

**ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁASNOŚCI
AKUSTYCZNYCH SALI KONFERENCYJNEJ NA
PODSTAWIE POMIARÓW RZECZYWISTYCH I
SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W PROGRAMIE EASE 3.0
CZĘŚĆ PIERWSZA – „POMIARY”**

W pierwszej części artykułu omówiono na przykładzie „Sali Konferencyjnej” podstawy postępowania przy wykonywaniu pomiarów akustycznych wewnątrz, celem porównania rzeczywistych wyników badań z symulacją komputerową.

In order to compare the gathered results with computational simulation, it has been discussed in this article the fundamentals of acoustic measurements procedure within building premises basing on the Conference Hall as an example.

Wstęp

Wiele obiektów użyteczności publicznej zostało zaprojektowane ze szczególnym naciskiem na efekt wizualny oraz ergonomiczny. W projektach architektonicznych dość często pomija się sprawy dotyczące akustyki wewnątrz. Efektem braku zainteresowania właściwościami akustycznymi pomieszczeń jest niski bądź nie zadawalający poziom zrozumiałości mowy.

Zrozumiałość mowy – wiadomości ogólne.

Jednym z najważniejszych czynników charakteryzujących pomieszczenia audytoryjne oraz decydującym o efektywności systemu nagłośnieniowego jest zrozumiałość

mowy, której wartość możemy otrzymać określając współczynnik zrozumiałości mowy - STI (*Speech Transmission Index*) poprzez bezpośredni pomiar funkcji przeniesienia modulacji (MTF – *Modulation Transfer Function*).

Współczynnik STI bazuje na zbiorze pomiarów, gdzie dla każdego z 7 zakresów oktauwowych (o częstotliwościach środkowych od 125 [Hz] do 8 [kHz]) jest rozpatrywanych 14 częstotliwości modulacji w odstępach tercjowych ustawionych od 0.63 [Hz] do 12.5 [Hz]. Ostatecznie STI opiera się na zbiorze 98 pomiarów.

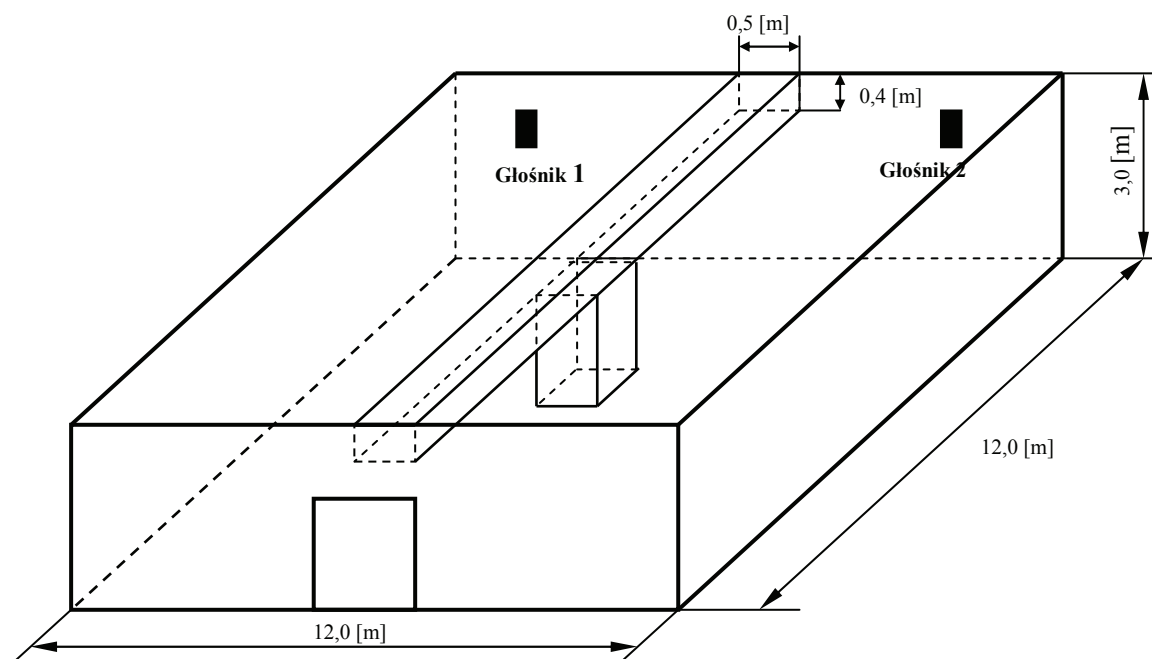
Dla większości audytoriów zbiór 98 punktów określa siatkę analizy, która nie musi być tak szczegółowa. Dlatego, aby przyspieszyć badania audytoriów została stworzona szybka procedura bazująca na części 98 danych. Otrzymany współczynnik nazywany RASTI (*Rapid STI*) bazuje na 9 pomiarach. Analiza jest ograniczona tylko do dwóch zakresów oktauwowych (o częstotliwościach środkowych 500 Hz i 2kHz]) i do czterech lub pięciu częstotliwości modulacji dla tych dwóch zakresów oktaw. Wartość pomiaru zawiera się w przedziale 0÷1.

Tabela 1. Zależności między współczynnikiem STI a zrozumiałością mowy.

STI	Zrozumiałość mowy
0,00 – 0,30	Zła
0,30 – 0,45	Uboga
0,45 – 0,60	Dostateczna
0,60 – 0,75	Dobra
0,75 – 1,00	Doskonała

W przypadku, gdy zajmujemy się pomieszczeniem, w którym nie ma potrzeby stosowania Dźwiękowego Systemu Ostrzegawczego (DSO), oraz gdy nie jest ono przeznaczone do prowadzenia seminariów bądź konferencji, wówczas poziom zrozumiałości mowy RASTI może być niższy np. 0,45. Natomiast, jeżeli zależy nam na pomieszczeniu, w którym bez problemu chcemy prowadzić sympozja, konferencje itp. z udziałem większej ilości osób, wówczas należy zadbać o adaptację akustyczną pomieszczenia.

„Pod lupę” wziąłem salę konferencyjną, którą przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys.1 Sala konferencyjna – widok ogólny pomieszczenia wraz z jego gabarytami.

Powyższy rysunek przedstawia widok poglądowy pomieszczenia wraz z jego wymiarami gabarytowym, które niezbędne są do wykonania symulacji akustycznej.

OPIS OGÓLNY POMIESZCZENIA.

Pomieszczenie jest przeznaczone do celów konferencyjnych lub spotkań okolicznościowych z udziałem większej ilości osób.

Parametry techniczne pomieszczenia:

- Wymiary pomieszczenia: szerokość x długość x wysokość (12x12x3) [m].
- Objętość całego pomieszczenia: $V = 432$ [m³].
- Objętość pomieszczenia po odjęciu filaru oraz belki stropowej: $V \approx 428.95$ [m³].
- Ilość miejsc siedzących – około 120 miejsc.

Widok pomieszczenia przedstawiony jest na zdjęciach poniżej;



*Rys2. Widok sali od strony wejścia –
przód strona lewa*



*Rys3. Widok sali od strony mówcy –przód
strona prawa*

Parametry akustyczne pomieszczenia:

Jak przedstawiono na zdjęciach powyżej, pomieszczenie nie jest jednolicie wyposażone i można zauważyć, że zarówno na ścianie tylnej jak i przedniej są położone drewniane panele (sklejka) natomiast na ścianie frontowej wyłożone są płyty kartonowo gipsowe pomalowane białą farbą. Pozostałe ściany są pokryte tynkiem. Większą część ścian bocznych wypełniają okna, przed którymi zainstalowane są żaluzje pionowe (*wertikale*).

Dzięki powyższym rozwiązaniom możemy powiedzieć, że w niewielkim stopniu jest zwiększona chłonność akustyczna A pomieszczenia, w odniesieniu do przypadku, gdy wszystkie ściany pomieszczenia byłyby betonowe. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż podłoga wyłożona jest płytkami podłogowymi, pogarszającymi warunki akustyczne pomieszczenia, tzn. wydłuża się czas pogłosu, oraz wzrasta prawdopodobieństwo powstawania większej ilości odbić fali akustycznej.

Ogólne wiadomości z zakresu akustyki

Propagacja dźwięku w powietrzu odbywa się w postaci fali akustycznej. W zależności od częstotliwości, z jaką emitowany jest sygnał, otrzymujemy różne długości fali akustycznej. Zależność pomiędzy częstotliwością a długością fali akustycznej jest przedstawione poniżej:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

gdzie:

f – częstotliwość fali [Hz].

λ – długość fali [m],

c – prędkość rozchodzenia się fali akustycznej w powietrzu, $c=344$ [m/s],

W zależności od środowiska, w jakim rozchodzi się dźwięk, jego prędkość jest zmienna.

Tabela 2. Zależności między częstotliwością a długościami fali akustycznej.

Długości fal dla podstawowych częstotliwości oktawowych.											
f [Hz]	20	63	125	250	500	1 000	2000	4000	8000	16000	20000
λ [m]	17,20	5,46	2,75	1,38	0,69	0,34	0,172	0,086	0,043	0,021	0,017

Podstawowymi parametrami decydującymi o własnościach akustycznych pomieszczenia oraz zrozumiałości mowy są:

- **Całkowita chłonność akustyczna.** Jest sumą współczynników pochłaniania dźwięku zastosowanych materiałów dla poszczególnych częstotliwości oktawowych: 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz oraz 8kHz.

$$A = S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + S_3 \alpha_3 + \dots + S_n \alpha_n. [m^2]$$

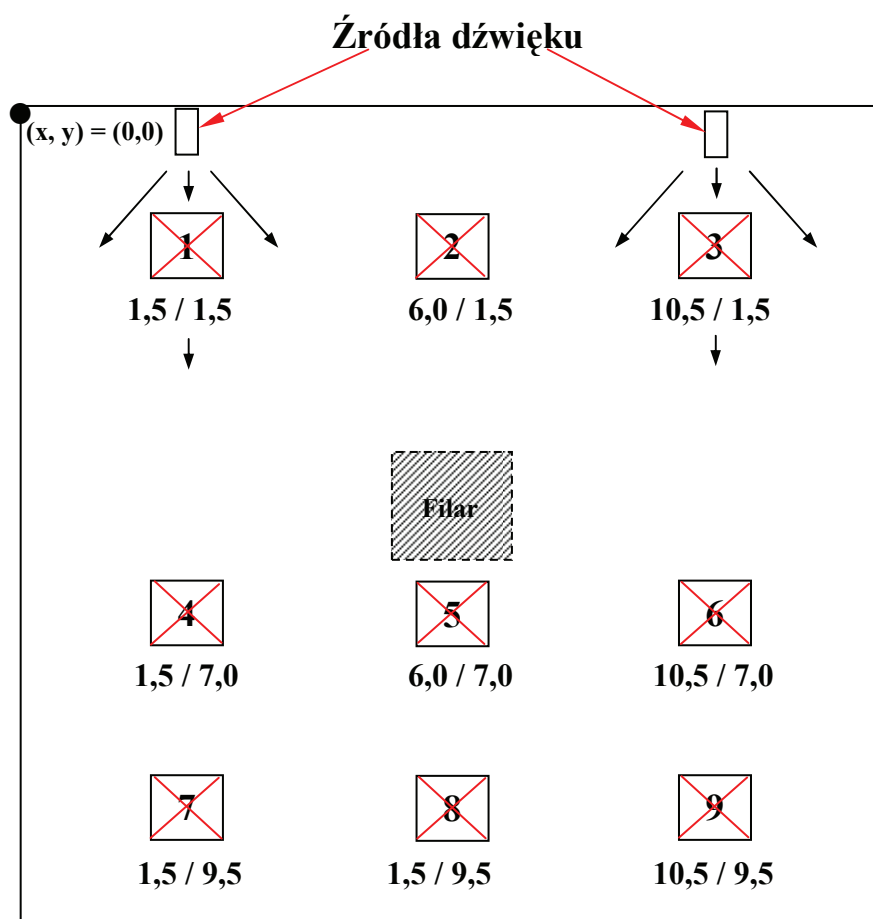
Każdy z materiałów posiada własności akustyczne związane ze współczynnikiem pochłaniania „ α ” i takie dane można wyszukać w specjalnych tabelach. $S [m^2]$ jest to powierzchnia ograniczająca danego materiału.

- **Echo.** Za echo uznaje się głos, który dotrze do odbiorcy z opóźnieniem, co najmniej $1/10$ s po dźwięku docierającym bezpośrednio. Taki czas umożliwia człowiekowi rozpoznanie obu dźwięków. Przy temperaturze około 20°C odpowiada to sytuacji, gdy odbijająca przeszkoda jest oddalona o minimum $16,2$ [m]. Jeżeli czas między docierającymi dźwiękami jest mniejszy niż $1/10$ s, to zjawisko to nazywamy pogłosem. Jeśli echo pojawia się dużo później, niż pierwsze pojawienie się dźwięku, powoduje pogorszenie zrozumiałości. W przypadku ciągłej mowy, echo poprzednio wypowiedzianych sylab ukrywa lub zniekształca brzmienie następnych, czyniąc je trudniejszymi do zrozumienia. Opóźnienie i poziom echa są głównymi zmiennymi wpływającymi na jego stopień uciążliwości.
- **Pogłos RT_{60} .** Jest to czas ($t < 1/10$ s), po którym poziom dźwięku wyemitowanego ze źródła i nagle wyłączonego, spadnie o 60dB w odniesieniu do poziomu sygnału wyjściowego. Czas pogłosu wyrażamy [s].
- **Zniekształcenia.** Jeśli jeden z elektrycznych lub elektroakustycznych komponentów systemu powoduje zniekształcenia, generuje formę szumu, zniekształcającego oryginalny sygnał. Na przykład obcinanie częstotliwości przez wzmacniacz, może z idealnego sygnału na wejściu uczynić trudnym do zrozumienia na wyjściu.
- **Stosunek S/N mowy.** Szum powoduje maskowanie lub przytłumianie sygnału głosowego. Ucho ludzkie jest w stanie znieść wysoki poziom szumów w sygnale, niestety w momencie, gdy stosunek S/N staje się coraz mniejszy, wówczas zrozumiałość gwałtownie spada.

Ważną informacją jest również przeznaczenie danego pomieszczenia, a co za tym idzie dobór odpowiedniego nagłośnienia oraz jego rozmieszczenie. Posiadając takowe informacje należy wykonać pomiary akustyczne: (poziom szumów tła akustycznego, czas pogłosu, zrozumiałość mowy) w przypadku pomieszczenia już zbudowanego, natomiast, jeśli jest to dopiero etap przygotowawczy (projektowy) należy, jeśli to możliwe wykonać symulację akustyczną pomieszczenia.

Pomiary sali konferencyjnej

Przed wykonaniem pomiarów akustycznych w sali zmierzono jej gabarytowe wymiary wewnętrzne i naniesiono punkty pomiarowe zgodnie z rysunkiem nr 4.



Rys.4 Sala konferencyjna – rozmieszczenie punktów pomiarowych.

Jak widać każdemu z punktów pomiarowych przypisano współrzędne (x, y) , przyjmując początek sali $(0, 0)$ w lewym górnym rogu.

Pierwszym z pomiarów był pomiar czasu pogłosu przy użyciu zestawu pomiarowego „*Terrasonde- The Audio Toolbox*” z wbudowaną procedurą RT_{60} oraz jako źródło dźwięku wykorzystano kolumny głośnikowe znajdujące się na ścianie.

Kolejno dokonano pomiaru poziomu tła akustycznego wewnątrz pomieszczenia. Zmierzony poziom tła wewnątrz sali konferencyjnej przy zamkniętych oknach wyniósł średnio w każdym z punktów pomiarowych 38 ± 2 [dB].

Następnie przy wykorzystaniu zestawu **DSP2** wraz z **STICs Talkbox** służącego do pomiaru zrozumiałości mowy zmierzono wartości RASTI, po 3 pomiary na punkt.

Wszystkie pomiary były wykonywane w pustej sali (bez „publiczności”). Uśrednione wyniki przeprowadzonych pomiarów przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 3. Tabela pomiarów wykonanych w pustej sali.

Lp.	Położenie punktu pomiarowego (x/y) [m]	Średni czas pogłosu RT 60 [ms]	RASTI		
			Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3
1	1,5 / 1,5	2691	0,39	0,40	0,39
2	6,0 / 1,5	2691	0,38	0,36	0,38
3	10,5 / 1,5	2691	0,42	0,39	0,40
4	1,5 / 7,0	2691	0,37	0,35	0,35
5	6,0 / 7,0	2691	0,37	0,36	0,39
6	10,5 / 7,0	2691	0,35	0,34	0,34
7	1,5 / 9,5	2691	0,33	0,31	0,32
8	6,0 / 9,5	2691	0,35	0,34	0,33
9	10,5 / 9,5	2691	0,32	0,34	0,33

W celu uniknięcia błędu związanego z zaszeregowaniem otrzymanych wyników pomiarów RASTI do odpowiadających im poziomom zrozumiałości mowy obliczono odchylenie standardowe dla poszczególnych pomiarów w danym punkcie:

Tabela 4. Tabela pomiarów RASTI wraz z obliczonymi odchyleniami standardowymi i wartościami średnimi.

Lp.	Położenie punktu pomiarowego (x/y) [m]	RASTI				
		Pomiar 1	Pomiar 2	Pomiar 3	Odchylenie standardowe δ	Wartość średnia
1	1,5 / 1,5	0,39	0,40	0,39	0,005774	0,39
2	6,0 / 1,5	0,38	0,36	0,38	0,011547	0,37
3	10,5 / 1,5	0,42	0,39	0,40	0,015275	0,40
4	1,5 / 7,0	0,37	0,35	0,35	0,011547	0,36
5	6,0 / 7,0	0,37	0,36	0,39	0,015275	0,37
6	10,5 / 7,0	0,35	0,34	0,34	0,005774	0,34
7	1,5 / 9,5	0,33	0,31	0,32	0,01	0,32

8	6,0 / 9,5	0,35	0,34	0,33	0,01	0,34
9	10,5 / 9,5	0,32	0,34	0,33	0,01	0,33

Uwaga. Należy pamiętać, iż pomiar czasu pogłosu był wykonywany bez użycia źródła izotropowego, co mogło wprowadzić pewne przekłamania w wynikach pomiarów, jednakże zakładając, że był to pomiar dla potrzeb rozważań teoretycznych błąd ten można pominąć.

Wnioski

Po sporządzeniu wyników pomiarów możemy zauważyć, że czas pogłosu pomieszczenia jest zbyt długi jak dla tego typu pomieszczenia *, co za tym idzie wartości wskaźników zrozumiałości mowy są niezadowolające.

Jedynym z rozwiązań dla poprawienia własności akustycznych sali konferencyjnej jest próba przeprowadzenia symulacji akustycznej pomieszczenia i jego ocena pod względem doboru materiałów.

W następnym numerze przedstawimy ciąg dalszy tematu – część 2 „Symulacja”.

Literatura:

1. Materiały dydaktyczne - „Kurs dla projektantów i instalatorów DSO”. CNBOP 2006 – praca zbiorowa,
2. Z. Żyszkowski – „Podstawy elektroakustyki”.
3. J. Sereda – „Pomiary w elektroakustyce”.
4. A. Gołaś – „Podstawy sterowania dźwiękiem w pomieszczeniach”
5. B. Urbański – „Elektroakustyka”
6. PN-EN 60849 – „Dźwiękowe Systemy Ostrzegawcze”
7. Klark Teknik.- „The Audio System Designer” – Technical reference,

* (dla pomieszczeń typu sala konferencyjna czas pogłosu powinien się zawierać w przedziale od 0.6 – 1.2 sekundy). *Typical reverbation time design targets*: „*The Audio System Designer*” – Technical reference, Klark Teknik.