



Właściwości słyszenia

Percepcja Dźwięku i Obrazu

Zebrane na podstawie literatury do
przedmiotu



Politechnika Gdańska
WYDZIAŁ ELEKTRONIKI TELEKOMUNIKACJI I INFORMATYKI
KATEDRA SYSTEMÓW MULTIMEDIALNYCH



Zakres słyszalności powierzchnia słyszalności

Minimum Audible Pressure

Minimum Audible Field

próg słyszalności

Zakres słyszalności

Jak słyszy człowiek: pasmo słyszalności: 20Hz-20kHz

(zakładając osobę młodą, bez uszczerbku na zdrowiu)

A statystyki mówią:

- *Osoba w wieku "-nastu" lat słyszy dźwięki z przedziału około 30Hz – 18kHz.*
- *Osoba w wieku "-dziestu" lat słyszy około 40Hz – 16kHz lub czasem 60Hz-14kHz.*
- *Osoba w wieku "-dziesięciu" lat słyszy jedynie około 100Hz – 8kHz, potem zakres ten może się zawęzić nawet do 200Hz – 4kHz.*

[Online Hearing Test & Audiogram Printout](#)

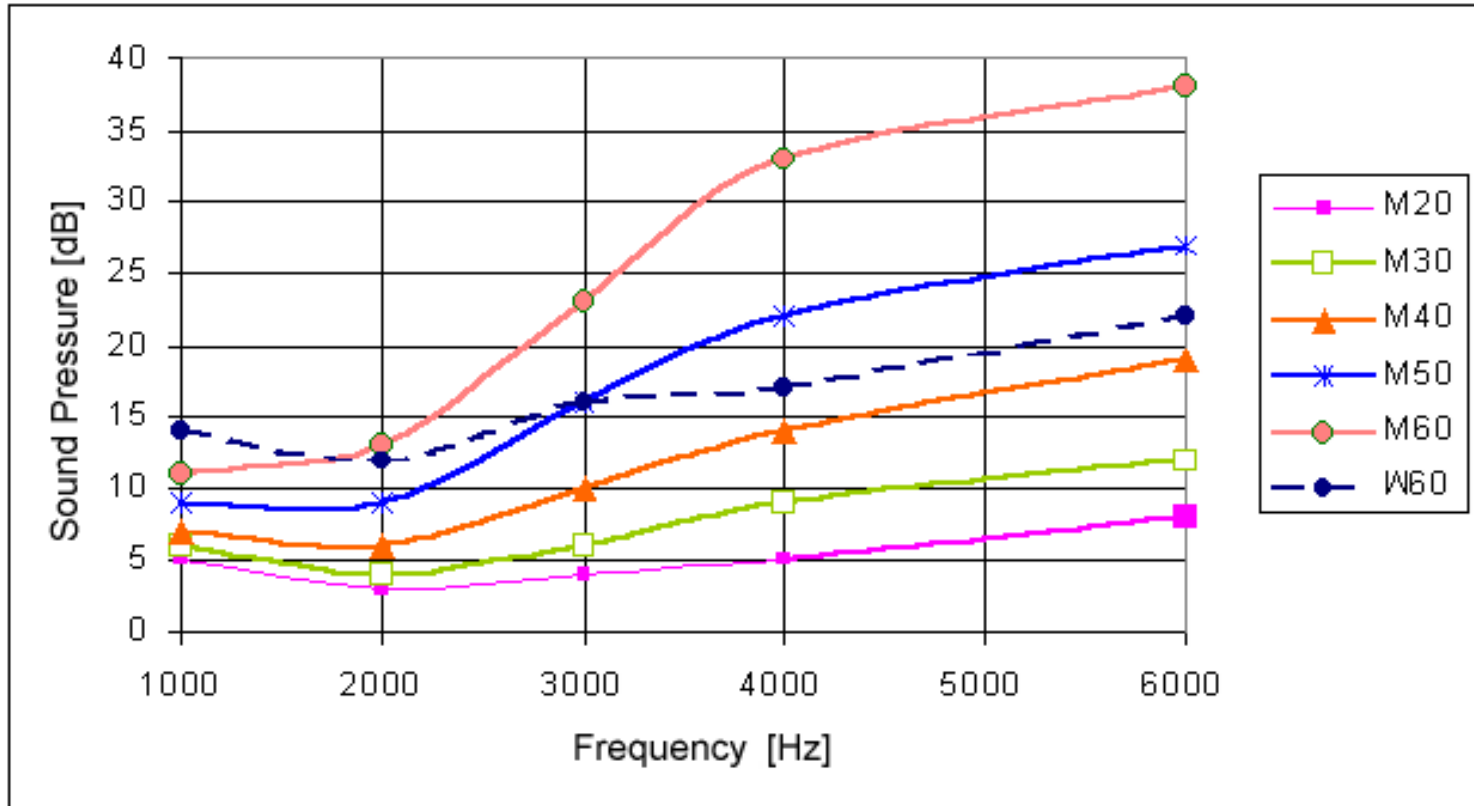
Nie słyszymy równie "dobrze" w całym pasmie. Najwrażliwsze to 1-4kHz (maximum dla 3kHz)

Odbiór dźwięku jest relatywny

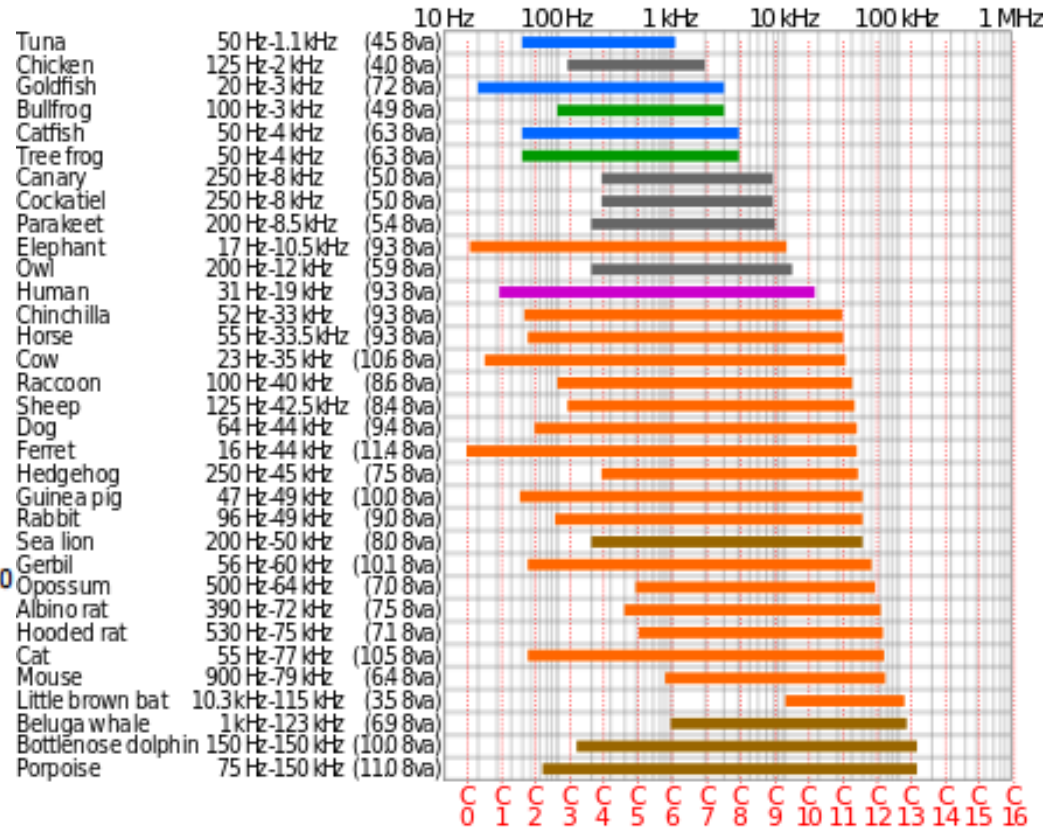
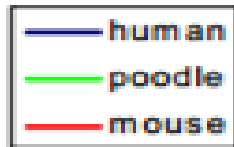
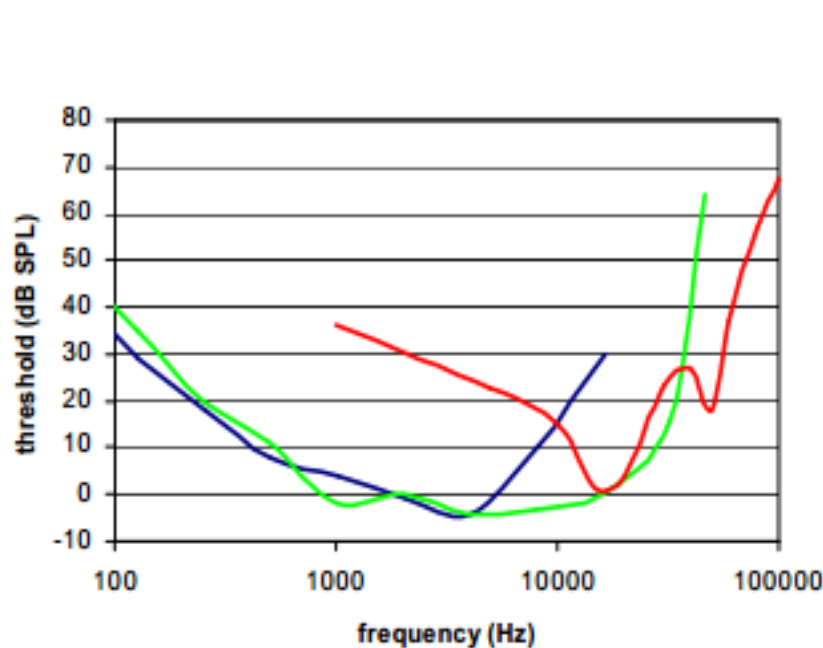
Co oznacza, że zależy od:

- **wiek**, w miarę starzenia się zawęża się pasmo słyszalności jak i wysokość progu słyszalności dla różnych częstotliwości;
- **płci**, kobiety są bardziej wyczułone na wysokie częstotliwości;
- **pochożenia**, centrum miasta, wieś, itp.;
- **stanu zdrowia**, (również w kontekście przebytych chorób);
- kształtu małżowiny usznej, geometrii głowy, itd
- odbiór ≠ percepcja dźwięku

Próg słyszalności dla człowieka w zal. od wieku

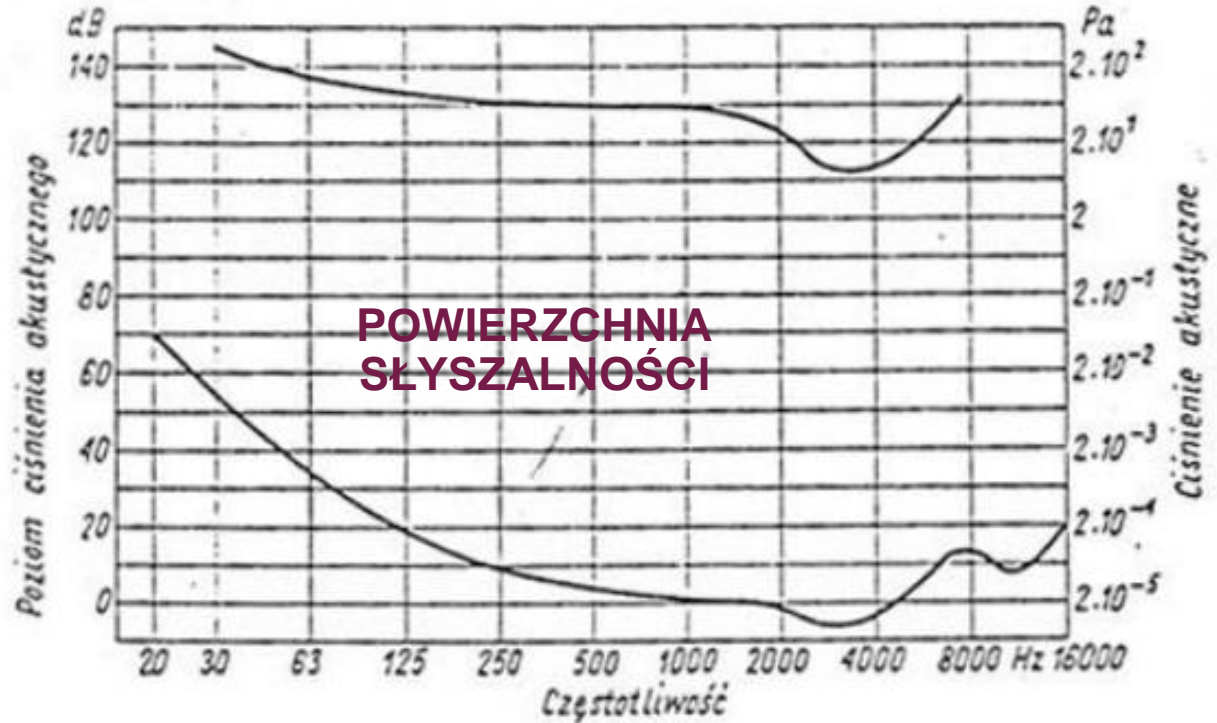


Próg słyszalności dla różnych gatunków zwierząt




[Animal hearing frequency range - Hearing range – Wikipedia](https://en.wikipedia.org/wiki/Animal_hearing_frequency_range) na bazie [Frequency Hearing Ranges in Dogs and Other Species \(Isu.edu\)](https://www.isu.edu/frequency-hearing-ranges-in-dogs-and-other-species/)

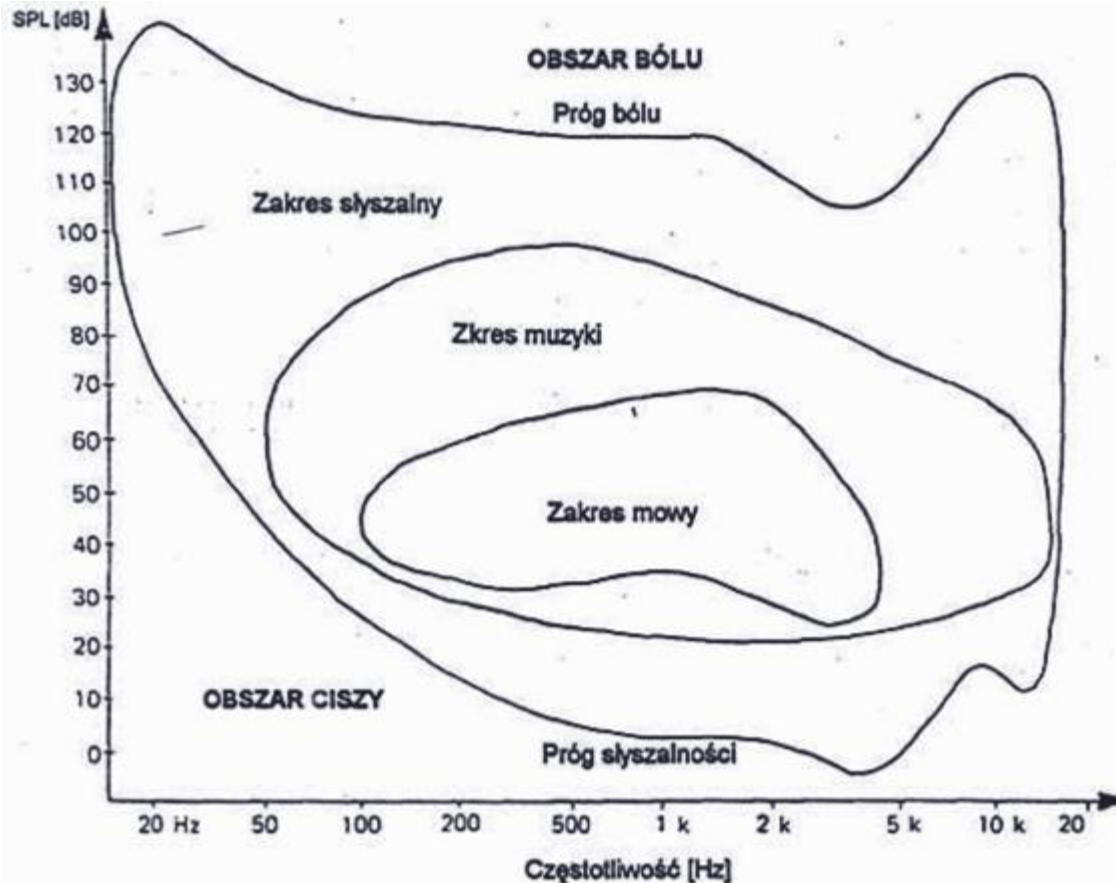
Zakres słyszalności



POWIERZCHNIA SŁYSZALNOŚCI = (((ZAKRES MOWY)ZAKRES MUZYKI)ZAKRES SŁYSZALNOŚCI)

- 
- Powierzchnia słyszalności to zakres ograniczony przez odbierane pasmo częstotliwościowe dźwięku a jego poziom ciśnienia akustycznego.
 - W skrócie, jest to wszystko co znajduje się między progiem słyszenia a progiem bólu.

Zakres słyszalności



Zakres muzyki (f):

50Hz-15kHz

Zakres mowy (f):

100Hz-5kHz

Absolute hearing threshold -
absolutny próg słyszalności –
najniższe możliwe poziomy
dźwięku wykrywane przez
słuchacza (SPL).

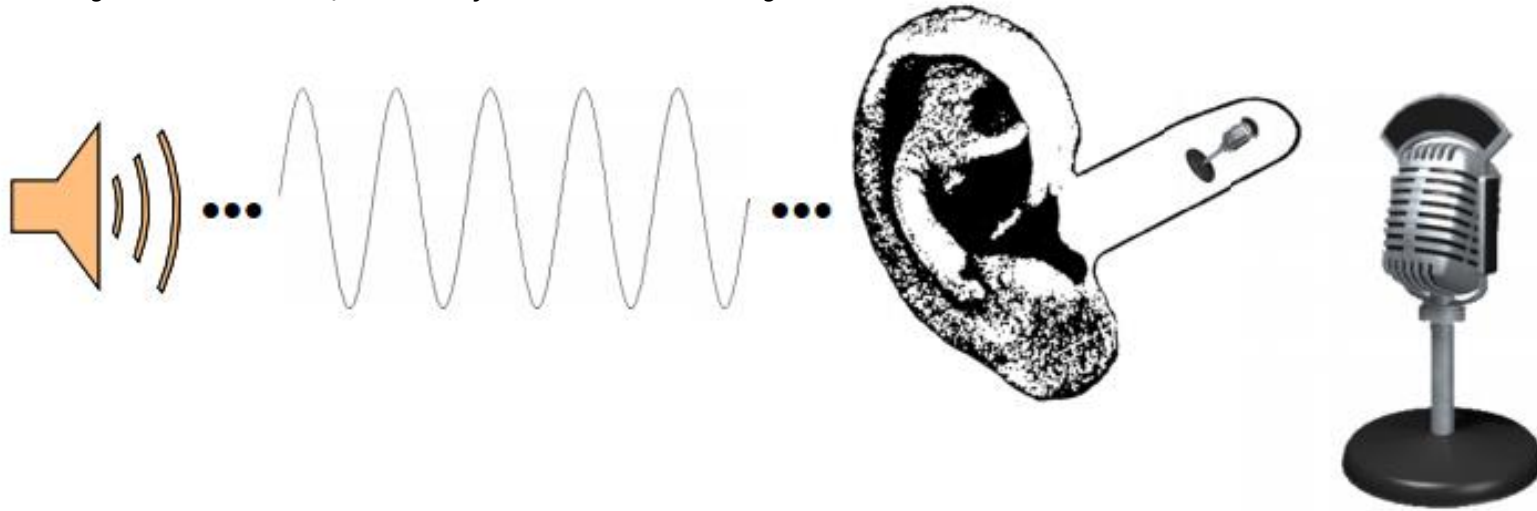
Upper limits of audibility – próg
bólu – górny zakres
dopuszczalnego poziomu
dźwięku (SPL).

Wyznaczanie progu słyszalności HL (Hearing Level)

MAP - Minimum Audible Pressure:

w kontekście amplitudy ciśnienia na błonie bębenkowej słuchacza;

(Dadson & King, 1952, badanie natężenia na wejściu do kanału słuchowego)



MAF - Minimum Audible Field

w odniesieniu do natężenia pola dźwiękowego w którym umiejscowienia jest głowa słuchacza.

MAF uwzględnia efekt głowy, małżowiny usznej i kanału słuchowego.

Sivian & White (1933)

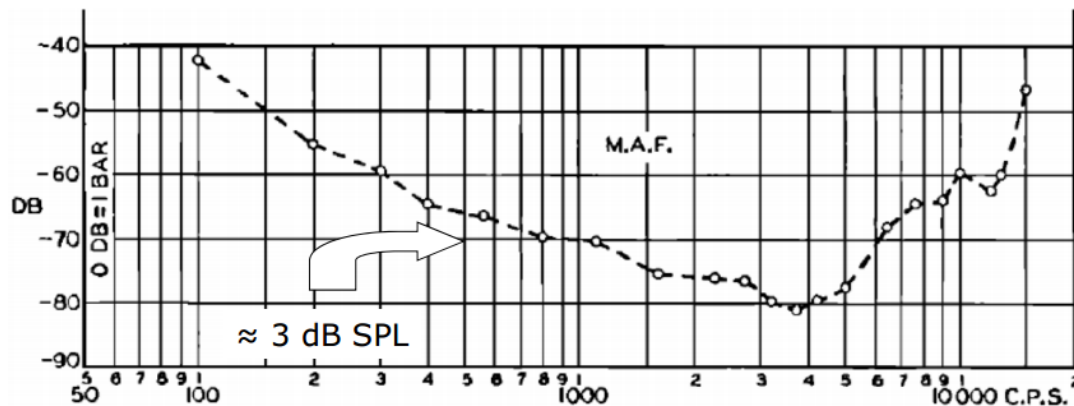
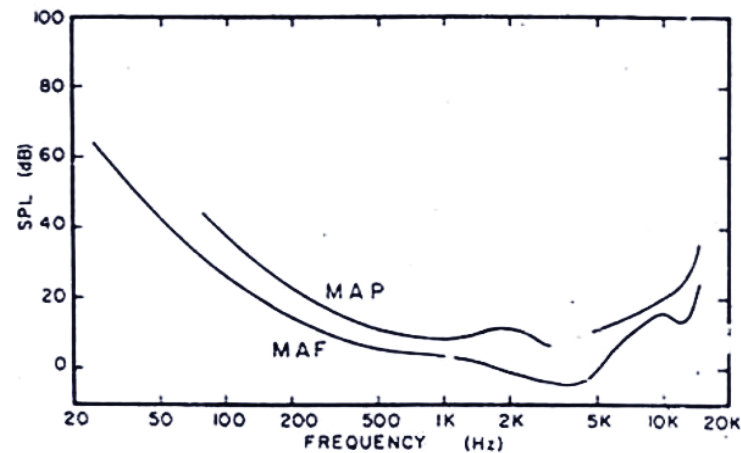
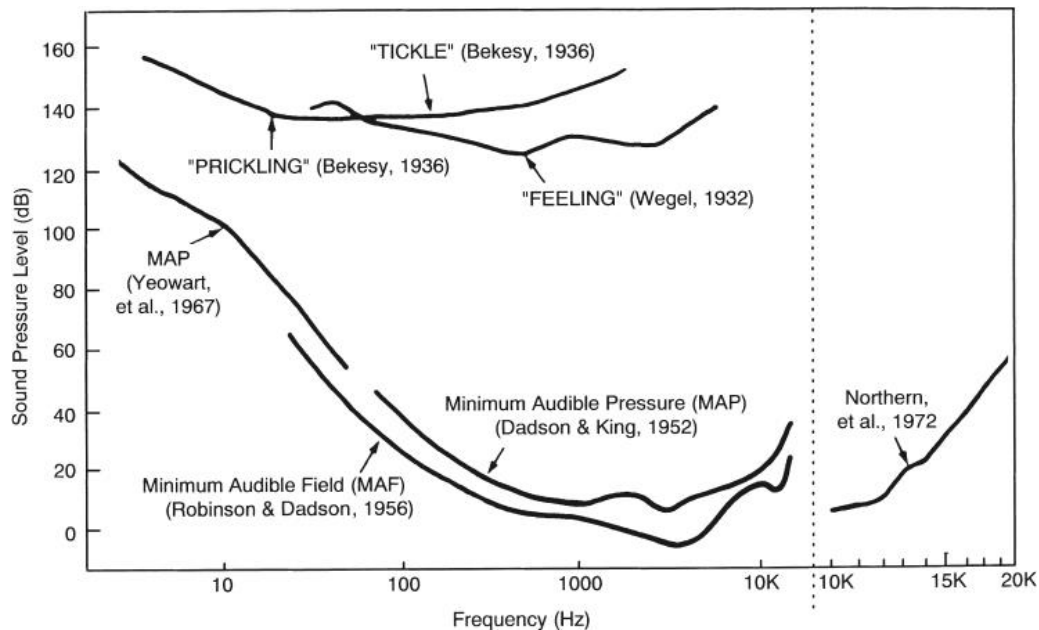


FIG. 3. Monaural M.A.F., group A.

Wyznaczanie progu słyszalności HL (Hearing Level)



Adapted from Gelfand [1998], p. 283, by courtesy of Marcel Dekker, Inc.

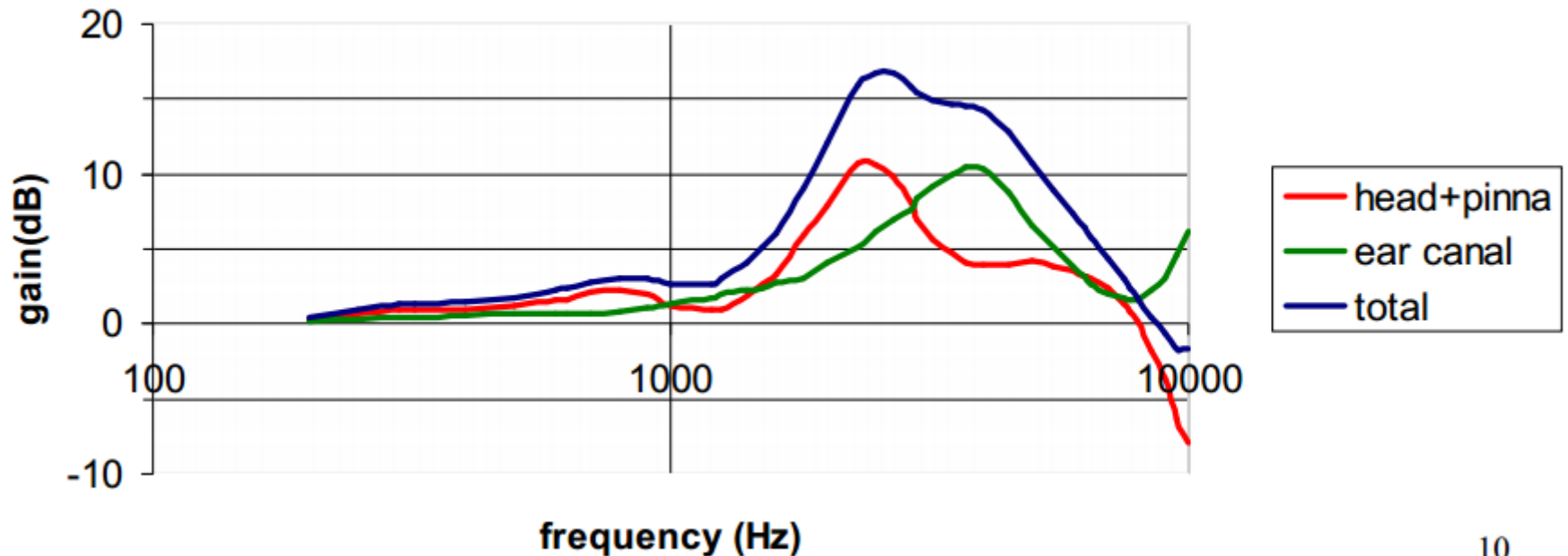


Odpowiedz częstotliwościowa

wejście do kanału usznego
ciśnienie w polu swobodnym

w pobliżu błony bębenkowej
ciśnienie w polu swobodnym

w pobliżu błony bębenkowej
wejście do kanału usznego



Prawo Webera-Fechnera

Odpowiedź układu biologicznego zależy **nie od bezpośredniej wielkości a od względnej zmiany działającego bodźca.**

W cichym pokoju, można usłyszeć brzęczącą muchę, jednak tej samej muchy nie usłyszymy, gdy będzie grała głośna muzyka.

$$\Delta W = K \Delta B / B$$

gdzie: ΔW - przyrost wrażenia, ΔB - przyrost bodźca, B - bodziec istniejący,
 K - stała proporcjonalności

$$W = K \ln B$$

WAŻNE

- **Temporal Resolution** – najkrótszy percypowany interwał czasowy wynosi 2–3ms (młody dorosły) – eksperyment testowania obecności przerw.

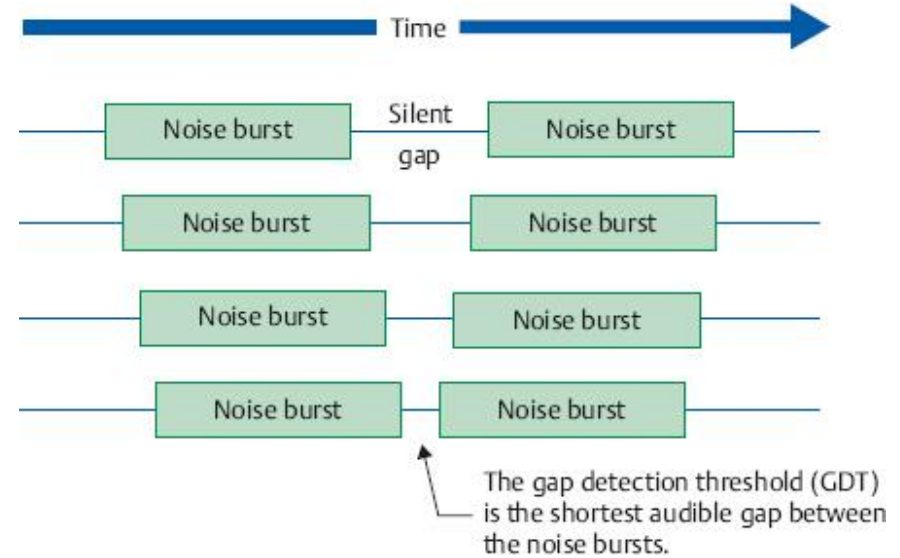
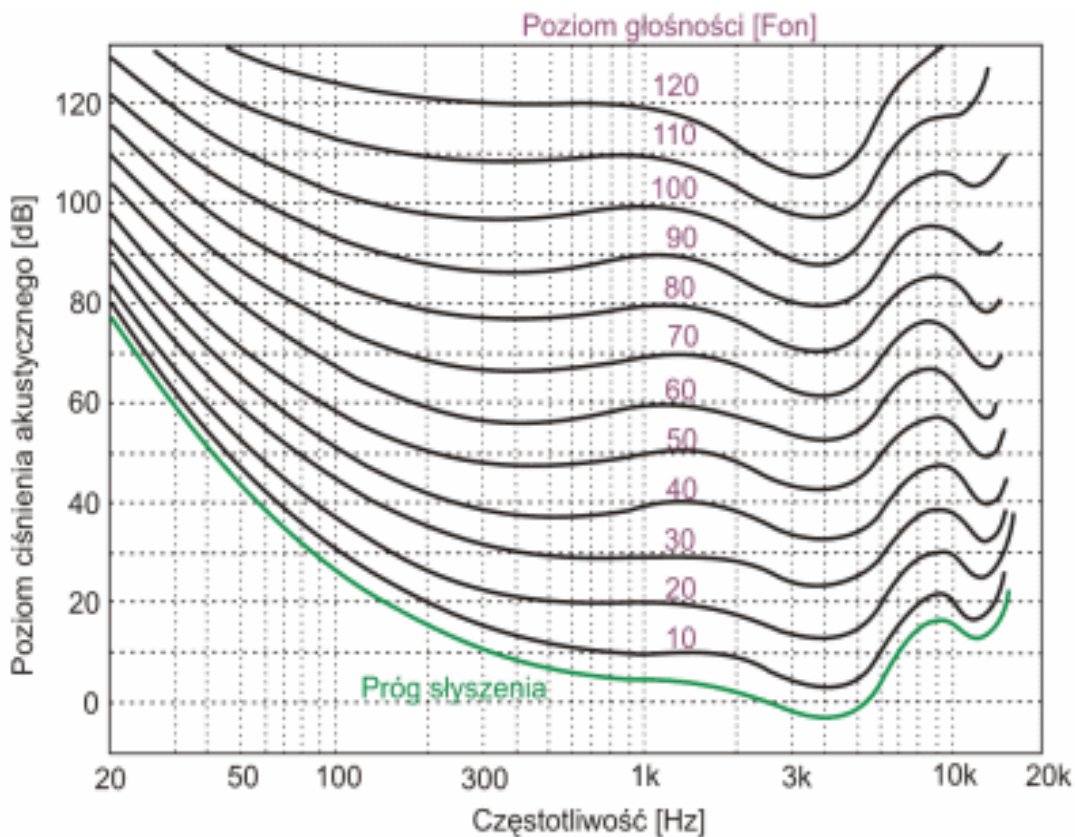


Table 3.1 Illustration of the Weber fraction ($\Delta I/I$) and Weber's law ($\Delta I/I = k$) with make-believe data showing how many candles must be added to several originally present candles (I) to produce a difference limen (ΔI) for brightness

Original candles, I	Additional candles, ΔI	New total, $I + \Delta I$	Weber fraction, $\Delta I/I$	Weber's law, $\Delta I/I = k$
10	1	11	1/10	0.1
100	10	110	10/100	0.1
1,000	100	1,100	100/1,000	0.1
10,000	1,000	11,000	1,000/10,000	0.1
100,000	10,000	110,000	10,000/100,000	0.1

Krzywe izofoniczne




Poziom głośności - wielkość będąca porównawczą miarą głośności dźwięku w odniesieniu do głośności dźwięku wzorcowego (wyrażona w fonach)

Poziom głośności wynosi n -fonów, jeżeli słuchacz o prawidłowym słuchu oceni go jako jednakowo głośny z tonem odniesienia o częstotliwości 1000Hz, którego poziom wynosi n -decybeli.

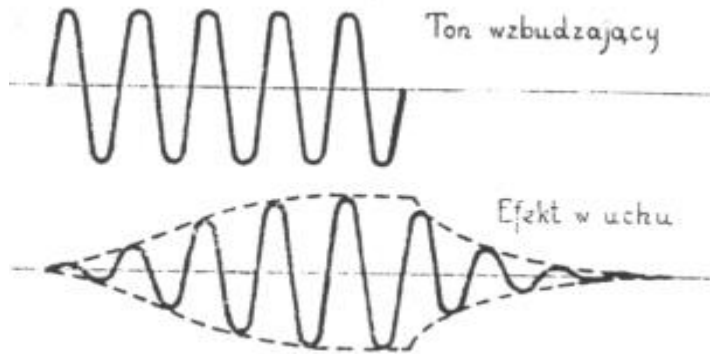
Zestaw krzywych jednakowego poziomu głośności nazywany jest zestawem **krzywych izofonicznych** lub zestawieniem **izofon**.

Poziom dźwięku nie jest miarą addytywną ani multiplikatywną.

WAŻNE

- 
- Pojęcie jednakowego poziomu głośności wynika z porównania poziomu ciśnienia akustycznego danego dźwięku sinusoidalnego z poziomem ciśnienia akustycznego dźwięku sinusoidalnego o częstotliwości 1000Hz.
 - Poziom głośności wynosi n-fonów, jeżeli słuchacz o prawidłowym słuchu oceni go jako jednakowo głośny z tonem odniesienia o częstotliwości 1000 Hz, którego poziom wynosi n-decybeli.

Wrażenie głośności

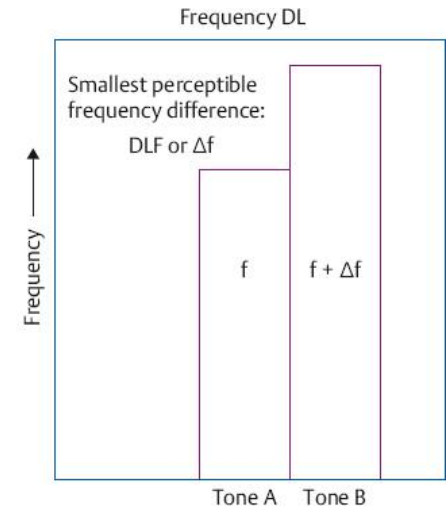
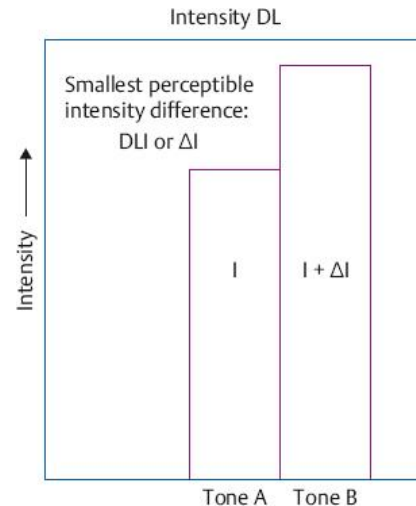



Aby wrażenie głośności impulsu tonu było równoważne wrażeniu głośności tonu ciągłego **musi upłynąć pewien czas**, typowo jest to około **200ms**.

Im krótrzy ton tym trudniej określić jego głośność jak i wysokość

Differential Sensitivity – najmniejsza dostrzegalna różnica między dwoma dźwiękami nazywana jest **Difference Limen (DL)** lub **just noticeable difference (jnd)**

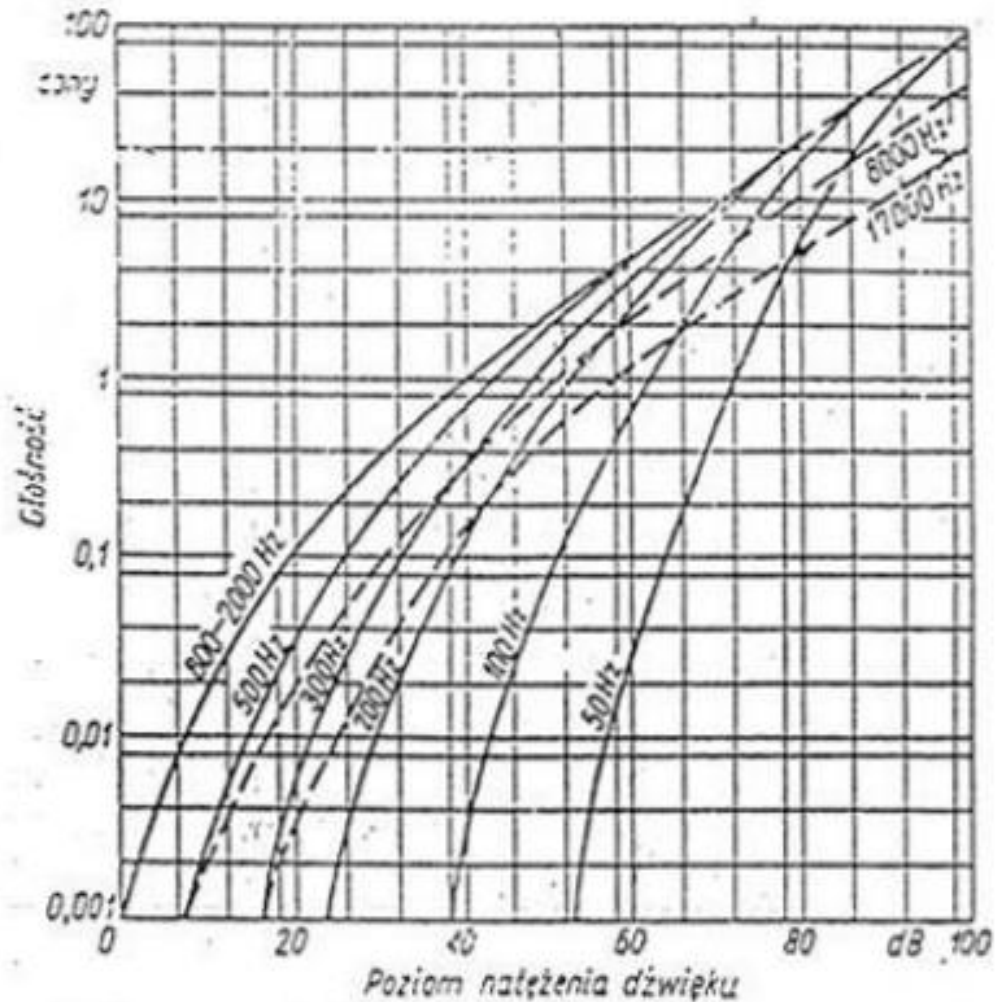
Prawo Weber'a dla szumu białego



- 
- [Measurement Principles and the Nature of Hearing | Ento Key](#)
 - Głośność jest to cecha wrażeniowa dźwięku, pozwalająca na uszeregowanie dźwięków w skali od najcichszych do najgłośniejszych.
 - Skala głośności jest taka sama dla wszystkich częstotliwości.

Głośność a natężenie

Porównanie głośności impulsu tonu z głośnością tonu ciągłego o takiej samej częstotliwości.



Rys.5 Zależność między głośnością a poziomem natężenia dźwięku.

Zależność wysokości dźwięku od głośności.

Głośność wpływa na wysokość tonu w sposób zależny od częstotliwości.

Dla częstotliwości poniżej 1 kHz wysokość maleje wraz ze wzrostem głośności, dla tonów od 1 kHz do 2 kHz pozostaje raczej na stałym poziomie (nieznaczne zmiany są mniejsze niż 1%), natomiast dla częstotliwości powyżej 2 kHz wysokość dźwięku wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości. Zmiany wysokości nie są jednak bardzo znaczące, dochodzą do 5%. Zaznaczyć należy także, iż pomiędzy poszczególnymi osobami istnieją różnice dotyczące zarówno wielkości jak i kierunku zmian wysokości.

Zależność wysokości dźwięku od czasu trwania.

Aby zostało wytworzone wrażenie wysokości tonu, musi on trwać przez pewien minimalny czas, który jest zmienia się wraz z częstotliwością i dla 50 Hz wynosi około 50 ms natomiast dla 1 kHz maleje i wynosi około 10 ms. Tony o mniejszym niż minimalny czasie trwania są percypowane jako krótkotrwałe trzaski. Dla tonów trwających co najwyżej 40 ms i wywołujących wrażenie wysokości wzrost natężenia (głośności) powoduje zawsze spadek wysokości, niezależnie od częstotliwości. Zjawisko to ma prawdopodobnie związek z obwiednią czasową takiego krótkotrwałego tonu.

Zależność wysokości dźwięku od kształtu obwiedni czasowej.

Dla tonów o częstotliwości z przedziału od 400 Hz to 3200 Hz zachodzi następujące zjawisko Ton, którego obwiednia zanika w sposób eksponentialny wywołuje nieznacznie wyższe wrażenie wysokości niż ton o tej samej częstotliwości lecz bramkowanej obwiedni prostokątnej.

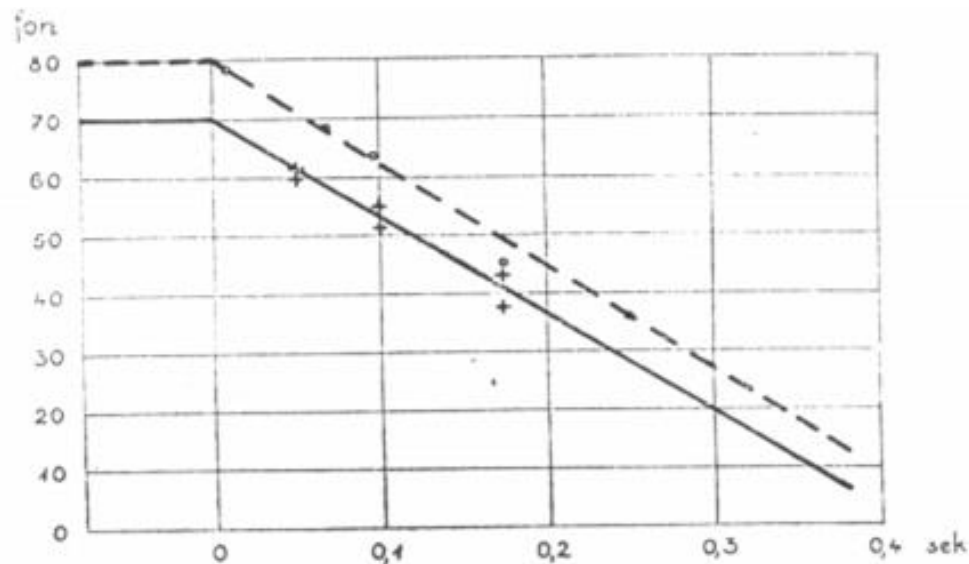
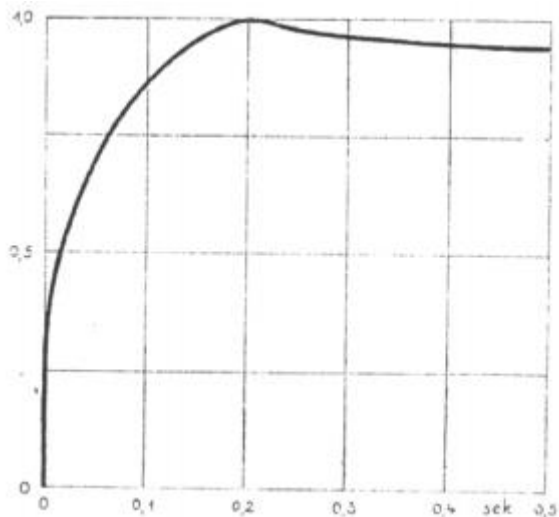
Zależność wysokości dźwięku od obecności innych dźwięków.

Jeśli dodatkowy ton lub pasmo szumowe znajduje się pod względem częstotliwości tuż poniżej tonu testowego, jego wysokość jest zawsze odbierana jako wyższa, czasem nawet o tak dużą wartość jak pół tonu. Natomiast ton (szum) znajdujący się powyżej częstotliwości tonu testowego nie ma już tak wielkiego wpływu na jego wysokość.

Wybrzmiewanie

CZAS POGŁOSU UCHA - zanik wrażenia słyszenia przy spadku poziomu ciśnienia akustycznego tonu sinusoidalnego o 60dB, wybrzmiewanie impulsu tonu w uchu;

Wg Steudla wynosi **350 ms**



Zanikanie wrażenia tonu w uchu według pomiarów Steudela [63]

Wybrzmiewanie

W oparciu o wartość czasu pogłosu ucha można pokusić się o określenie stałej czasu ucha rozumianej na zasadzie połówkowego zaniku funkcji eksponentyjnej $e^{-t/\tau} = 1/2$.

gdzie;

t – jest czasem spadku ciśnienia do połowy, tzn. o 6dB

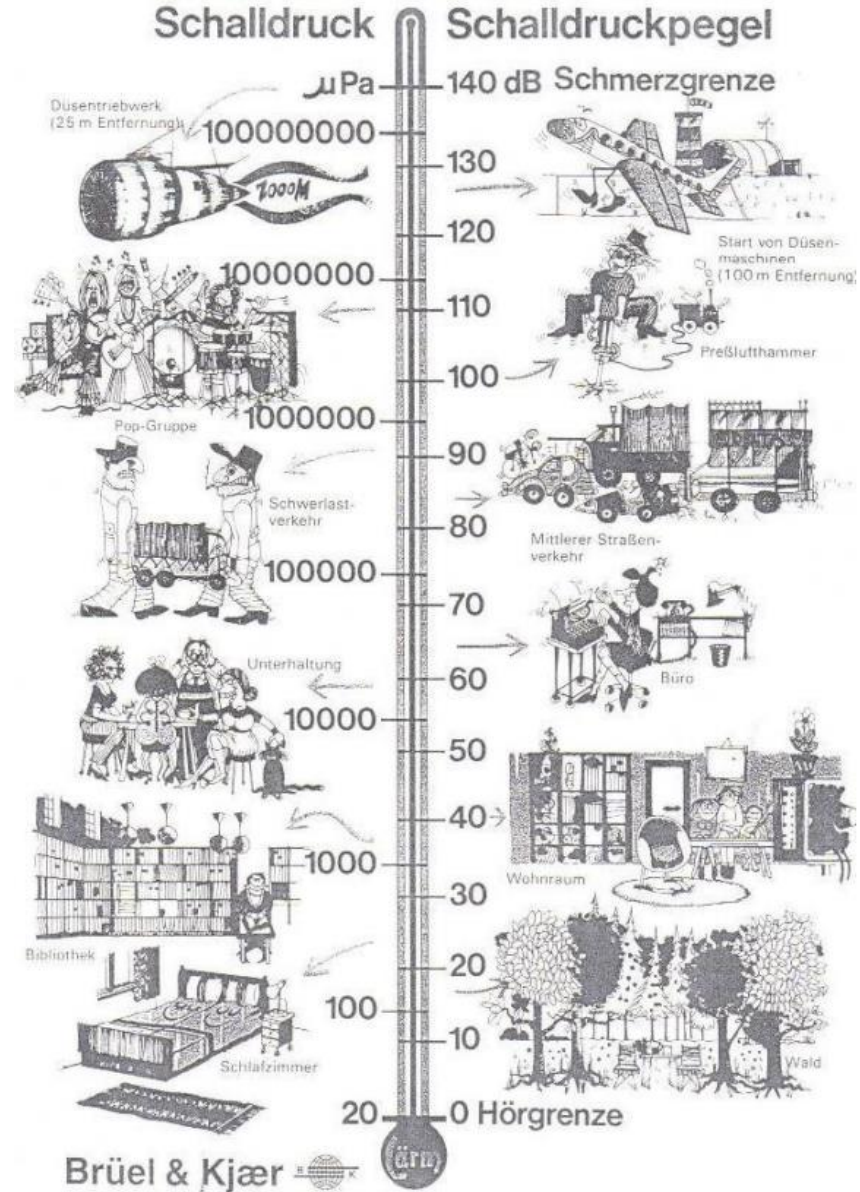
$$- t/\tau = - \ln 2 = - 0,69$$

$$\tau = 0,035 : 0,69 = 0,05 \text{ s}$$

Tak więc stała czasu ucha związana z wybrzmiewaniem dźwięku w uchu wynosi 50 ms.

Skala dźwięku

- duża rozpiętość mierzonych wartości ciśnienia (od 2×10^{-5} Pa do 10 Pa)
- wygodniejsze - stosowanie stosunku wartości względem progu odniesienia
- w akustyce przyjęto więc stosowanie logarytmu o podstawie 10, wyniki podaje się w belach, lub decybelach [dB]



Poziomy dźwięku a częstotliwości, czas trwania dźwięku

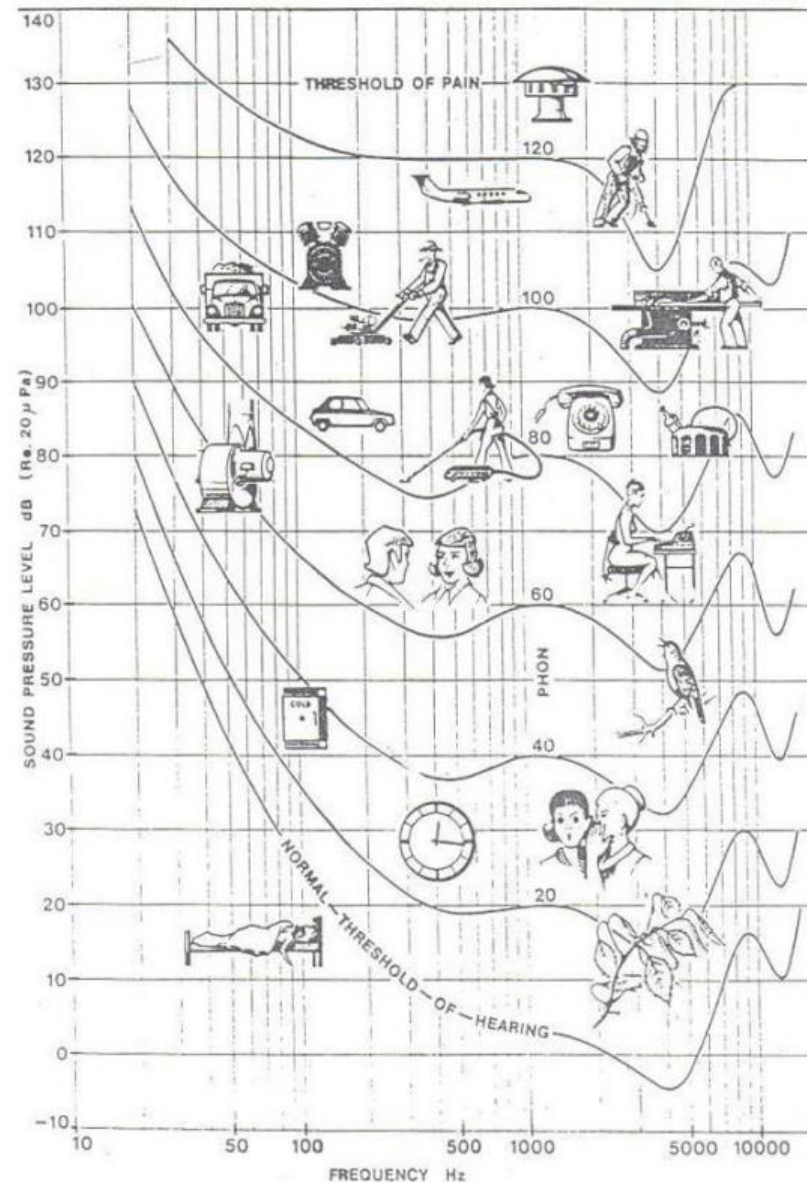
dla rozpoznania tonu 128 Hz potrzeba czasu równego 4 do 5 okresów = 0.038s

Wraz ze wzrostem częstotliwości tonu będziemy potrzebowali więcej okresów

1kHz -12-15 okresów = 0.014s

5kHz ~ 40 okresów = 0.010s

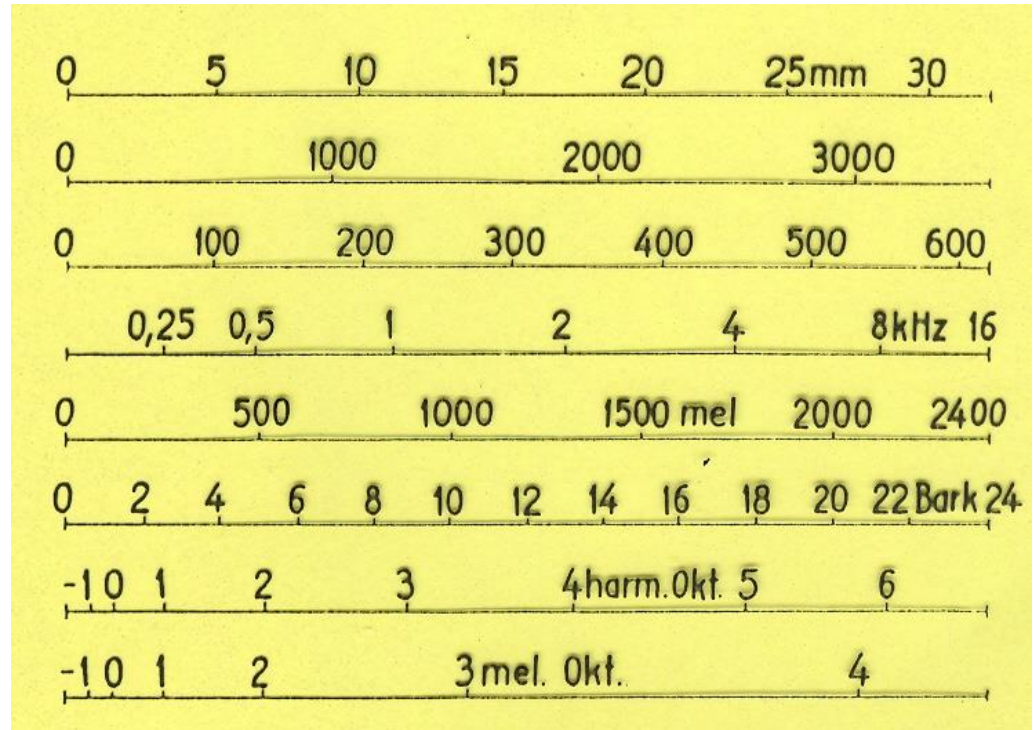
[Erst Mach]



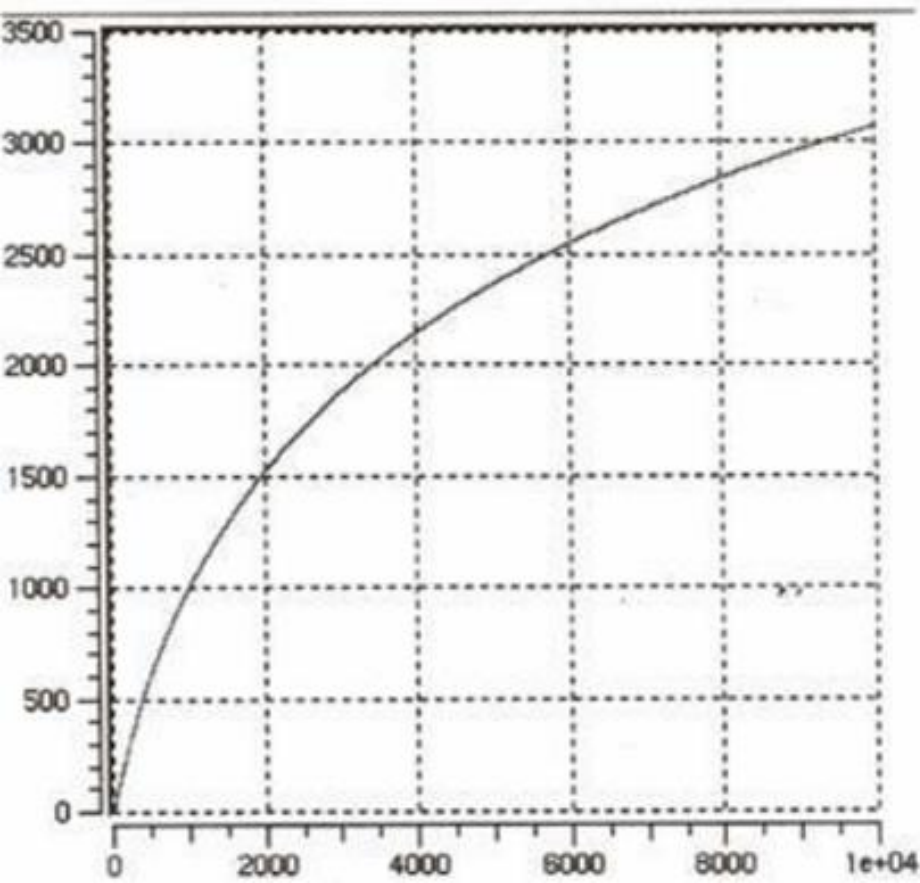
Skale wysokości dźwięku

Pitch = wysokość, subiektywny pomiar wysokości tonu

- Skala melowa
- Skala barkowa
- Skala ERB



Skala melowa

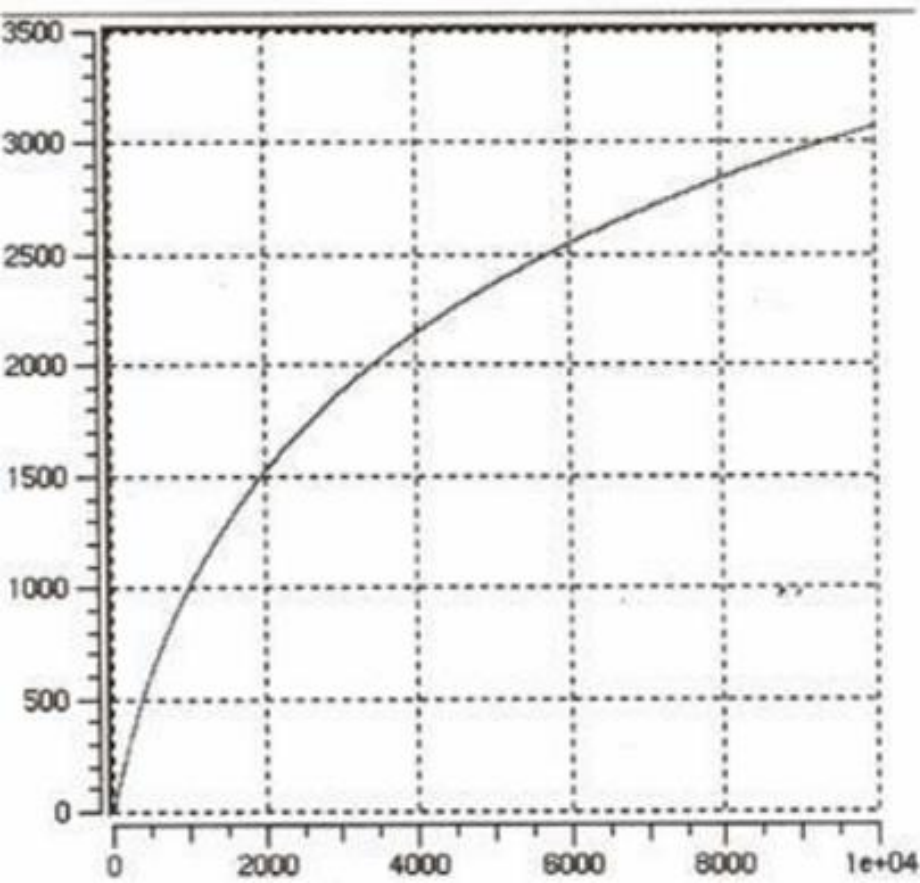


Zaproponowana przez *Stevensa, Volkmana i Newman* w 1937 roku jest **skalą wysokości dźwięku**.

Odpowiada **subiektywnemu** wrażeniu wysokości dźwięku. - jeden dźwięk ma być dwa razy wyższy od drugiego.

Ton o $f = 1000 \text{ Hz}$ (o poziomie 40 dB) ma wysokość 1000 meli

Skala melowa



Zamiana f hertzów na m mele:

$$m = 1127.01048 \log(1 + f/700)$$

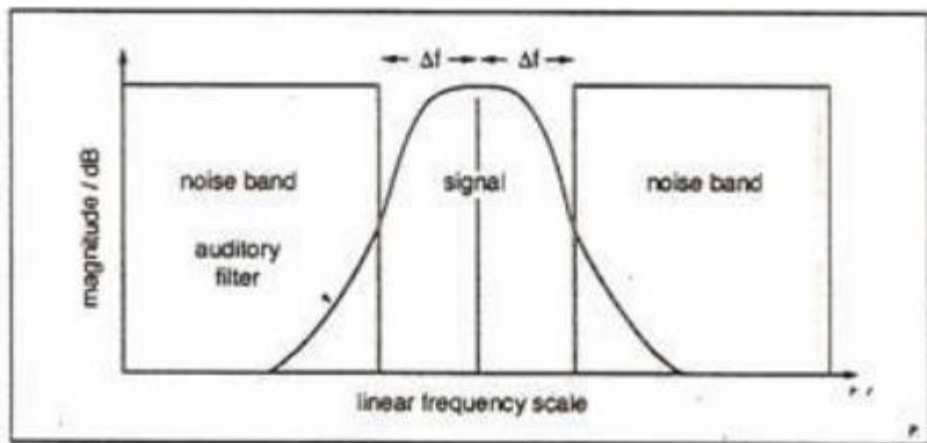
w drugą stronę:

$$f = 700(e^{m/1127.01048} - 1)$$

Skala ERB


(ang. *Equivalent Rectangular Bandwidth*) - ekwiwalentna szerokość pasma. Jest ona przyporządkowana odcinkowi błony podstawnej równemu 0,9 mm niezależnie od częstotliwości środkowej filtru

$$\frac{df}{dv} = 6.23 \cdot f^2 + 93.39 \cdot f + 28.52$$



M. Karjalainen

$$v = 11.17268 \cdot \log \left(1 + \frac{46.06538 \cdot f}{f + 14678.49} \right)$$
$$= \frac{676170.4}{47.06538 - e^{0.08950404 \cdot v}} - 14678.49$$

- 
- Wyniki takie otrzymano na podstawie eksperymentów w których wyznaczano ekwiwalentną szerokość prostokątną filtra słuchowego, czyli ekwiwalentną szerokość pasma ERB (ang. Equivalent Rectangular Bandwidth).
 - • Jest ona przyporządkowana odcinkowi błony podstawnej równemu 0,9 mm niezależnie od częstotliwości środkowej filtra.
 - • Znajomość tak określonych filtrów słuchowych jest niezwykle użyteczna w badaniach psychoakustycznych.

Sony a fony

Dla skali głośności - przyjęto, że poziom głośności 40 fonów tonu prostego o $f=1\text{kHz}$ ma wynosi 1 son.

Zależność między głośnością w S (sonach) a poziomem głośności P (w fonach) dla poziomów głośności równych lub większych niż 40 fonów.

$$S = 2^{\frac{P-40}{10}}$$

$$\log_{10}S = 0,03(P - 40)$$

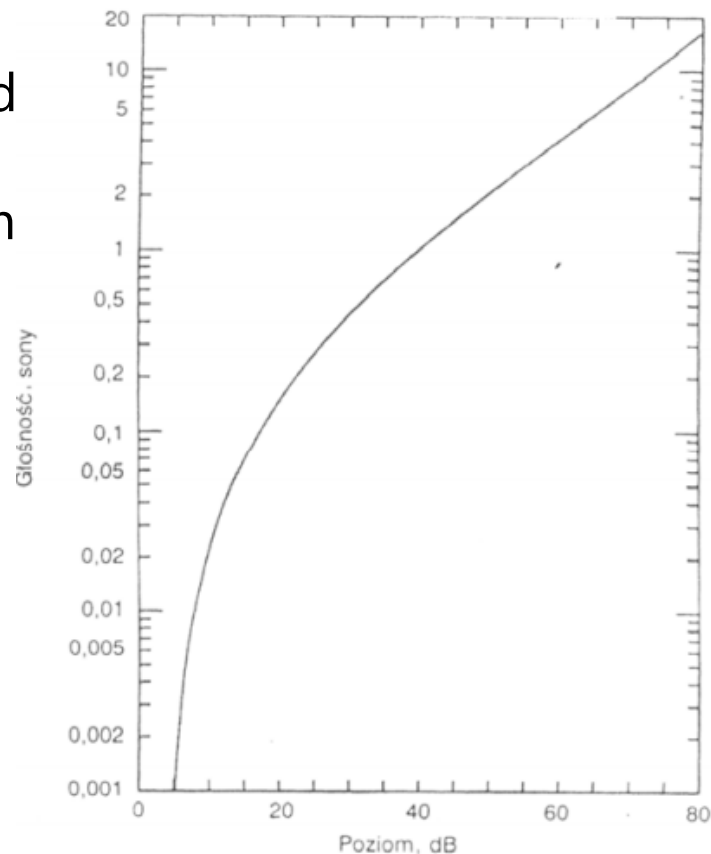
$$P=40+ \log_{10}S/\log_{10}2$$

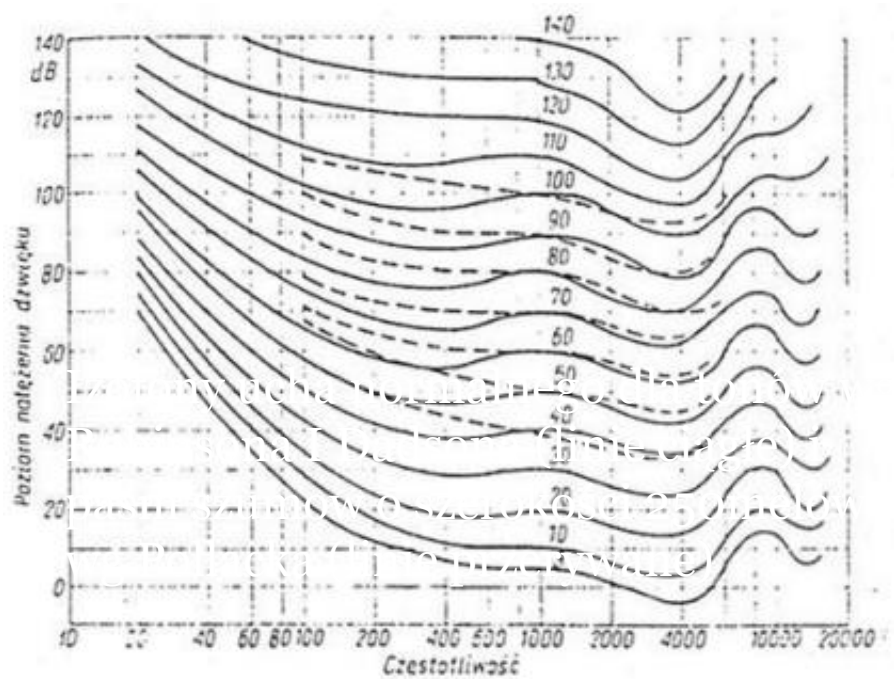
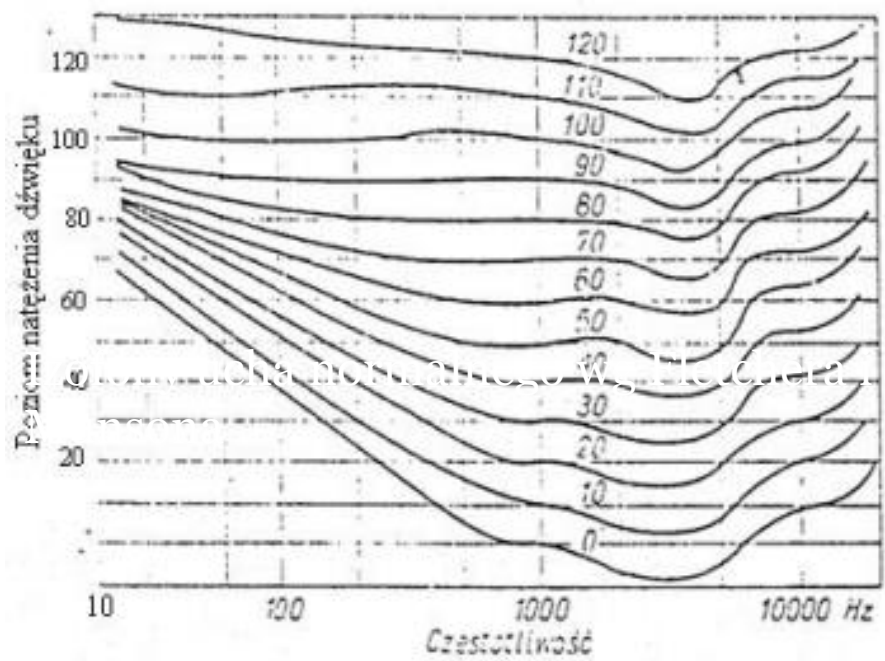
Sony a fony

Pomiary **Robinsona** i innych badaczy doprowadziły do wniosku, że w zakresie od 40 do 120 fonów dźwięk jest odbierany jako dwa razy głośniejszy, gdy jego poziom głośności jest o 10 fonów większy.

Podwojenie liczby sonów prowadzi do powiększenia o 10 liczby fonów, co daje, że:

- 40 fonów odpowiada 1 sonowi,
- 50 fonów 2 sonom itd.,
- 60 fonów = 4 sony
- zaś 120 fonów 256 sonom.





Zjawisko maskowania

maskowanie równoczesne

maskowanie nierównoczesne

Pasma krytyczne wg Fletchera

postmaskowanie

premaskowanie

Dudnienie

Zjawisko maskowania

MASKOWANIE - proces w którym próg słyszalności dźwięku podwyższa się wskutek obecności dźwięku zagłuszającego.

W zależności od **relacji między poziomami** sygnałów wyróżniamy:

- **zagłuszanie całkowite** - podwyższenie progu
- **zagłuszanie częściowe** - obniżenie głośności

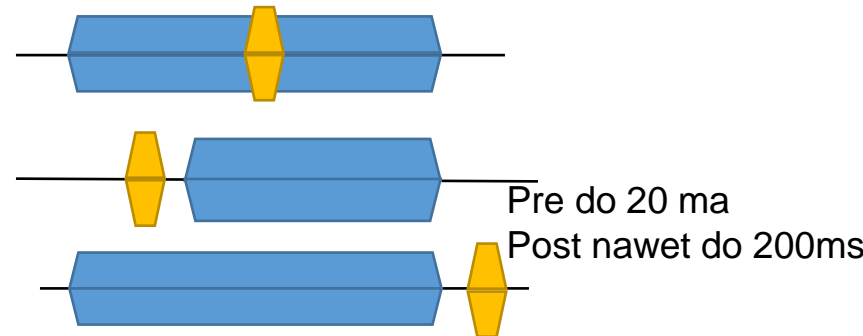
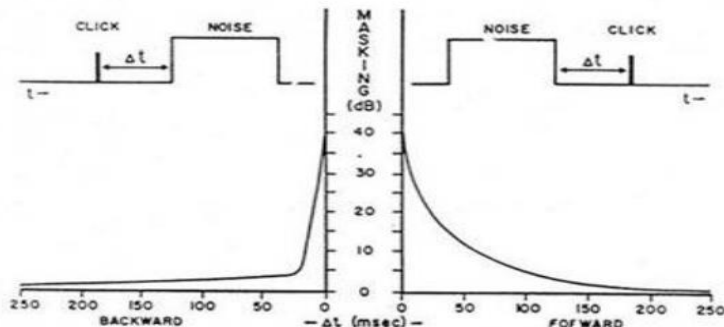
WAŻNE

Zjawisko maskowania

W zależności od **relacji czasowych** między sygnałami:

→ **maskowanie nierównoczesne (modelowane w dziedzinie czasu)**

- ◆ **premaskowanie** (maskowanie wstępne)- wynika z pewnej bezwładności w zadziałaniu mechanizmu słuchu oraz faktu, że **dźwięki głośniejsze są przetwarzane szybciej niż dźwięki ciche**.
- ◆ **postmaskowanie** - spowodowane stosunkowo długim czasem relaksacji neuronów zależy od natężenia tonu maskującego i jego czasu trwania)

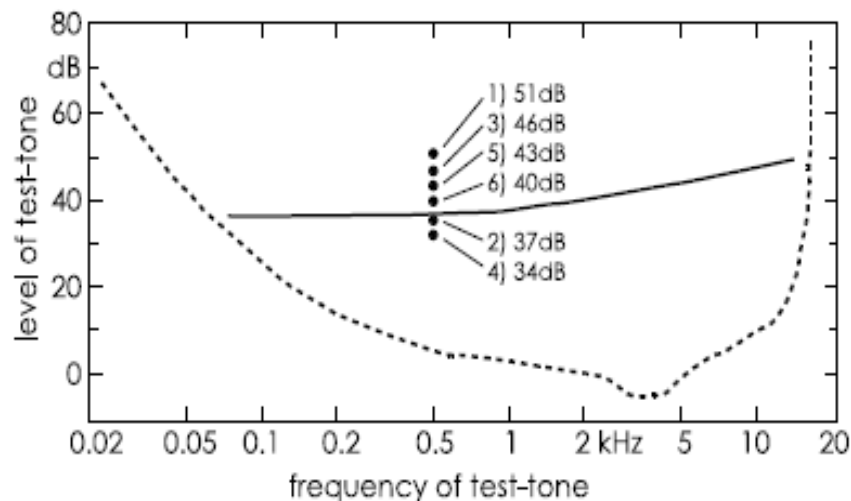


Track 9: Pure tones masked by white noise

0:45



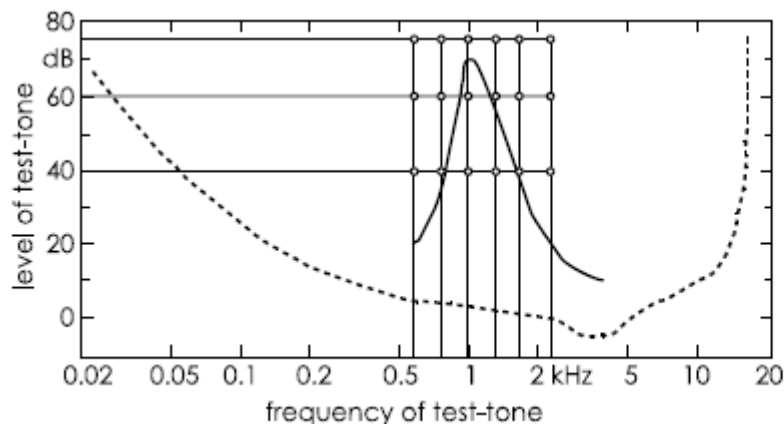
In this demonstration a pure tone is masked by white noise. The tone has a frequency of 500 Hz, the white noise has an overall level of 63dB which corresponds to a density level of about 20dB. You will hear six presentations, each with triplets of pure tones, masked by white noise. The level of the tone triplets is (in this order) 51dB, 37dB, 46dB, 34dB, 43dB, 40dB. Except for the second (37 dB) and fourth triplet (34 dB), the tones are above masked threshold and should be audible. (cf. Fig. 4.1)



Track 10: Pure tones masked by narrow-band noise

0:56

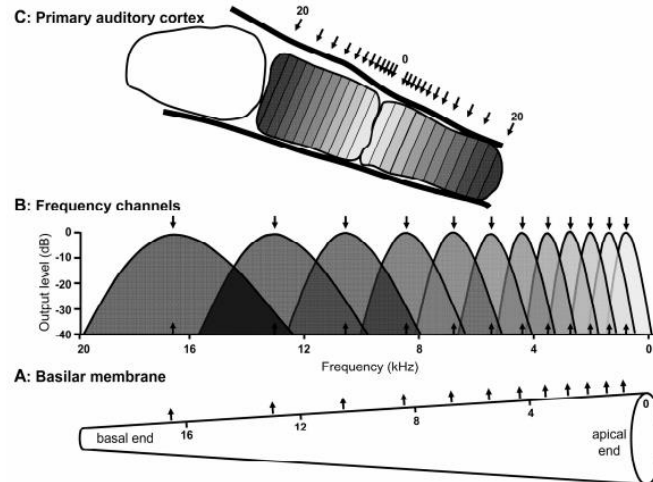
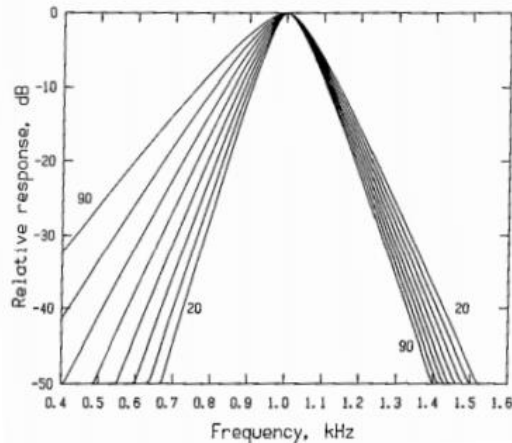
In this demonstration the masked threshold of pure tones masked by critical-band wide noise (1 kHz, 70 dB) is illustrated. You will hear three series of tone triplets: the first series is played at a level of 75 dB, the second at a level of 60 dB, the third at a level of 40 dB. Each series consists of six tone triplets with the frequencies 600 Hz, 800 Hz, 1000 Hz, 1300 Hz, 1700 Hz, and 2300 Hz. In the second series the third tone triplet at 1000 Hz is masked by the narrow-band noise, and in the third series the third and fourth triplet at 1000 Hz and 1300 Hz (for some persons also the fifth triplet at 1700 Hz) are masked. (cf. Fig. 4.4)



Zjawisko maskowania

W zależności od **relacji czasowych** między sygnałami:

→ **maskowanie jednoczesne (równoczesne)** (modelowanie w dziedzinie częstotliwości) - zależy ono od natężenia tonów: maskującego i maskowanego oraz ich częstotliwości (zależność tę opisują tzw. **krzywe maskowania** dla maskerów o danym natężeniu i częstotliwości - wszystkie dźwięki, dla których wartości natężenia leżą poniżej takiej krzywej stają się niesłyszalne)



Hall & Garcia, press

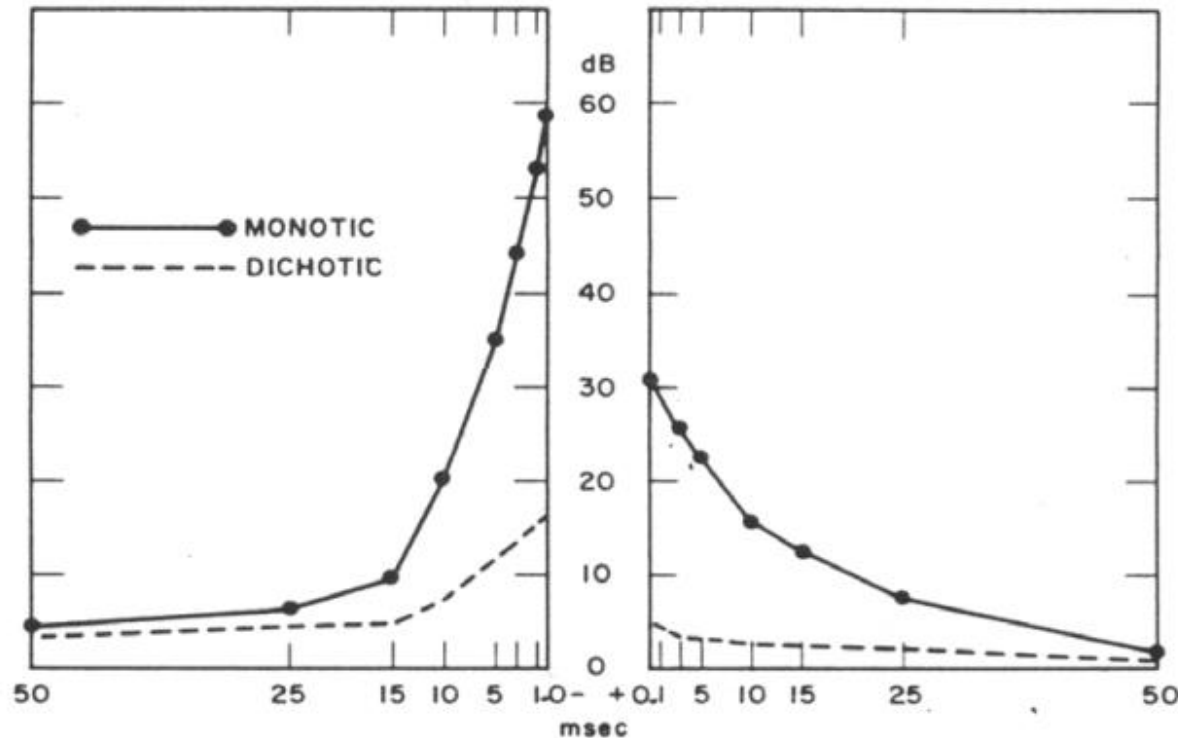
WAŻNE 40

Maskowanie z punktu widzenia fizjologicznego

Z punktu widzenia fizjologicznego można mówić o maskowaniu:

- **obwodowym** (peryferyjnym; występuje wówczas, gdy sygnał maskujący i maskowany dochodzą do tego samego ucha),
- **centralnym** (sygnały maskujący i maskowany są podawane oddzielnie do każdego ucha i spotykają się w centralnym układzie nerwowym, a efekty maskowania są od 2. do 3. razy mniejsze niż przy maskowaniu obwodowym).

Maskowanie z punktu widzenia fizjologicznego

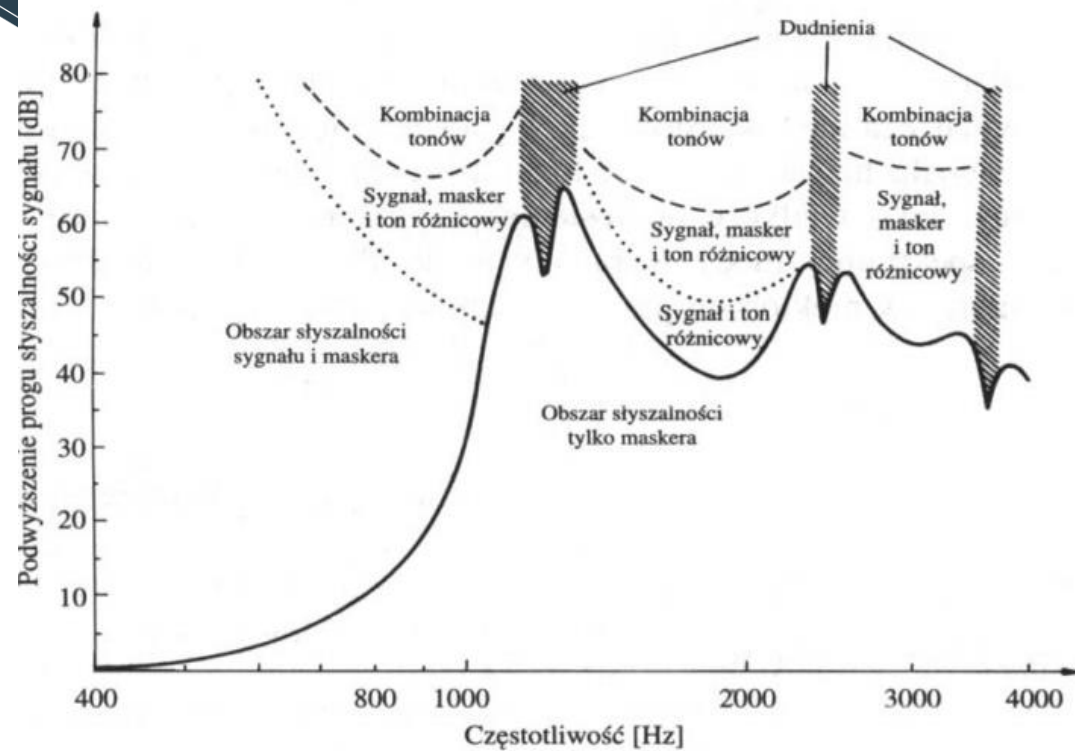


Przykład **maskowania obwodowego** (zagłuszanie tonów prostych przez ton sinusoidalny o zadanym poziomie i częstotliwości).

Zjawisko maskowania - dudnienia

Dla częstotliwości tonu zagłuszanego równej częstotliwości tonu zagłuszającego i częstotliwości bardzo bliskich zauważa się **zjawisko dudnień** i nieznaczne zmniejszenie efektu zagłuszania.

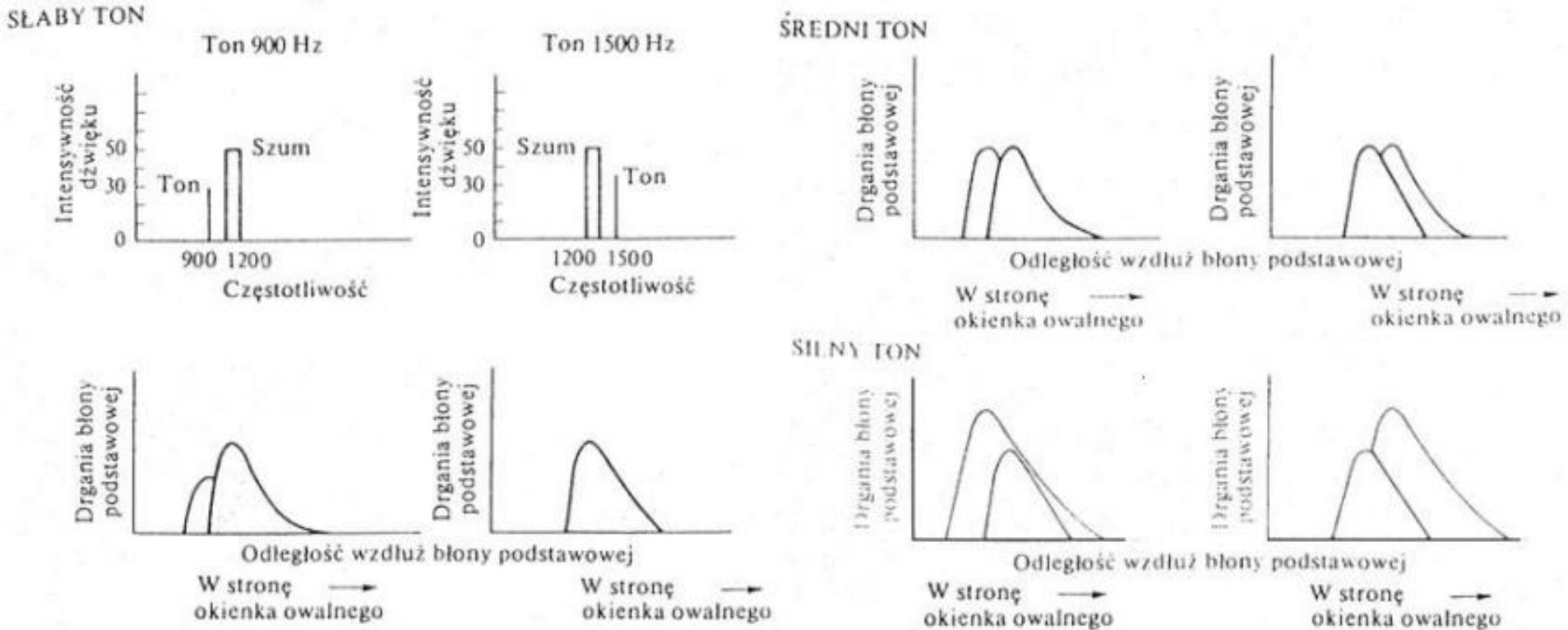
To samo zauważa się dla częstotliwości bliskich częstotliwościom harmonicznym tonu zagłuszającego, co jest efektem pojawiania się **tonów subiektywnych** które mogą powodować powstawanie **tonów różnicowych**.



Efekt występuje w przypadku różnic mniejszych niż 16Hz (najlepiej słyszalne dla różnicy 6Hz)

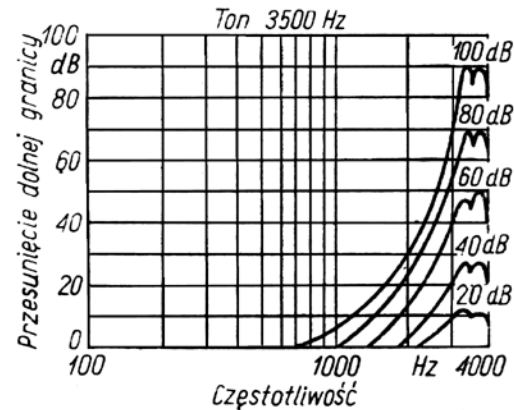
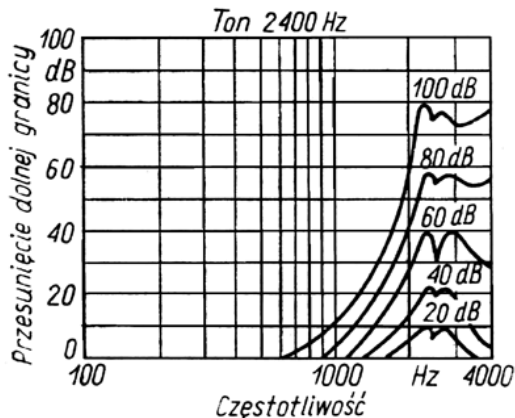
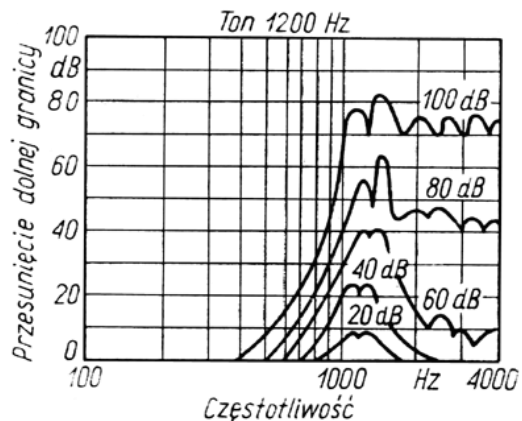
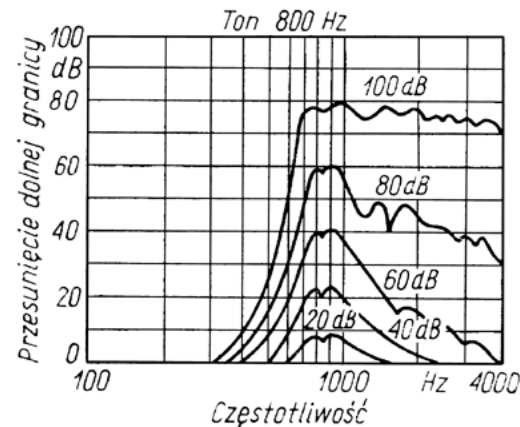
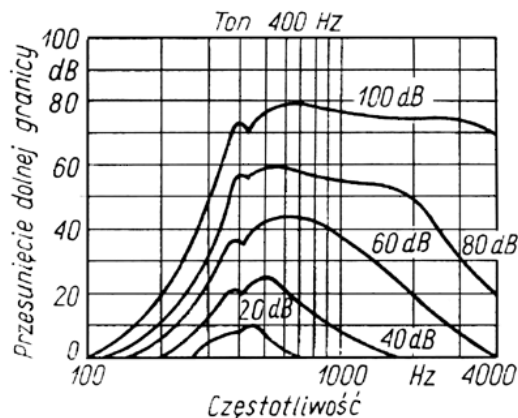
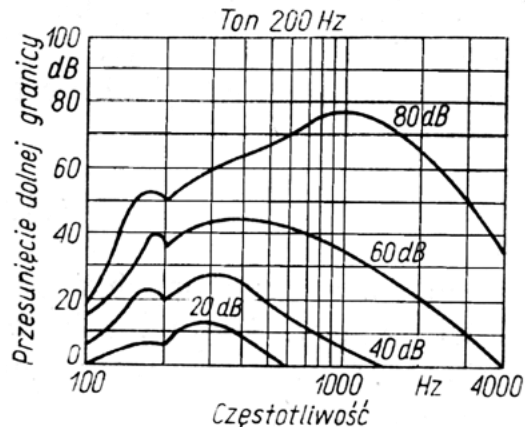
WAŻNE

Przykłady zjawiska maskowania



Zależności między przesunięciem dolnej granicy słyszalności a częstotliwością tonów zagłuszanych tonami o różnych częstotliwościach i poziomach natężenia dźwięku.

(liczby przy krzywych podają poziom natężenia dźwięku zagłuszającego)



Zjawisko maskowania

- zagłuszanie jest największe w sąsiedztwie tonu zagłuszającego
- zmniejszenie zagłuszania przy częstotliwościach odpowiadających harmonicznym tonu zagłuszającego jest związane z istnieniem tonów subiektywnych
- tony o dużych natężeniach zagłuszają wszystkie dźwięki o częstotliwościach większych, natomiast dźwięki o częstotliwościach mniejszych - tylko w bezpośrednim swoim sąsiedztwie

WAŻNE

Zjawisko maskowania a miksowanie muzyki: [What Is Frequency Masking? \(izotope.com\)](https://www.izotope.com/en/learn/what-is-frequency-masking)

1. Największy efekt zagłuszania bez względu na wartość poziomu tonu zagłuszającego obserwuje się dla częstotliwości zbliżonych do częstotliwości tonu zagłuszającego. Przy czym łatwiej ulegają zagłuszaniu tony o częstotliwościach większych od tonu zagłuszającego, niż tony o częstotliwościach mniejszych
2. Dla częstotliwości tonu zagłuszanego równej częstotliwości tonu zagłuszającego zauważa się zjawisko dudnień.
Obserwacja efektów zagłuszania jest wtedy utrudniona, podobnie jak i dla tonów zagłuszanych o częstotliwościach równych harmonicznym tonu zagłuszającego.
3. Dla małych natężeń tonu zagłuszającego, w przypadku odpowiednio dużej odległości w skali częstotliwości, efekt zagłuszania nie występuje.
4. Tony o dostatecznie dużych częstotliwościach i dużych natężeniach zagłuszają wszystkie dźwięki o częstotliwościach większych od częstotliwości tonu zagłuszającego, tony o częstotliwościach małych natomiast, tylko w bezpośrednim swoim sąsiedztwie.

● <https://community.sw.siemens.com/s/article/masking>

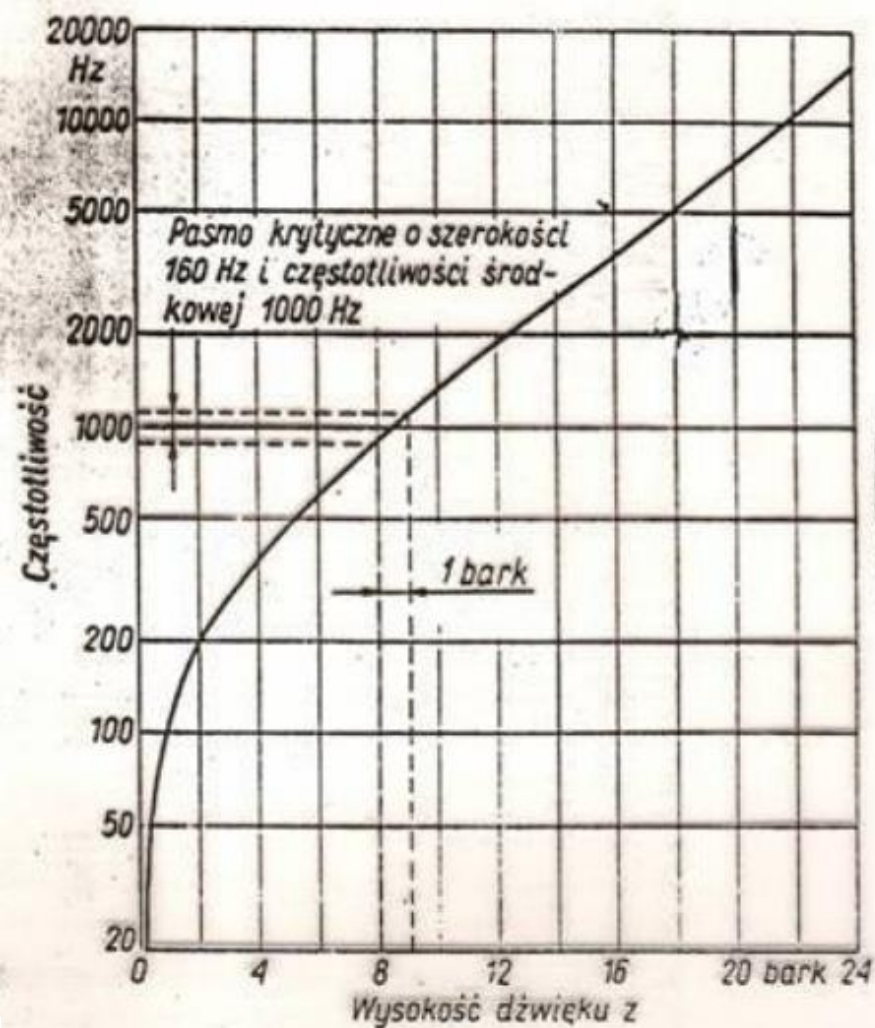
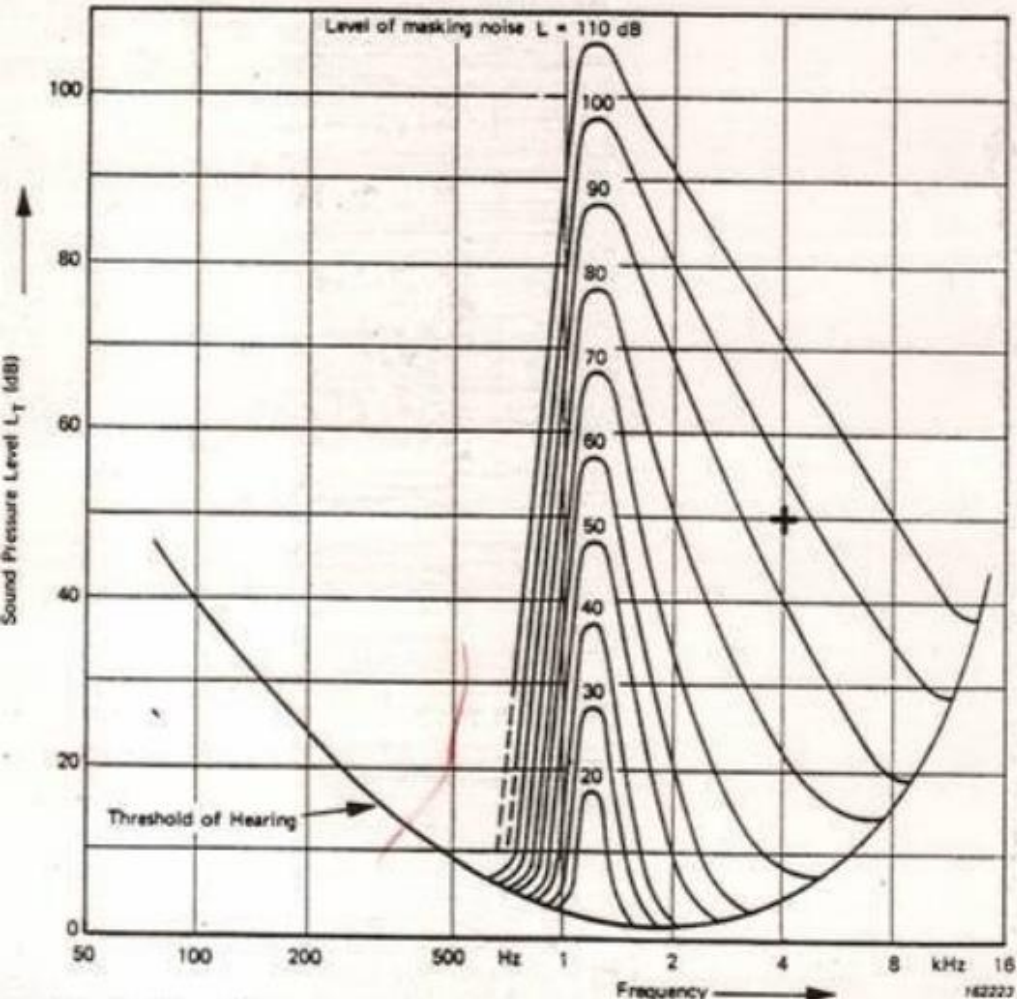
Każdy ton sinusoidalny jest zagłuszany jedynie przez wąskie pasmo szumu położone obok niego, a dalsza część białego szumu nie wpływa na zagłuszanie tego tonu.

Fakt, że jedynie szумы leżące w wąskim paśmie zagłuszają zawarty w nim ton prosty (ton sinusoidalny), a wszystkie szумы poza tym pasmem nie odgrywają żadnej roli prowadzi na do pojęcia **pasem krytycznych** których szerokość jest zależna od częstotliwości tonu zagłuszanego i zmienia się od 30 Hz przy małych częstotliwościach do kilkuset Hz przy dużych częstotliwościach.

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

Fig.3.5. Table of critical bands (Frequenz-gruppen)

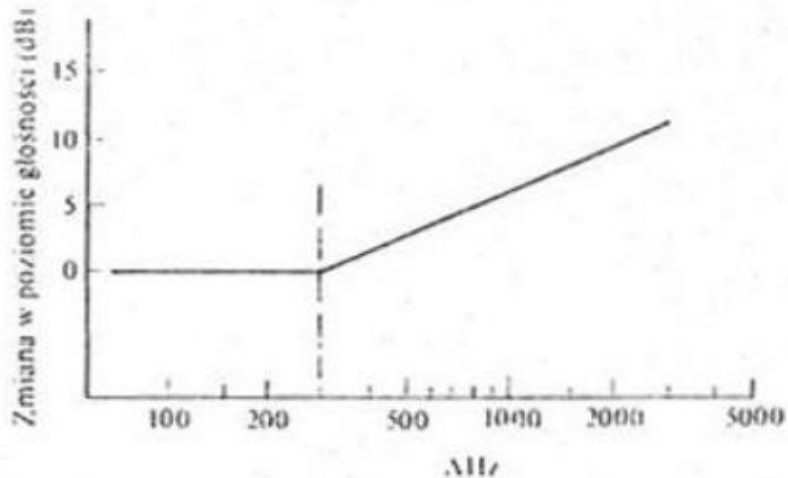
WAŻNE



Krzywe (audiogramy) maskowania dla wąskiego pasma szumu o różnym poziomie i o częstotliwości środkowej 1200 Hz. Każda krzywa przedstawia podwyższenie progu detekcji tonu jako funkcję jego częstotliwości.

Rys. 11.17. Zależność między wysokością tonu (w barkach) a częstotliwością (w Hz) [24]

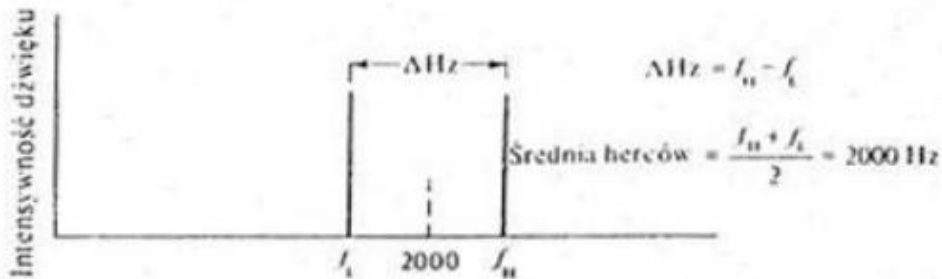
Głośność pary tonów zaczyna rosnąć począwszy od przekroczenia pewnej krytycznej odległości częstotliwości



RY

Track 31 Loudness of a partially masked 1 kHz tone

Additional pink noise with about 55 dB overall level (40dB per 1/3 octave band) reduces the loudness of a 1 kHz tone by different amounts, depending on the level of the tone. Partial masking decreases with increasing level of the tone: levels of 40 dB, 50 dB, and 60 dB are presented. (cf. Fig. 8.10)



Pasma krytyczne wg Fletchera

1. Dźwięk prosty (ton sinusoidalny) jest głównie **maskowany** przez częstotliwości zawarte w pewnym paśmie (nazwanym pasmem krytycznym), położonym dookoła pewnej częstotliwości środkowej. Częstotliwości znajdujące się poza tym pasmem (z wyjątkiem dużych poziomów), wpływają na maskowanie tego tonu bardzo mało.
2. Dźwięk prosty (ton sinusoidalny) jest wtedy **percypowany** w białym szumie gdy jego energia jest co najmniej równa całkowitej energii składowych zawartych wewnątrz pasma krytycznego odpowiadającego częstotliwości tego dźwięku.

WAŻNE

Pasma krytyczne wg Fletchera

Hipoteza ta prowadzi do stwierdzenia:

“Szerokość pasma krytycznego Δf_k wyrażona w decybelach (jako $10 \log \Delta f_k$) jest równa liczbie decybeli, o jaką trzeba podnieść poziom dźwięku prostego ponad poziom gęstości widmowej szumu maskującego (dB/1Hz), aby był on już słyszalny”.

Pasma krytyczne są regionami "wyróżnionymi" na błonie podstawnej, **WAŻNE** wyznaczonymi przez eksperymenty psychoakustyczne. Wyróżniono około 24 pasm na błonie podstawnej.

Każde pasmo ma około 1.3 mm długości i obejmuje około 1300 neuronów. (Fletcher wyznaczył teoretycznie 12 pasm, Zwicker rozwinął to eksperymentalnie)



Zwicker wychodząc z zależności związanych z percepcją poziomu ciśnienia akustycznego zaproponował pasma krytyczne szersze od podanych przez Fletchera i nazwał je „grupami częstotliwości”.

Według Zwickera całkowite pobudzenie błony podstawnej składa się z sumy pobudzeń częściowych, z których każde odpowiada szerokości jednego pasma krytycznego (grupy częstotliwościowej).

Znajomość tego efektu przydaje się przy produkcji muzycznej...

Źródła:

1. **Ucho i słuch ludzki. Wysokość dźwięku, zagłuszenie i lokalizacja**, Piotr Sadłoń, <http://livesound.pl/tutoriale/artykuly/4669-ucho-i-sluch-ludzki-wysokosc-dzwieku-zagluszanie-i-lokalizacja>
2. **Akustyka psychofizjologiczna**, <http://sound.eti.pg.gda.pl/student/elearning/fizjo.htm>
3. <http://facstaff.uww.edu/bradleys/hssppt/hssp.pdf/20psycho2.pdf>
4. <http://www.phon.ucl.ac.uk/courses/spsci/audper/Intensity.pdf>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=H9qNuyD7xdg>

Dziękuję za uwagę