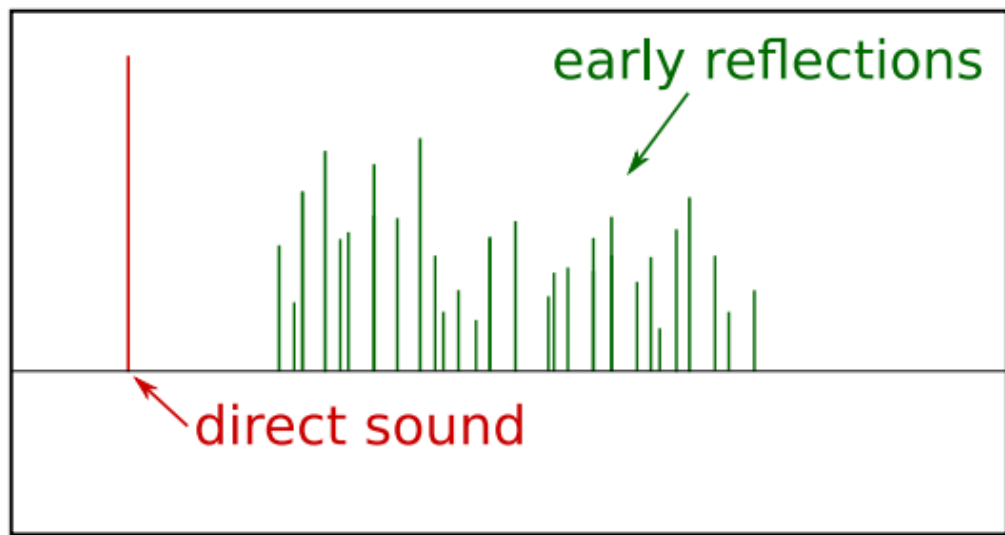
# Słyszenie przestrzenne

## Odbicia akustyczne

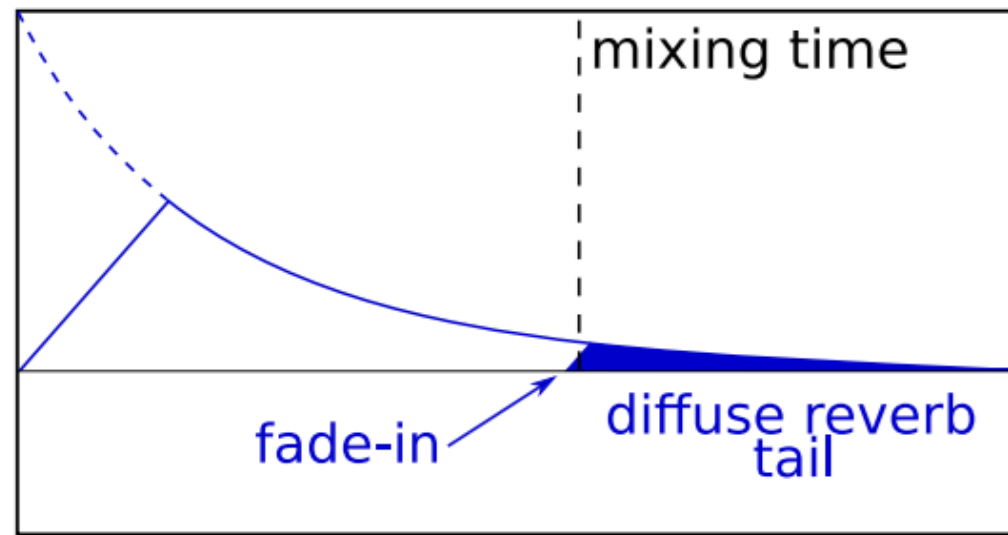
- Źródła pozorne
- Rząd odbić
- *Mixing time*
- Pogłos rozproszony (*diffuse reverberation*)

Kosanke, L & Lindau, Alexander. (2010). Perceptual evaluation of physical predictors of the mixing time in binaural room impulse responses. 128th Audio Engineering Society Convention 2010.

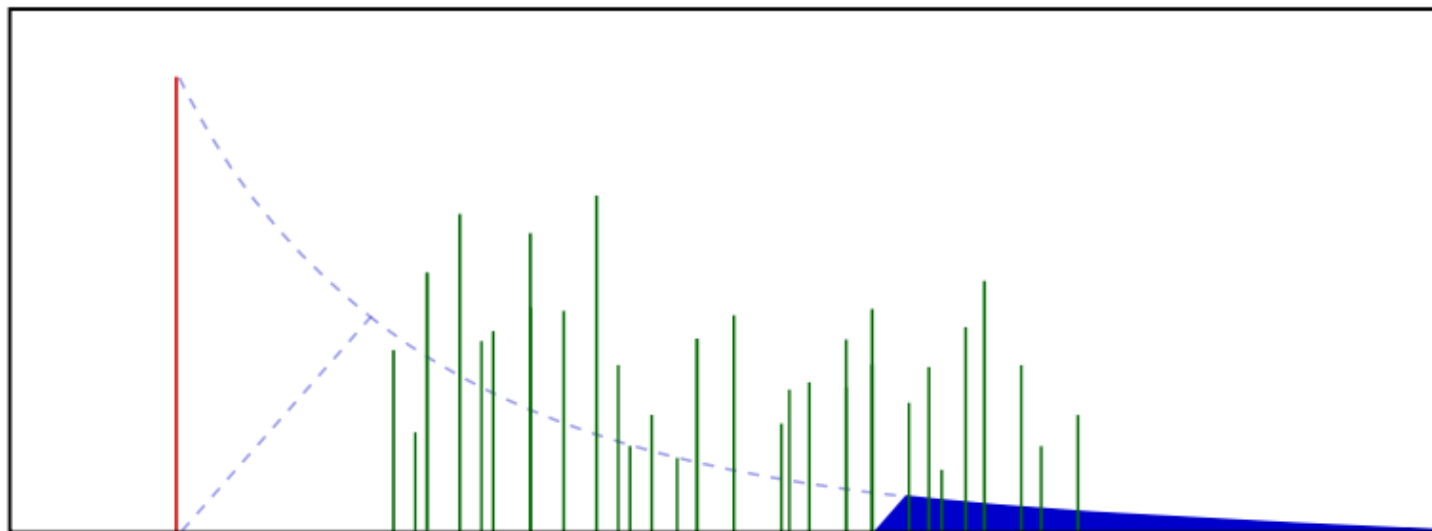




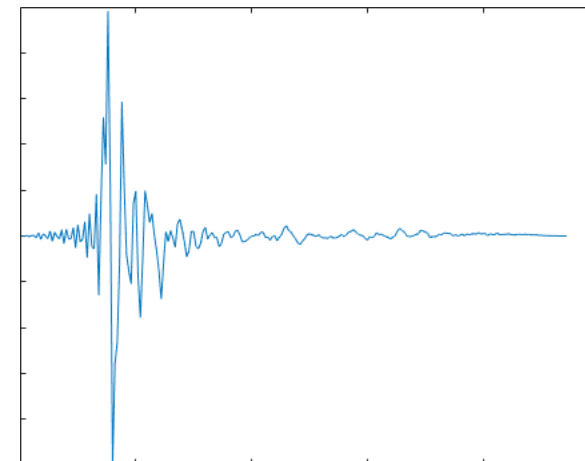
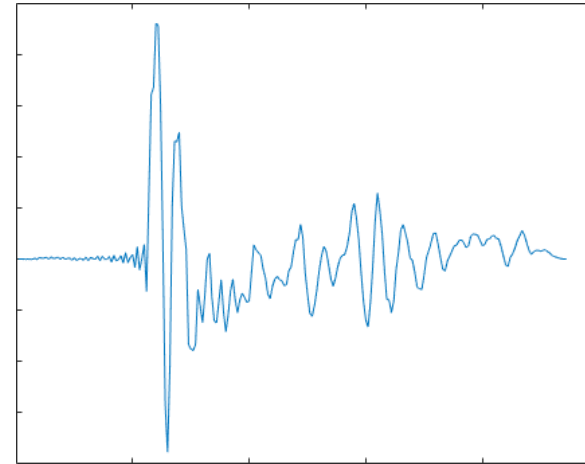
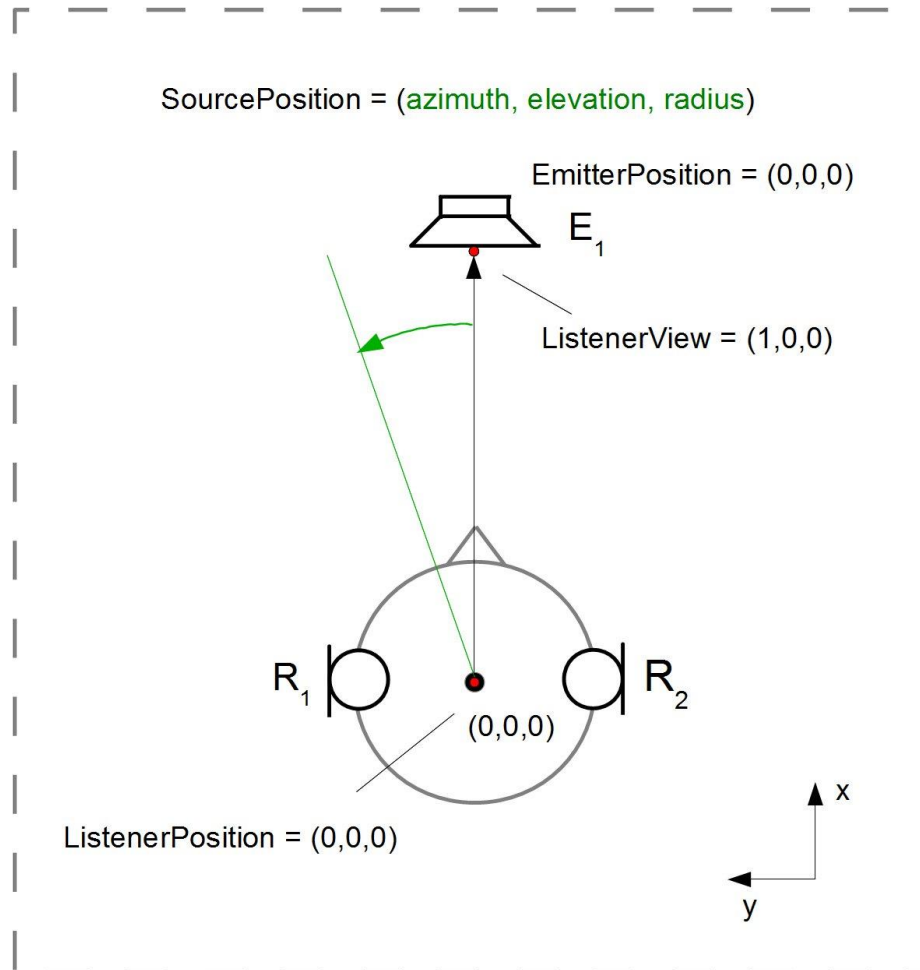
+

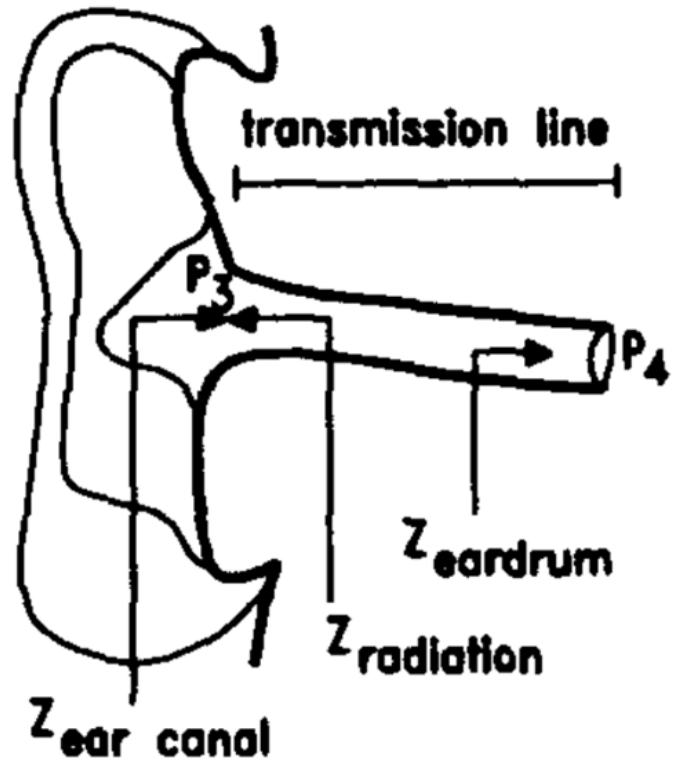


=

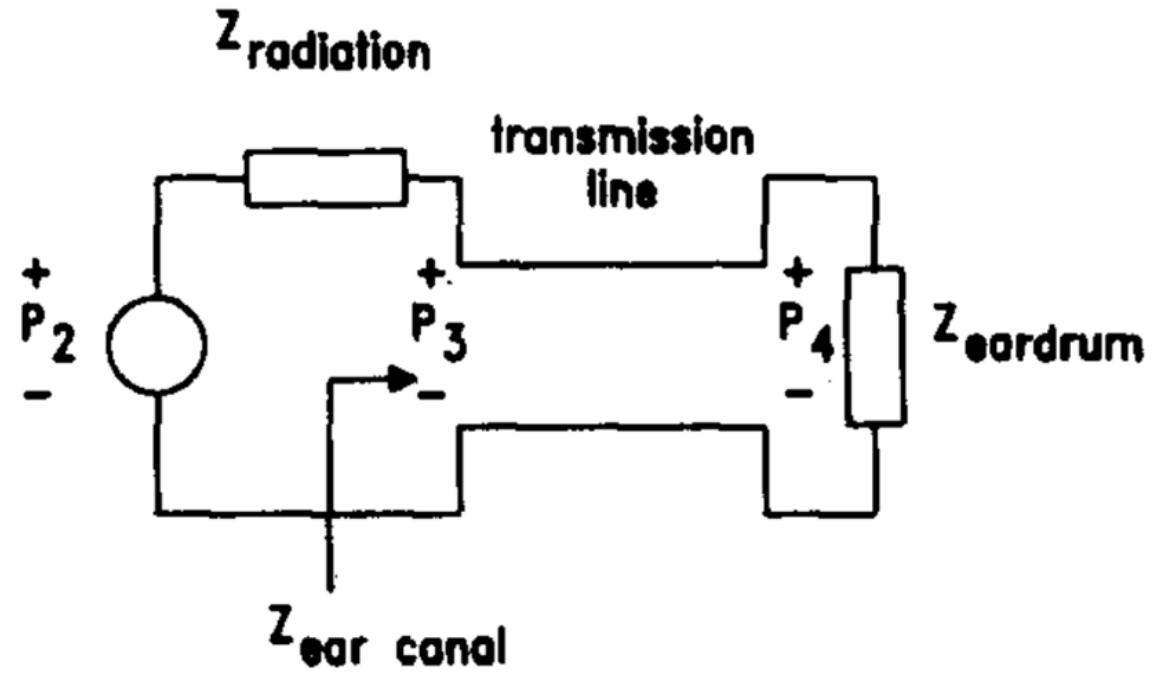


# Funkcje HRTF



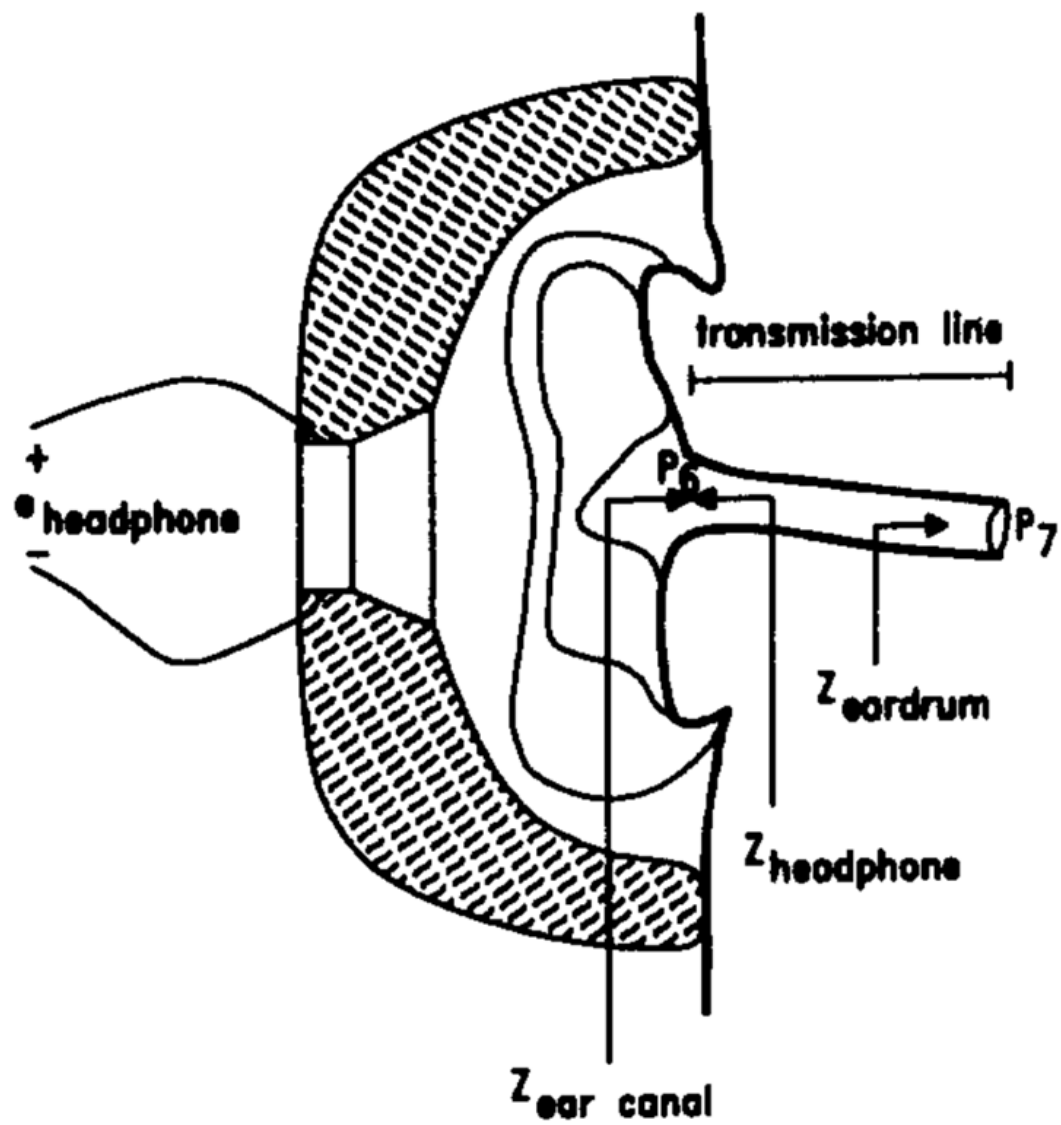


(a)

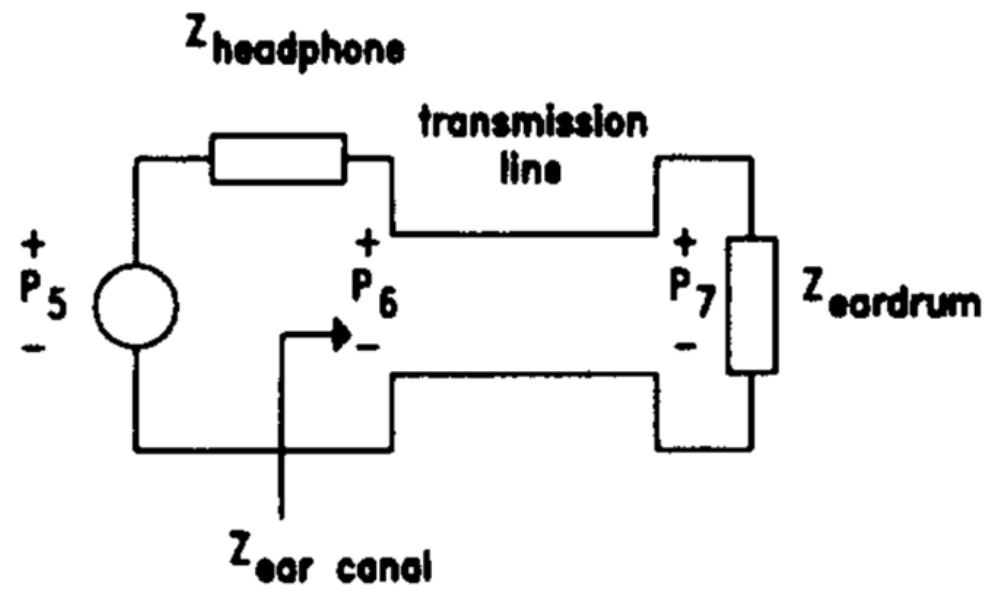


(b)

Møller, Henrik. (1992). Fundamentals of binaural technology. Applied Acoustics. 36. 171-218. 10.1016/0003-682X(92)90046-U.



(a)



(b)

# SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics)

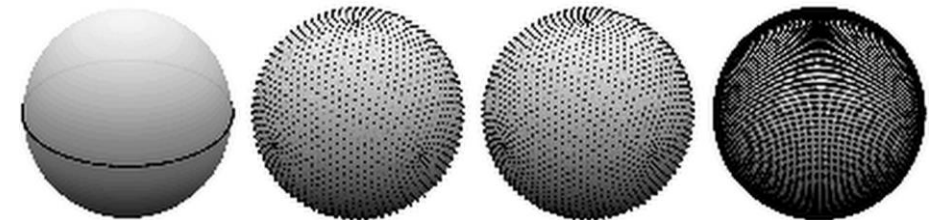
SOFA to format pliku do przechowywania przestrzennie zorientowanych danych akustycznych, takich jak związane z głową funkcje przenoszenia (HRTF) oraz binauralne lub kierunkowe odpowiedzi impulsowe w pomieszczeniu (BRIR, DRIR). SOFA została znormalizowana przez Audio Engineering Society (AES) jako [AES69-2015](#).



# Otrzymywanie funkcji HRTF

Manekin HATS (Head And Torso Simulator), np.:

- KEMAR
- Neumann KU100



<https://audiogroup.web.th-koeln.de/ku100hrir.html>

<https://sound.media.mit.edu/resources/KEMAR.html>

# Otrzymywanie funkcji HRTF

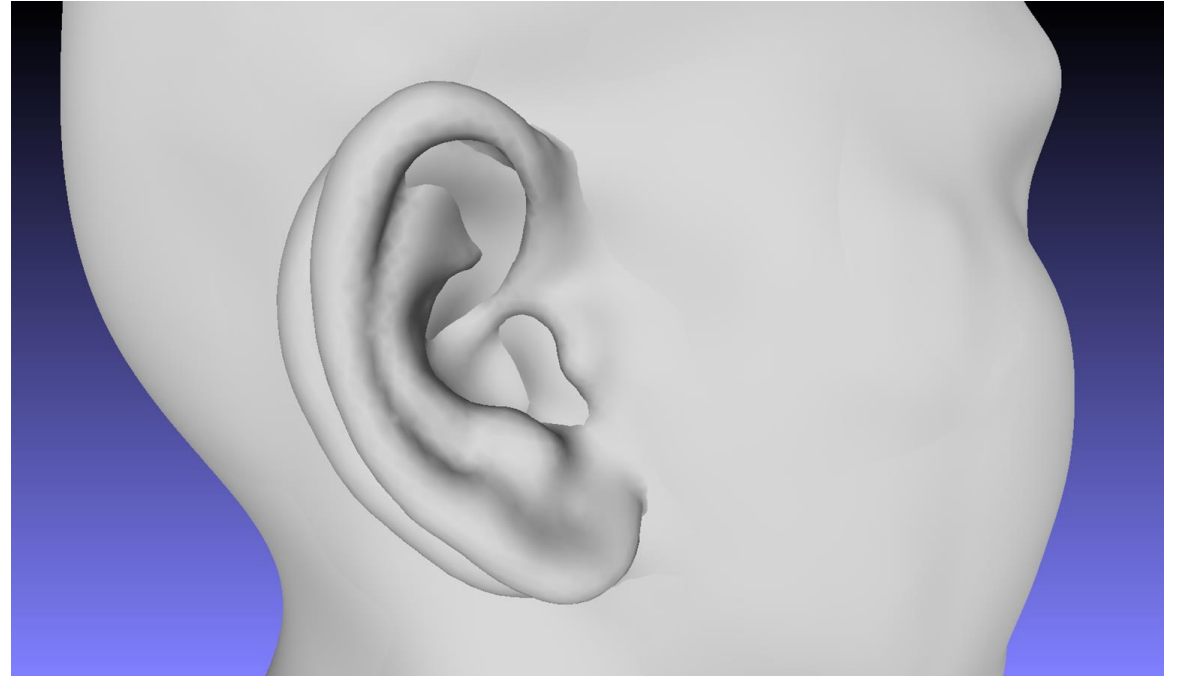
Pomiar indywidualny



# Otrzymywanie funkcji HRTF

Symulacje numeryczne

- zdjęcia
- skan 3D



<https://www.princeton.edu/3D3A/HRTFMeasurements.html>

# Dopasowywanie funkcji HRTF

- Za pomocą danych antropomorficznych
- Za pomocą informacji zwrotnej
  
- Adaptacja
- Selekcja

<https://professional.dolby.com/phrtf>

[https://www.researchgate.net/publication/328146217\\_HRTF\\_Individualization\\_A\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/328146217_HRTF_Individualization_A_Survey)

# Eksternalizacja

Wrażenie słyszenia dźwięków *spoza głowy*

- Indywidualne / dopasowane funkcje HRTF
- Equalizacja słuchawek
- Efekt zgodności pomieszczenia
- Dodanie mechanizmu śledzącego ruchy głowy, aby móc je kompensować i dynamicznie przełączać funkcje HRTF zgodnie z pozycją głowy

# Linki – head trackery

- DIY head tracker – MrHeadTracker ([link](#), [link](#))
- Nx head tracker for headphones ([link](#), [Nxosc](#))
- MbientLab head tracker ([link](#))
- Supperware head tracker ([link](#))
- Mobile phone front cam head tracker ([link](#))
- Webcam head tracker ([link](#))
- Webcam eye tracker ([link](#))

# Linki – narzędzia do ambisonii i binauralizacji

- IEM Plug-in Suite ([link](#))
- Higher-Order Ambisonic Streaming Library – HOAST ([link](#), [link](#))
- Spatial Audio Real-Time Applications – SPARTA ([link](#))
- Coding and Multidirectional Parametrisation of Ambisonic Sound Scenes – COMPASS ([link](#))
- Dear Reality DearVR MICRO ([link](#))
- Dear Reality DearVR AMBI MICRO ([link](#))