

Dyfuzory

ustroje rozpraszające dźwięk

Wprowadzenie

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

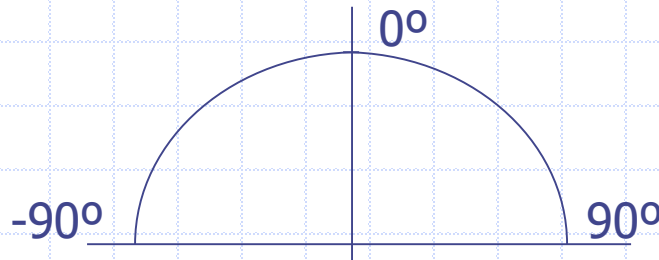
Historia

- ◆ 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

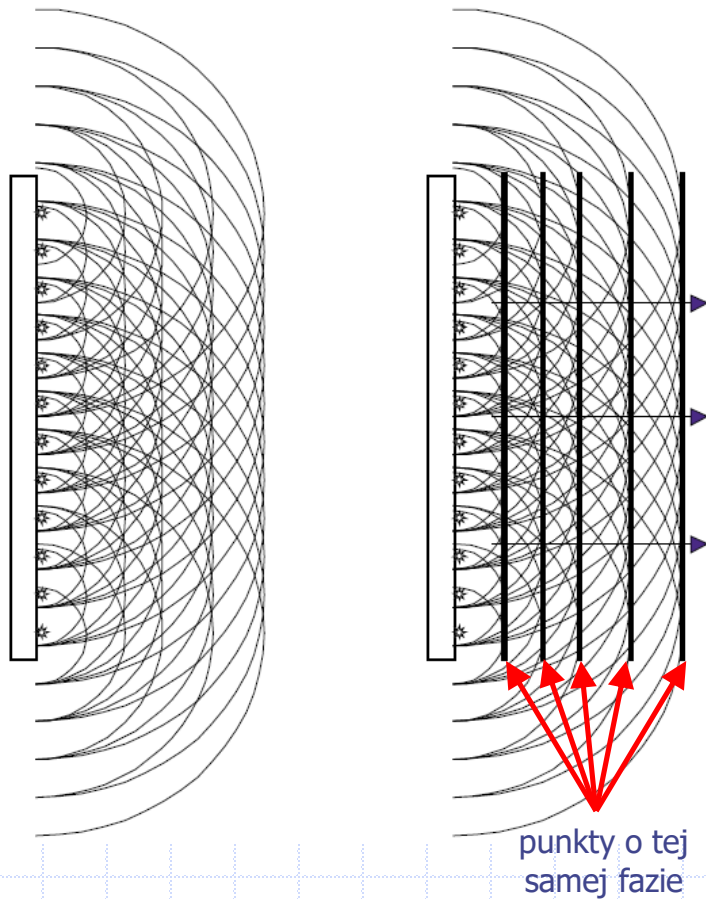
- płaska charakterystyka w funkcji częstotliwości
 - ◆ nie podbarwia dźwięku
 - ◆ nie tworzy się filtr grzebieniowy
- niezmienna charakterystyka w funkcji kąta odbicia



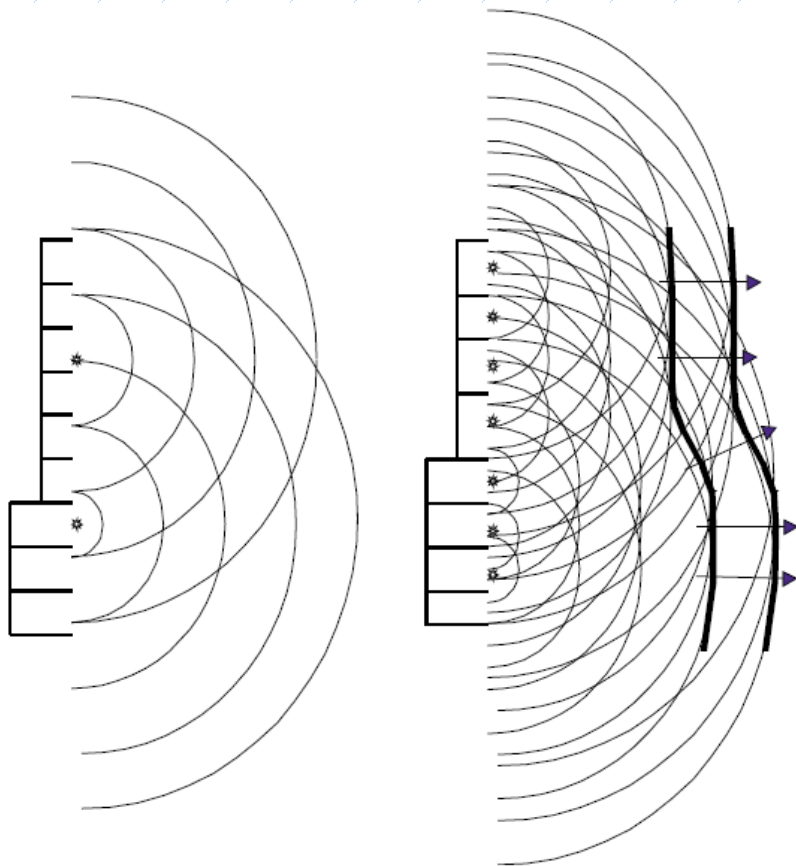
- dyspersja czasowa

Rozpraszanie

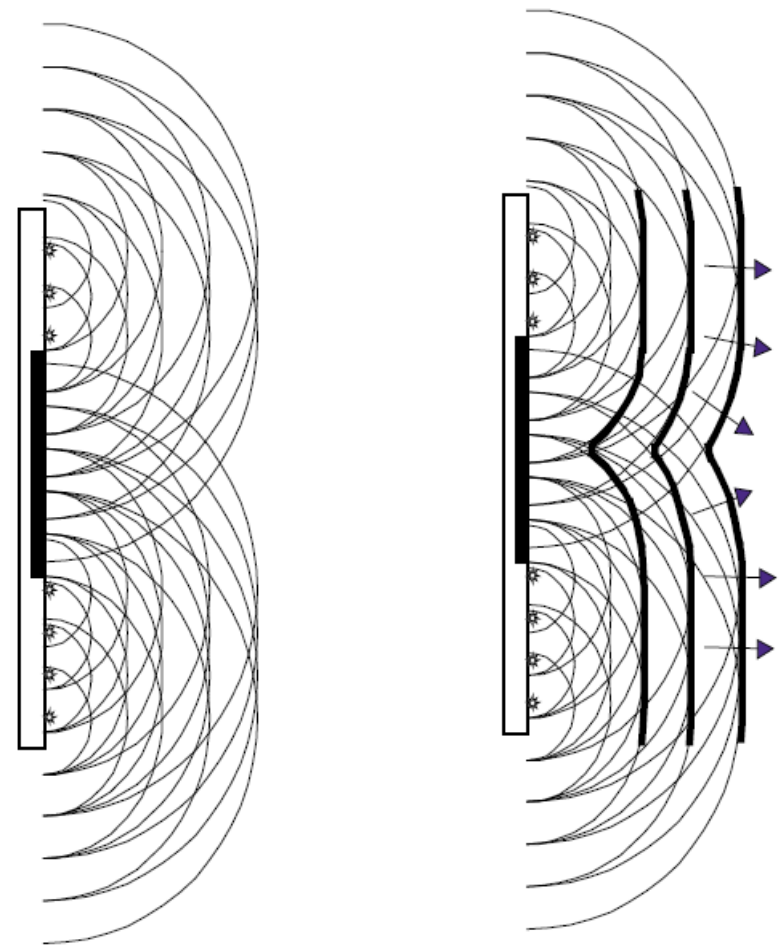
◆ zasada Huygensa



Rozpraszanie



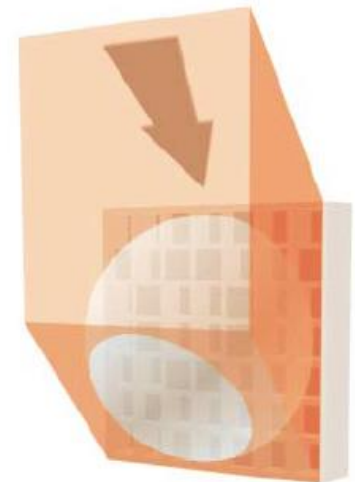
zmiany (przesunięcie) fazy fali odbitej



wykorzystanie absorbera – zmiany amplitudy fal

Rodzaje dyfuzorów

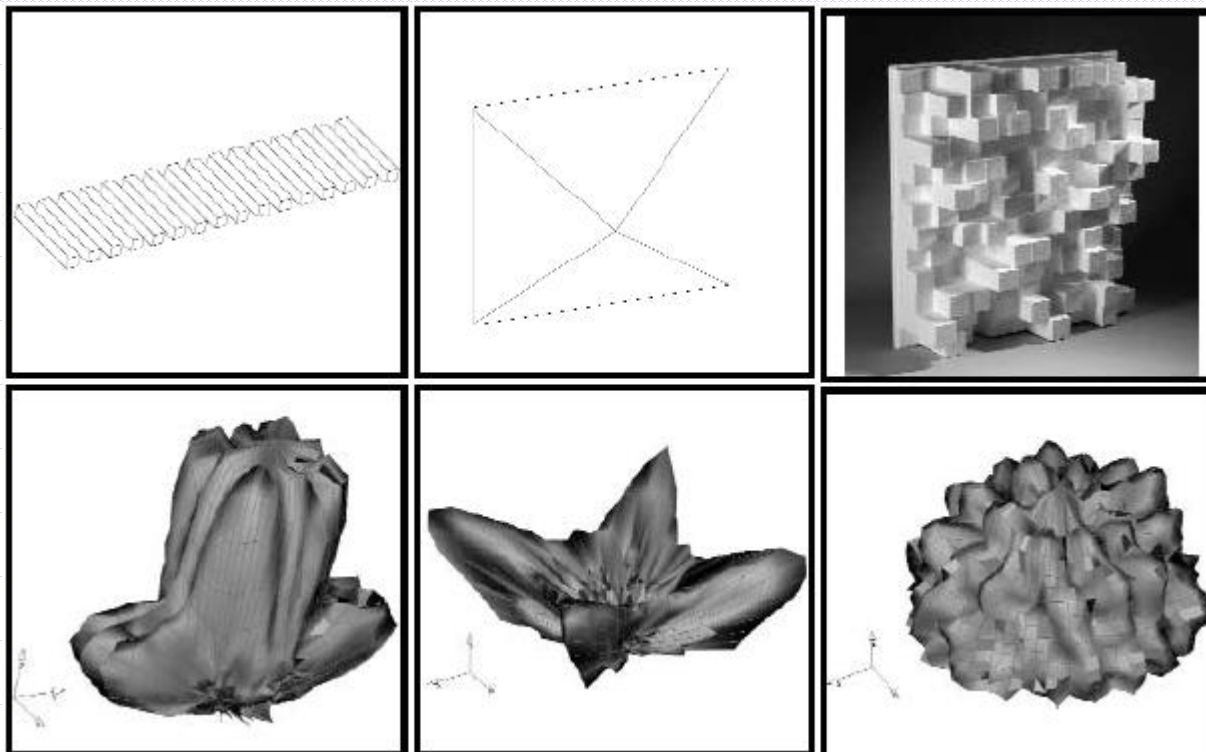
- ◆ dyfuzor płaszczyznowy (1D)
 - powierzchnia o typowo anizotropowych właściwościach
 - zmiany fazy lub amplitudy zachodzą tylko w jednym kierunku
 - fala wynikowa ma kształt półwalca
- ◆ dyfuzor sferyczny (2D)
 - powierzchnia o właściwościach izotropowych
 - rozpraszają dźwięk wszechkierunkowo
 - energia 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

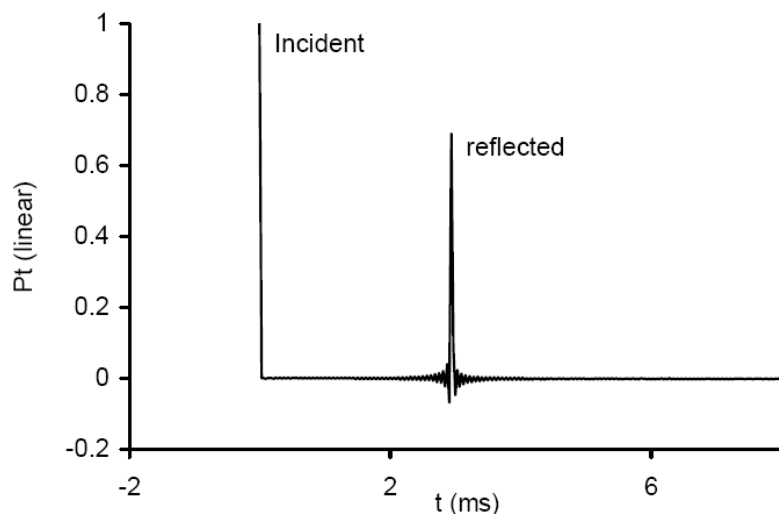
Dyfuzory (?)



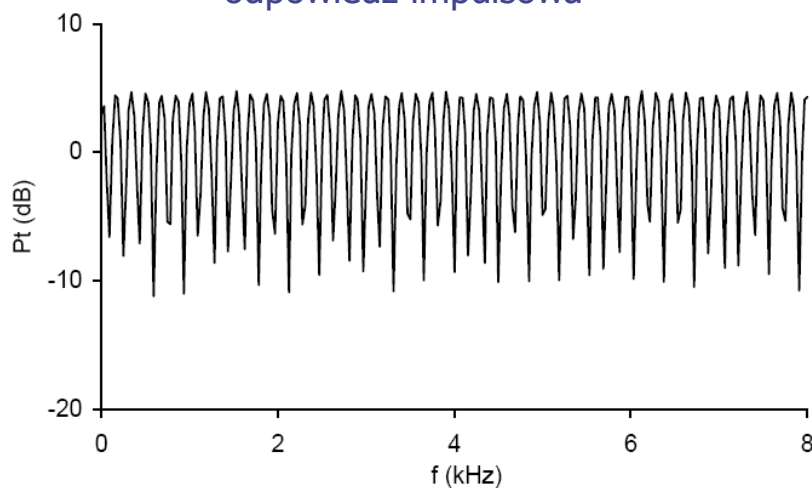
Przykład (negatywny)



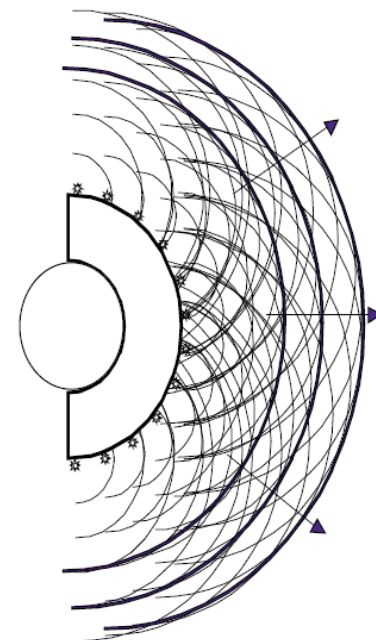
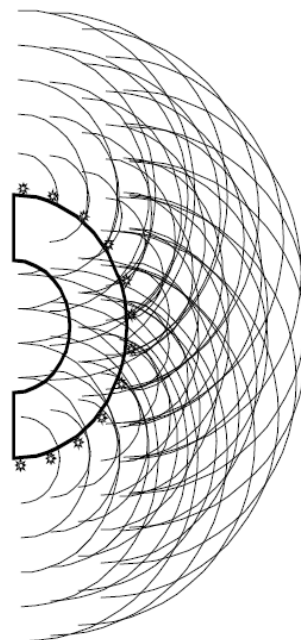
◆ odbicie od półcyindra



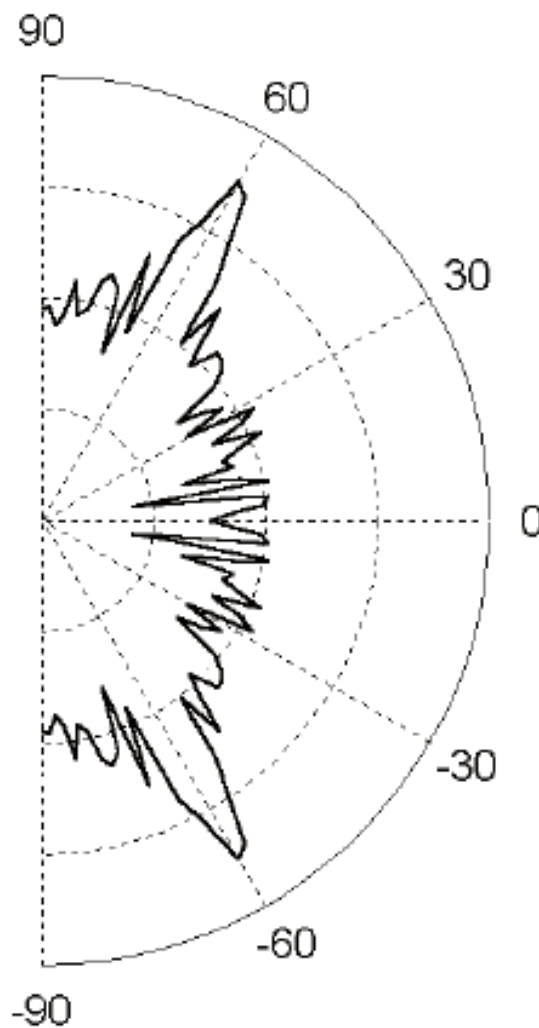
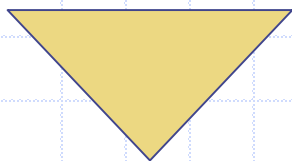
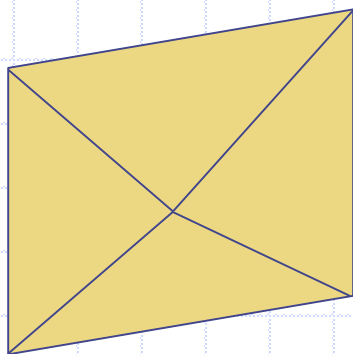
odpowiedź impulsowa



odpowiedź częstotliwościowa

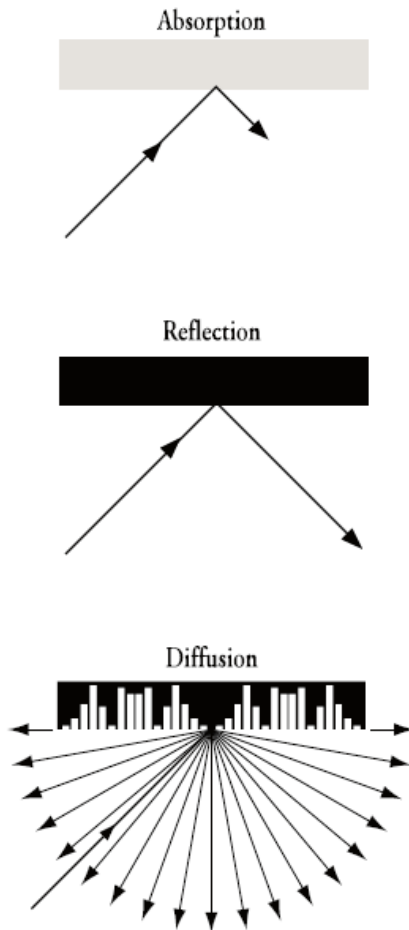


Piramidka – czy to dyfuzor?

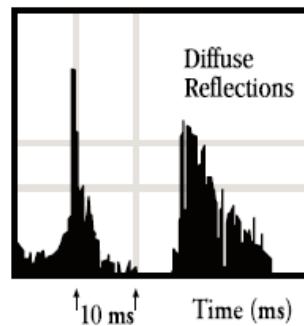
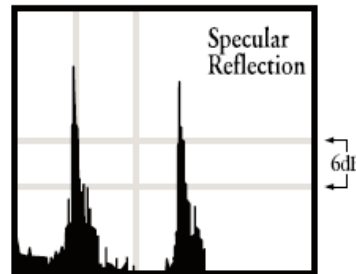
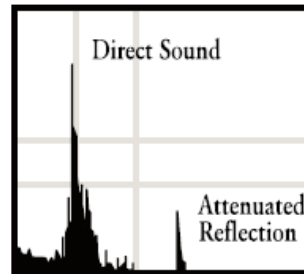


Zalety dyfuzorów

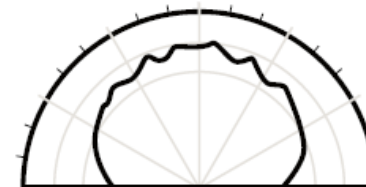
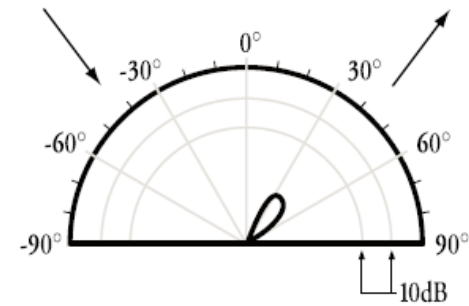
Acoustical Treatment



Temporal Response

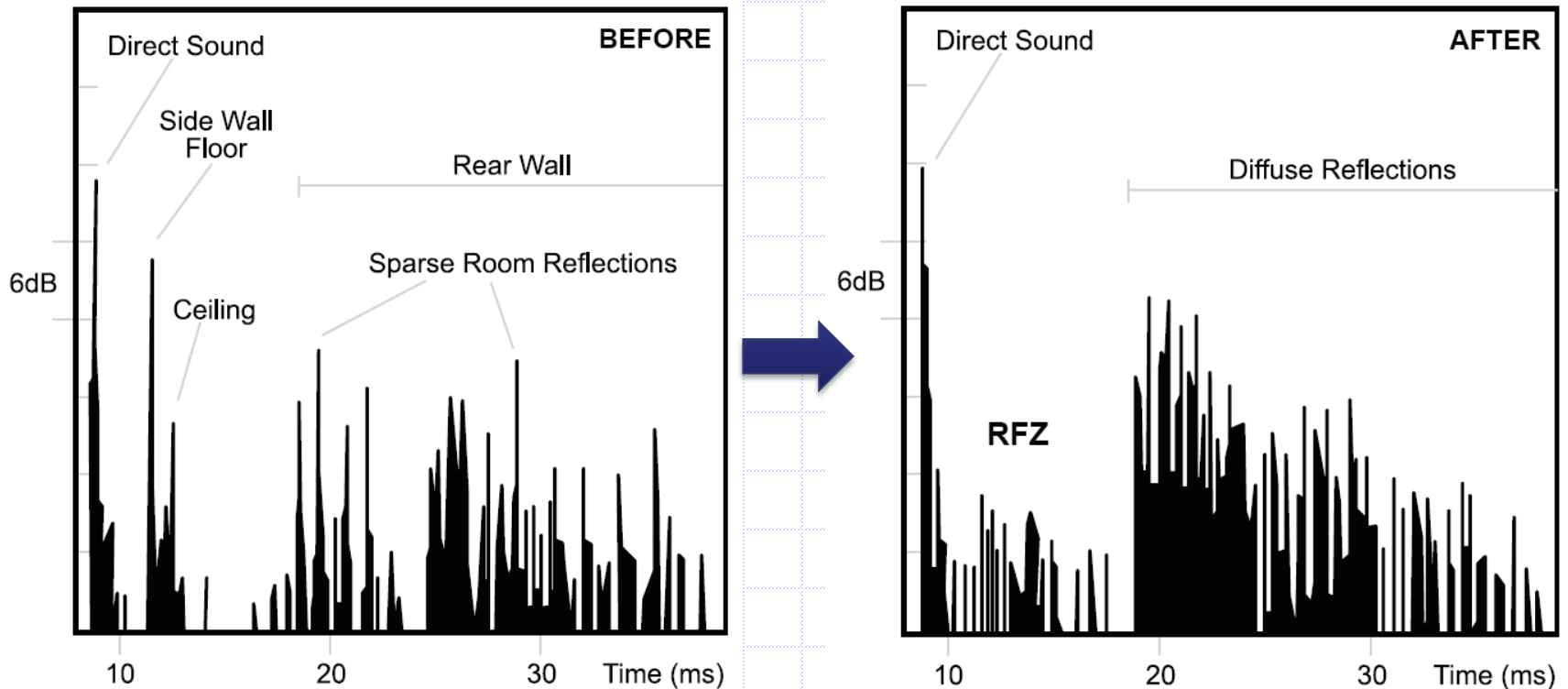


Spatial Response



Zalety dyfuzorów

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

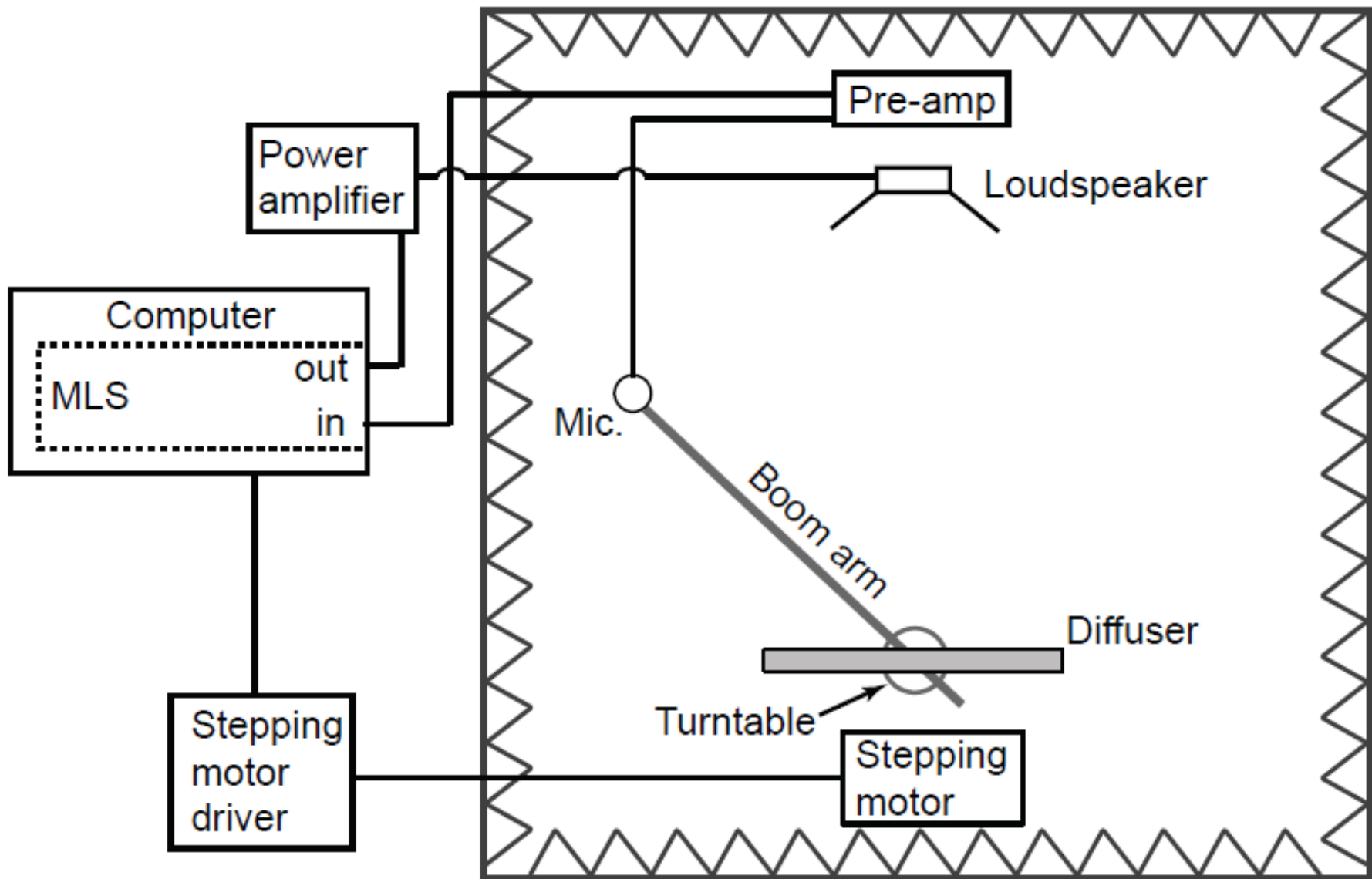


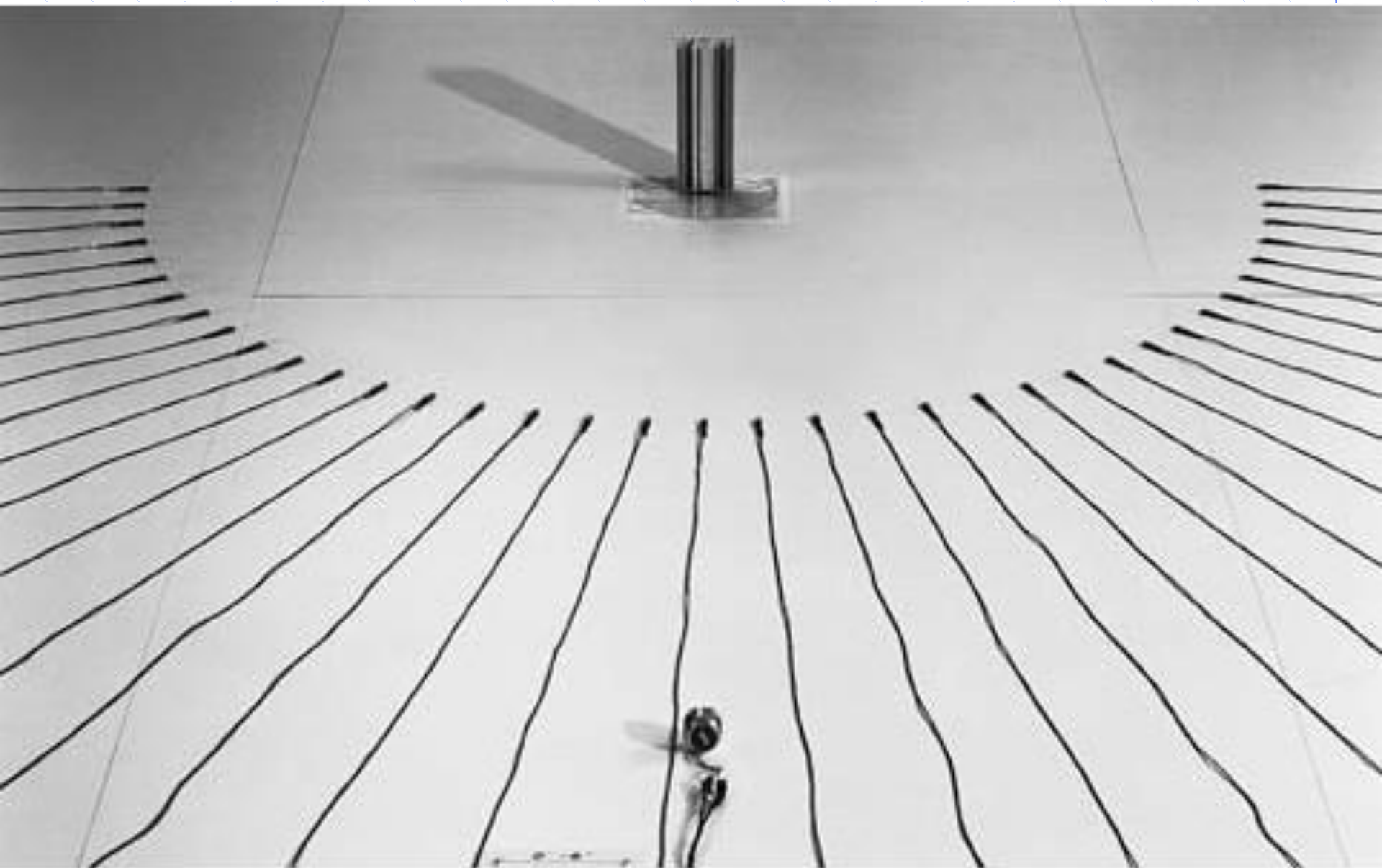
Parametry

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

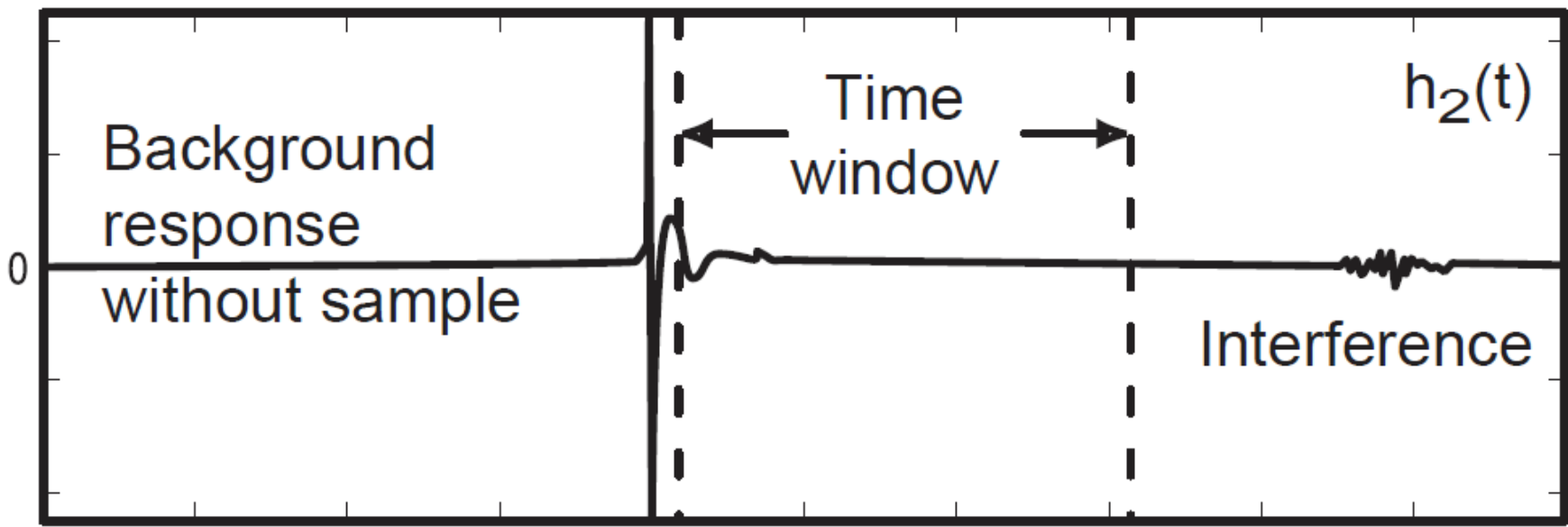
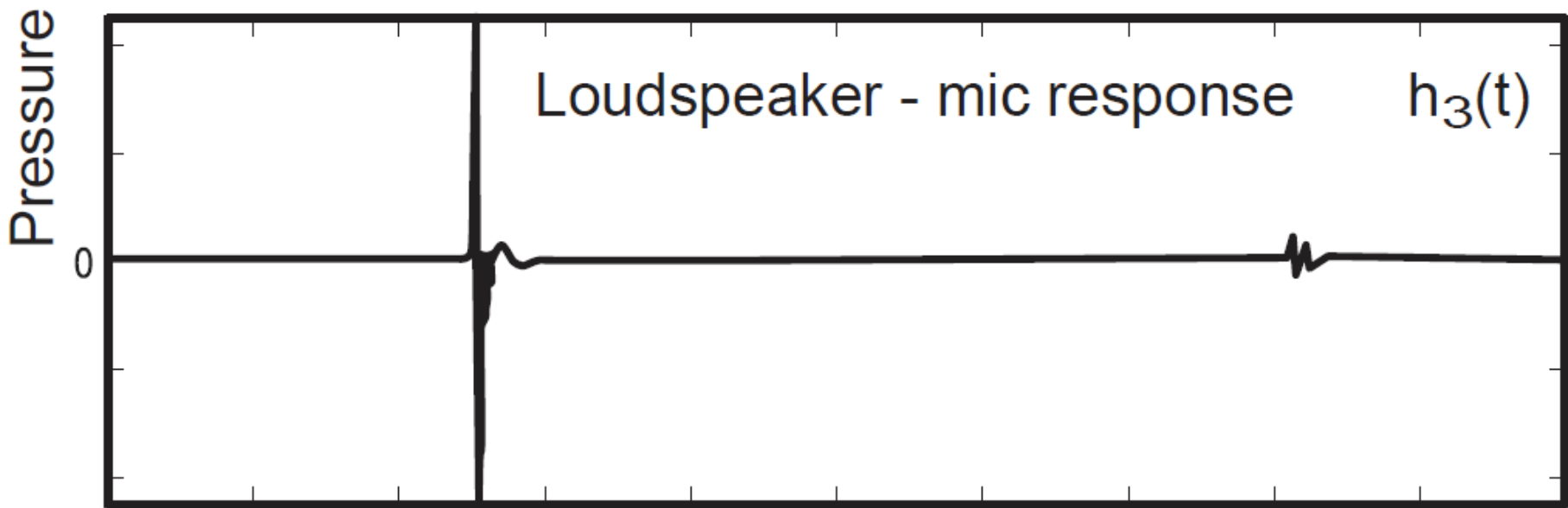
Współczynnik dyfuzji

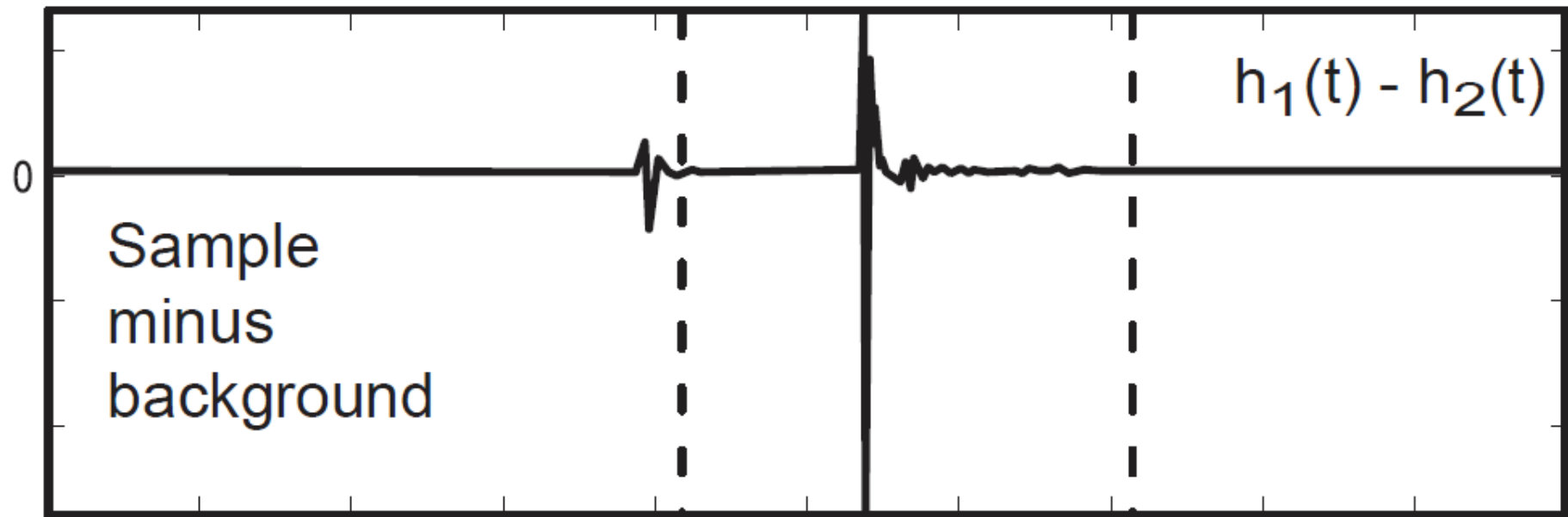
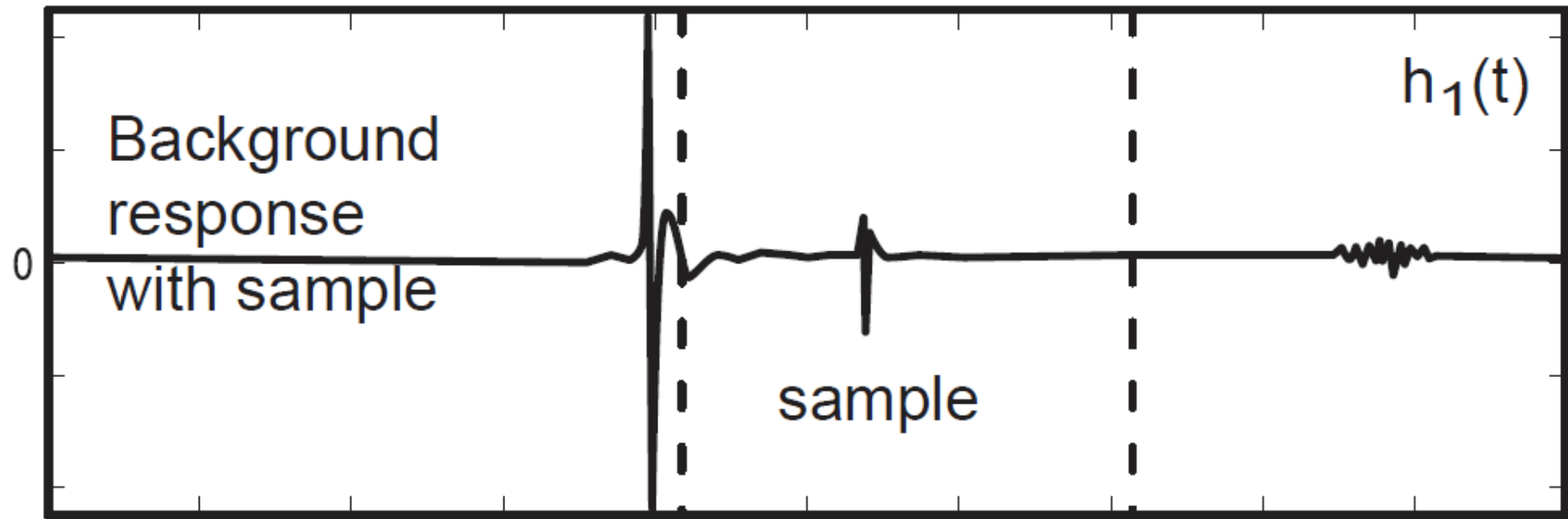
- ◆ kierunkowy współczynnik dyfuzji
 - miara jednorodności dyfuzji powierzchni dla jednej pozycji źródła
 - mieści się w przedziale $(0,1)$
 - ◆ całkowita dyfuzja $\rightarrow d\theta=1$
- ◆ współczynnik dyfuzji $d\theta_{1,2,\dots,n}$
 - miara jednorodności dyfuzji powierzchni dla więcej niż jednej 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

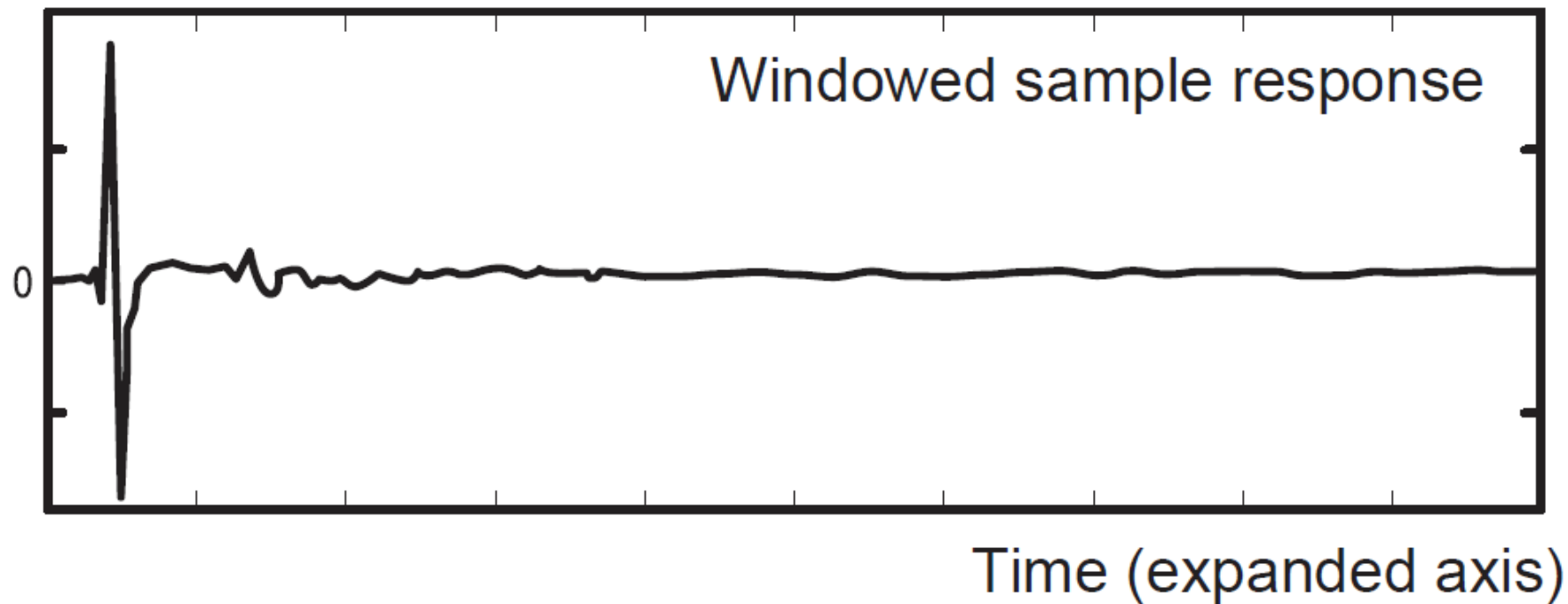
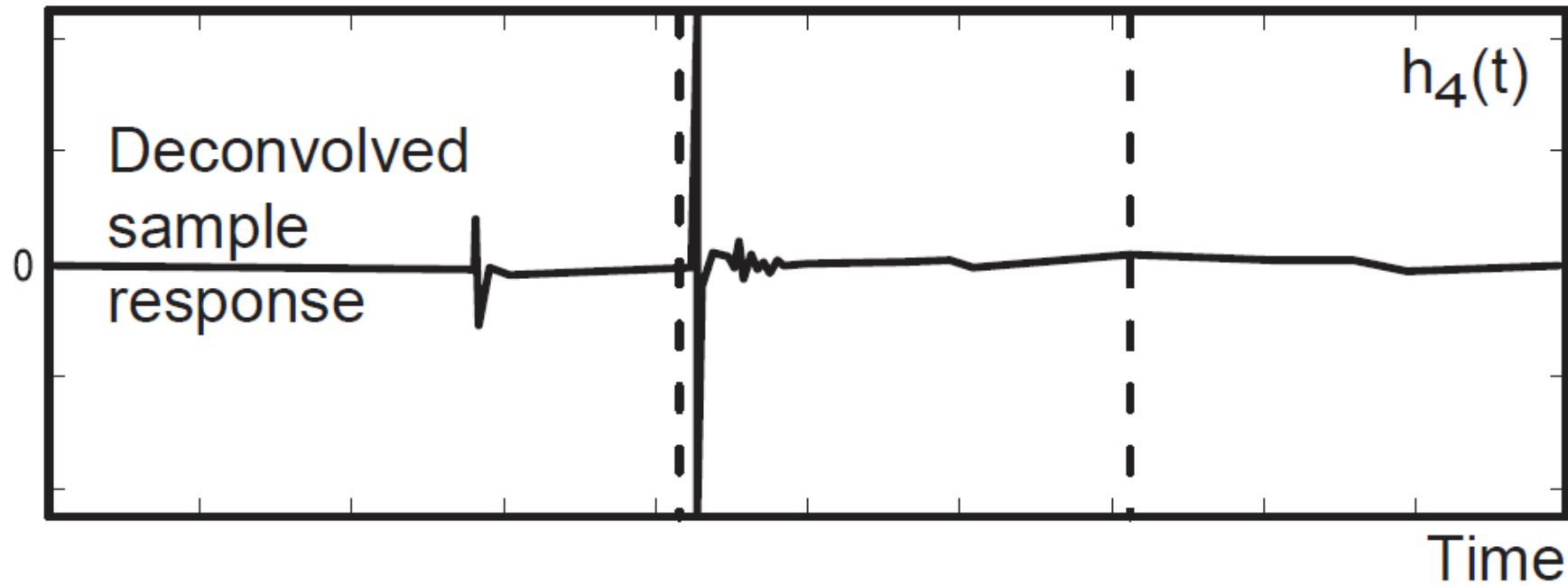




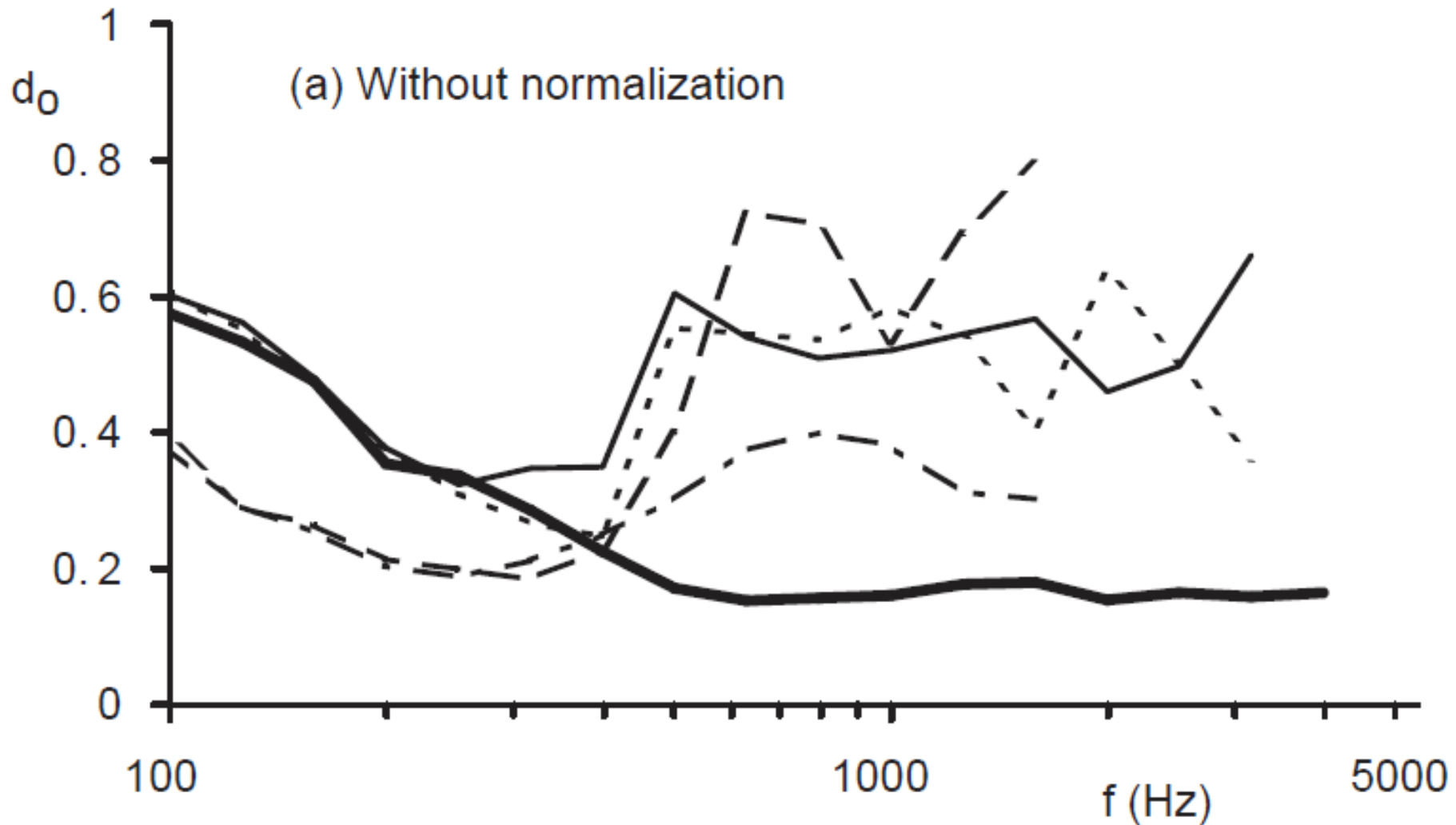




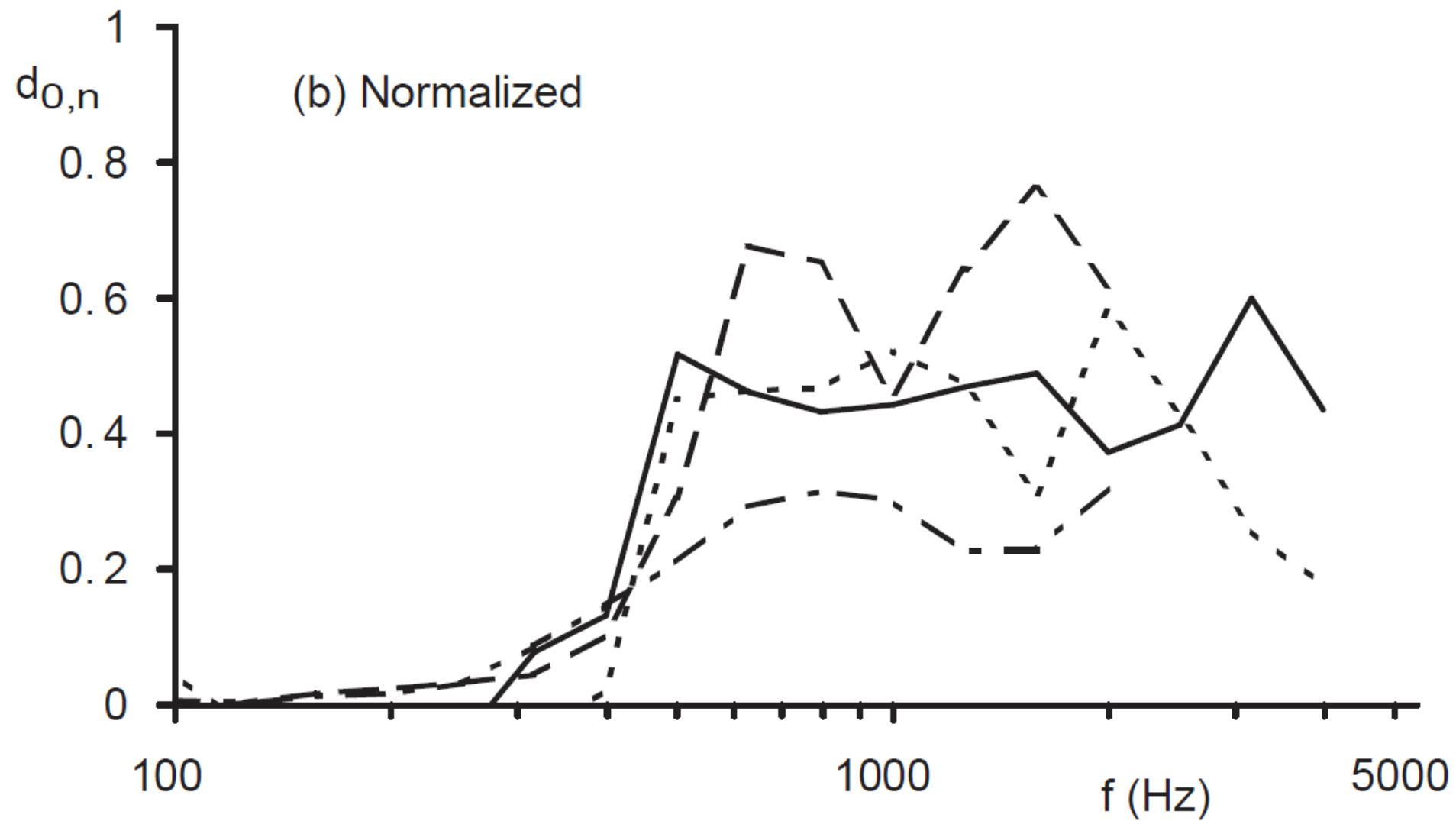




Wsp. Dyfuzyjności (bez normalizacji)



Wsp. Dyfuzyjności (normalizowany)



Odległość pomiaru

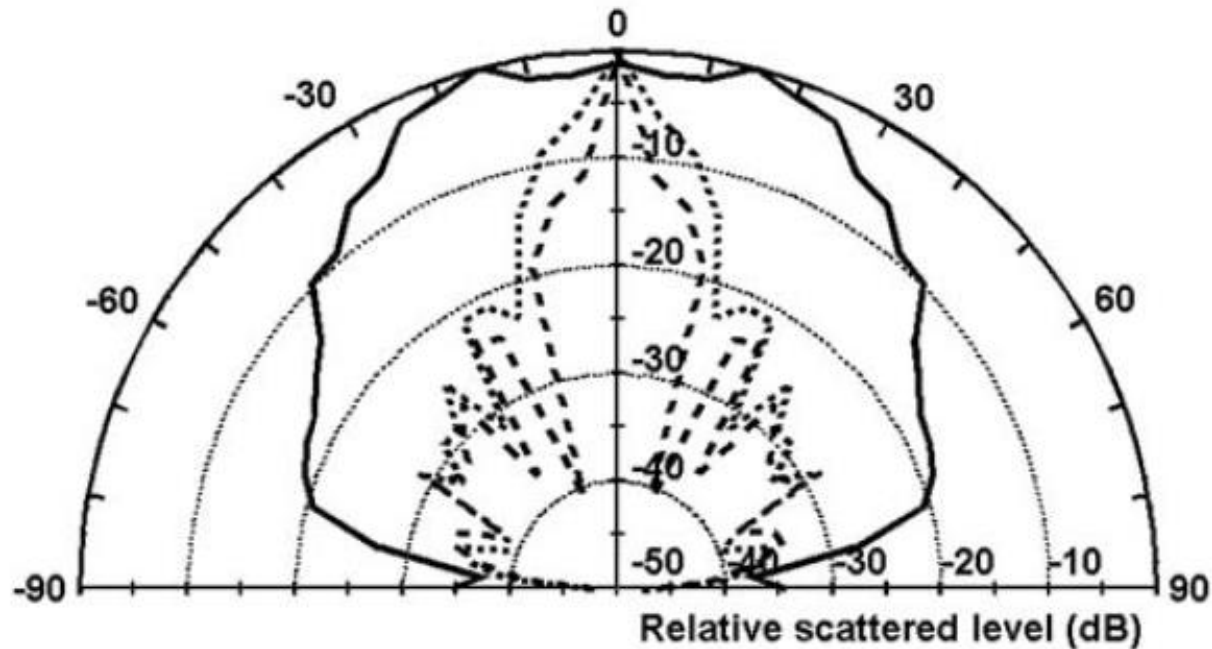


Figure 4.17 Effect of receiver arc radius on the polar response of a concave arc. Single plane BEM predictions, 2 kHz, normal incidence, source distance = 10 m: — near field; - - - focal distance; far field (after Hargreaves *et al.*⁷).

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 $(1-\alpha)E$

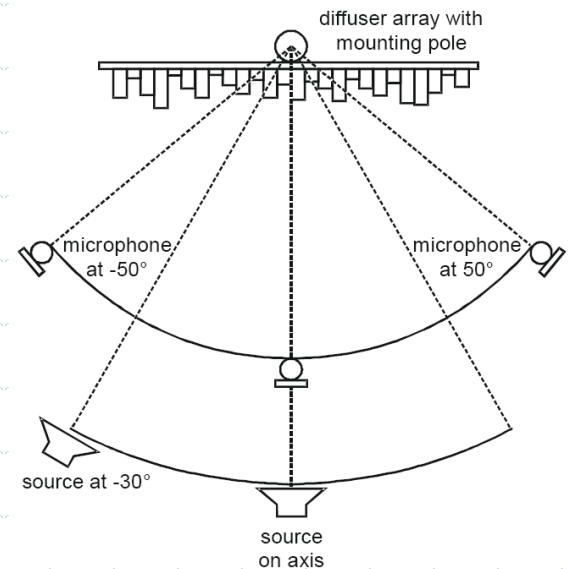
$$\delta = \frac{[(1-\alpha) - (1-\alpha)(1-\delta)]E}{(1-\alpha)E} = 1 - \frac{E_{spec}}{E_{tot}}$$

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.

Loudspeaker



Axis of rotation



Microphone



Sample



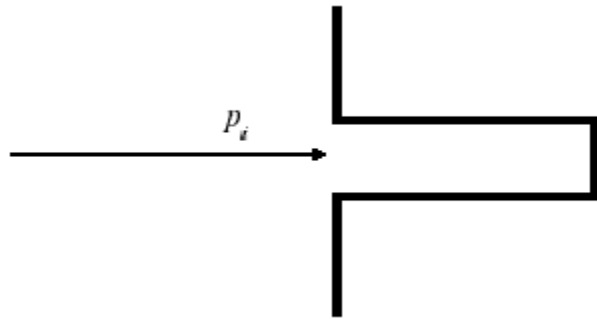
Turntable



Metody projektowania

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

Dyfuzory MLS (Maximum Length Sequence)



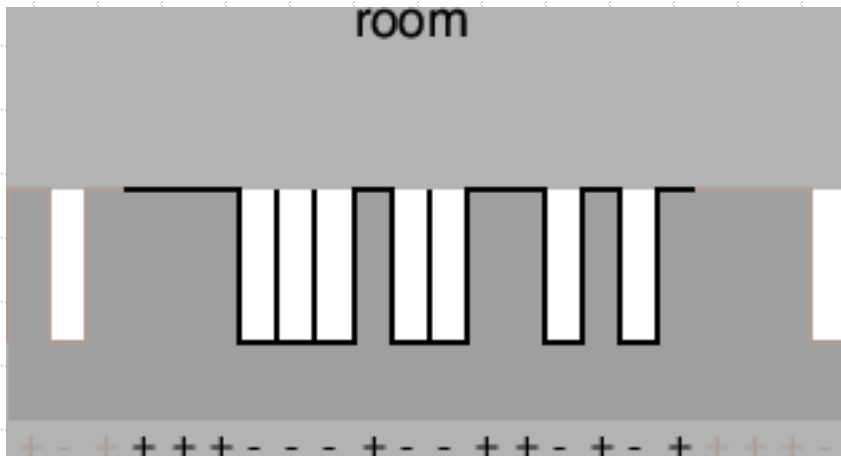
$$\varphi = 4\pi \frac{d_n}{\lambda}$$

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 $\lambda > 2w$

Dyfuzory PRD



- ◆ główny wzór: $s_n = r^n \bmod N$
 - s_n – sekwencja głębokości
 - n – kolejny numer zagłębienia (0, 1, 2, 3...)
 - N – liczba pierwsza
 - r – pierwiastek pierwotny wybranego N
- ◆ pasmo: pół oktawy poniżej częstotliwości projektowej do $\lambda > 2w$

$$d_n = s_n \frac{\lambda_0}{2N}$$

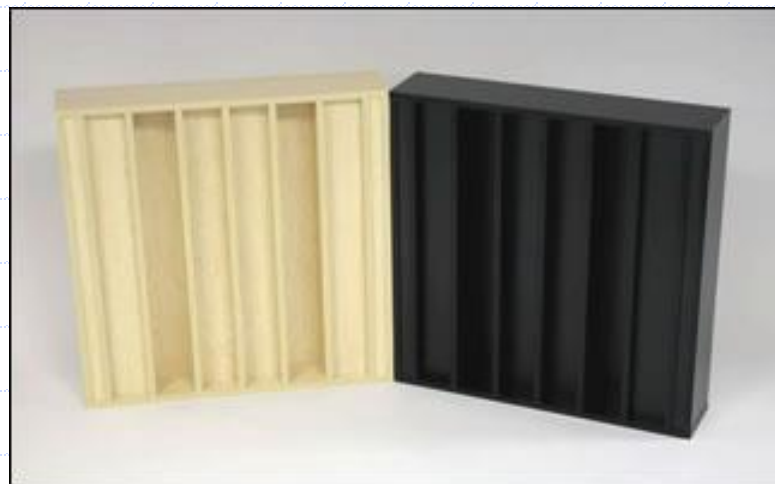
$$w = 0,137 \lambda_0$$

MLS, QRD czy PRD?



- Dyfuzory MLS mają najwęższe pasmo,
- Dyfuzory PRD i QRD mają podobne pasmo w którym działają, równomierne rozproszenie jest w nich zagwarantowane na całkowitych wielokrotnościach częstotliwości projektowej,
- Dyfuzory PRD redukują energię z wysyłana z powrotem w kierunku źródła fali (tzw. specular reflection), dyfuzory QRD wysyłają w tym kierunku więcej energii.

Przykłady

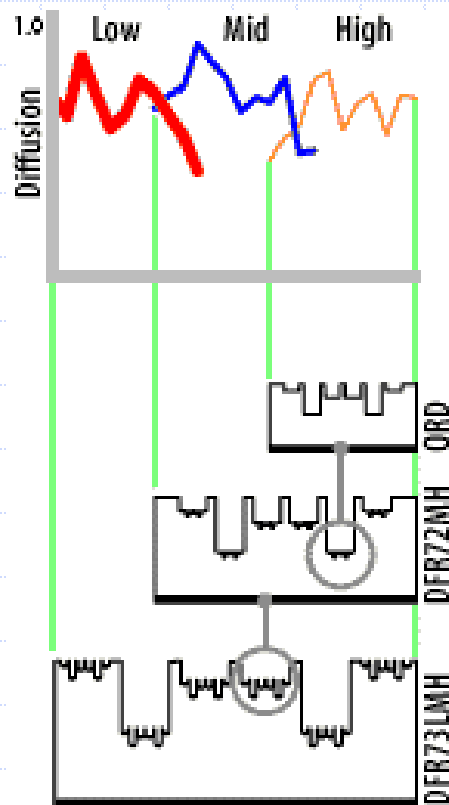


Dyfuzory QRD (Quadratic Residue)

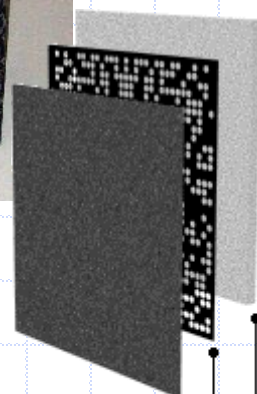
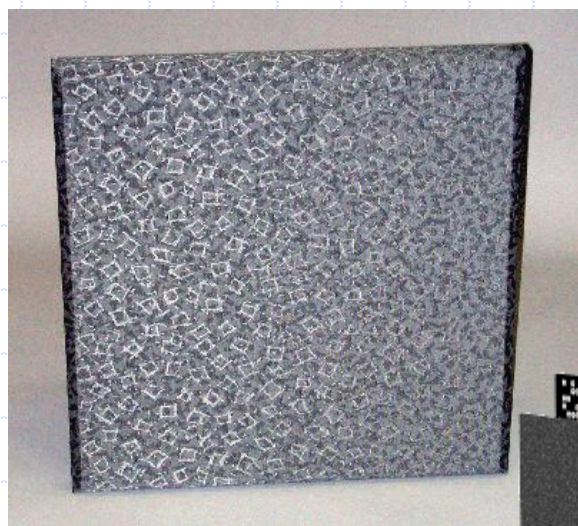
Przykłady



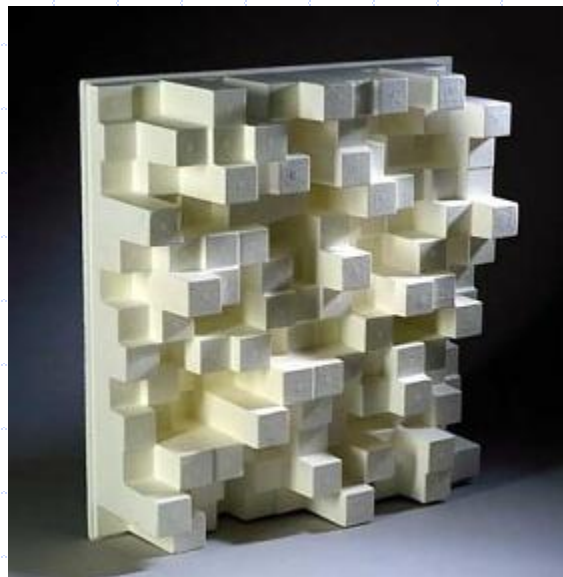
Dyfuzor fraktalny – DIFFRACTAL



Przykłady



Fabric upholstery
Two dimensional
binary reflection
amplitude grating
Semi-rigid fiberglass panel



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

Dyfuzory typu „optimized curved diffusors”

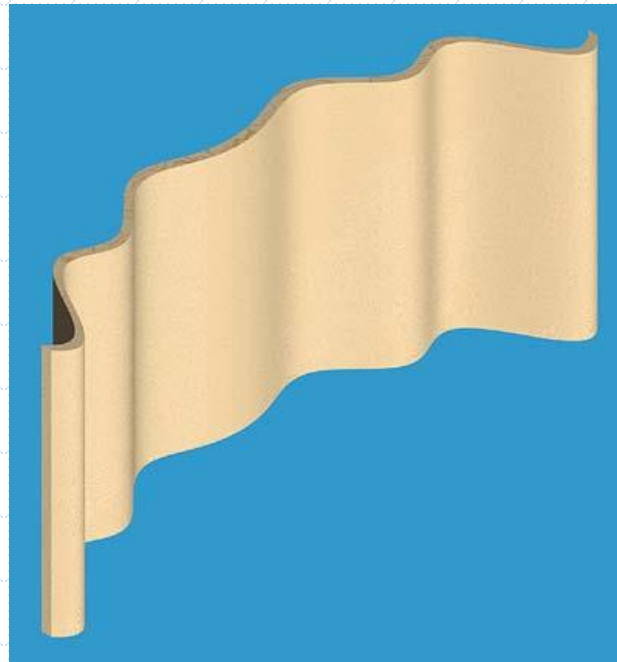
- ◆ Chcąc uzyskać z jednej strony dobre parametry akustyczne, a z drugiej odpowiednie walory estetyczne projektując powierzchnie o arbitralnym kształcie stosuje się również techniki optymalizacji oraz predykcji. Wiąże się to z wykorzystaniem powierzchni zakrzywionych oraz odpowiednim kształtowaniem sklepień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

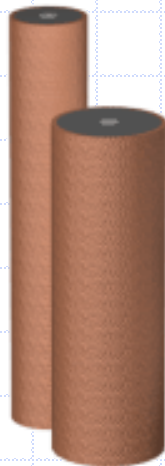
Dyfuzory typu „optimized curved diffusors”

- 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 redukuje pasma wyższych częstotliwości
- stosowanie pułapek basowych zapewnia pozostawienie wysokich częstotliwości przy równoczesnym rozwiązaniu problemu niskich.



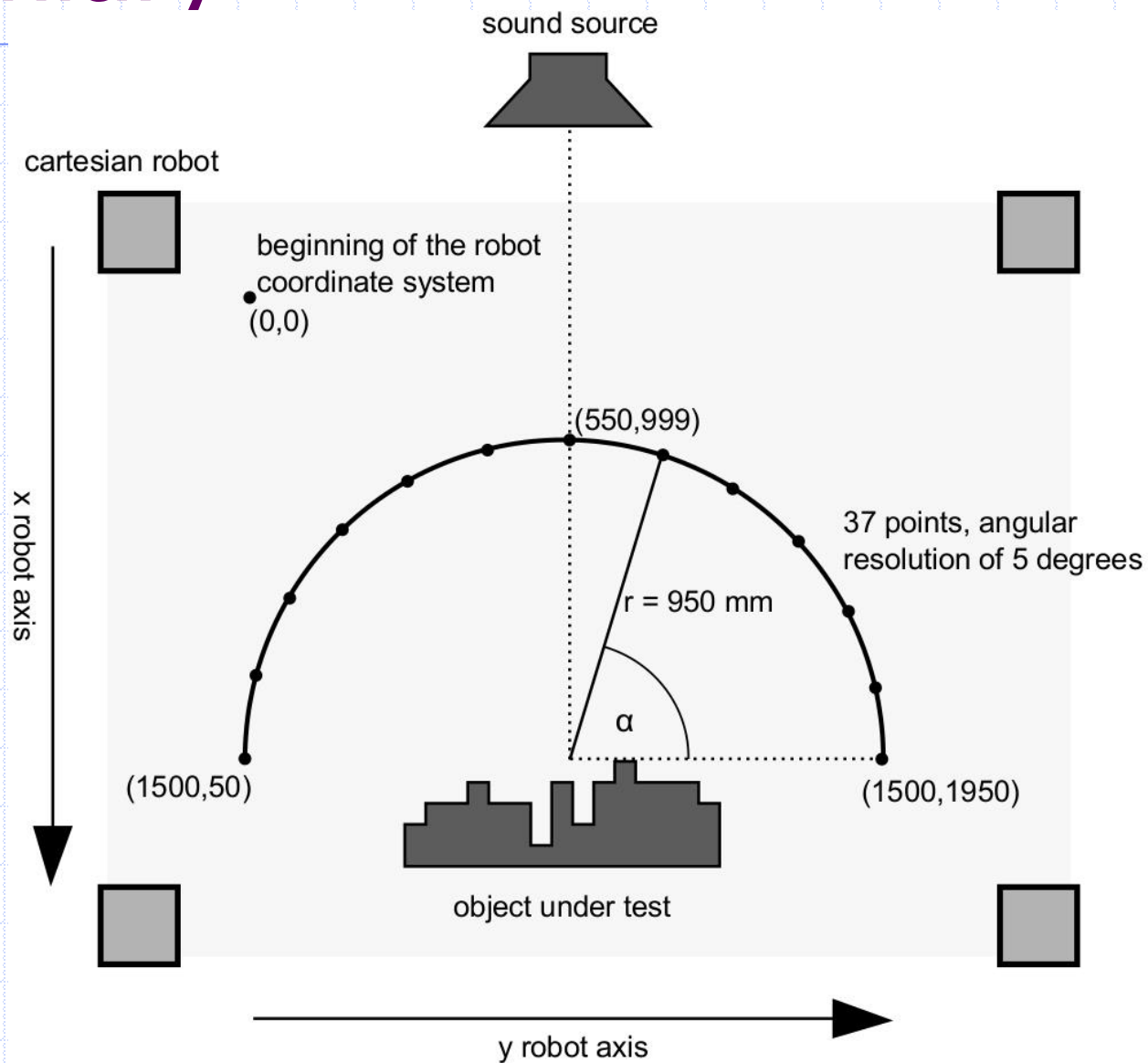
Zastosowanie

Inne zastosowania:

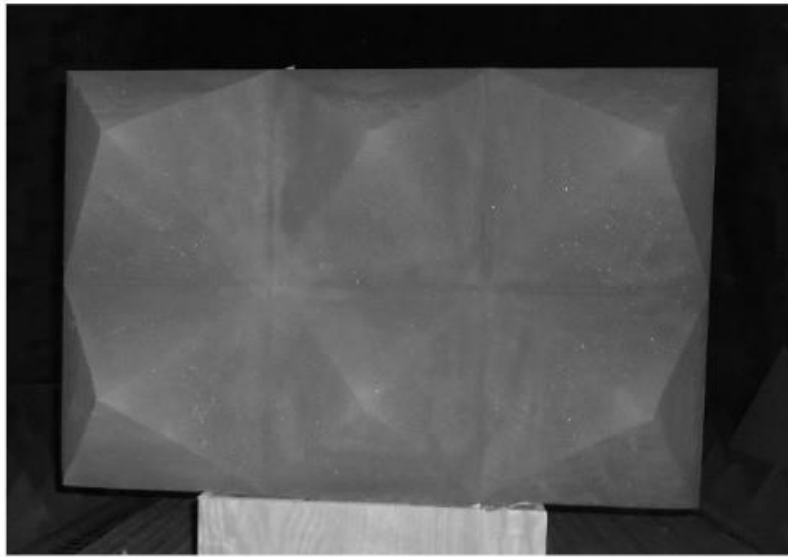
<http://www.rpginc.com/commercial/projects/index.htm>



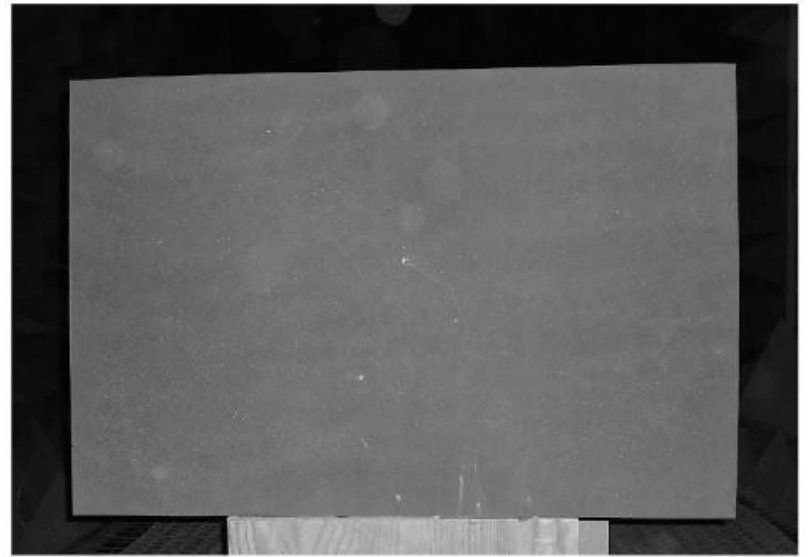
Pomiary



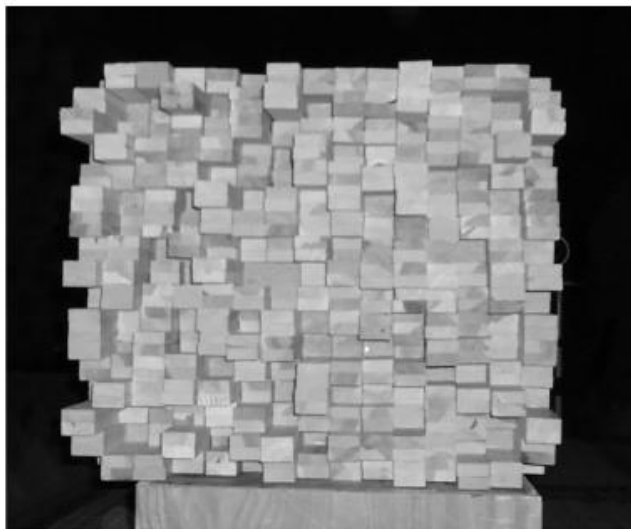




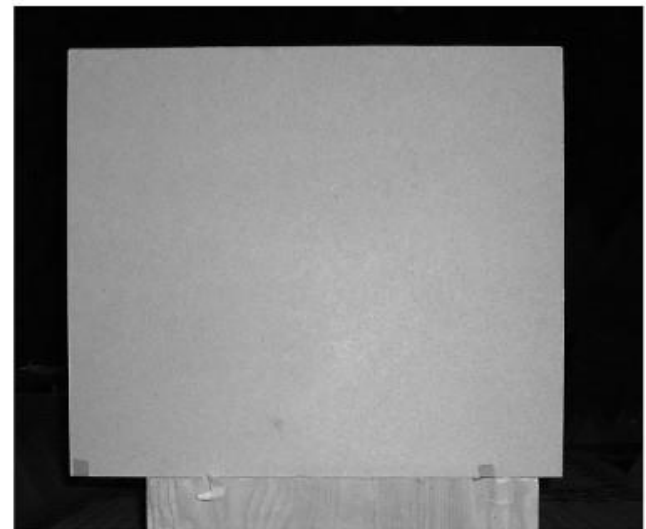
a)



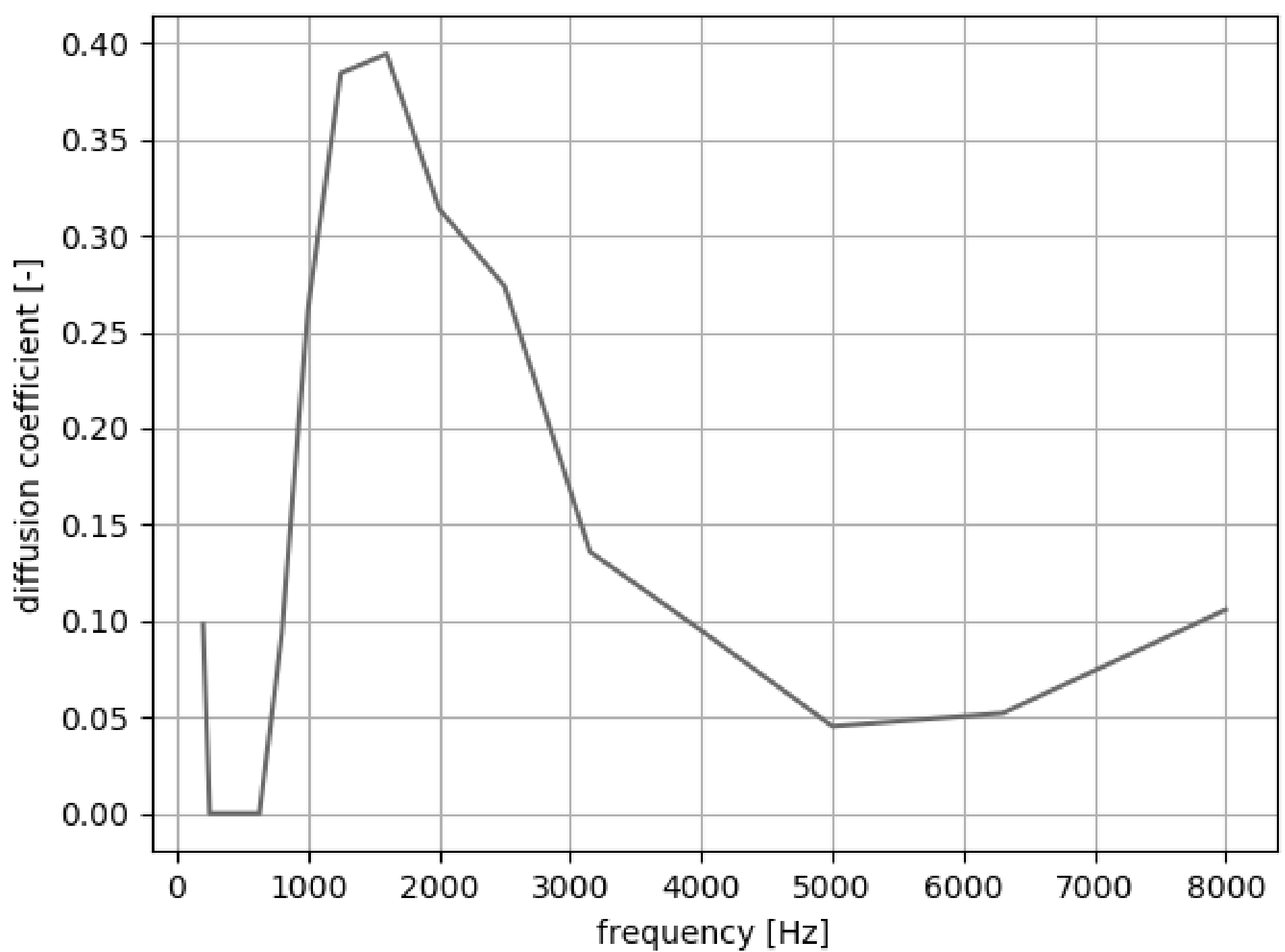
b)

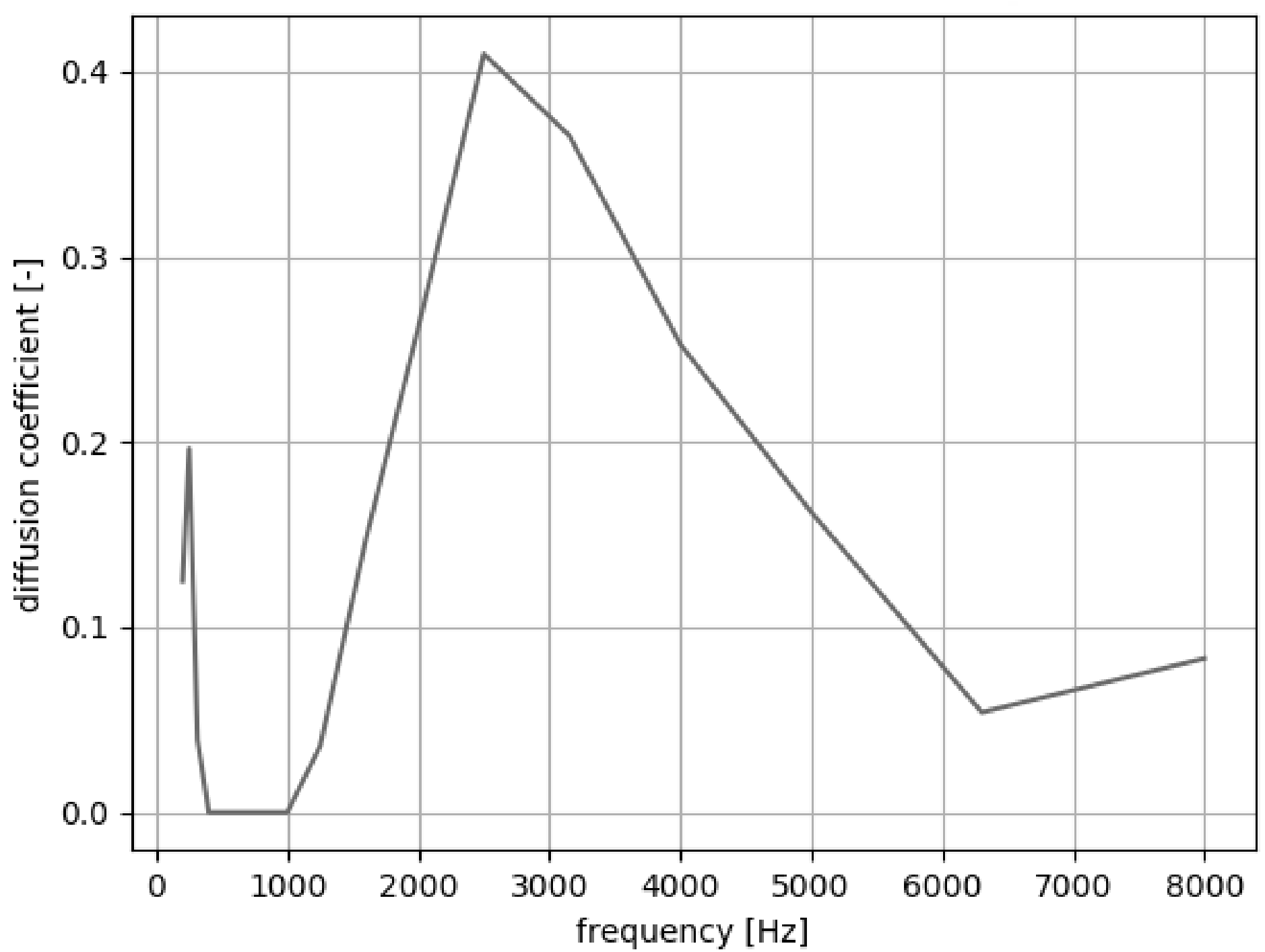


c)

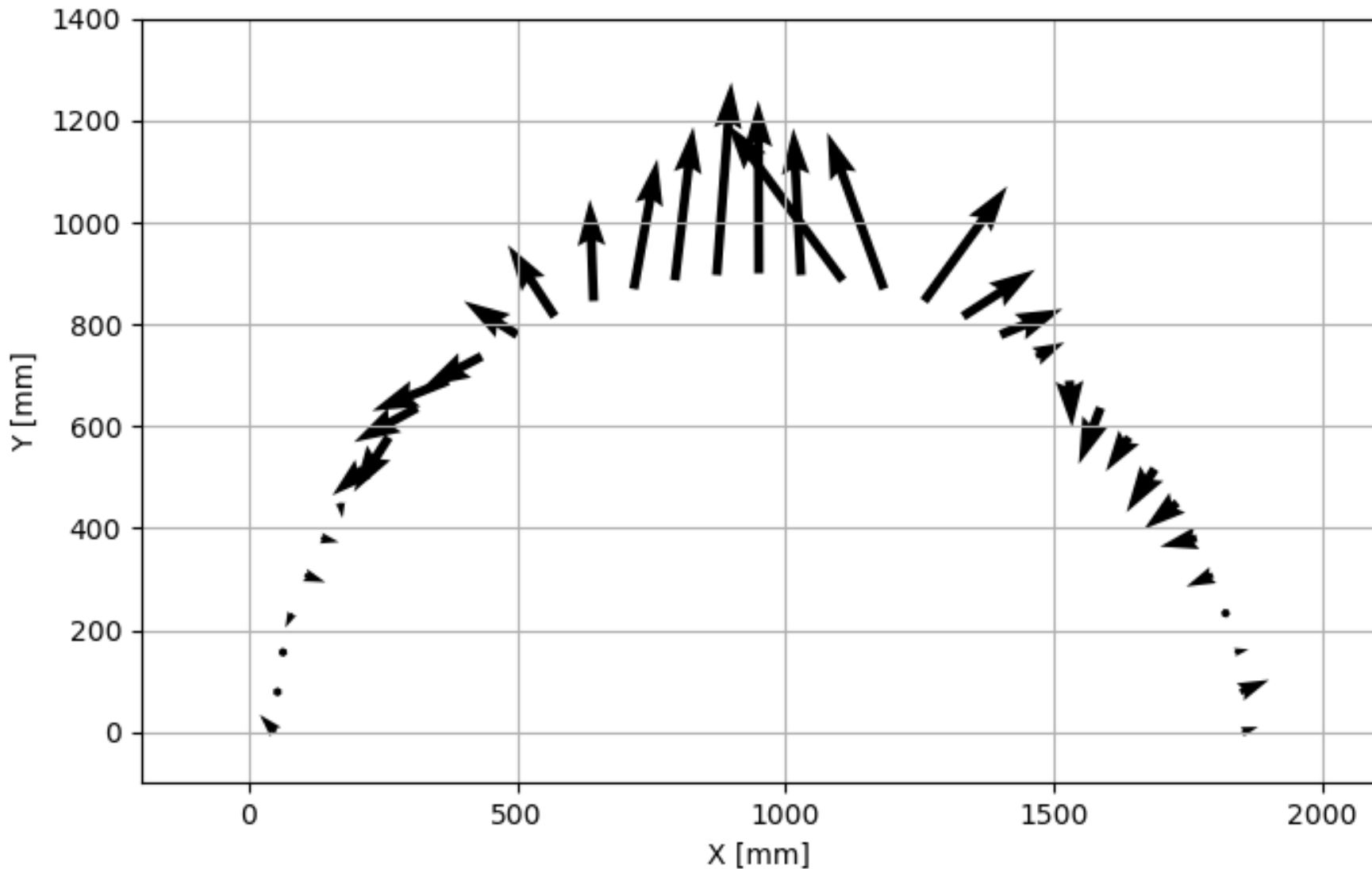


d)

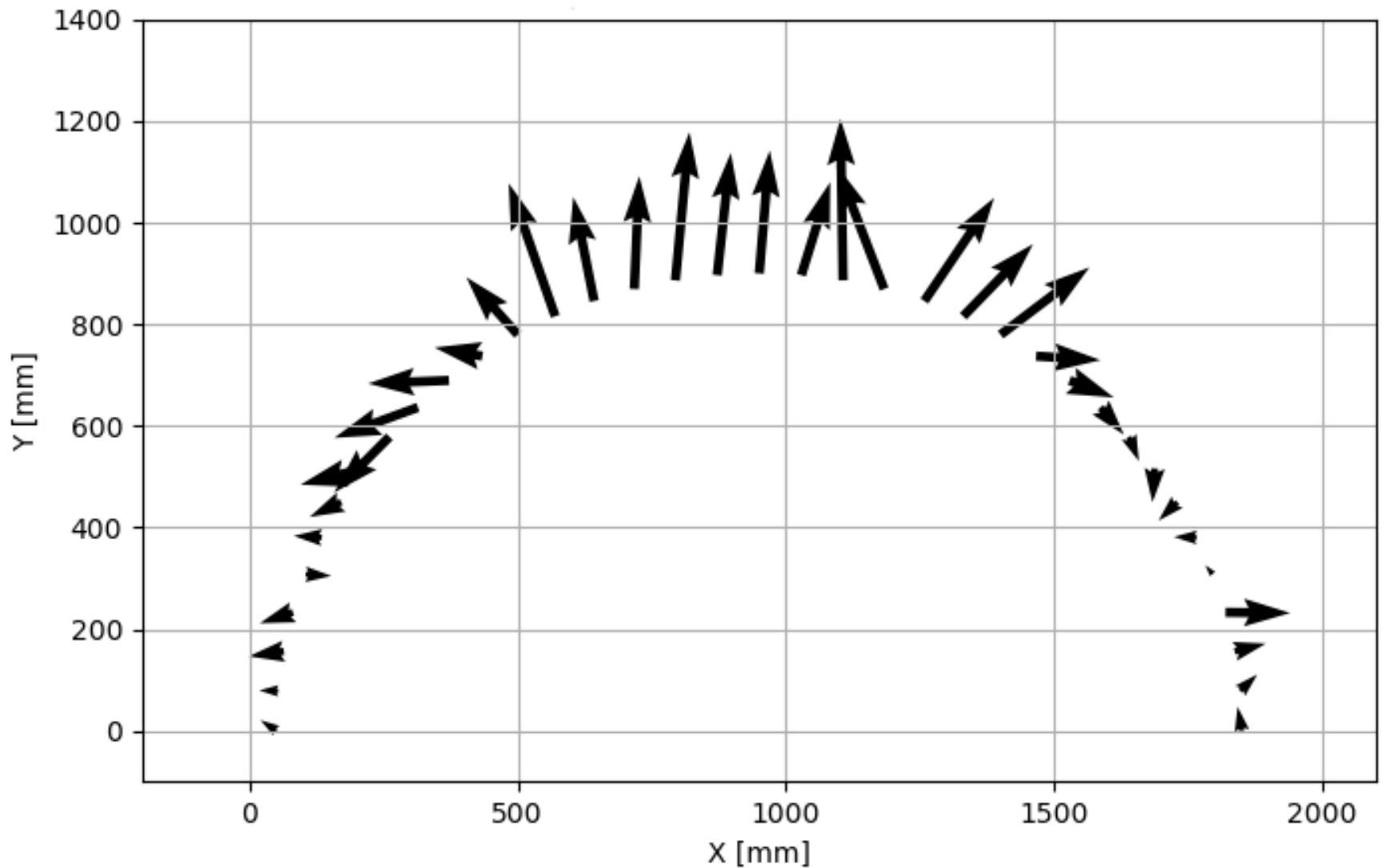




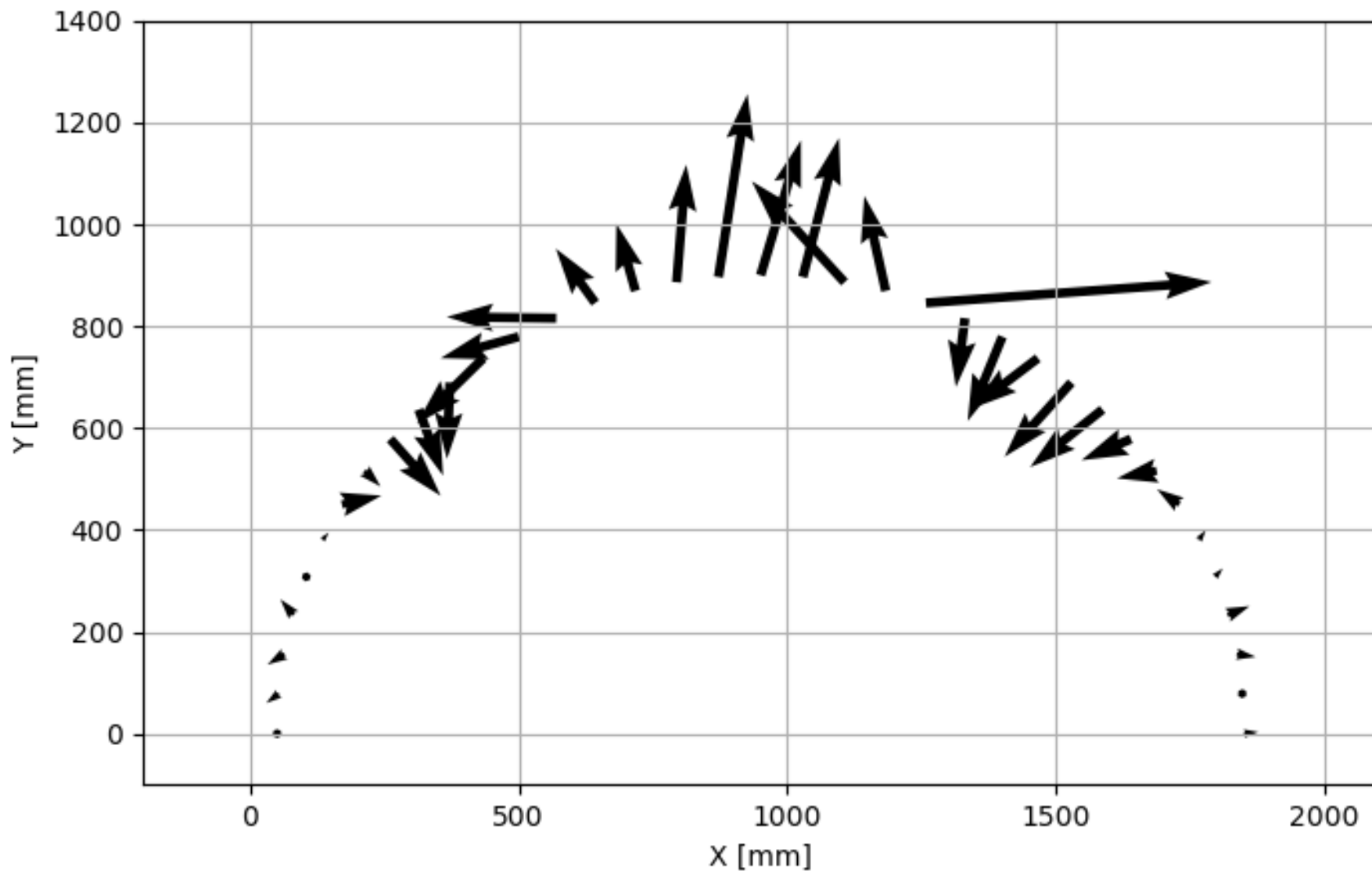
Wyniki: piramidki (tył)



Wyniki: piramidki (przód)



Wyniki: skyline (tył)



Wyniki: skyline (przód)

