

Akustyka pomieszczeń

Michał Bujacz

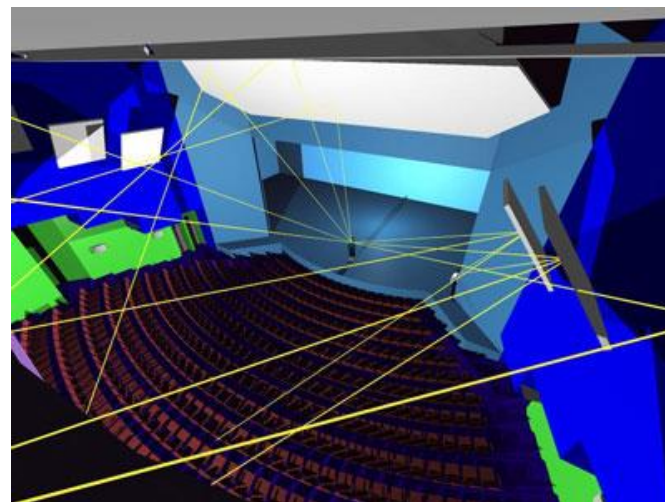
Izabela Przybysz



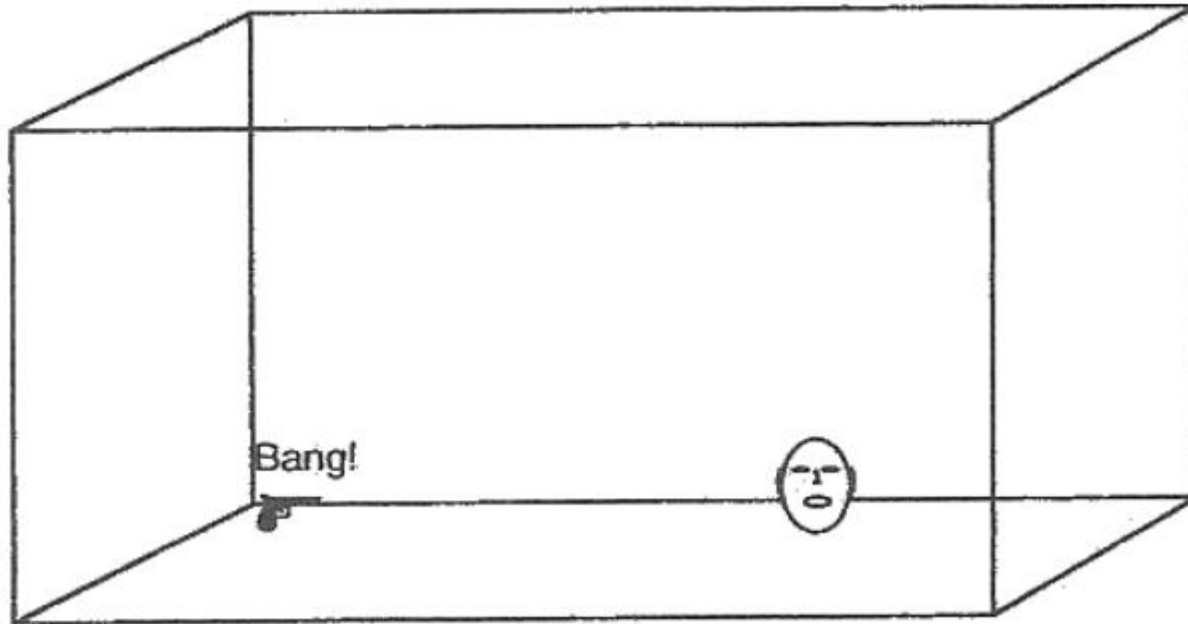


Akustyka pomieszczeń

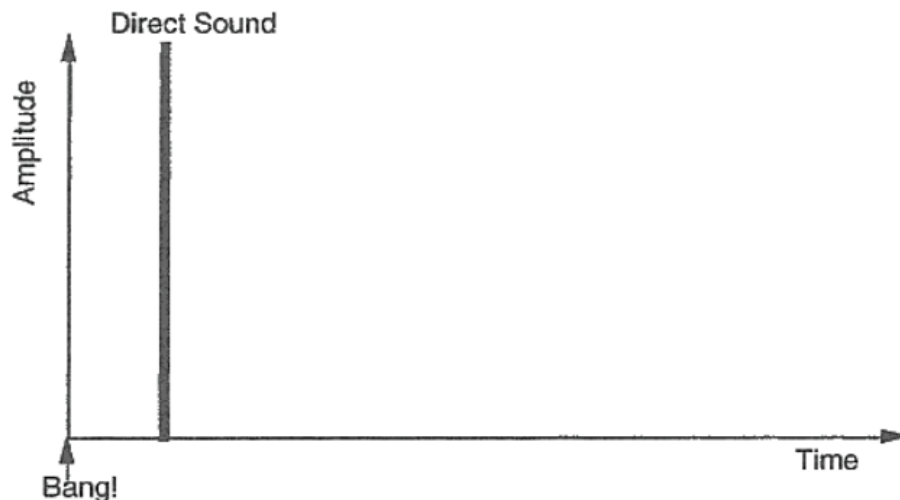
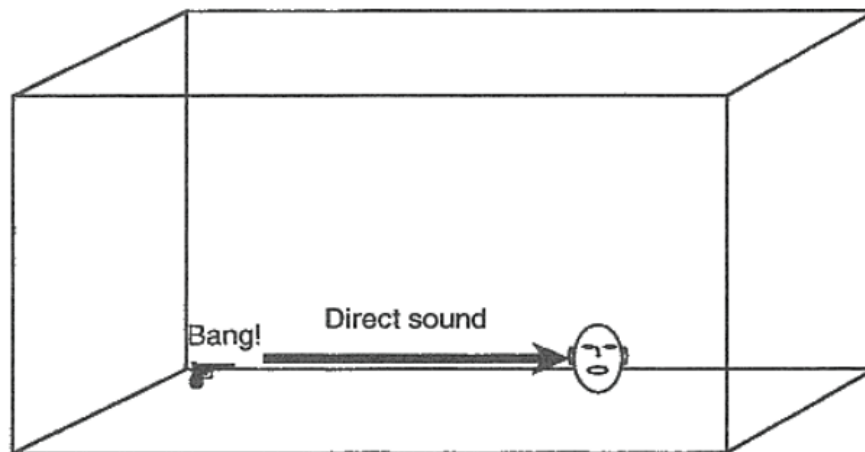
- Odpowiedź impulsowa
- Parametry odpowiedzi
- Czynniki wpływające na akustykę pomieszczenia
- Modyfikacja akustyki sali
- Pomiar parametrów akustycznych



Odpowiedź impulsowa pomieszczenia (I)

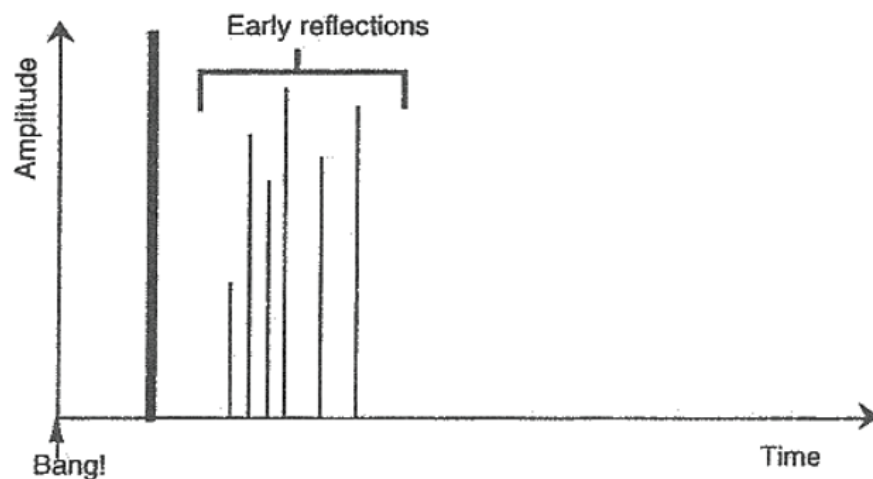
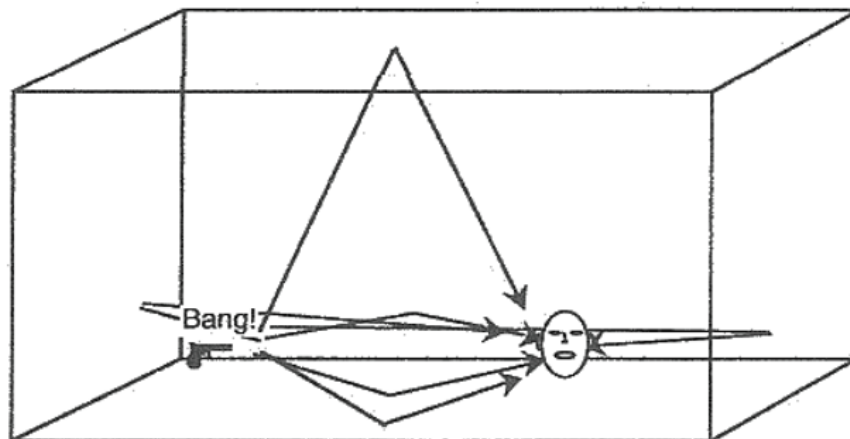


Odpowiedź impulsowa pomieszczenia (II)



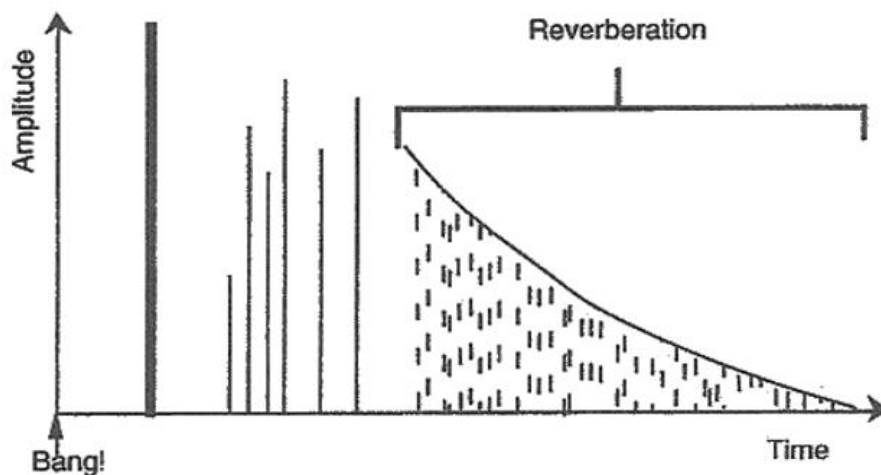
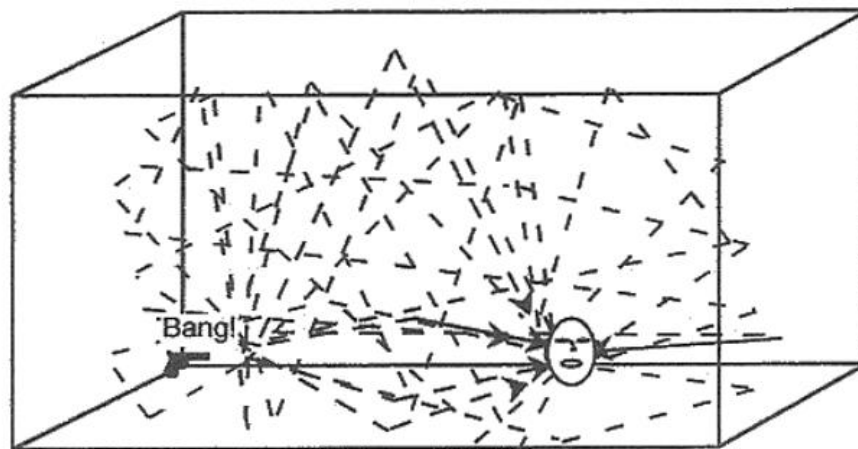
Dźwięk bezpośredni

Odpowiedź impulsowa pomieszczenia (III)

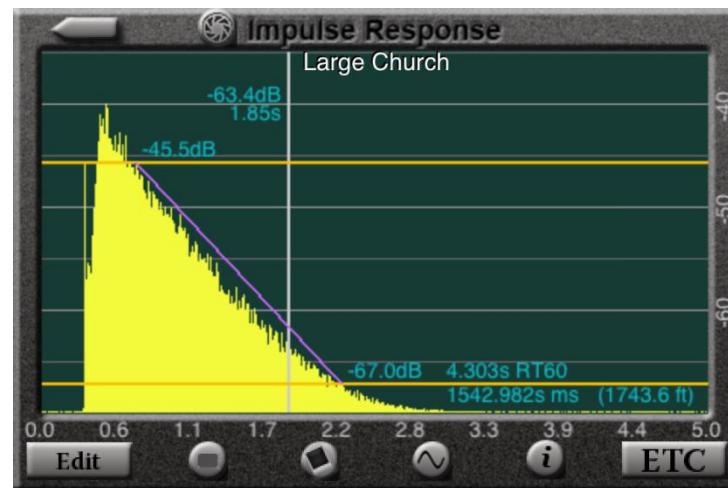
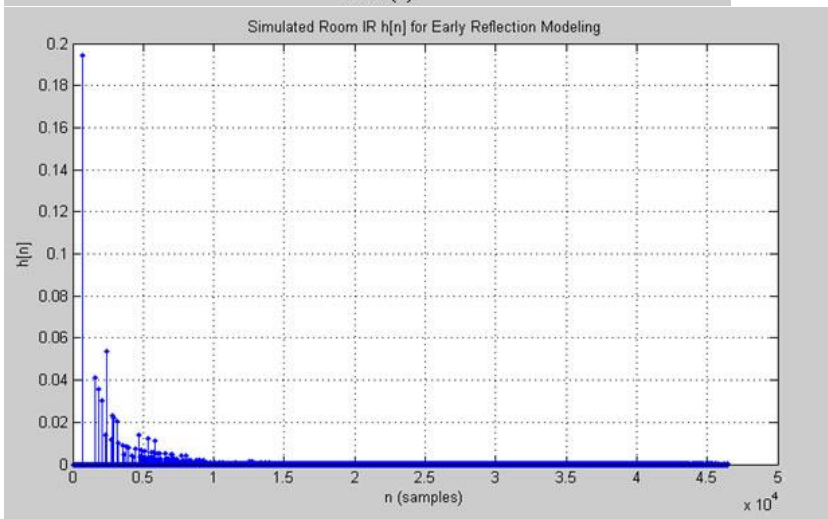
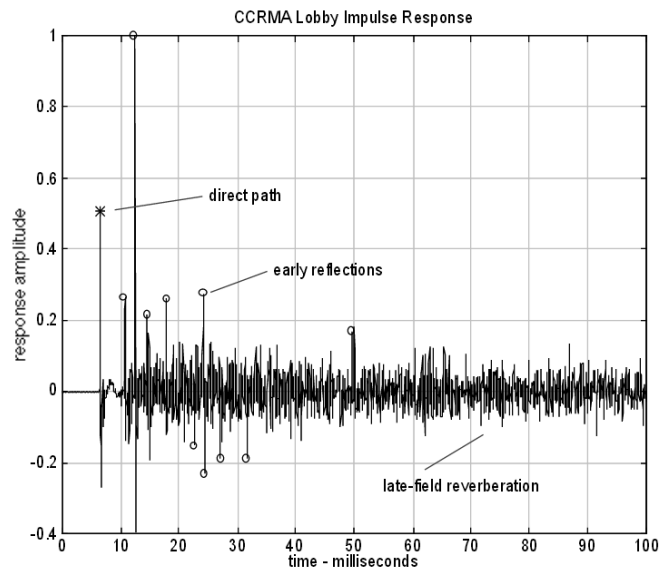
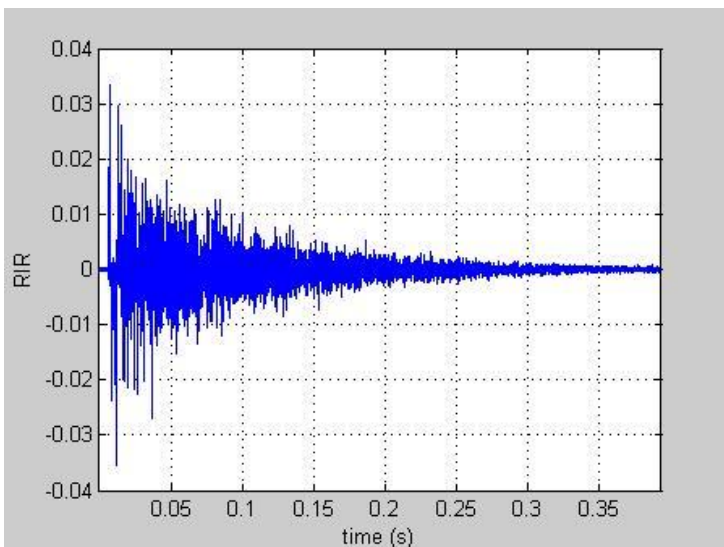


Wczesne odbicia

Odpowiedź impulsowa pomieszczenia (IV)



Przykłady odpowiedzi impulsowych:

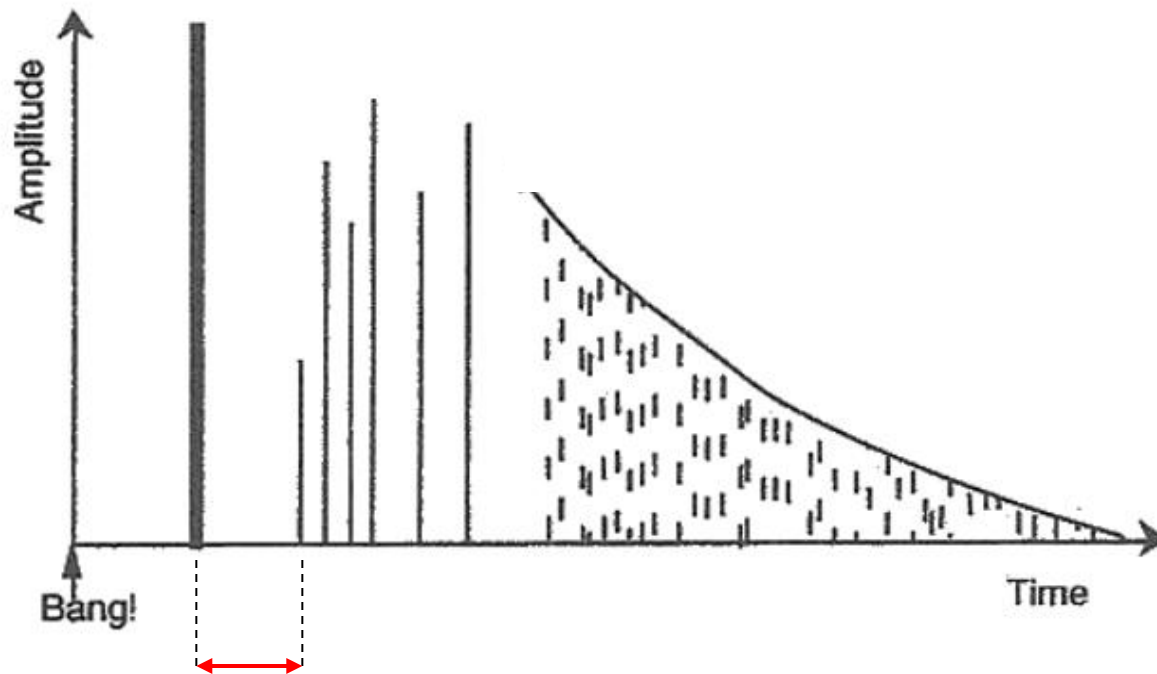


Opóźnienie pierwszego odbicia

ITDG (Initial Time Delay Gap)



Wynika głównie z rozmiarów pomieszczenia i jest odpowiedzialny za „intymność” i klarowność dźwięku

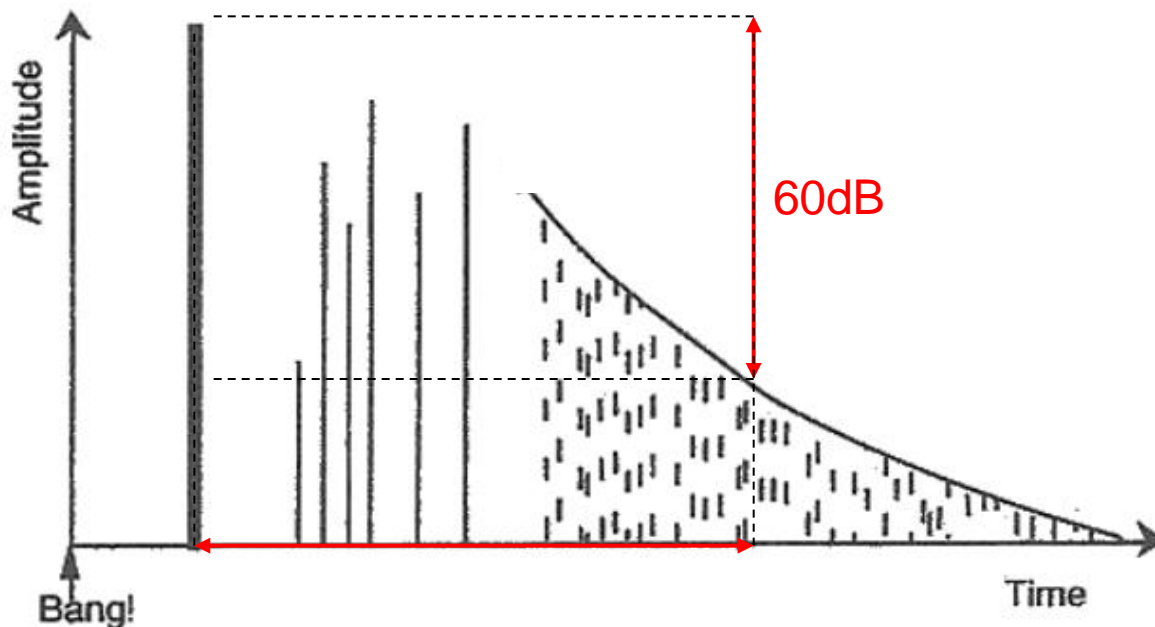


Czas pogłosu



T_{60} lub RT (reverberation time)

Czas po którym poziom pogłosu jest o 60dB niższy od natężenia bezpośredniego dźwięku.
Zależy głównie od absorpcji.





Pożądane wartości

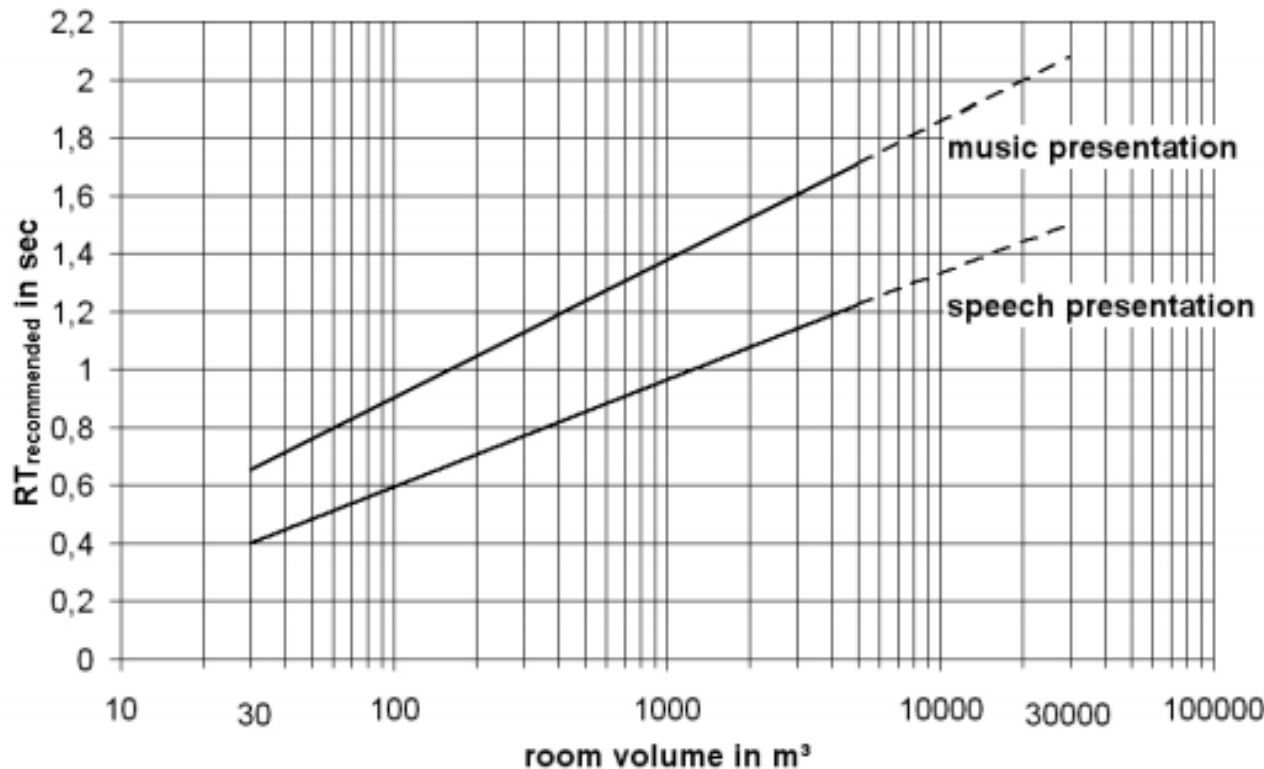


Figure 1.1: Recommended value of the mean reverberation time $RT_{\text{recommended}}$ from 500 Hz to 1000 Hz for speech and music presentations as a function of room volume V

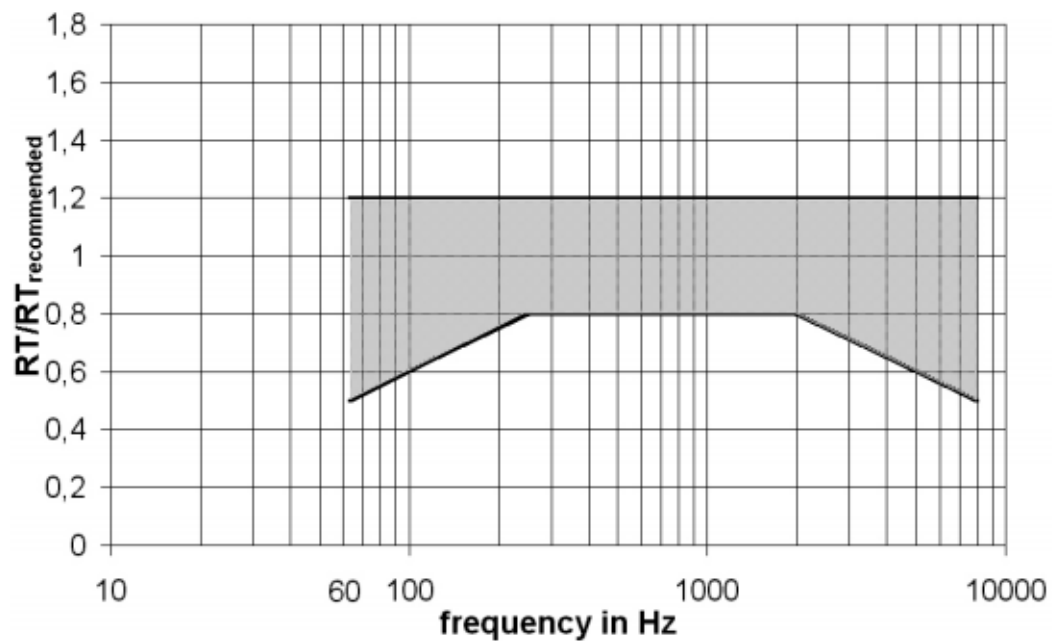


Figure 1.2: Frequency dependent tolerance range of reverberation time RT referred to $RT_{\text{recommended}}$ for speech presentations

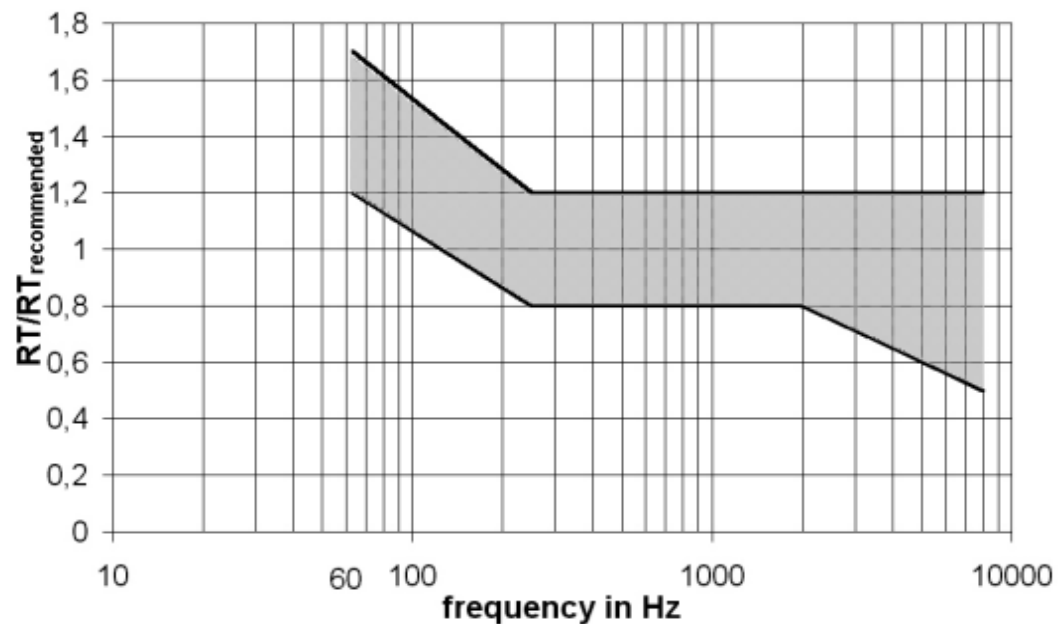


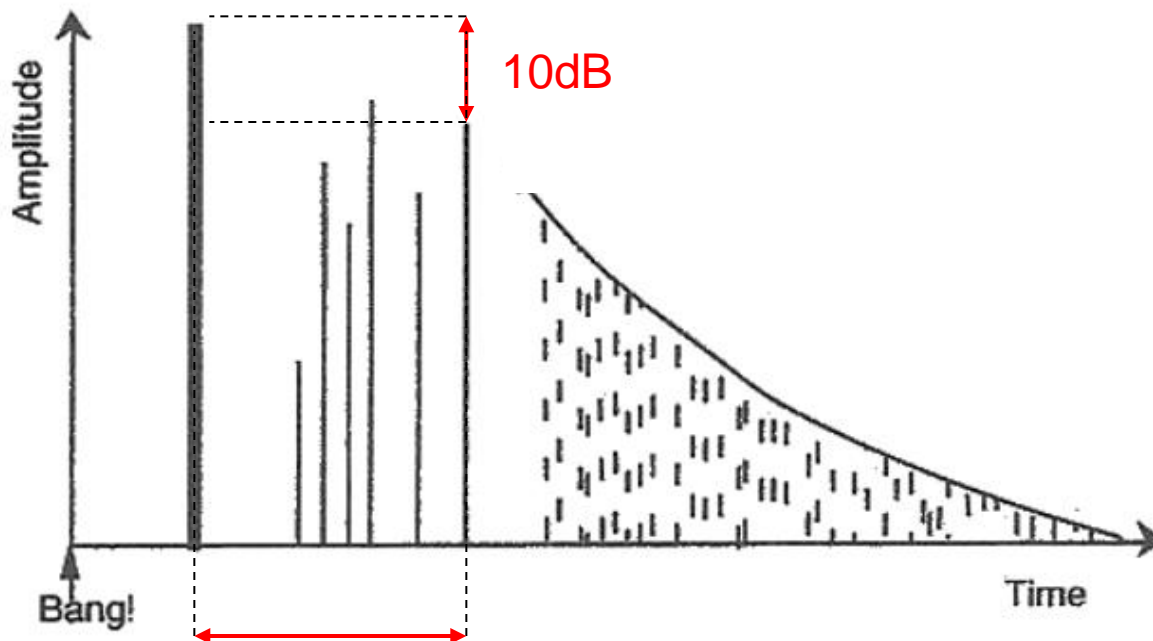
Figure 1.3: Frequency-dependent tolerance range of reverberation time RT referred to $RT_{\text{recommended}}$ for music presentations

Czas wczesnego zaniku

EDT (early decay time)



Czas po którym poziom pogłosu jest o 10dB niższy od natężenia bezpośredniego dźwięku. Zależy głównie od absorpcji i ogólnie powinien być jak najdłuższy. Istotniejszy od RT.

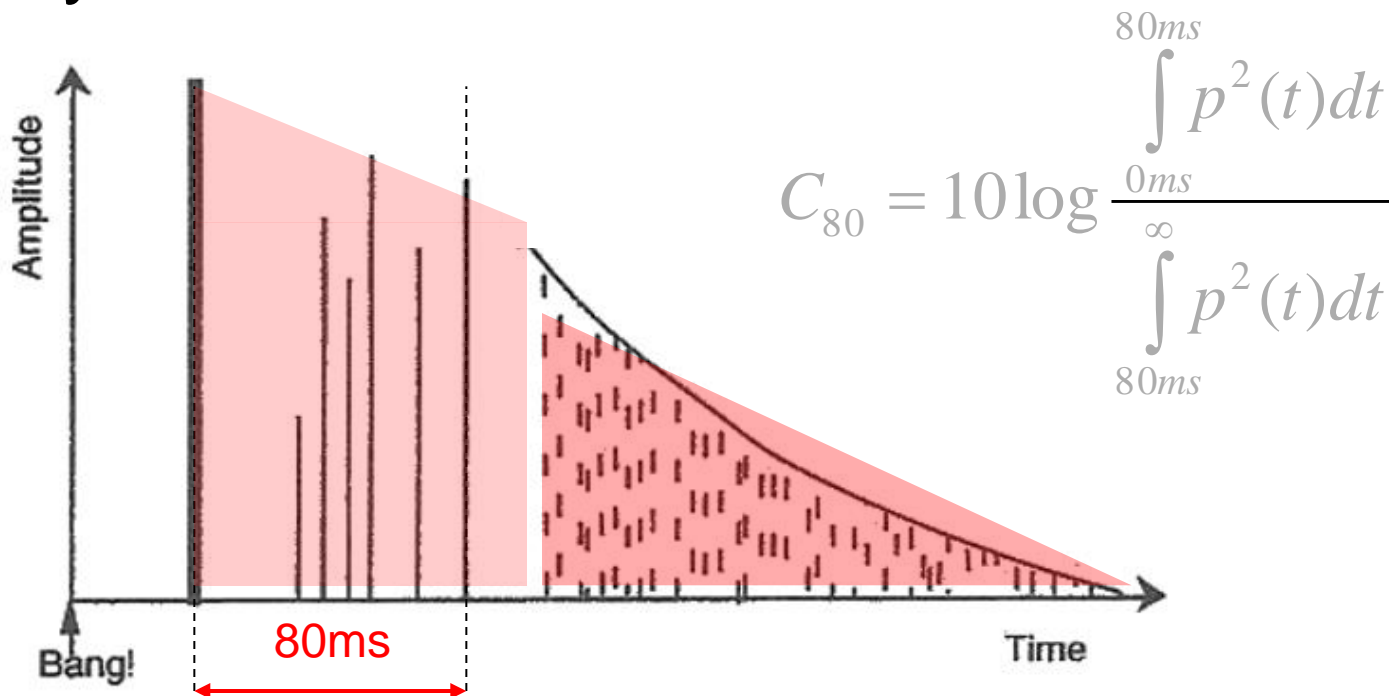


Współczynnik klarowności

C_{80} Clarity



Stosunek energii pierwszych 80ms odpowiedzi impulsowej, do pozostałej energii. Powinien być wysoki dla sali wykładowych a niższy dla koncertowych.

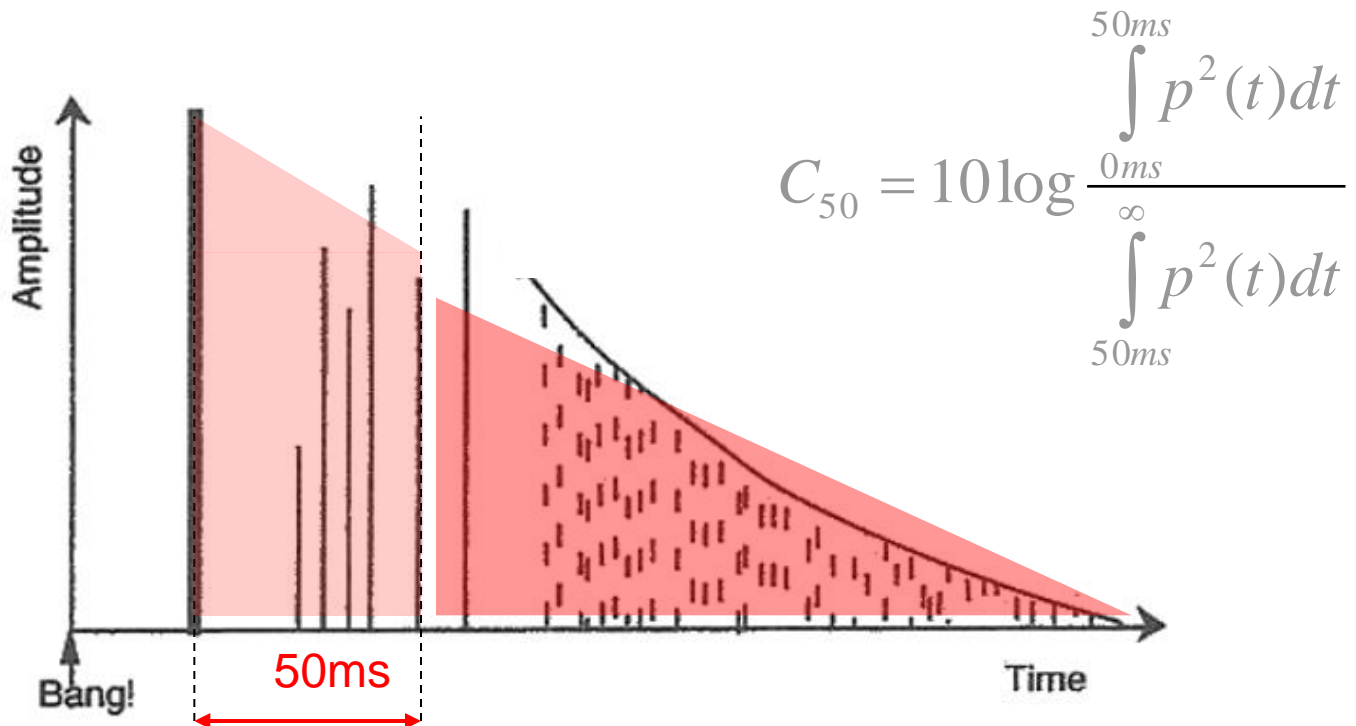


Odstęp pogłosu

C_{50} Clarity



Stosunek energii pierwszych 50ms odpowiedzi impulsowej, do pozostałej energii. Istotniejszy w przypadku sali wykładowych.

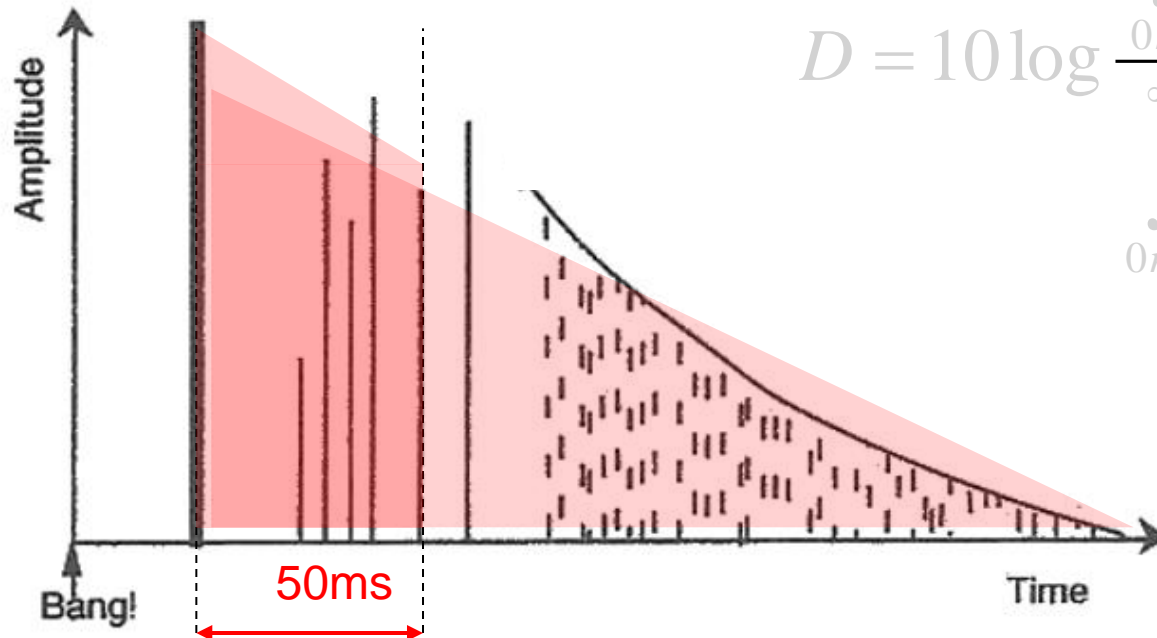


Wyrazistość

D_{50} Definition



Stosunek energii pierwszych 50ms odpowiedzi impulsowej, do **całej** energii. Istotniejszy w przypadku sali wykładowych.



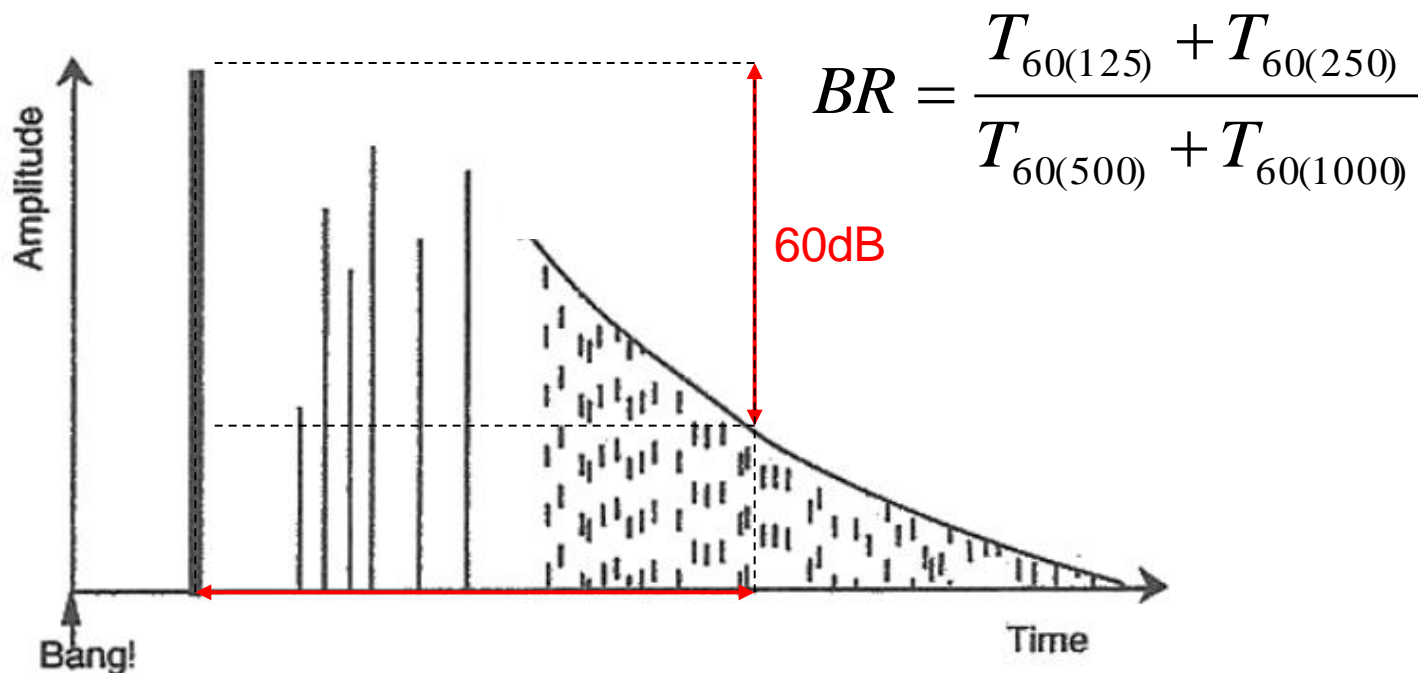
$$D = 10 \log \frac{\int_{0ms}^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) dt}$$

Stosunek basów

BR - Bass Ratio



Stosunek czasów pogłosu dla różnych częstotliwości (125, 250, 500, 1000Hz). Zależy od absorpcji i powinien być jak najwyższy, inaczej dźwięk postrzegany jest jako „zimny”.





Współczynnik międzyusznej korelacji skróśnej

IACC – interaural cross-corelation

Maksymalna wartość funkcji korelacji odpowiedzi impulsowych nagranych w lewym i prawym uchu:

$$IACF(\tau) = \frac{\int_{t_1}^{t_2} p_L(t)p_R(t+\tau)dt}{\sqrt{\int_{t_1}^{t_2} p_L^2 dt \int_{t_1}^{t_2} p_R^2 dt}}$$



Dwie wersje parametru:

$IACC_{ASW}$ - apparent source width

$t_1 = 0$ i $t_2 = 80$ ms

$IACC_{LEV}$ - listener's envelopment

$-t_1 = 80$ ms i $t_2 = 1$ s

BQI = 1-IACC – binaural quality index

Pożądane wartości – sala wykładowa



Cel: Zapewnienie możliwie najlepszej czytelności mowy w każdym miejscu sali.

Wartości:

wyrazistość $D > 0,5$

stosunek basów BR: w przedziale 1 – 1,3

odstęp pogłosu $C_{50} \geq -2$ dB



Pożądane wartości – sala koncertowa



Cel: Zapewnienie bogatego, pełnego dźwięku w każdym miejscu widowni

Wartości:

stosunek basów BR: w przedziale 0,9 – 1

współczynnik klarowności:

$$C_{80} \geq -1,6 \text{ dB}$$

muzyka klasyczna (Mozart, Haydn)

$$C_{80} \geq -4,6 \text{ dB}$$

muzyka romantyczna (Brahms, Wagner)

kompromis dla sal koncertowych:

$$C_{80} \geq -3 \text{ dB}$$

dla muzyki sakralnej:

$$C_{80} \geq -5 \text{ dB}$$



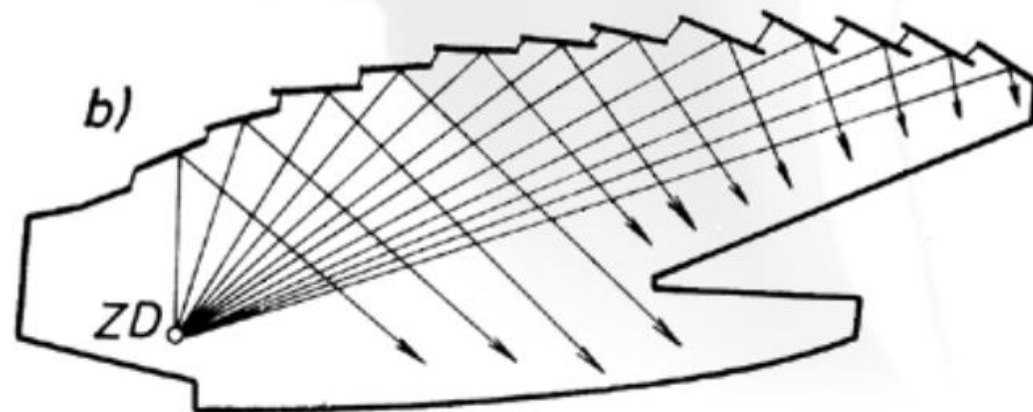
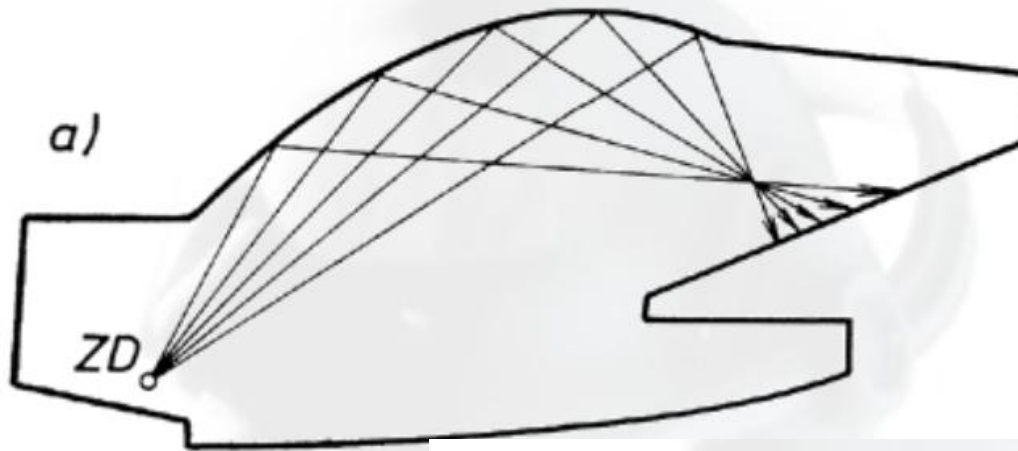
Parametr subiektywny	Opis	Powiązany parametr obiektywny
Intymność	Wrażenie bliskości źródła dźwięku.	-opóźnienie dojścia pierwszego odbicia -głośność
Żywość	Wrażenie wzbogacenia dźwięku przez pogłos	- czas pogłosu
Przestrzenność	Wielkość sceny dźwiękowej	-współczynnik korelacji skrośnej - współczynnik odbić bocznych
Klarowność	Czytelność następujących po sobie dźwięków	-czas pogłosu -współczynnik klarowności -odstęp pogłosu -wyrazistość
Ciepłość	Zawartość w pogłosie niskich częstotliwości	- stosunek basów
Dyfuzyjność	Równomierność rozpraszania dźwięku w pomieszczeniu	

Co wpływa na akustykę pomieszczenia?

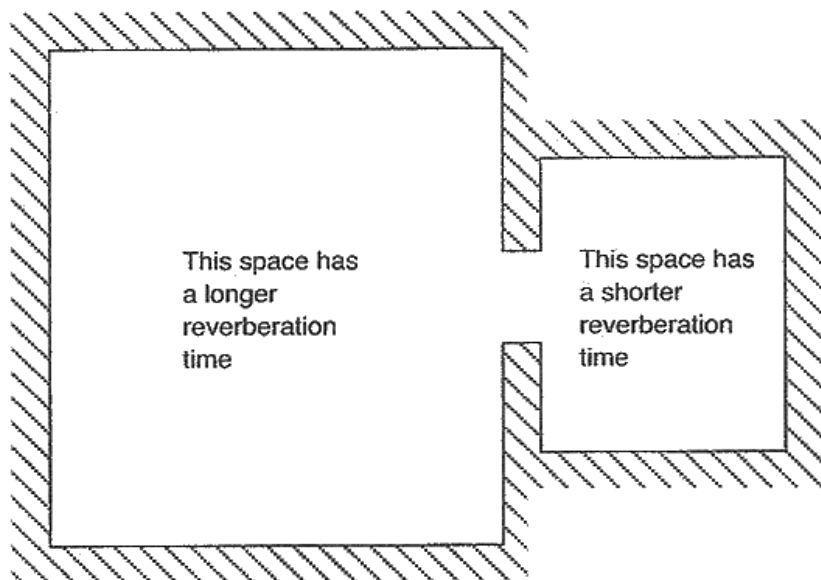
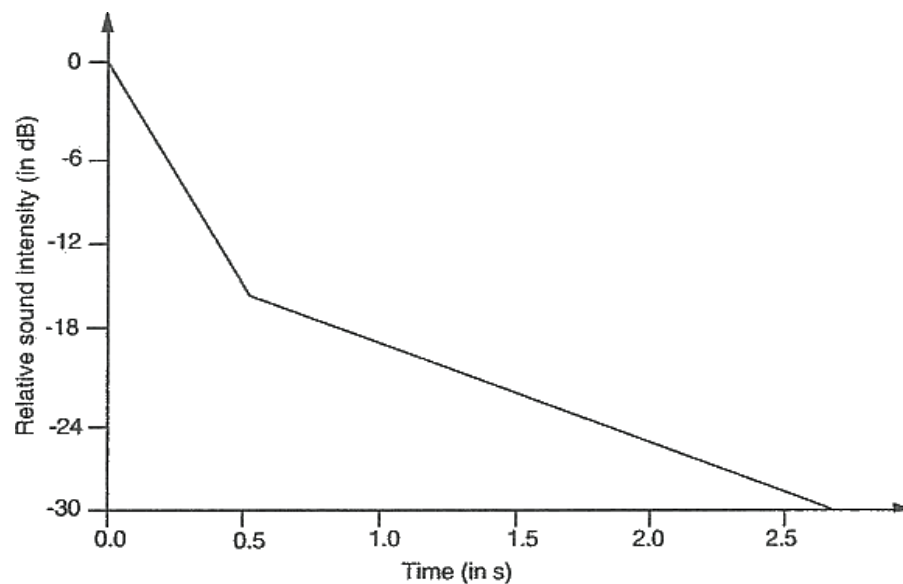
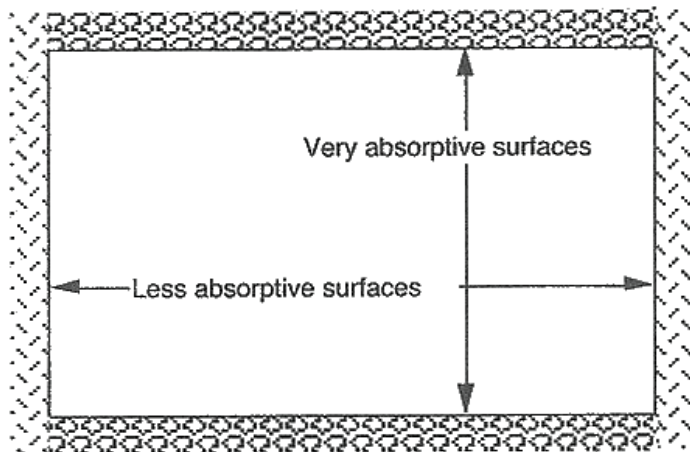


- kubatura i kształt pomieszczenia (pogłos i rezonanse)
- materiały budowlane i wykończeniowe (odbicia, rozproszenie i absorpcja)
- wilgoć i temperatura (wytłumienie)

Ogniskowanie i rozpraszanie



Nierównomierne czasy pogłosu - załamania odpowiedzi impulsowej



Rezonanse pomieszczenia – „drżenie” odpowiedzi impulsowej (flutter-echo)

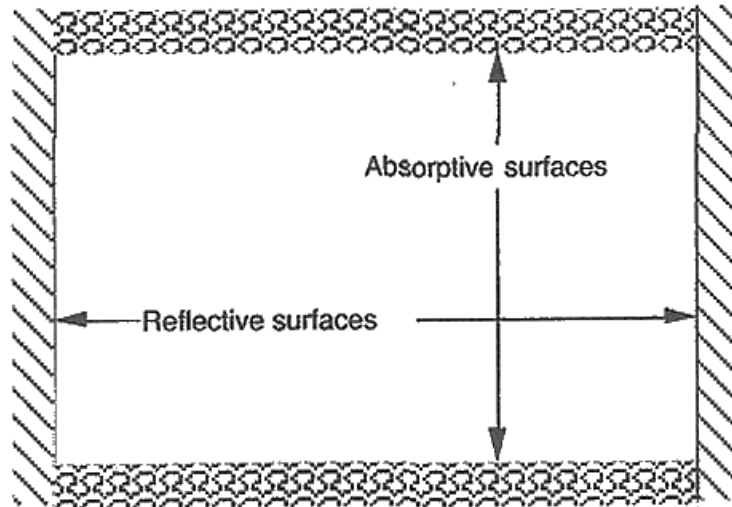
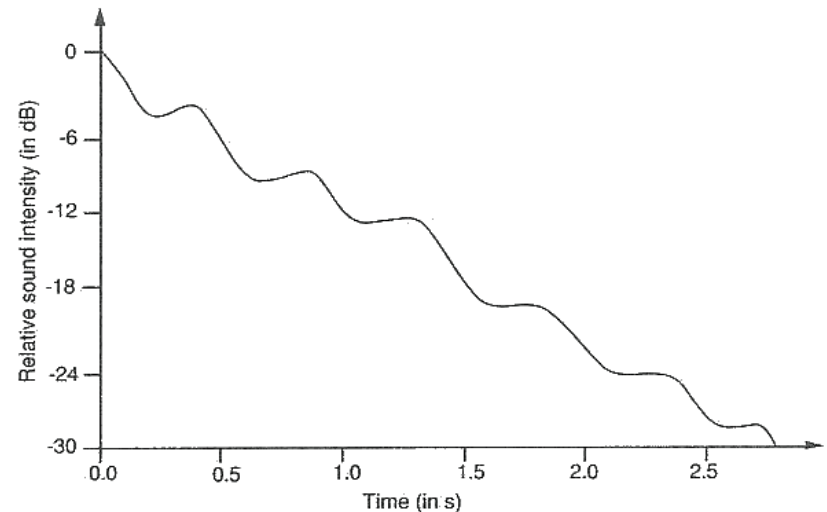


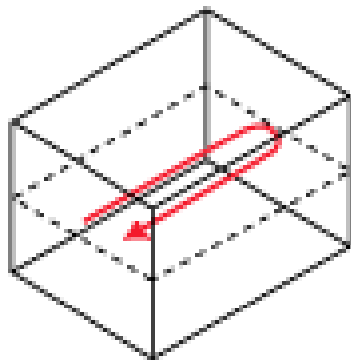
Fig 6.16 A situation which can cause flutter



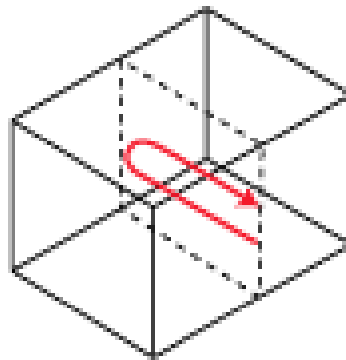


Rezonanse pomieszczenia

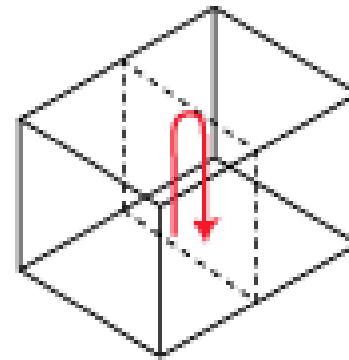
Axial Room Resonance Modes



**Length
Axis**



**Width
Axis**



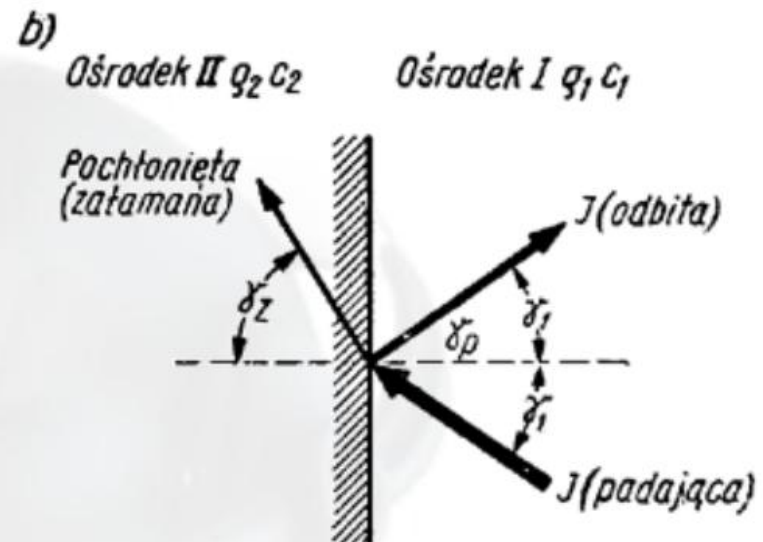
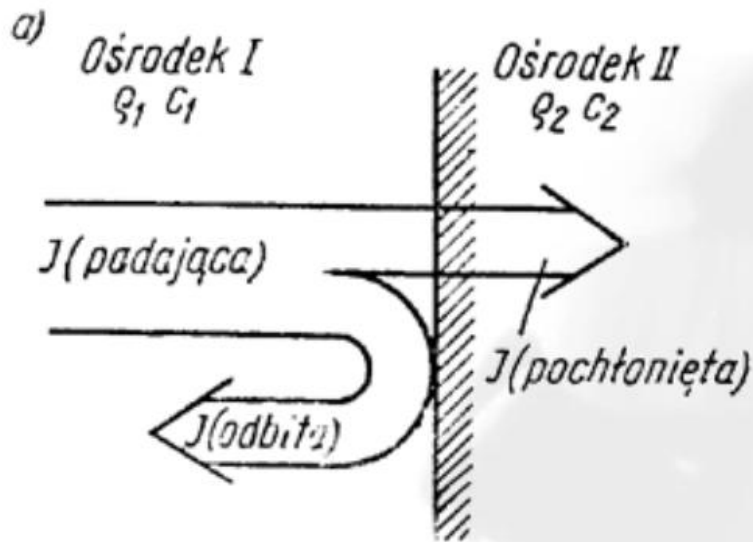
**Height
Axis**

$$F = \frac{340[m/s]}{n * 2 * D}$$

Height	Width (or Length)	Length (or Width)
1	1.4	1.9
1	1.3	1.9
1	1.5	2.2
1	1.2	1.5



Odbicie i pochłanianie (I)



Współczynnik pochłaniania

$$a = \frac{E_{\text{pochł}}}{E_{\text{pad}}} = \frac{I_{\text{pochł}}}{I_{\text{pad}}}$$

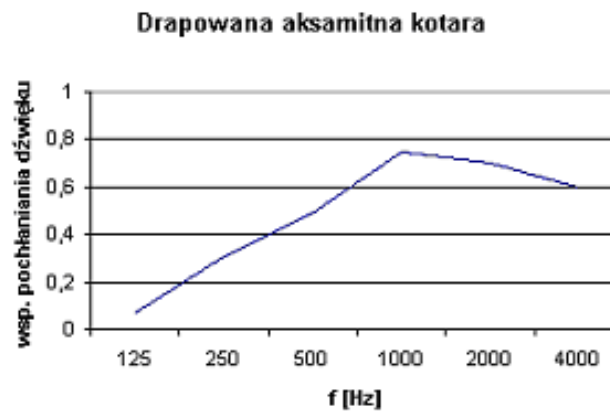
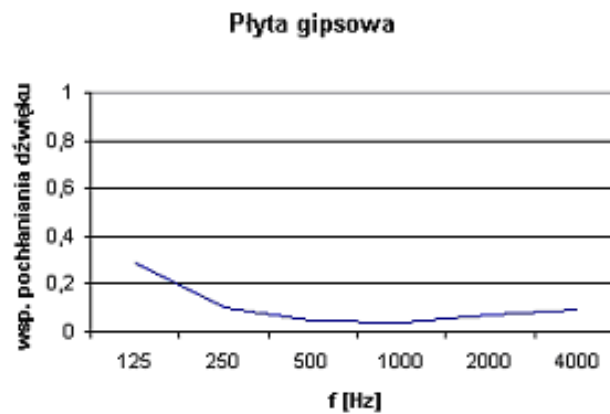
Współczynnik odbicia

$$b = \frac{E_{\text{odb}}}{E_{\text{pad}}} = \frac{I_{\text{odb}}}{I_{\text{pad}}}$$

$$a + b = 1$$



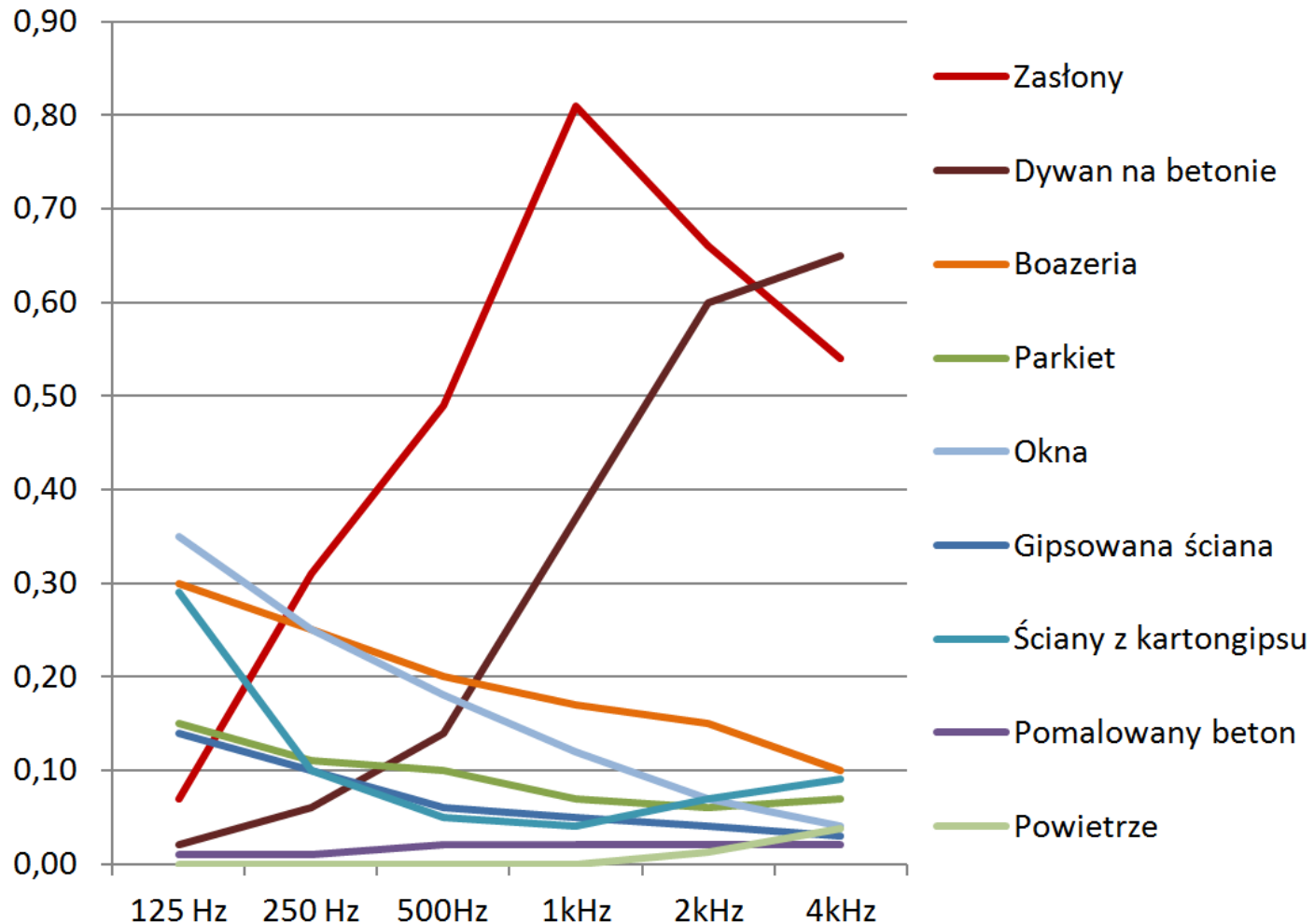
Odbicie i pochłanianie (II)



wykresy na podstawie F. Alton Everest: „Master Handbook of Acoustics”



Współczynniki absorpcji



Metody pomiarów



- Niezbędny sprzęt pomiarowy
 - głośnik (możliwie punktowe, wszechkierunkowe źródło dźwięku)
 - mikrofon pomiarowy
 - układ rejestrujący i analizujący



źródło:

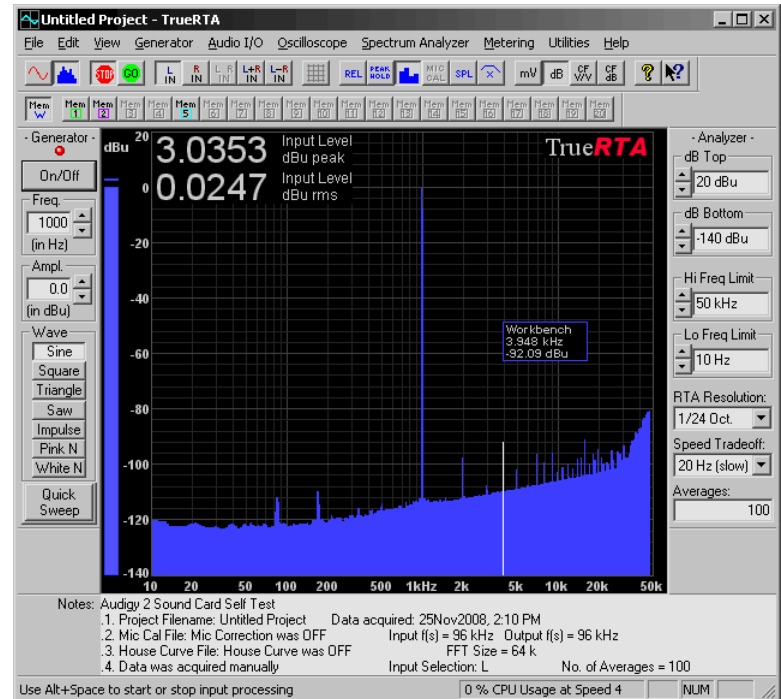
<http://www.ubergizmo.com/2005/03/dodecahedron-speakers-provide-omni-directional-acoustics/>

Analiza danych



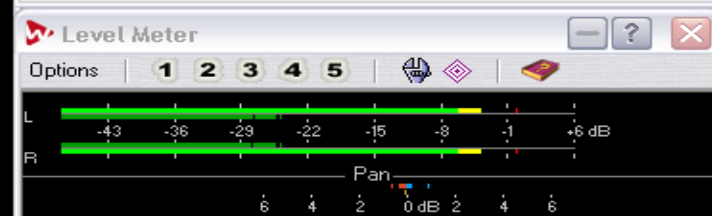
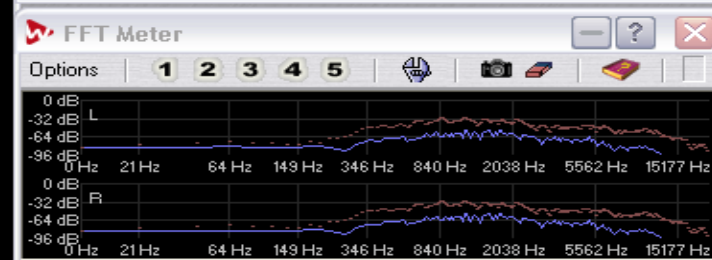
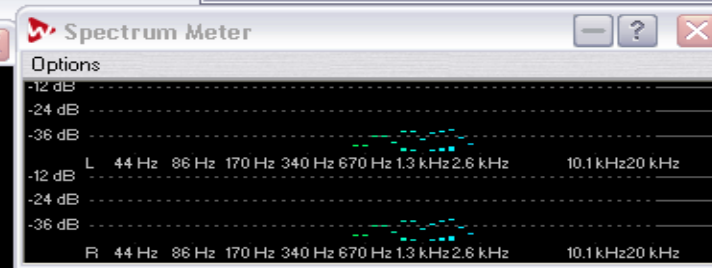
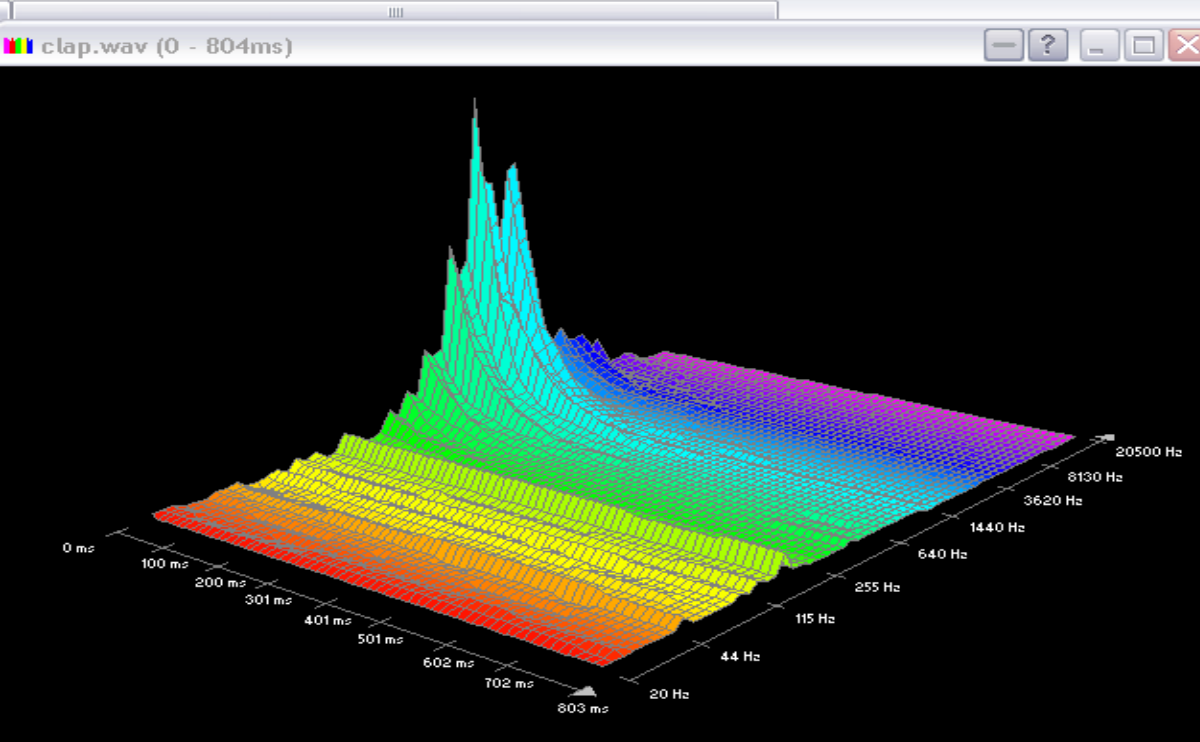
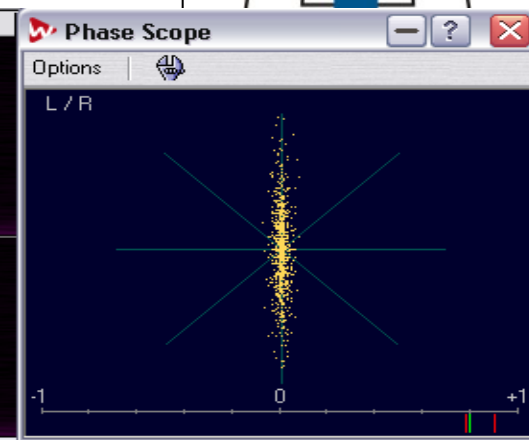
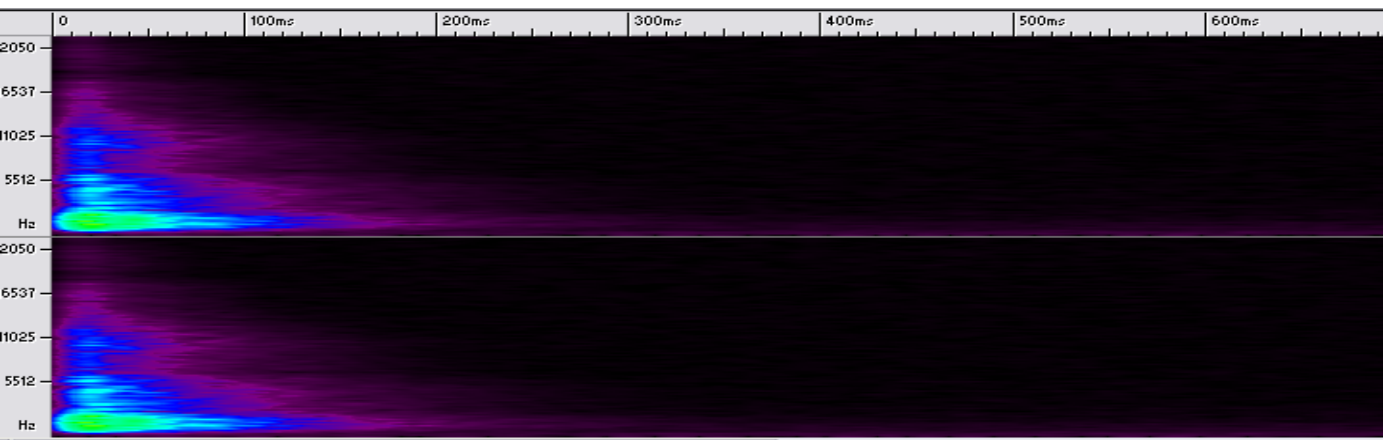
- w czasie rzeczywistym
- analiza nagranej odpowiedzi pomieszczenia na pobudzenia sygnałami

Okno programu True RTA - przykładowego narzędzia do pomiarów akustycznych.



Przykłady narzędzi pomiarowych w programach do obróbki dźwięku.

Rysunek przedstawia narzędzia zawarte w programie WaveLab firmy Steinberg.



Etapy pomiarów:



1. określenie gabarytów pomieszczenia, scharakteryzowanie użytych w nim materiałów budowlanych i wykończeniowych, w tym także ustrojów akustycznych
2. określenie oczekiwanych wartości parametrów, w zależności od przeznaczenia pomieszczenia
3. wyznaczenie punktów pomiarowych
4. zarejestrowanie materiałów dźwiękowych zgodnie z normą PN-EN ISO 3382, przy jednoczesnym monitorowaniu wybranych parametrów w czasie rzeczywistym
5. wyznaczenie parametrów na podstawie zarejestrowanych dźwięków
6. opracowanie wyników pomiarów, porównanie ich z wartościami otrzymanymi w pkt. 2.

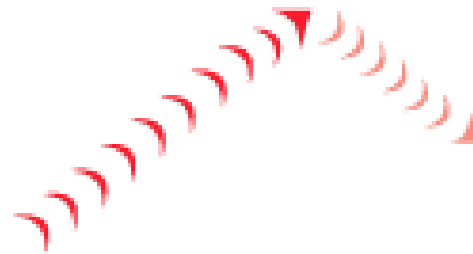
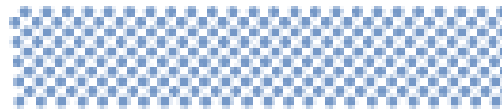
Poprawianie akustyki pomieszczenia:



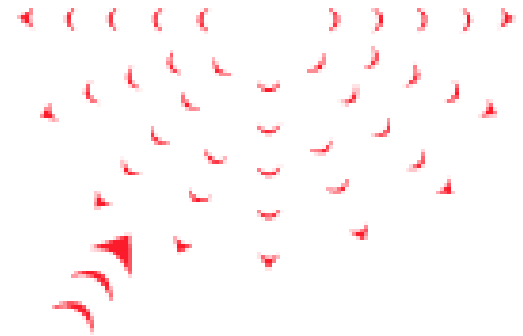
Odbicia



Absorpcja



Rozproszenie



Geometria pomieszczenia

Absorbery

Rozpraszacze



Geometria pomieszczenia

Kluczowa w eliminacji „drżeń”

- wyliczanie rezonansów w celu wzmocnienia basów

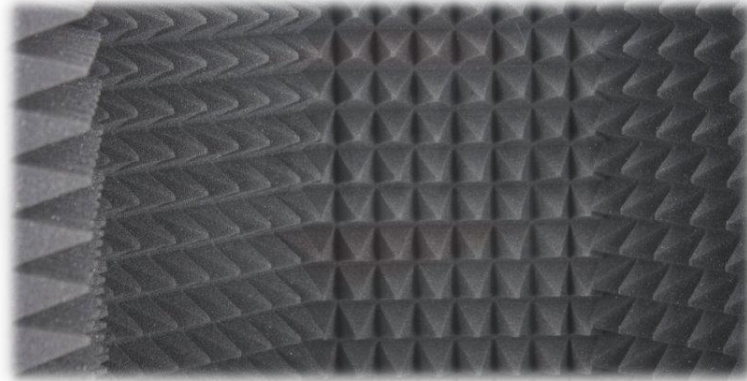
- usunięcie równoległych płaszczyzn (np. pochylony sufit)

- usunięcie par przeciwległych odbijających płaszczyzn (poprzez absorpcję lub dyfuzję)

Height	Width (or Length)	Length (or Width)
1	1.4	1.9
1	1.3	1.9
1	1.5	2.2
1	1.2	1.5



Absorbery



Umieszcza się je:

- za głośnikami
- w narożnikach pokoju (bass-traps)
- na jednej z równoległych płaszczyzn odbijających
- w punktach pierwszych odbić

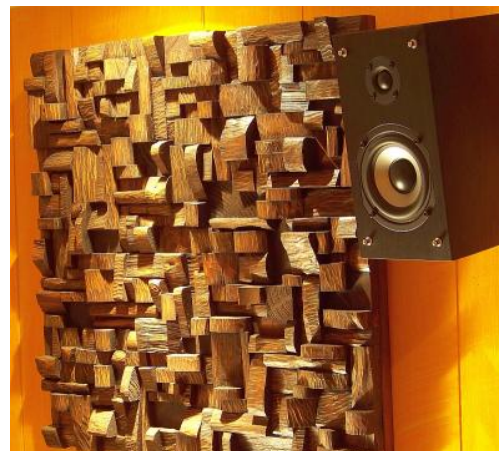
Przykłady:

- dywany/wykładziny
- zasłony
- specjalistyczne panele gąbkowe (stożkowe)
- wytłoczki po jajkach (z pianką montażową)
- duże miękkie meble (np. fotel w rogu)



Dyfuzory

- zalecane w dużych pokojach
- na ścianie za głośnikami lub instrumentami
- alternatywa dla absorberów gdy bardzo chcemy wydłużyć czas pogłosu
- specjalistyczne drewniane kostki
- półki z książkami



Metoda lusterka

