

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA**  
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI  
KIERUNEK: INŻYNIERIA AKUSTYCZNA



METODY I NARZĘDZIA PROGRAMOWE W AKUSTYCE

---

## Projekt II – Metody Geometryczne

Wyznaczenie parametrów akustycznych modelu płaskiego  
(prostokątne pomieszczenie) w oparciu o metodę źródeł pozornych

---

**Grupa 2, III rok**  
Filip Przychodni,  
Alexander Stefani

Kraków, 6 czerwca 2020

# I. Wstęp

Celem ćwiczenia była własna implementacja metody źródeł pozornych dla modelu płaskiego w dowolnym języku programowania oraz:

- przeprowadzenie pomiarów dla dowolnie wybranego pomieszczenia z odpowiednio dobranymi współczynnikami pochłaniania dla ścian,
- wyznaczenie najważniejszych parametrów akustycznych:  $EDT, T_{20}, T_{30}, C_{80}, D_{50}$  oraz analiza jakości wyników,
- walidacja wyników ze statystycznymi wzorami Sabine’a i Eyring’a.

# II. Założenia projektowe

Zdecydowaliśmy się na implementację metody źródeł pozornych w Pythonie 3. Jako badane pomieszczenie wybraliśmy prostokąt o wymiarach  $5 \times 3$  metry. W naszym układzie współrzędnych lewy dolny róg pokoju to punkt  $(0, 0)$  i w odległości od tego punktu ustalamy źródło i odbiornik. Wyniki podaliśmy dla odbiornika w punkcie  $(0.5, 0.5)$ , natomiast nadajnik w punkcie  $(3, 2)$ . Ze względu na konieczność porównywania wyników ze wzorami na czas pogłosu Sabine’a i Eyring’a założyliśmy wysokość pomieszczenia  $= 1$  m.

SPL źródła zostało założone na 94 dB, średni mocowy współczynnik tłumienia dźwięku w powietrzu  $m = 0.5 \frac{dB}{km}$ , a impedancja właściwa dla warunków normalnych w  $25^\circ C$ . Aby uzyskać mocowy wydatek źródła  $Q$  posłużyliśmy się znanymi powszechnie wzorami:

$$Q = P_{max} = I \cdot S = \frac{p^2}{Z} \cdot S = \frac{p_0^2 \cdot 10^{0,1 \cdot SPL}}{Z} \cdot S_{p\acute{o}lsfery} = \frac{p_0^2 \cdot 10^{0,1 \cdot SPL}}{409 \text{ Rajli}} \cdot 2\pi \cdot 1m^2$$

# III. Kod programu

Ze względu na to, że kod jest długi i składa się z kilku plików jest on dostępny na platformie Github pod tym adresem: [LINK](#)

Program do działania wymaga Pythona 3.x (najlepiej 3.7 lub nowszy) oraz biblioteki matplotlib, numpy.

Obliczenia odpowiedzi impulsowej pomieszczenia (echogramu) oraz parametrów akustycznych są zgodnie z artykułami załączonymi w bibliografii. Opierają się one na całkowaniu poziomu spadku energii akustycznej w tył w dziedzinie czasu, zgodnie z metodą opisaną przez Schroedera.

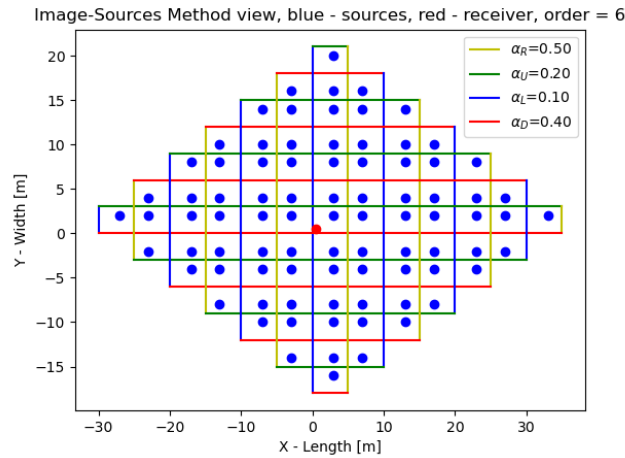
# IV. Wyniki

Parametry akustyczne pomieszczenia obliczone są za pomocą naszej implementacji metody źródeł pozornych dla 6. rzędu, co dało 84 źródła pozorne.

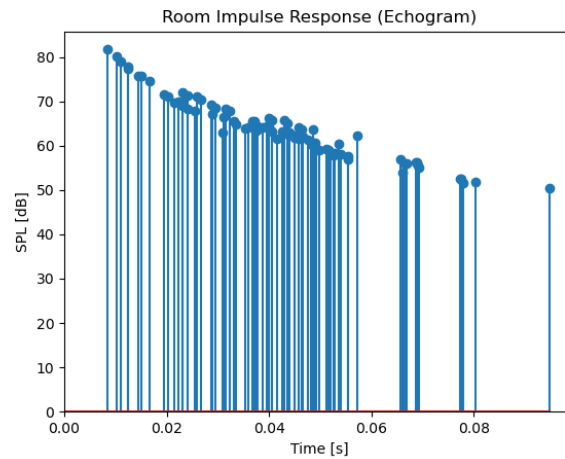
Tabela 1: Parametry akustyczne pomieszczenia w zależności od współczynników pochłaniania ścian  $\alpha$  –  $T_{60}$  nie można wyznaczyć w 1. przypadku ze względu na zbyt małe SNR

Przypadek pomieszczenia	EDT [s]	$T_{20}$ [s]	$T_{30}$ [s]	$T_{60}$ [s]	$C_{50}$ [dB]	$C_{80}$ [dB]	$D_{50}$ [%]	$D_{80}$ [%]	Sabine $T_{60}$ [s]	Eyring $T_{60}$ [s]
1. $\alpha_L = 0.1, \alpha_G = 0.2$ $\alpha_P = 0.5, \alpha_D = 0.4$	0.115	0.088	0.089	-	37.550	61.635	99.982	100	0.175	0.146
2. $\alpha_L = \alpha_G = \alpha_P = \alpha_D = 0.5$	0.086	0.058	0.069	0.066	48.175	75.705	99.998	100	0.105	0.075

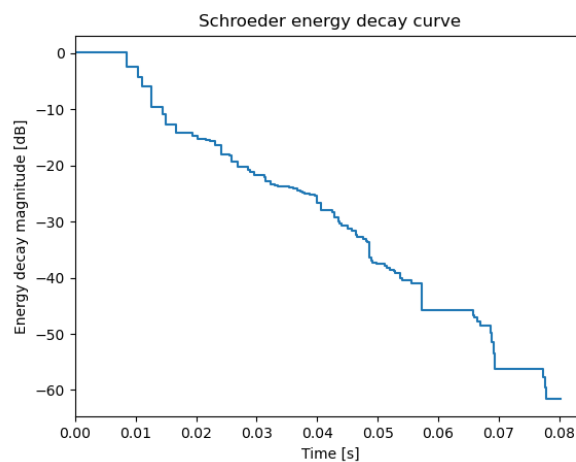
**Przypadek 1.**  $\alpha_L = 0.1$ ,  $\alpha_G = 0.2$ ,  $\alpha_P = 0.5$ ,  $\alpha_D = 0.4$ ,  $I_{tot} = 88.9$  dB



Wykres 1: Podgląd metody źródeł pozornych dla różnych współczynników  $\alpha$

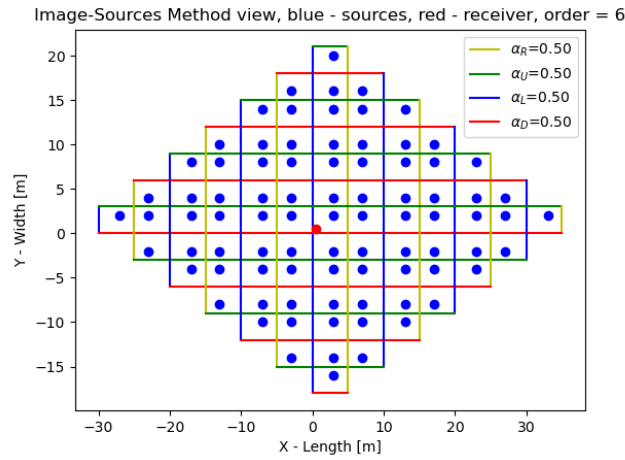


Wykres 2: Wykres odpowiedzi impulsowej pomieszczenia o różnych współczynnikach  $\alpha$  – poziom ciśnienia akustycznego (SPL) od czasu

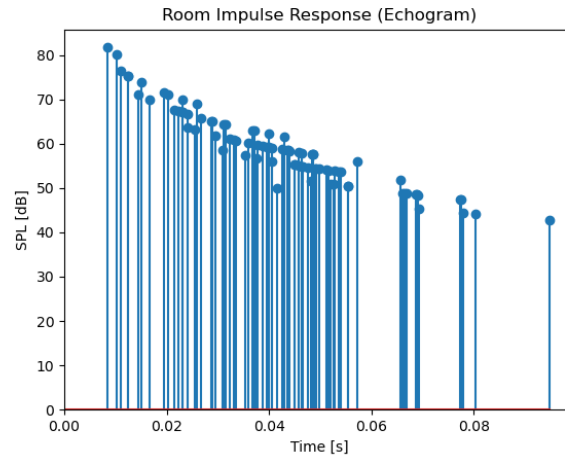


Wykres 3: Logarytmiczny poziom spadku energii zgodny z metodą całkowania Schroedera, dla pomieszczenia o różnych współczynnikach  $\alpha$

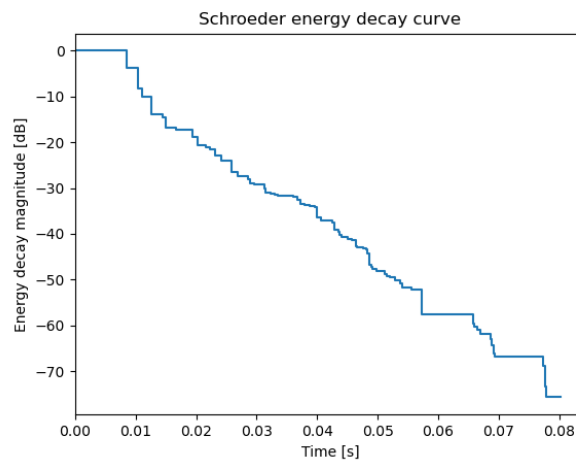
**Przypadek 2.**  $\alpha_L = \alpha_G = \alpha_P = \alpha_D = 0.5$ ,  $I_{tot} = 87.1$  dB



Wykres 4: Podgląd metody źródeł pozornych dla wszystkich współczynników  $\alpha = 0.5$



Wykres 5: Wykres odpowiedzi impulsowej pomieszczenia o wszystkich współczynnikach  $\alpha = 0.5$  – poziom ciśnienia akustycznego (SPL) od czasu



Wykres 6: Logarytmiczny poziom spadku energii zgodny z metodą całkowania Schroedera, dla pomieszczenia o wszystkich współczynnikach  $\alpha = 0.5$

## V. Wnioski

Za pomocą metod geometrycznych możliwe jest wyznaczenie parametrów akustycznych pomieszczenia. Otrzymane przez nas wyniki różnią się od tych ze wzorów Sabine’a oraz Eyring’a, ale biorąc pod uwagę, że przeprowadzamy analizę tylko w przestrzeni 2D a wzory opisują przestrzeń trójwymiarową różnice są zrozumiałe. Rozszerzając metodę do przestrzeni 3D uzyskalibyśmy dodatkową ilość odbitych pomieszczeń oraz źródeł pozornych, co wydłużyłoby odpowiedź impulsową (echogram) oraz dało dłuższe czasy pogłosu, co jest zgodne z obliczeniami statystycznymi ze wzorów Eyring’a i Sabine’a.

Zauważyliśmy, że dla 2. przypadku wszystkie współczynniki  $\alpha$  są większe od niektórych z 1. przypadku co dało prawidłowy efekt – zmniejszyło wszystkie obliczone czasy pogłosu, a przejrzystość  $C$  i wyrazistość  $D$  zwiększyły się.

Na jakość wyników i ich dokładność będzie także wpływać rząd metody źródeł pozornych – czym wyższy rząd, tym dłuższy echogram i dokładniejsze parametry akustyczne. Zwiększając rząd metody uniknęlibyśmy także braku wyznaczenia  $T_{60}$  dla 1. przypadku, ponieważ wydłużylibyśmy odpowiedź impulsową zwiększając SNR. Należy wziąć po uwagę, że metoda ta nie uwzględnia rozpraszania na powierzchni, efektów dyfrakcji oraz filtracji częstotliwościowej przy odbiciu.

Udało nam się stworzyć autorskie oprogramowanie pozwalające liczyć metodą źródeł pozornych parametry akustyczne pomieszczenia prostokątnego w przestrzeni 2D.

## VI. Bibliografia

- [1] [Hak, Wenmaekers, van Luxemburg – Measuring Room Impulse Responses: Impact of the Decay Range on Derived Room Acoustic Parameters](#)
- [2] [Lehmann, Johansson – Diffuse reverberation model for efficient image-source simulation of room impulse responses](#)
- [3] [Mehta, Bhadradiya – Measurement of Room Impulse Response Using Image Source Method](#)
- [4] [Jaszczyk, Kirpluk – O wartości współczynnika tłumienia powietrznego fali akustycznej - czyli burza w szklance wody,](#)
- [5] [Kalkulator współczynnika tłumienia powietrza zgodnie z normą ISO 9613-1](#)