

Dyfuzory

ustroje rozpraszające dźwięk

Wprowadzenie

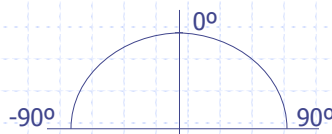
- ◆ czynniki mające wpływ na rozchodzenie się dźwięku w pomieszczeniach:
 - absorpcja
 - odbicia
 - rozpraszanie

Historia

- ◆ dawniej wykorzystywane rzeźby i ornamenty
 - zbyt selektywna odp. częstotliwościowa
 - wysokie koszty
- ◆ w wielu XX-wiecznych pomieszczeniach wykorzystano jedynie duże płaskie powierzchnie mające na celu odpowiednie skierowanie dźwięku, przy minimalnym rozproszeniu dźwięku
- ◆ w latach 70-tych XX. wieku Schroeder publikuje założenia metody pozwalającej na projektowanie dyfuzorów
 - quadric residue (QRD)
 - primitive root

Wprowadzenie

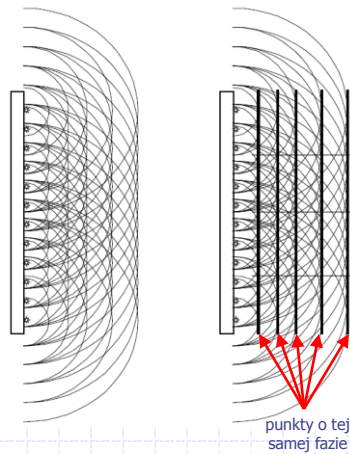
- ◆ idealny dyfuzor
 - płaska charakterystyka w funkcji częstotliwości
 - ◆ nie podbarwia dźwięku
 - ◆ nie tworzy się filtr grzebieniowy
 - niezmienna charakterystyka w funkcji kąta odbicia



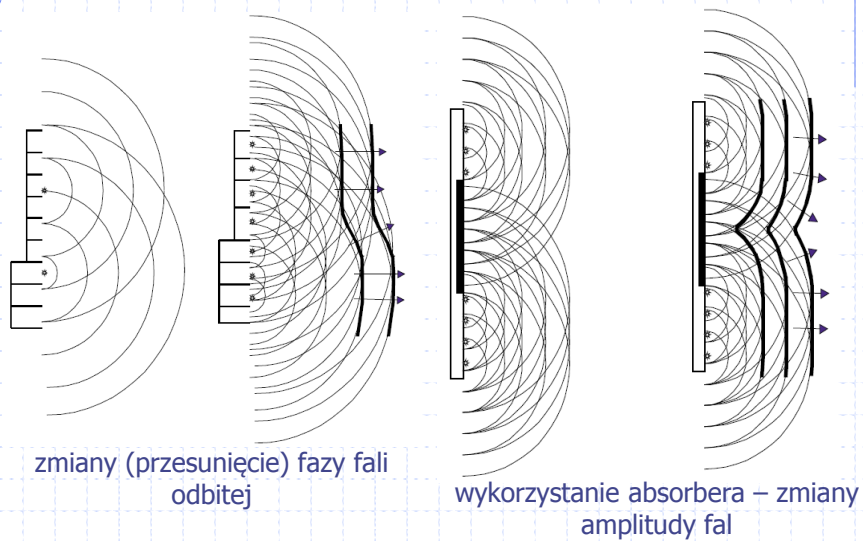
- dyspersja czasowa

Rozpraszanie

◆ zasada Huygensa



Rozpraszanie



Rodzaje dyfuzorów

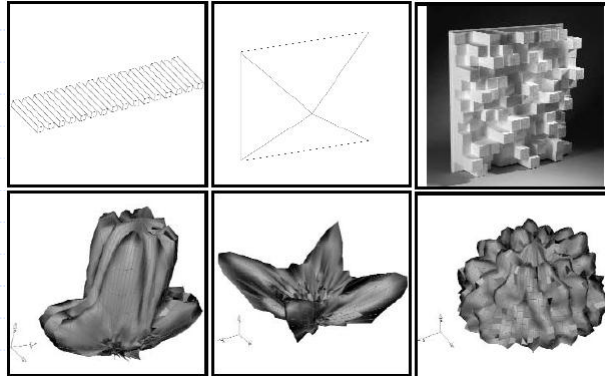
- ◆ dyfuzor płaszczyznowy (1D)
 - powierzchnia o typowo anizotropowych właściwościach
 - zmiany fazy lub amplitudy zachodzą tylko w jednym kierunku
 - fala wynikowa ma kształt półwalca
- ◆ dyfuzor sferyczny (2D)
 - powierzchnia o właściwościach izotropowych
 - rozpraszają dźwięk wszechkierunkowo
 - energia fali w danym kierunku jest dwukrotnie mniejsza niż w przypadku zastosowania dyfuzora 1D



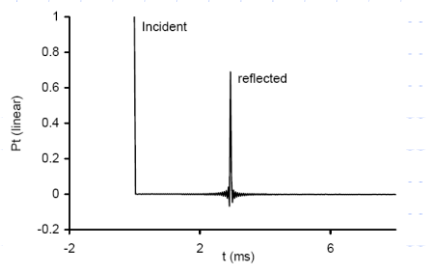
Zastosowania

- ◆ eliminacja echa od ściany tylnej
- ◆ zwiększenie odbić
- ◆ polepszenie słyszalności między muzykami
- ◆ realizacja pomieszczeń LEDE
- ◆ poprawa zrozumiałości mowy (głównie w obiektach sakralnych)
- ◆ poprawa obrazu dźwiękowego w przypadku systemów odsłuchowych 5.1

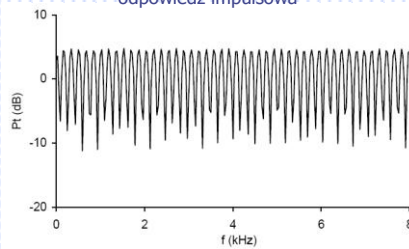
Dyfuzory (?)



Przykład (negatywny)

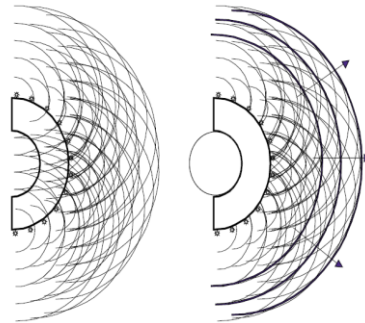
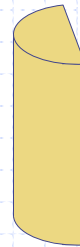


odpowiedź impulsowa

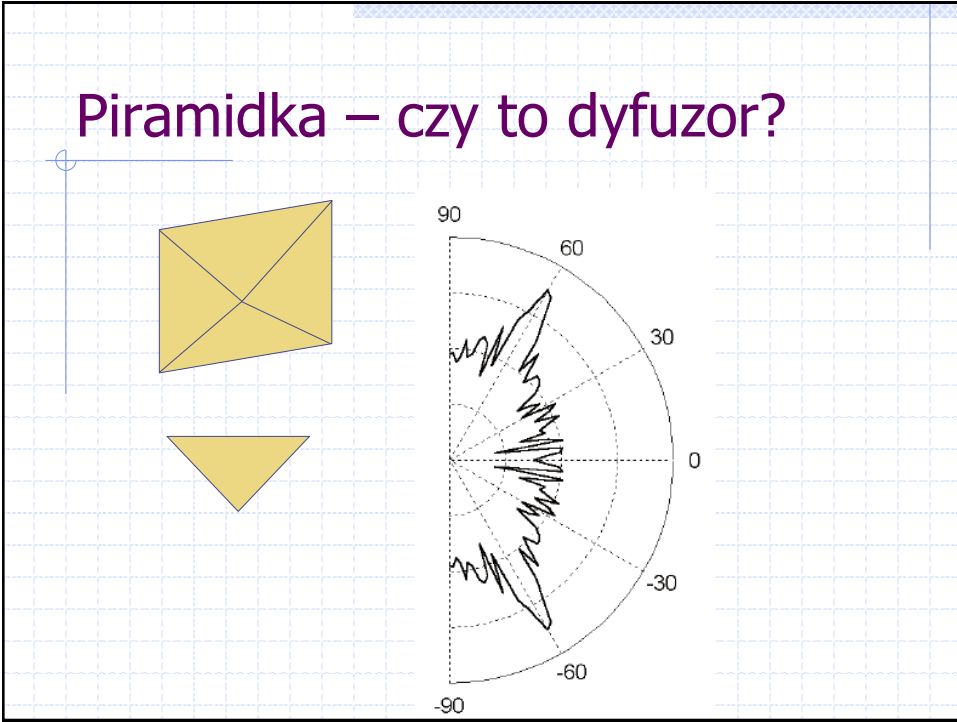


odpowiedź częstotliwościowa

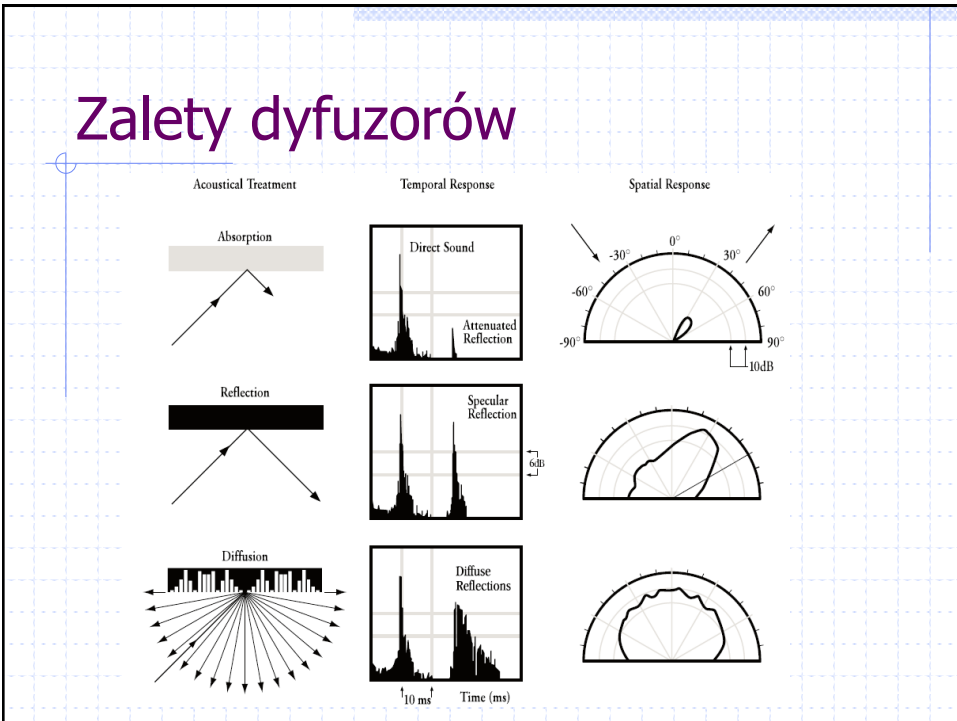
◆ odbicie od półcyindra



Piramidka – czy to dyfuzor?

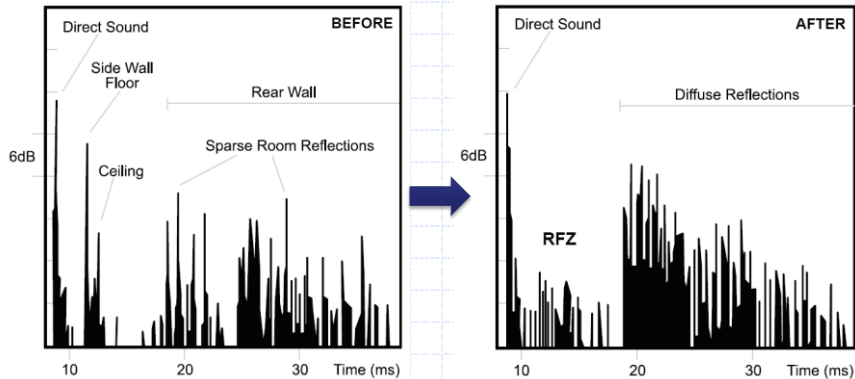


Zalety dyfuzorów



Zalety dyfuzorów

- ◆ pomieszczenie, w którym boczne ściany, podłoga i sufit zostały wytłumione (nie ma odbić -> RFZ *Reflection Free Zone*), tylna ściana z dyfuzorem



Parametry

- ◆ zdolność rozpraszania jest opisywana przez
 - współczynnik dyfuzyjności – związany z kierunkowością
 - współczynnik rozproszenia – określa aspekt energetyczny

Współczynnik dyfuzji

- ◆ kierunkowy współczynnik dyfuzji
 - miara jednorodności dyfuzji powierzchni dla jednej pozycji źródła
 - mieści się w przedziale (0,1)
 - ◆ całkowita dyfuzja -> $d\theta=1$
- ◆ współczynnik dyfuzji $d\theta_{1,2,\dots,n}$
 - miara jednorodności dyfuzji powierzchni dla więcej niż jednej pozycji źródła
- ◆ współczynnik dyfuzji losowego padania
 - miara jednorodności dyfuzji dla reprezentatywnego zbioru pozycji źródeł w półokręgu dla dyfuzora płaszczyznowego lub w półsfery dla dyfuzora sferycznego

Współczynnik rozproszenia

- ◆ określa wielkość energii ulegającej rozproszeniu
- ◆ Mommertz i Vorlander zaproponowali definicję współczynnika rozproszenia jako stosunek wartości energii rozproszonej do wartości całkowitej energii odbitej
- ◆ zakładając, że padający promień ma energię równą E , energia rozproszona będzie wynosić $(1-\alpha)\delta E$ natomiast energia odbicia bezpośredniego $(1-\alpha)(1-\delta)E$, gdzie α - współczynnik absorpcji zaś δ - współczynnik dyfuzyjności. Całkowita energia odbita $(1-\alpha)E$

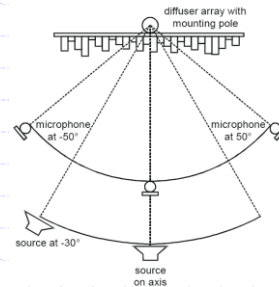
$$\delta = \frac{[(1-\alpha) - (1-\alpha)(1-\delta)]E}{(1-\alpha)E} = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{tot}}$$

gdzie: E_{spec} – energia odbicia bezpośredniego, E_{tot} – całkowita energia odbicia

Metody wyznaczania wsp. rozproszenia

◆ metoda pola swobodnego

- pomiar odpowiedzi impulsowych dla danego kąta elewacji przy zmianach kąta azymutu o 5 stopni
- uśrednianie dla kilku wartości kąta elewacji
- stosując metodę okna prostokątnego można wyodrębnić fragmenty odpowiadające za dźwięk bezpośredni oraz odbicia



Metody wyznaczania wsp. rozproszenia

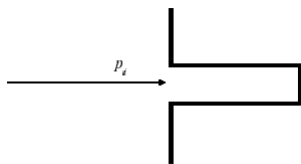
◆ metoda wykorzystująca komorę bezechową

- mierzone są impulsowe odpowiedzi pomieszczenia
- źródło oraz odbiornik znajdują się w ustalonych pozycjach natomiast obracana jest badana powierzchnia.
- zakładając płaską powierzchnię oraz idealne warunki, kolejne zmierzone odpowiedzi impulsowe są ze sobą silnie skorelowane; badając natomiast silnie nierówne powierzchnie, można zauważyć, że ich korelacja jest coraz mniejsza.

Metody projektowania

- ◆ teoria liczb
- ◆ fraktale
- ◆ teorie telekomunikacyjne (modulacja)
- ◆ TDS (time-delay spectometry)
- ◆ DSP (FFT, transformata Hadamarda)

Dyfuzory MLS (Maximum Length Sequence)



$$\varphi = 4\pi \frac{d_n}{\lambda}$$

φ – przesunięcie fazy (w radianach)

d_n – głębokość zagłębienia

λ – długość fali

założenie: współczynnik odbicia = 1

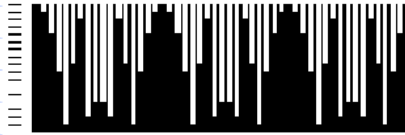


zagłębienie ma współczynnik odbicia oznaczony „-”

płaską powierzchnia ma współczynnik odbicia oznaczony „+”

główna wada: wąskopasmowe

Dyfuzory QRD

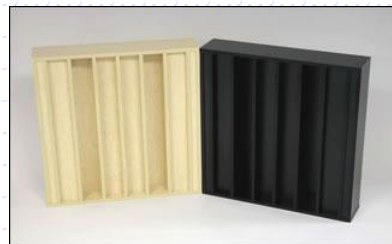


- ◆ główny wzór: $s_n = n^2, \text{mod}(N)$
 - s_n – sekwencja głębokości
 - n – kolejny numer zagłębienia (0, 1, 2, 3...)
 - N – liczba pierwsza
- ◆ np. 5, $\text{mod}(3) = 2$
- ◆ dla $N=17 \rightarrow 0, 1, 4, 9, 16, 8, 2, 15, 13, 13, 15, 2, 8, 16, 9, 4, 1, 0, 1, 4, 9, 16, 8, 2, 15...$

$$d_n = s_n \frac{\lambda_0}{2N} \quad w = 0,137\lambda_0$$

- ◆ pasmo: pół oktawy poniżej częstotliwości projektowej do $\lambda > 2w$

Przykłady

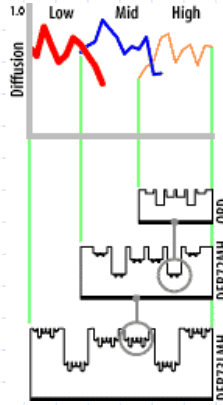


Dyfuzory QRD (Quadratic Residue)

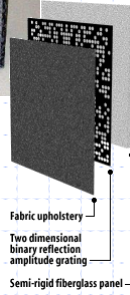
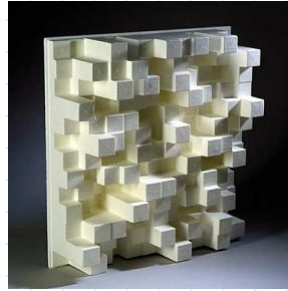
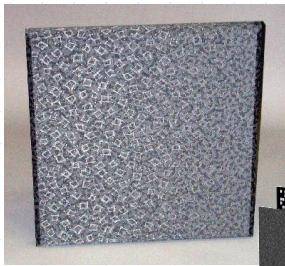
Przykłady



Dyfuzor fraktalny – DIFFRACTAL



Przykłady



Więcej przykładów: <http://www.silentsource.com/index.html>

Dyfuzory typu „optimized curved diffusors”

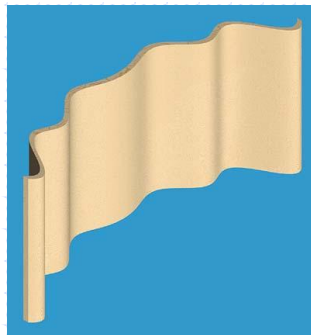
- ◆ Chcąc uzyskać z jednej strony dobre parametry akustyczne, a z drugiej odpowiednie walory estetyczne projektując powierzchnie o arbitralnym kształcie stosuje się również techniki optymalizacji oraz predykcji. Wiąże się to z wykorzystaniem powierzchni zakrzywionych oraz odpowiednim kształtowaniem sklepień sufitów.

$$x(y) = s \left[\sum_{p=1}^n a_p \cos\left(\frac{p\pi y}{2h}\right) - d \right]$$

gdzie: $2h$ – szerokość, $x(y)$ – przemieszczenie w stosunku do płaszczyzny panelu, d - odchylenie, s – centrowanie

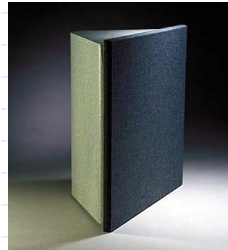
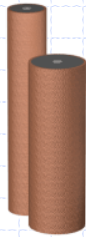
Dyfuzory typu „optimized curved diffusors”

- często wykorzystywane w salach koncertowych, spełniają bowiem wymagania estetyczne
- mogą służyć do niwelowania zjawiska ogniskowania się fal w przypadku wklęsłych sufitów
- inne zastosowanie: akustyczna ochrona dla orkiestry i chóru



Pułapki basowe

- początkowo stosowane w studiach nagraniowych, jednak zaczęto je również stosować w kościołach z bardzo dobrymi efektami
- główne cechy
 - umiejscowiony w narożnikach zbiera wszystkie niskie częstotliwości, jednocześnie nie redukując pasma wyższych częstotliwości
- stosowanie pułapek basowych zapewnia pozostawienie wysokich częstotliwości przy równoczesnym rozwiązaniu problemu niskich.



Zastosowanie

Inne zastosowania:

<http://www.rpginc.com/commercial/projects/index.htm>

