

PROJEKT WYKONAWCZY

TEMAT	Przebudowa i rozbudowa budynku magazynu uzbrojenia na Mrągowskie Centrum Aktywności Lokalnej Kategoria obiektu IX			
ZADANIE	Projekt Akustyki Sali Wielofunkcyjnej			
ADRES INWESTYCJI	11-700 Mrągowo, ul. Kopernika 2C działka nr 22/19 obręb 6			
KODY CPV	45212300-9 Roboty budowlane w zakresie budowy artystycznych i kulturalnych obiektów budowlanych			
INWESTOR	Gmina Miasto Mrągowo, ul. Królewiecka 60A, 11-700 Mrągowo			
	OPRACOWAŁ	mgr inż. Piotr Raczyński <i>Uprawnienia budowlane do projektowania bez ograniczeń w specjalności telekomunikacyjnej, Nr ew. WAM/0104/POOT/08 wpisany do Centralnego Rejestru Osób Posiadających Uprawnienia Budowlane pod pozycją 106/09/U/C Specjalista SEP w zakresie Elektronika-Elektroakustyka, Nr ew. 139/08/OL</i>		

BIURO PROJEKTÓW „BPBW” Sp. z o.o.

0-448 Olsztyn ul. Głowackiego 28
adres internetowy: www.bpbw.olsztyn.pl
tel. (89) 524-95-00 fax. (89) 524-95-55
(e-mail) info@bpbw.olsztyn.pl

NR UMOWY 8.PBI.2016 P/3859/S
PRAWA AUTORSKIE ZASTRZEŻONE

lipiec 2016

Spis Treści

Część I. Część Ogólna	3
1. Przedmiot opracowania.....	4
2. Zakres opracowania	4
3. Podstawa opracowania	4
4. Normy i przepisy	4
5. Akustyka - definicje	6
6. Zrozumiałość mowy - definicje	8
7. Wpływ parametrów akustycznych na zrozumiałość mowy.....	9
8. Wymagania	10
9. Założenia ogólne	12
10. EASE – symulator akustyczny	13
11. Modelowanie akustyczne	14
11.1. Parametry powierzchni	14
11.2. Płaszczyzny odsłuchu.....	14
11.3. Współrzędne głośników.....	14
11.4. Głośniki – typy i modele.....	15
11.5. Parametry akustyczne	16
11.6. Ważność wyników symulacji	16
12. Bibliografia.....	17
13. Znaki towarowe	17
Część II. Analiza Akustyczna	18
1. Model 3D	19
2. Parametry akustyczne pomieszczenia	22
2.1. Geometria i kubatura.....	22
2.2. Wykończenie powierzchni.....	22
2.3. Czas pogłosu RT	28
2.4. Tło akustyczne (poziom szumu)	32
3. Symulacje akustyczne	33
3.1. Głośniki sufitowe (M002).....	33
4. Podsumowanie wyników	43
5. WYTYCZNE.....	45

Część I.

Część Ogólna

1. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania jest przeprowadzenie analizy akustycznej pomieszczenia Sali Wielofunkcyjnej w ramach projektowanej „Adaptacji budynku magazynu uzbrojenia przy ul. Kopernika 2C na Mrągowskie Centrum Aktywności Lokalnej”, pod kątem optymalizacji warunków akustycznych, weryfikacji przydatności pomieszczenia do założonych celów oraz spełnienia wymagań przepisów budowlanych w zakresie akustyki wnętrz. Celem opracowania jest sprawdzenie wpływu zaprojektowanych materiałów wykończeniowych, weryfikacja usytuowania głośników zaprojektowanego systemu nagłośnienia oraz określenie przewidywanego poziomu zrozumiałości komunikatów nadawanych przez system nagłośnienia.

2. Zakres opracowania

Opracowanie obejmuje następujący zakres szczegółowy:

- Trójwymiarowy model pomieszczeń
- Poglądowa wizualizacja 3D
- Geometria, proporcje i kubatura pomieszczenia
- Materiały wykończeniowe
- Czas pogłosu **RT**
- Poziom natężenia dźwięku bezpośredniego **Direct SPL**
- Całkowity poziom natężenia dźwięku **Total SPL**
- Zrozumiałość mowy **STI**
- Przejrzystość dźwięku (Clarity) **C₅₀** i **C₈₀**

3. Podstawa opracowania

- Zlecenie na wykonanie dokumentacji
- Dokumentacja architektoniczna w wersji elektronicznej
- Obowiązujące normy i przepisy
- Uzgodnienia międzybranżowe
- Uzgodnienia z Inwestorem
- Literatura branżowa
- Informacje udostępnione przez producentów na temat parametrów technicznych materiałów i urządzeń

4. Normy i przepisy

Na potrzeby niniejszego opracowania powołuje się następujące przepisy:

Polska Norma PN-B-02151-4 – Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.

Polska Norma PN-EN-12354-6 – Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów - Część 6: Pochłanianie dźwięku w pomieszczeniach.

Polska Norma PN-EN ISO 3382-2 – Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.

Polska Norma PN-EN 60849 - Dźwiękowe Systemy Ostrzegawcze

5. Akustyka - definicje

Pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α

Opisuje intensywność pochłaniania dźwięku przez płaszczyznę (np. ścianę pomieszczenia):

$$\alpha = \frac{E_1}{E_2}$$

gdzie: E_2 – energia akustyczna padająca na płaszczyznę

E_1 – część energii akustycznej, która nie została odbita

Pogłosowy współczynnik pochłaniania α zależy od częstotliwości. Do opisu zjawisk akustycznych w pomieszczeniu stosuje się **średni ważony pogłosowy**

współczynnik pochłaniania dźwięku $\bar{\alpha}$ uwzględniający wpływ wszystkich płaszczyzn (ścian) proporcjonalnie do ich powierzchni:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

gdzie: α_n – pogłosowy współczynnik pochłaniania płaszczyzny n

S_n – pole powierzchni płaszczyzny n

Chłonność akustyczna

$$A = \alpha \cdot S$$

gdzie: α – pogłosowy współczynnik pochłaniania płaszczyzny (ściany)

S – pole powierzchni płaszczyzny (ściany)

C_t (z ang. *Clarity*) – **Przejrzystość**

Określana jako stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w ciągu czasu t po dźwięku bezpośrednim do energii pozostałej części dźwięku, wyrażony w dB. Najczęściej stosuje się $t=7\text{ms}$, 50ms i 80ms , przy czym:

C_{50} – stosuje się do opisu przejrzystości mowy

C_{80} – stosuje się do opisu przejrzystości muzyki

RT (z ang. *Reverberation Time*) lub **T** – **Czas pogłosu**

Opisuje czas wybrzmiewania dźwięku. Jest definiowany jako czas, jaki upływa od momentu wyłączenia źródła dźwięku w pomieszczeniu do chwili, kiedy energia pola akustycznego zmniejszy się 10^6 razy (czyli poziom ciśnienia akustycznego zmniejszy się o 60 dB). Czas pogłosu RT pomieszczenia jest uzależniony od średniego ważonego pogłosowego współczynnika pochłaniania

dźwięku $\bar{\alpha}$, więc zależy również od częstotliwości. Czas pogłosu RT można obliczyć dla pomieszczenia korzystając z następujących wzorów:

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \bar{\alpha}} \quad \text{dla } \bar{\alpha} < 0,2 \text{ (wzór Sabine'a)}$$

$$RT = -\frac{0,161 \cdot V}{S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad \text{dla } \bar{\alpha} \geq 0,2 \text{ (wzór Eyring'a)}$$

gdzie: S – pole powierzchni wszystkich płaszczyzn (wewnętrzne)
 V – objętość pomieszczenia

Obliczenie czasu pogłosu ze wzoru Sabine'a lub Eyring'a jest pewnym przybliżeniem. W trakcie wykonywania symulacji akustycznych stosowana jest bardziej dokładna, statystyczna metoda teoretycznego wyznaczenia wartości RT - tzw. algorytm Schroedera.

Local RT (z ang. *Local Reverberation Time*)

Czas pogłosu wyznaczony z lokalnej krzywej zaniku dźwięku **Local Decay Time** w wybranym punkcie pomieszczenia obliczonej z wykorzystaniem metody ray tracing, czyli promieniującego źródła o charakterystyce dookolnej.

SPL (z ang. *Sound Pressure Level*) – poziom ciśnienia akustycznego

$$SPL = 20 \log\left(\frac{p}{p_0}\right) dB$$

gdzie: p – ciśnienie akustyczne
 p_0 – minimalne ciśnienie akustyczne dźwięku słyszalnego przy 1kHz

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$$

Odległość graniczna (promień krytyczny)

Odległość, w której moc fali bezpośredniej równa jest mocy fal odbitych. Dla przeciętnego tempa mowy czterokrotna odległość graniczna odpowiada zasięgowi dobrej zrozumiałości mowy.

Poziom głośności

Względna miara głośności dźwięku. Jednostką jest 1 fon. Dźwięk ma poziom głośności n fonów, jeżeli jest tak samo głośny, jak dźwięk o częstotliwości 1kHz i poziomie ciśnienia akustycznego n dB.

Poziom dźwięku

Ważony poziom ciśnienia akustycznego, będący obiektywnym pomiarowym przybliżeniem poziomu głośności, wyrażony w dB(A), dB(B) lub dB(C) w zależności od zastosowanej funkcji ważenia A, B lub C.

6. Zrozumiałość mowy - definicje

CIS (z ang. *Common Intelligibility Scale*) – **Wspólna skala zrozumiałości**

Skala odniesienia przeznaczona do porównywania rezultatów pomiarów zrozumiałości wykonanych różnymi metodami, w tym Speech Intelligibility Index (SII, dawniej Articulation Index - AI), Articulation Loss of Consonants (AL_{cons}), Modified Rhyme Test, Phonetically Balanced Word Scores, STI. Wśród metod, do których odnosi się CIS, znajdują się zarówno metody ilościowe, jak i subiektywne. CIS przyjmuje wartości z zakresu od 0 do 1, przy czym 1 oznacza pełną zrozumiałość, a 0 całkowity brak zrozumiałości.

AL_{cons} (z ang. *Articulation Loss of Consonants*) - **Utrata wyrazistości spółgłoskowej**

Miara określająca zrozumiałość mowy na podstawie liczby poprawnie zrozumianych spółgłosek w testach składających się z odpowiednich wyrazów monosylabicznych. Parametr ten wprowadzono po przeprowadzeniu licznych badań i na ich podstawie określono wzór empiryczny:

$$AL_{cons} = \frac{200 \cdot D^2 \cdot (RT)^2}{V} [\%]$$

gdzie: D – odległość między słuchaczem a źródłem dźwięku

RT – czas pogłosu

V – objętość pomieszczenia

AL_{cons} przyjmuje wartości od 0% do 100%, przy czym 0% oznacza pełną zrozumiałość, a 100% całkowity brak zrozumiałości.

STI (z ang. *Speech Transmission Index*)

Wskaźnik transmisji mowy służący za miarę zrozumiałości. Idea pomiaru polega na zastąpieniu mowy powtarzalnymi, zmodulowanymi sygnałami posiadającymi taki sam charakter, jak sygnał mowy. Pomiar polega na określeniu pozostałości modulacji w sygnale odbieranym względem sygnału źródłowego. Stosunkowo prosta metoda pomiarowa, należąca do grupy metod ilościowych, uwzględniająca większość czynników mających wpływ na zrozumiałość przekazywanych komunikatów. STI przyjmuje wartości od 0 do 1, przy czym 1 oznacza pełną zrozumiałość, a 0 całkowity brak zrozumiałości.

RASTI (z ang. *Rapid Articulation Speech Transmission Index*)

Metoda RASTI powstała wskutek uproszczenia metody STI do pomiaru dokonywanego w dwóch oktawach przy zastosowaniu maksymalnie 5 częstotliwości modulujących.

7. Wpływ parametrów akustycznych na zrozumiałość mowy

Widmo sygnału

Najważniejszą rolę z punktu widzenia zrozumiałości odgrywają składowe sygnału komunikatów głosowych zawarte w przedziale od ok. 300 Hz do 4kHz. Energia sygnału zgromadzona poza tym przedziałem częstotliwości nie wpływa w sposób istotny na zrozumiałość komunikatów.

Stosunek sygnał-szum (S/N)

Szum maskuje sygnał komunikatów, jest więc dźwiękiem niepożądanym. Im mniejsza wartość odstępu sygnału od szumu, tym gorsza zrozumiałość.

Pogłos

Wysoki poziom i duża ilość dźwięków odbitych tworzących pogłos obniżają zrozumiałość. Szczególnie niekorzystne dla zrozumiałości są dźwięki odbite opóźnione o więcej, niż 35-50 ms względem dźwięku bezpośredniego. Duży czas pogłosu RT jest niepożądany dla poprawnego działania Dźwiękowego Systemu Ostrzegawczego.

Echo

Za echo przyjmuje się dźwięki odbite opóźnione względem dźwięku bezpośredniego w sposób rozróżnialny dla ucha. Wysoki poziom dźwięków odbitych tworzących echo i duże opóźnienie obniżają zrozumiałość. Echo jest zjawiskiem niepożądanym dla poprawnego działania Dźwiękowego Systemu Ostrzegawczego.

8. Wymagania

Akustyka wnętrza projektowanej Sali Wielofunkcyjnej powinna być dostosowana do potrzeb związanych z planowanym sposobem eksploatacji oraz powinna zapewnić pomieszczeniu spełnienie wymagań przepisów w zakresie warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy.

Spełnienie wymagań wynikających z PN-B 02151-4 zostanie zbadane na podstawie kryteriów zdefiniowanych dla pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji słownej. Oznacza, że pomieszczenie projektowanej sali wielofunkcyjnej musi spełnić następujące warunki:

Warunek nr 1

Wartość czasu pogłosu T w pomieszczeniu, w odniesieniu do każdego oktawowego pasma o środkowej częstotliwości f wynoszącej: 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, musi spełniać warunek:

$$T \leq 0,8 \text{ s}$$

Warunek nr 2

W paśmie oktawowym o środkowej częstotliwości 125 Hz wartość czasu pogłosu T może być do 30% większa od wartości 0,8 s, tj:

$$T \leq 1,3 * 0,8 \text{ s}$$

Warunek nr 3

W celu uzyskania naturalnego brzmienia dźwięku przebieg charakterystyki czasu pogłosu T w funkcji częstotliwości ma być możliwie płaski, przy czym różnice w wartościach czasu pogłosu T w sąsiednich oktawowym pasmach częstotliwości mają być możliwie małe.

Warunek nr 4

Wartość wskaźnika transmisji mowy STI musi spełniać warunek:

$$STI \geq 0,60$$

Warunek nr 5

Zaprojektowany w pomieszczeniu sali system nagłośnienia powinien być odpowiednio efektywny, czyli słyszalny i zrozumiały. Wymagania w zakresie zrozumiałości zostały sformułowane w postaci warunku nr 4. Wymagania techniczne w zakresie słyszalności zostają przyjęte z normy **PN-EN 60849 - Dźwiękowe Systemy Ostrzegawcze**. Słyszalność systemu zostanie oceniona na podstawie poziomu natężenia dźwięku (**SPL**) i odstępów poziomu nadawanych komunikatów od szumu (**S/N**). Zalecane w normie PN-EN 60849 poziomy dźwięku zostały przedstawione w Tabeli nr 1.

Tabela nr 1. Poziomy dźwięku

Minimalny SPL	65 dBA	Total SPL $\geq$ 65 dBA
Maksymalny SPL (z ograniczeniem ekspozycji)	120 dBA	Total SPL $\leq$ 120 dBA
Minimalny S/N	6 dBA	S/N $\geq$ 6 dB

Spełnienie warunków 1-5 zostanie sprawdzone dla pomieszczenia wykończonego, wyposażonego i umeblowanego, bez obecności ludzi.

Dodatkowo w celu weryfikacji warunków pogłosowych zostaną wyznaczone rozkłady wartości przejrzystości C_{50} i C_{80} oraz odległość graniczna r (promień krytyczny).

9. Założenia ogólne

Do symulacji przyjęto następujące założenia ogólne:

- a) Pomieszczenie będzie wykorzystywane do przeprowadzania konferencji, spotkań, warsztatów, pokazów, wystaw, projekcji filmowych oraz do spędzania czasu wolnego.
- b) System nagłośnienia jest optymalnie wysterowany, tzn. głośniki pracują z mocą określoną w projekcie.
- c) Język nadawanych komunikatów jest językiem rodzimym dla odbiorców (istotne dla obliczeń zrozumiałości).
- d) Percepcja słuchu odbiorców komunikatów jest na poziomie standardowym.
- e) Tor elektroakustyczny nie wprowadza zniekształceń liniowych oraz nieliniowych mających wpływ na słyszalność i zrozumiałość za wyjątkiem głośników, których charakterystyki przenoszenia oraz charakterystyki kierunkowe zostały uwzględnione w symulacji.
- f) Parametry otoczenia wynoszą:
 - wilgotność 60 %
 - temperatura powietrza 20 °C
 - ciśnienie atmosferyczne 1013 hPa
- g) Tło akustyczne (poziom szumu otoczenia) przyjęto na poziomie 60dBA.
- h) Obliczenia przeprowadzono dla pustych pomieszczeń, czyli dla najbardziej niekorzystnych warunków akustycznych pod kątem pogłosowości i zrozumiałości.

10. EASE – symulator akustyczny

Symulacje akustyczne zostały przeprowadzone w licencjonowanym programie do zaawansowanego projektowania akustycznego i symulacji akustycznych **EASE V4.4.12.13** (Electro-Acoustic Simulator for Engineers), którego producentem jest ADA (Acoustic Design Ahnert). Wykorzystano wbudowane w oprogramowanie narzędzia i moduły, w tym zaawansowany moduł obliczeniowy **AURA** (Analysis Utility for Room Acoustics), zawierający algorytmy do bezpośredniego wyznaczania charakterystyk i parametrów akustycznych w oparciu o metodę źródeł promieniujących (z ang. *Ray Tracing*).

Zastosowano także następujące techniki:

- mapowanie charakterystyk i parametrów na płaszczyźnie odsłuchu
- wyznaczanie charakterystyk i parametrów dla wybranych miejsc na płaszczyźnie odsłuchu
- wizualizacja trójwymiarowa wnętrza

Przy wykonywaniu symulacji zostały wykorzystane następujące metody analizy pola akustycznego w pomieszczeniach:

- Metoda falowa
- Metoda geometryczna
- Metoda statystyczna

11. Modelowanie akustyczne

11.1. Parametry powierzchni

W trójwymiarowym modelu geometrycznym zdefiniowano parametry akustyczne płaszczyzn i obiektów. Uwzględniono zastosowane materiały wykończeniowe, w tym materiały warunkujące akustykę pomieszczeń

11.2. Płaszczyzny odsłuchu

Płaszczyzny odsłuchu zostały umieszczone na wysokości 1,5m nad podłogą.

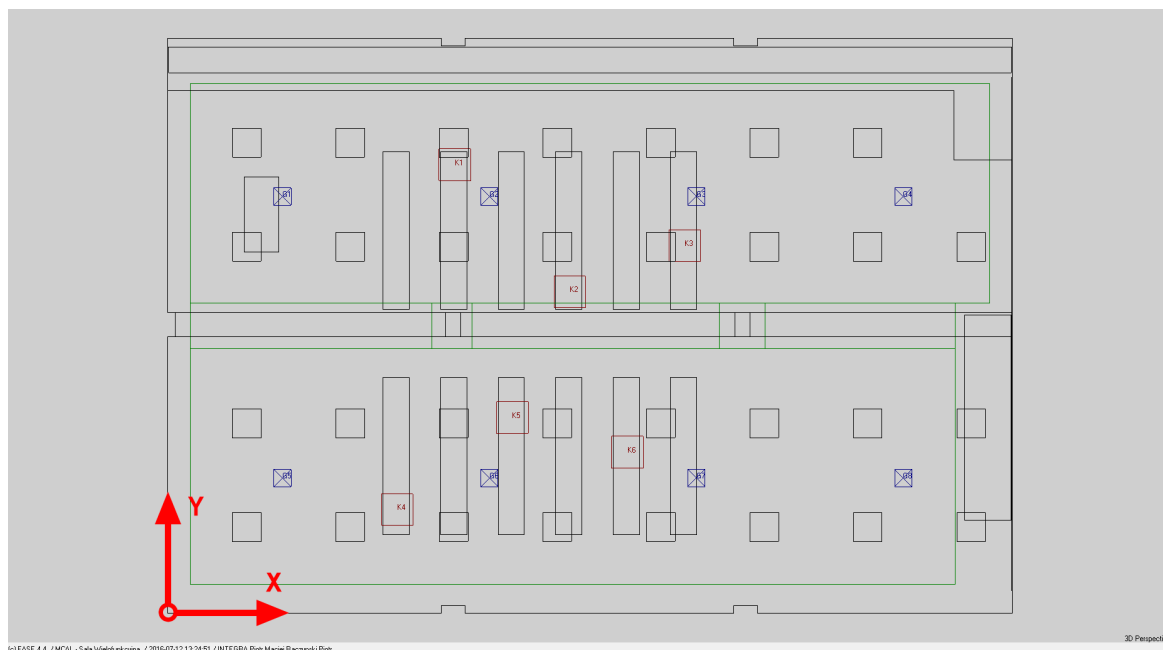
11.3. Współrzędne głośników

Głośniki systemu nagłośnienia zostały zamodelowane z uwzględnieniem sposobu montażu, osi i kierunku promieniowania.

Współrzędne X Y Z

Przyjęto na potrzeby rozmieszczenia głośników układ współrzędnych (XYZ). Początek układu współrzędnych znajduje się w narożniku (powierzchnia ścian) na poziomie posadzki zgodnie z rysunkiem.

Początek układu współrzędnych



Oś X – zgodnie z dokumentacją architektoniczną

Oś Y – zgodnie z dokumentacją architektoniczną

Oś Z – pionowo, zgodnie z dokumentacją architektoniczną

Z=0 – poziom posadzki pomieszczenia

Punkt głośnika, względem którego podawana jest jego lokalizacja, jest to punkt przyjęty jako punkt 0,0,0 (XYZ) w trakcie wykonywania pomiarów charakterystyki kierunkowej głośnika. Zwykle jest to punkt zlokalizowany na osi promieniowania głośnika zlokalizowany jak najbliżej środka geometrycznego jego obudowy. Należy przyjąć, że dopuszczalna tolerancja w lokalizowaniu głośnika stosowanego w systemie DSO jest równa najdłuższemu z wymiarów jego obudowy.

Kąty obrotu H V

H-horyzontalnie, w poziomie

H=0° oznacza kierunek osi Y, zwrot przeciwny do Y

H=90° oznacza kierunek osi X, zwrot zgodny z X

H=180° oznacza kierunek osi Y, zwrot zgodny z Y

H=-90° oznacza kierunek osi X, zwrot przeciwny do X

V-wertykalnie, w pionie

V=0° oznacza poziom

V=-90° pion, kierunek osi Z, zwrot przeciwny do Z (w dół)

V=90° pion, kierunek osi Z, zwrot zgodny z Z (do góry)

11.4. Głośniki – typy i modele

Nagłośnienie pomieszczenia zostało zrealizowane z wykorzystaniem głośników sufitowych. Zestawienie modeli głośników zostało przedstawione w Tabeli nr 2.

Tabela nr 2. Zestawienie modeli głośników

Rodzaj	Producent	Model	Moc (odczepy)
sufitowy	Apart Audio NV	CMX20T	20W (5/10/20)

11.5. Parametry akustyczne

W Tabeli nr 3. znajduje się wykaz parametrów i charakterystyk oraz opisy występujące na rysunkach.

Tabela nr 3. Parametry akustyczne

Opis wykresu/parametru	Nazwa	Zakres lokalizacji
Reverberation	Czas pogłosu RT	Ogólnie
Local Decay Time (average)	Lokalna krzywa zaniku dźwięku (uśredniona)	Płaszczyzny odsłuchu
Distribution of Values for Direct SPL	Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego	Płaszczyzny odsłuchu
Direct SPL	Poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego	Płaszczyzny odsłuchu
Distribution of Values for Total SPL	Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego	Płaszczyzny odsłuchu
Total SPL	Poziom ciśnienia akustycznego	Płaszczyzny odsłuchu
Distribution of Values for STI	Rozkład STI	Płaszczyzny odsłuchu
STI	Zrozumiałość mowy STI	Płaszczyzny odsłuchu
Distribution of Values for C ₅₀	Rozkład współczynnika przejrzystości mowy	Płaszczyzny odsłuchu
C ₅₀	Współczynnik przejrzystości mowy	Płaszczyzny odsłuchu
Distribution of Values for C ₈₀	Rozkład współczynnika przejrzystości muzyki	Płaszczyzny odsłuchu
C ₈₀	Współczynnik przejrzystości muzyki	Płaszczyzny odsłuchu

11.6. Ważność wyników symulacji

Niniejszy projekt wykorzystuje wyniki przeprowadzonej symulacji komputerowej, przy czym wyniki te dotyczą ściśle warunków znanych i przyjętych przy wykonywaniu symulacji. Należy mieć na uwadze, że **każda zmiana założeń technicznych dotyczących geometrii, wystroju oraz wyposażenia pomieszczeń może spowodować zmianę warunków akustycznych, w tym czasu pogłosu i wskaźników zrozumiałości** otrzymanych w symulacji i pogorszyć komfort akustyczny odczuwany przez słuchaczy. W takim przypadku należy ponowić przeprowadzenie symulacji lub weryfikować spełnienie wymagań i oczekiwań na drodze pomiarów oraz odsłuchu.

12. Bibliografia

1. Z. Żyszkowski; Podstawy elektroakustyki; PWN; Warszawa 1987
2. A. Kulowski; Akustyka Sal; Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej; Gdańsk 2007
3. A. Kulowski; Ćwiczenia projektowe z akustyki pomieszczeń z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego; Politechnika Gdańska; Gdańsk 2006
4. C. Dorwaldt; Electro-Acoustic Simulator for Engineers EASE 4.1, User Manual & Tutorial; Renkus-Heinz Inc., ADA (Acoustic Design Ahnert); Foothill Ranch, Berlin 2004

13. Znaki towarowe

Wszystkie użyte w niniejszym opracowaniu znaki i nazwy firmowe lub towarowe należą lub/i są zastrzeżone przez ich właścicieli.

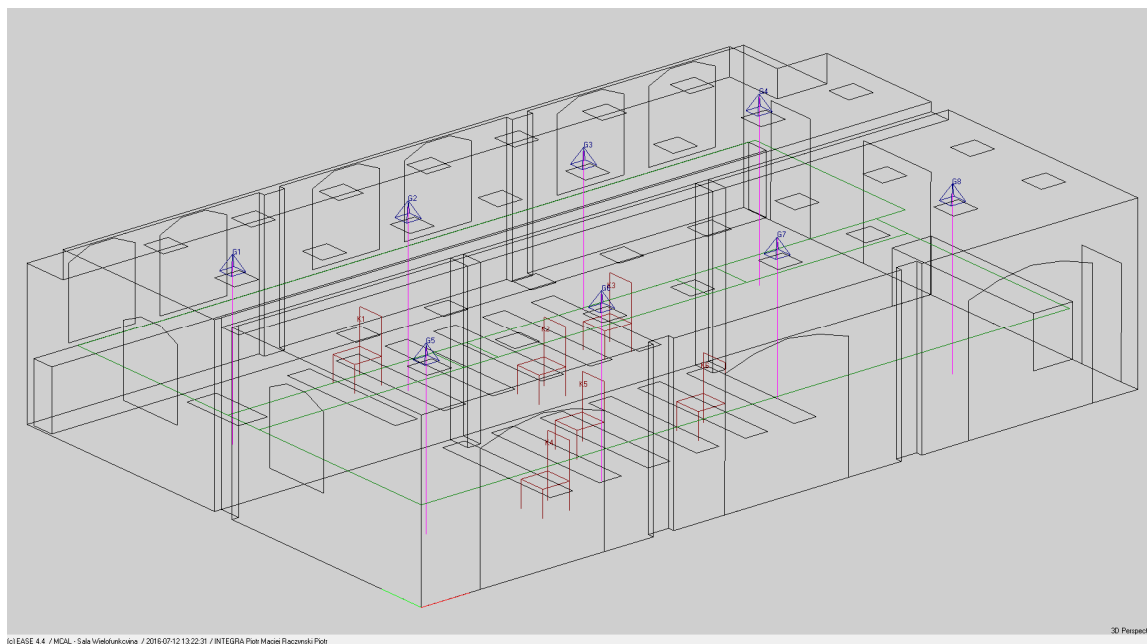
Część II.

Analiza Akustyczna

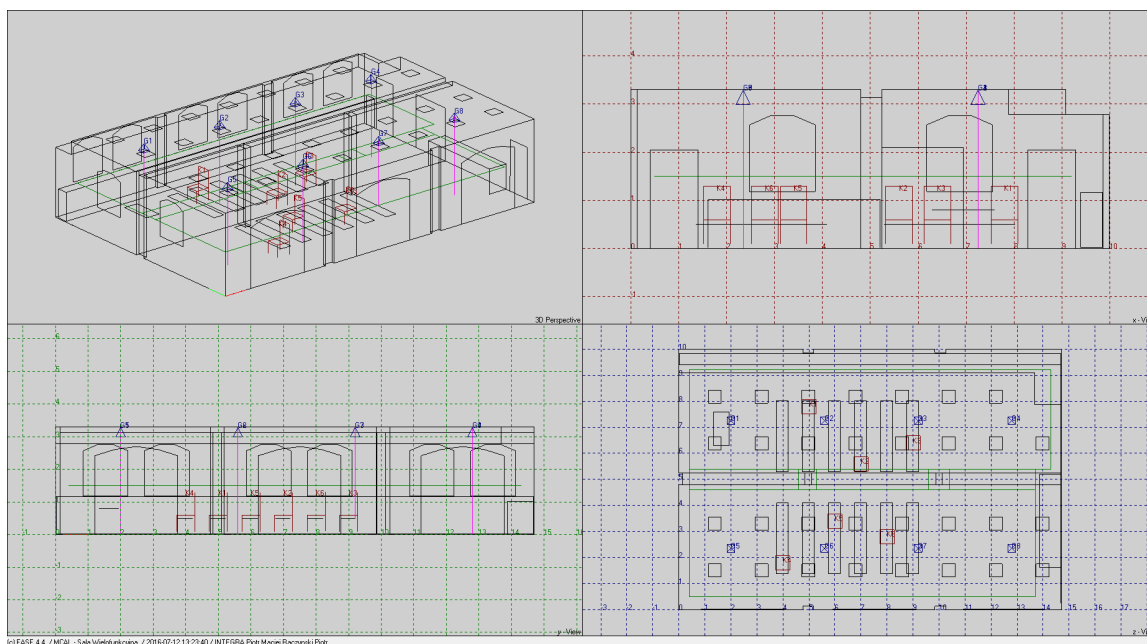
1. Model 3D

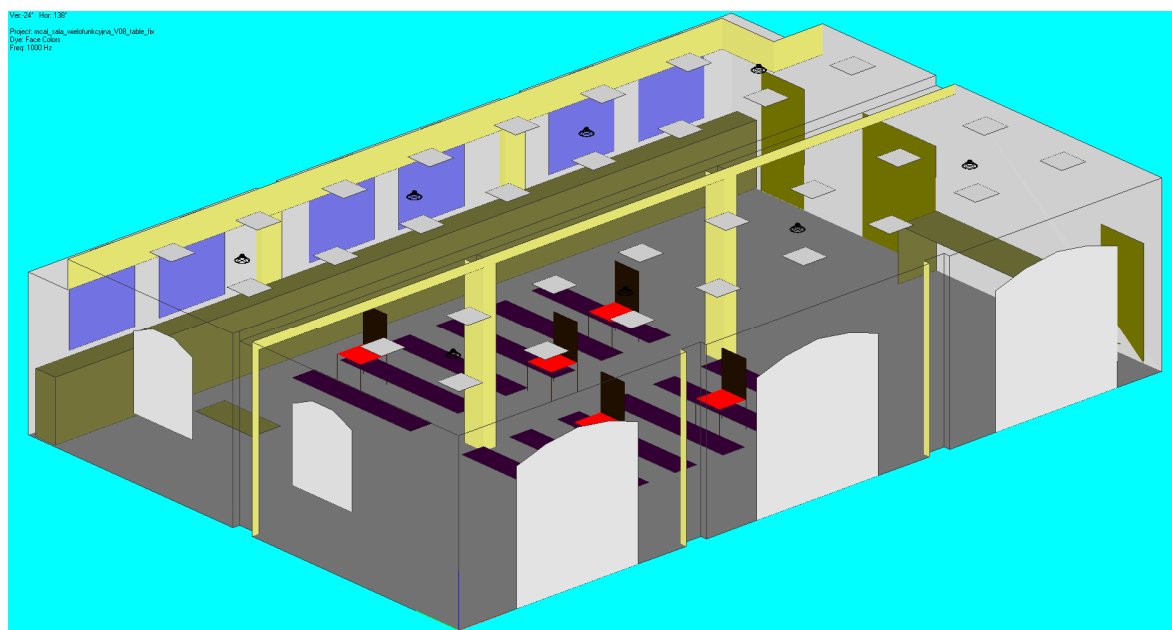
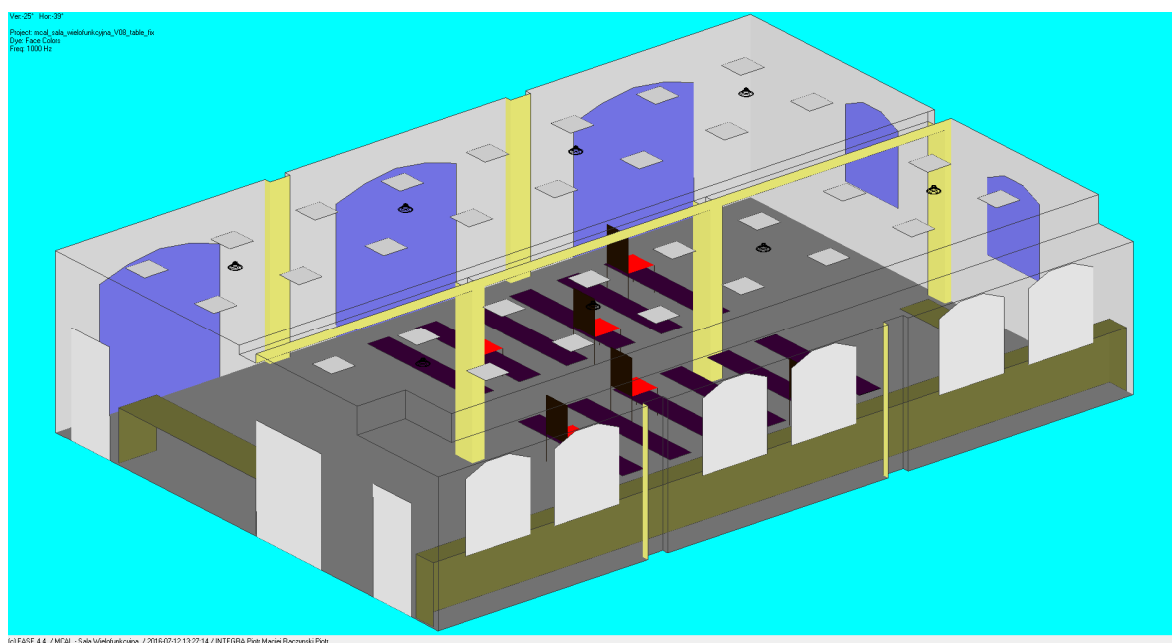
Na potrzeby przeprowadzenia symulacji akustycznych zbudowano trójwymiarowy model geometryczny badanego pomieszczenia. Wykonano poglądową wizualizację 3D pomieszczenia w celu zaprezentowania zdefiniowanego modelu w formie graficznej.

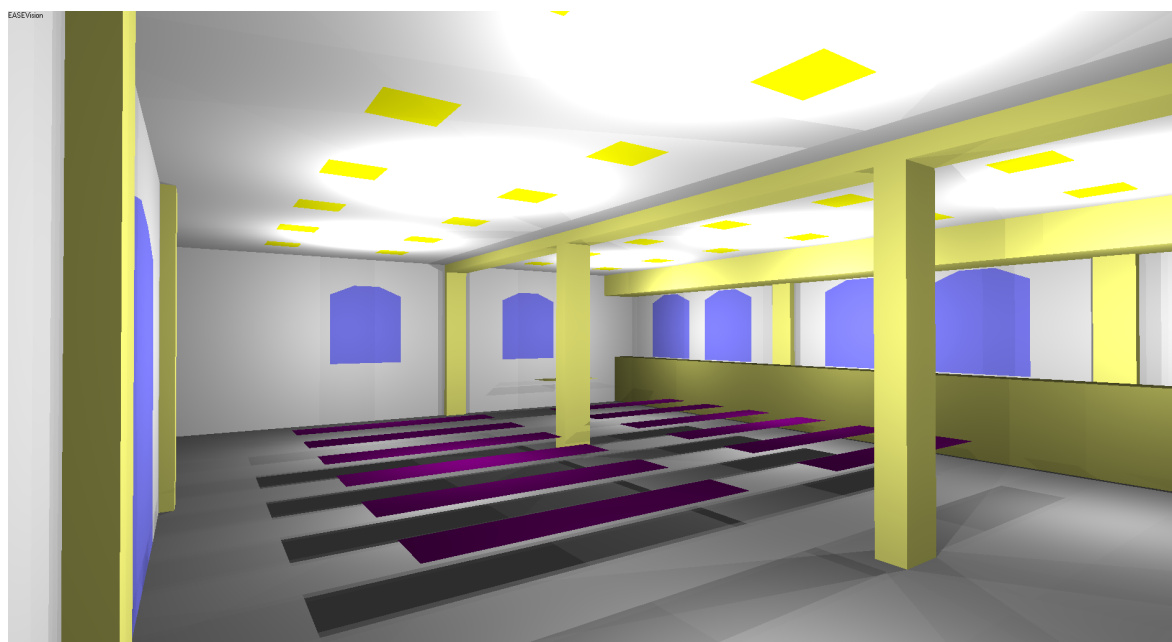
Widok nr 1.



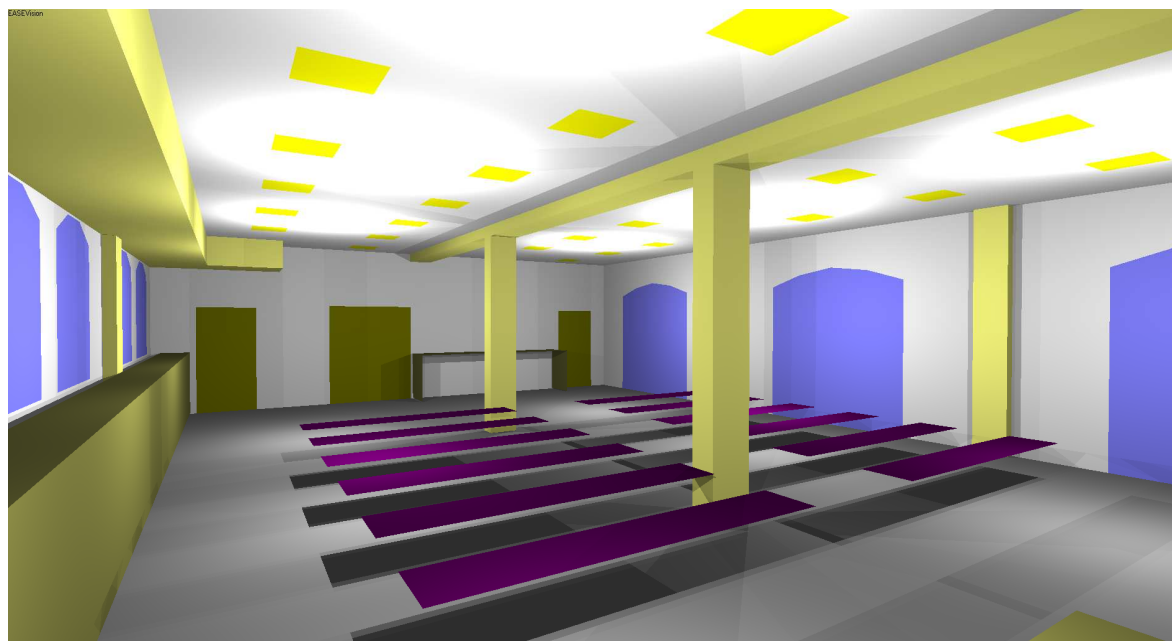
Widok nr 2.



Widok nr 3.**Widok nr 4.**

Widok nr 5.

(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:35:39 / INTEGRA Piotr Maciej Raczynski Piotr

Widok nr 6. Korytarz

(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:39:41 / INTEGRA Piotr Maciej Raczynski Piotr

2. Parametry akustyczne pomieszczenia

2.1. Geometria i kubatura

Wymiary maksymalne modelu: wysokość 3,30m, szerokość 9,99m; długość 14,70m.

Sala jest pomieszczeniem średnim i niskim. Rzut pomieszczenia ma regularny kształt prostokąta. W pomieszczeniu znajduje się niewielka ilość elementów wpływających na rozproszenie dźwięku w postaci słupów, zabudowy instalacji, obudowy konstrukcji sufitu oraz wnęk okien. Jednocześnie pomieszczenie ma niekorzystny układ sufitu, który na całej powierzchni jest równoległy do podłogi. Układ ścian jest regularny, mało urozmaicony, przy czym przeciwległe ściany mają układ równoległy.

Objętość modelu: 474,19 m³

Powierzchnia przegród modelu: 561,53 m²

Z ogólnych zaleceń branżowych [2] wynikają następujące wymagania co do maksymalnej wartości czasu pogłosu pomieszczenia typu sala konferencyjna z nagłośnieniem, przy uwzględnieniu kubatury (V):

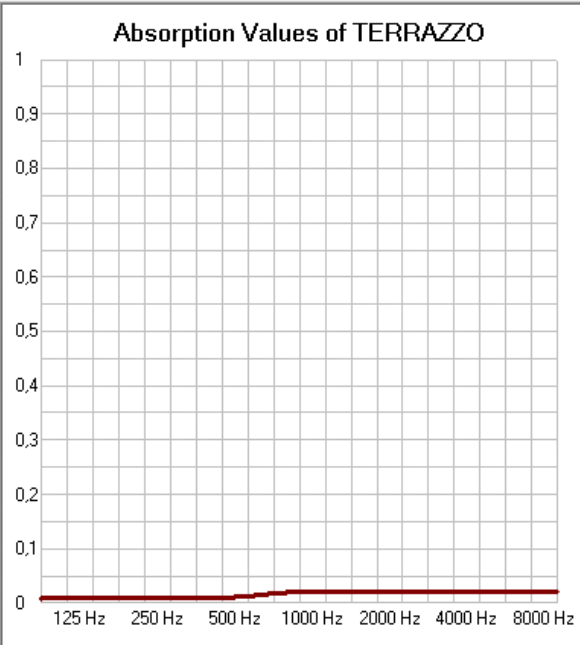
$$RT = 0,3 \log V - 0,3 = \mathbf{0,50 \text{ s}}$$

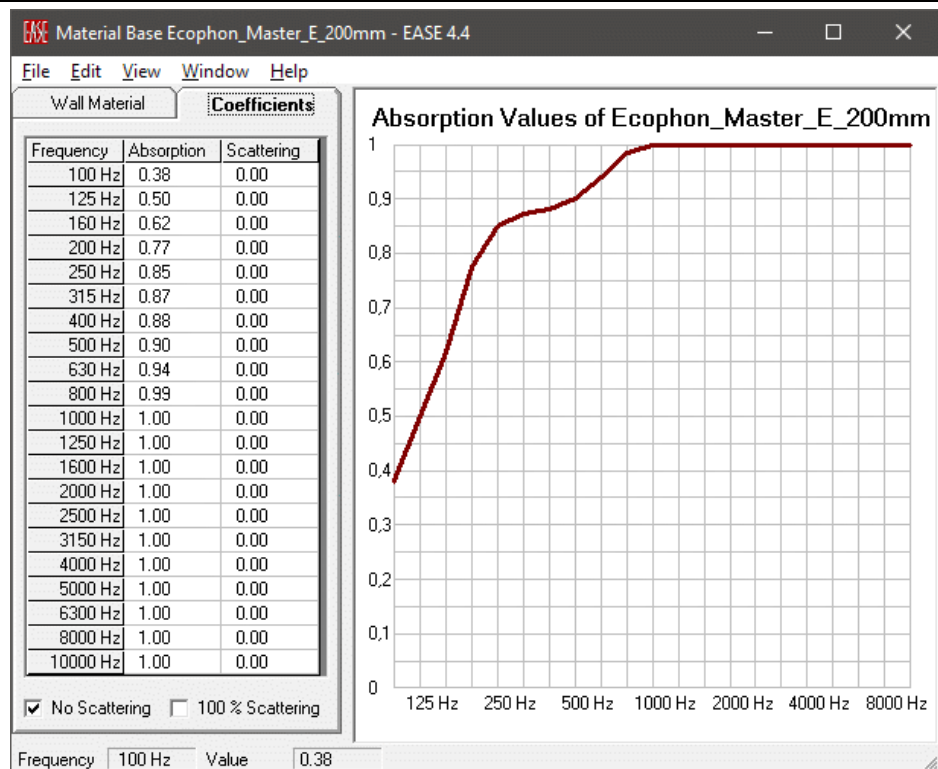
Z warunku nr 1 przyjętego na podstawie PN-B 02151-4:

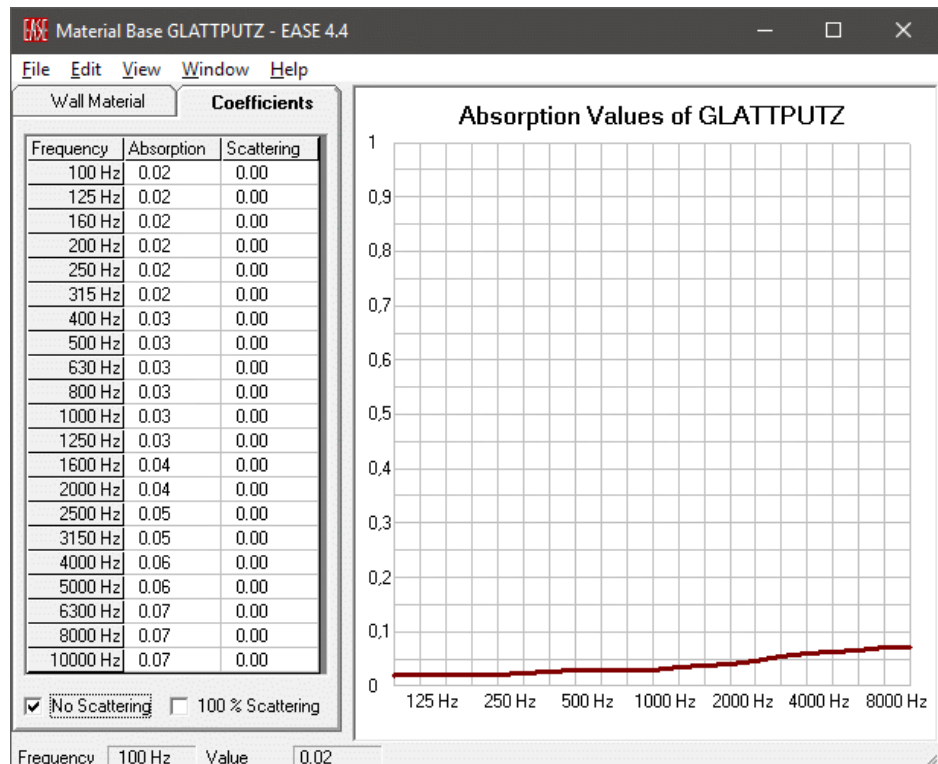
$$RT = T \leq \mathbf{0,8 \text{ s}}$$

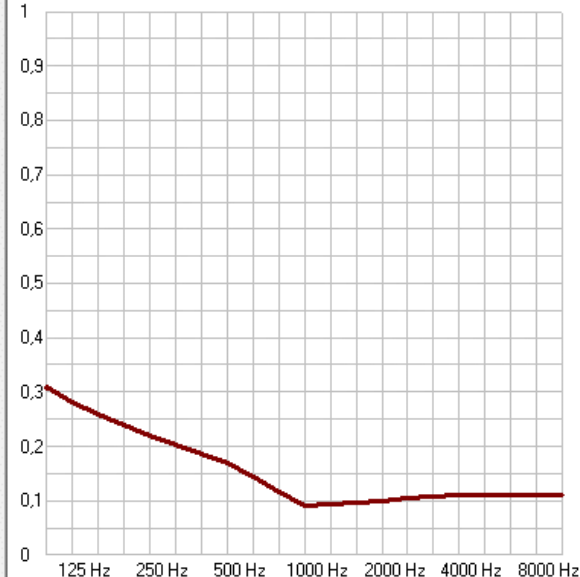
2.2. Wykończenie powierzchni

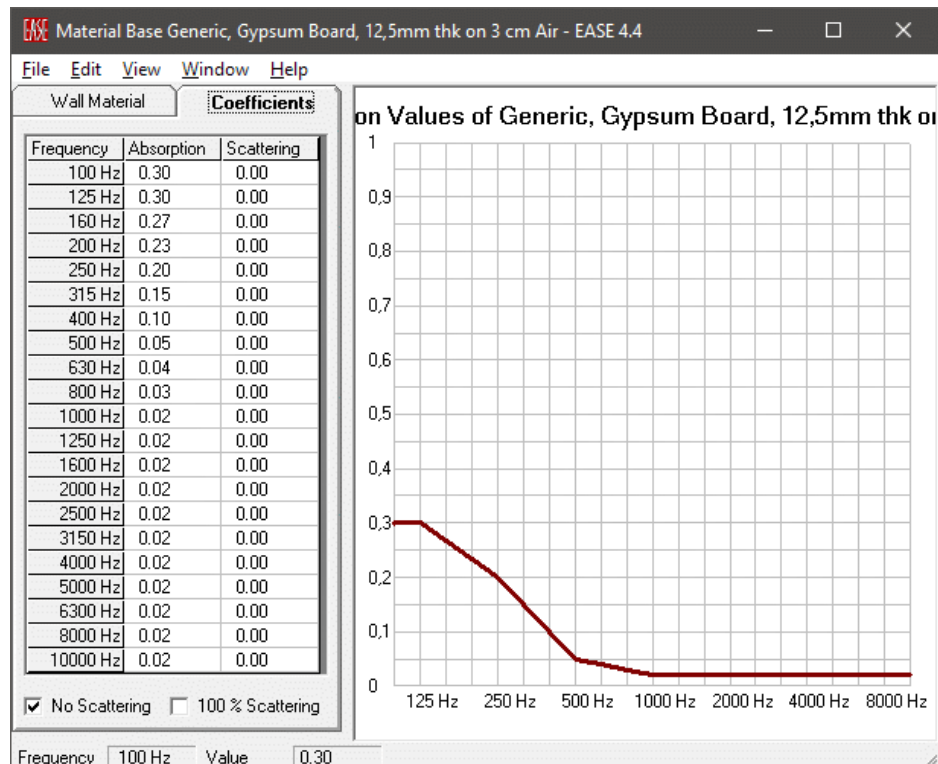
Warunki akustyczne w pomieszczeniach są kształtowane przez sposób wykończenia głównych powierzchni, czyli posadzki i sufitu oraz ścian. Podłogi i ściany pomieszczenia stanowią powierzchnie twarde, dobrze odbijające dźwięk. Posadzka jest z płytek gresowych, czyli twarda i gładka, przy czym silnie odbija dźwięk. Ściany stanowią powierzchnie otynkowane. Pewną część powierzchni ścian stanowią przeszklenia. Jediną powierzchnią architektoniczną pochłaniającą dźwięk jest zaprojektowany na suficie panelowy sufit akustyczny. Niewielki udział w pochłanianiu dźwięku mają elementyumeblowania – zabudowa meblowa wzdłuż jednej ze ścian.

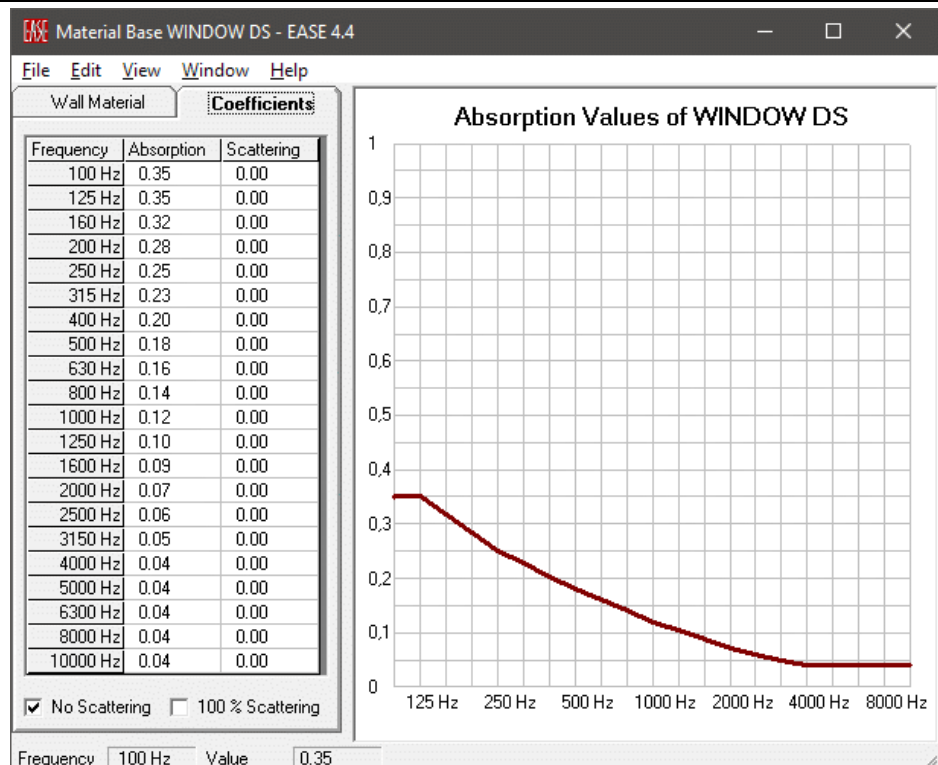
Nazwa	Podłoga – gres																																																																		
Powierzchnia	146,17 m ² (26,03%)																																																																		
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	EASE Material Base TERRAZZO - EASE 4.4 FileEditViewWindowHelp Wall Material Coefficients <table><thead><tr><th>Frequency</th><th>Absorption</th><th>Scattering</th></tr></thead><tbody><tr><td>100 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>125 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>160 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>200 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>250 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>315 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>400 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>500 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>630 Hz</td><td>0.01</td><td>0.00</td></tr><tr><td>800 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1250 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1600 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2500 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>3150 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>4000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>5000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>6300 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>10000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr></tbody></table> ☒ No Scattering☐ 100 % Scattering Frequency100 HzValue0.01 Absorption Values of TERRAZZO 	Frequency	Absorption	Scattering	100 Hz	0.01	0.00	125 Hz	0.01	0.00	160 Hz	0.01	0.00	200 Hz	0.01	0.00	250 Hz	0.01	0.00	315 Hz	0.01	0.00	400 Hz	0.01	0.00	500 Hz	0.01	0.00	630 Hz	0.01	0.00	800 Hz	0.02	0.00	1000 Hz	0.02	0.00	1250 Hz	0.02	0.00	1600 Hz	0.02	0.00	2000 Hz	0.02	0.00	2500 Hz	0.02	0.00	3150 Hz	0.02	0.00	4000 Hz	0.02	0.00	5000 Hz	0.02	0.00	6300 Hz	0.02	0.00	8000 Hz	0.02	0.00	10000 Hz	0.02	0.00
Frequency	Absorption	Scattering																																																																	
100 Hz	0.01	0.00																																																																	
125 Hz	0.01	0.00																																																																	
160 Hz	0.01	0.00																																																																	
200 Hz	0.01	0.00																																																																	
250 Hz	0.01	0.00																																																																	
315 Hz	0.01	0.00																																																																	
400 Hz	0.01	0.00																																																																	
500 Hz	0.01	0.00																																																																	
630 Hz	0.01	0.00																																																																	
800 Hz	0.02	0.00																																																																	
1000 Hz	0.02	0.00																																																																	
1250 Hz	0.02	0.00																																																																	
1600 Hz	0.02	0.00																																																																	
2000 Hz	0.02	0.00																																																																	
2500 Hz	0.02	0.00																																																																	
3150 Hz	0.02	0.00																																																																	
4000 Hz	0.02	0.00																																																																	
5000 Hz	0.02	0.00																																																																	
6300 Hz	0.02	0.00																																																																	
8000 Hz	0.02	0.00																																																																	
10000 Hz	0.02	0.00																																																																	

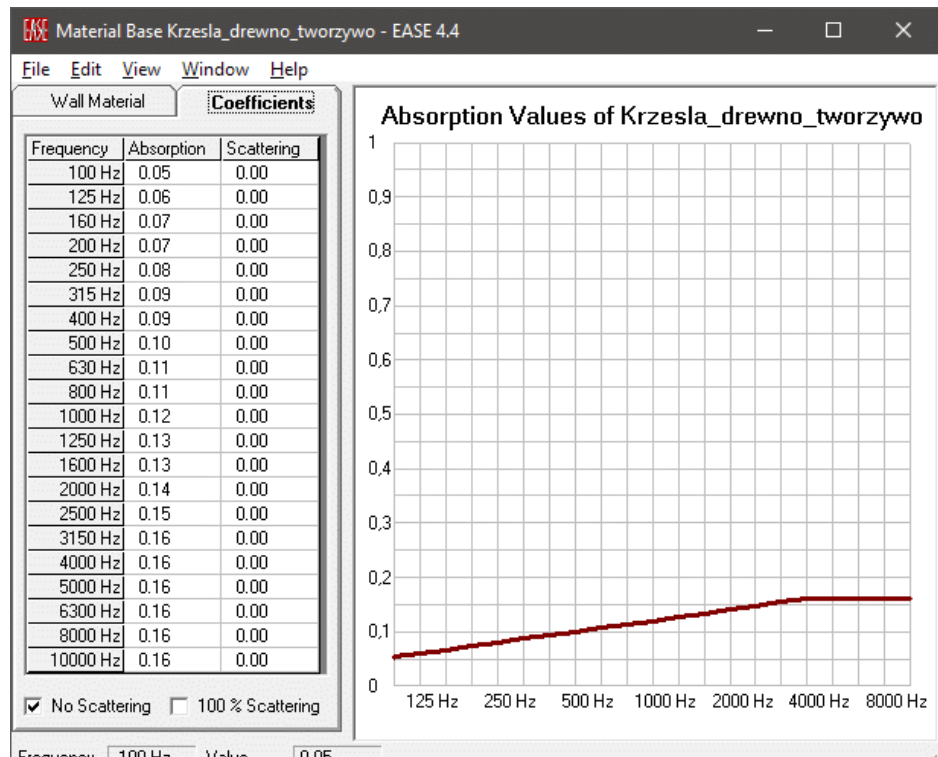
Nazwa	Akustyczny sufit podwieszany
Powierzchnia	117,92 m ² (21,00%)
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	

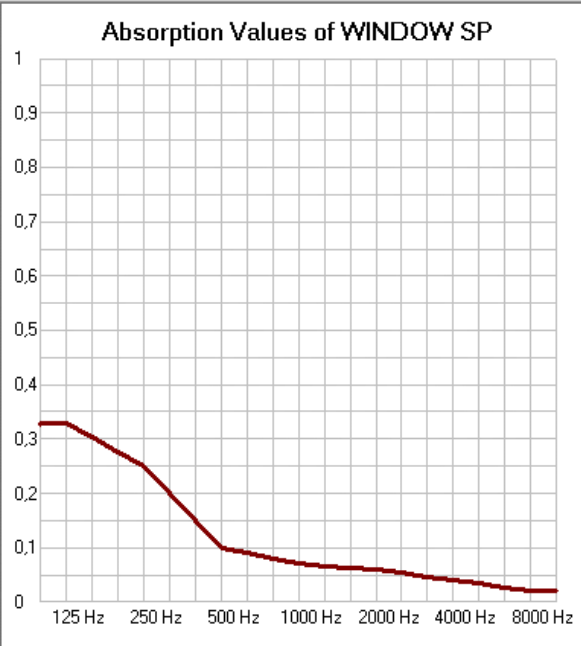
Nazwa	Ściany tynkowane
Powierzchnia	103,04 m ² (18,35%)
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	

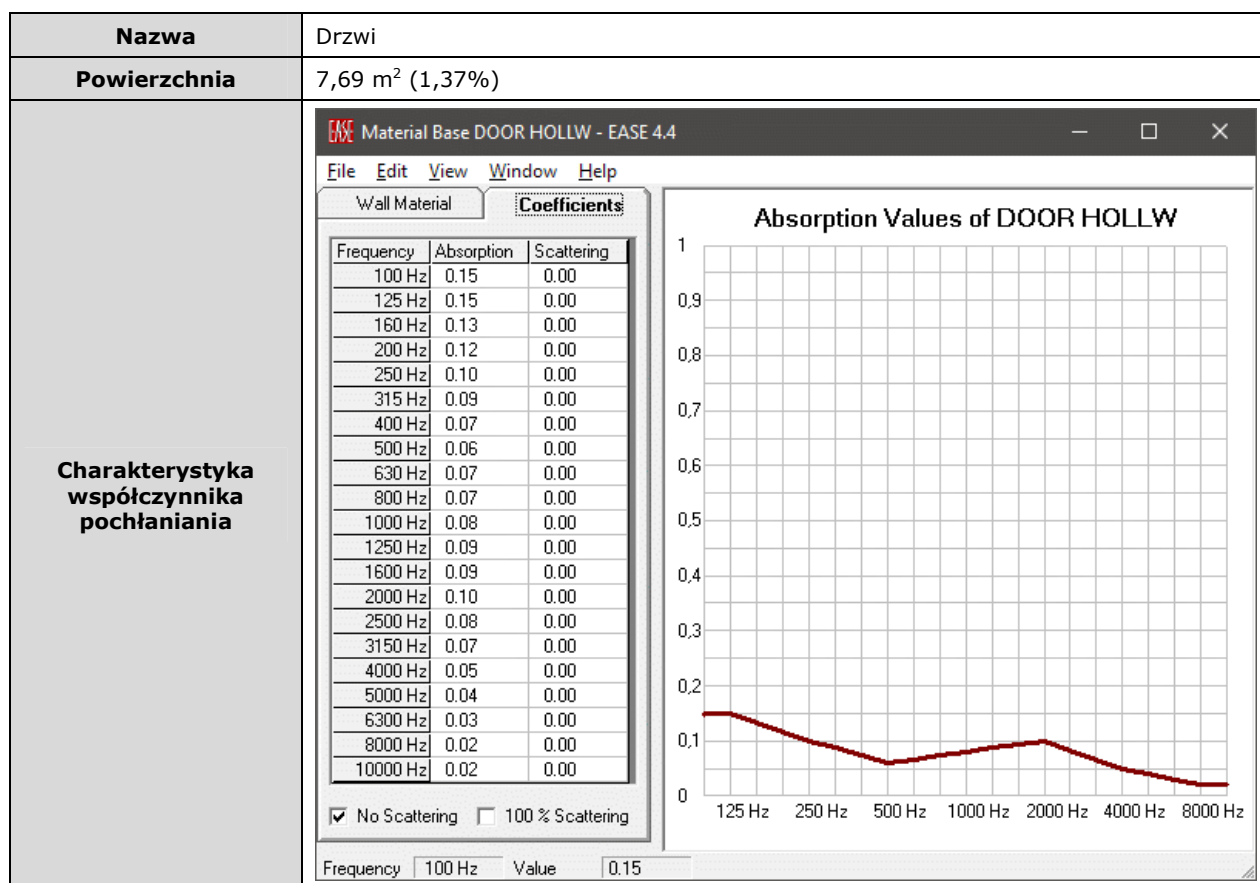
Nazwa	Zabudowa meblowa																																																																		
Powierzchnia	59,47 m ² (10,59%)																																																																		
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	EASE Material Base Generic, Plywood, 0,375 inch thk - EASE 4.4 File Edit View Window Help Wall Material Coefficients <table><thead><tr><th>Frequency</th><th>Absorption</th><th>Scattering</th></tr></thead><tbody><tr><td>100 Hz</td><td>0.31</td><td>0.00</td></tr><tr><td>125 Hz</td><td>0.28</td><td>0.00</td></tr><tr><td>160 Hz</td><td>0.26</td><td>0.00</td></tr><tr><td>200 Hz</td><td>0.24</td><td>0.00</td></tr><tr><td>250 Hz</td><td>0.22</td><td>0.00</td></tr><tr><td>315 Hz</td><td>0.20</td><td>0.00</td></tr><tr><td>400 Hz</td><td>0.19</td><td>0.00</td></tr><tr><td>500 Hz</td><td>0.17</td><td>0.00</td></tr><tr><td>630 Hz</td><td>0.14</td><td>0.00</td></tr><tr><td>800 Hz</td><td>0.12</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1000 Hz</td><td>0.09</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1250 Hz</td><td>0.09</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1600 Hz</td><td>0.10</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2000 Hz</td><td>0.10</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2500 Hz</td><td>0.10</td><td>0.00</td></tr><tr><td>3150 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr><tr><td>4000 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr><tr><td>5000 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr><tr><td>6300 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8000 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr><tr><td>10000 Hz</td><td>0.11</td><td>0.00</td></tr></tbody></table> ☒ No Scattering ☐ 100 % Scattering Frequency 100 Hz Value 0.31 Absorption Values of Generic, Plywood, 0,375 inch th 	Frequency	Absorption	Scattering	100 Hz	0.31	0.00	125 Hz	0.28	0.00	160 Hz	0.26	0.00	200 Hz	0.24	0.00	250 Hz	0.22	0.00	315 Hz	0.20	0.00	400 Hz	0.19	0.00	500 Hz	0.17	0.00	630 Hz	0.14	0.00	800 Hz	0.12	0.00	1000 Hz	0.09	0.00	1250 Hz	0.09	0.00	1600 Hz	0.10	0.00	2000 Hz	0.10	0.00	2500 Hz	0.10	0.00	3150 Hz	0.11	0.00	4000 Hz	0.11	0.00	5000 Hz	0.11	0.00	6300 Hz	0.11	0.00	8000 Hz	0.11	0.00	10000 Hz	0.11	0.00
Frequency	Absorption	Scattering																																																																	
100 Hz	0.31	0.00																																																																	
125 Hz	0.28	0.00																																																																	
160 Hz	0.26	0.00																																																																	
200 Hz	0.24	0.00																																																																	
250 Hz	0.22	0.00																																																																	
315 Hz	0.20	0.00																																																																	
400 Hz	0.19	0.00																																																																	
500 Hz	0.17	0.00																																																																	
630 Hz	0.14	0.00																																																																	
800 Hz	0.12	0.00																																																																	
1000 Hz	0.09	0.00																																																																	
1250 Hz	0.09	0.00																																																																	
1600 Hz	0.10	0.00																																																																	
2000 Hz	0.10	0.00																																																																	
2500 Hz	0.10	0.00																																																																	
3150 Hz	0.11	0.00																																																																	
4000 Hz	0.11	0.00																																																																	
5000 Hz	0.11	0.00																																																																	
6300 Hz	0.11	0.00																																																																	
8000 Hz	0.11	0.00																																																																	
10000 Hz	0.11	0.00																																																																	

Nazwa	Płyty gipsowe na stelażu metalowym, bez wypełnienia z wełny mineralnej
Powierzchnia	53,23 m ² (9,48%)
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	

Nazwa	Przeszklenia – okna i drzwi
Powierzchnia	36,39 m ² (6,48%)
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	

Nazwa	Krzesła – "widownia"
Powierzchnia	29,87 m ² (5,32%)
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	

Nazwa	Oprawy oświetleniowe sufitowe																																																																		
Powierzchnia	7,75 m ² (1,38%)																																																																		
Charakterystyka współczynnika pochłaniania	EASE Material Base WINDOW SP - EASE 4.4 FileEditViewWindowHelp Wall Material Coefficients <table><thead><tr><th>Frequency</th><th>Absorption</th><th>Scattering</th></tr></thead><tbody><tr><td>100 Hz</td><td>0.33</td><td>0.00</td></tr><tr><td>125 Hz</td><td>0.33</td><td>0.00</td></tr><tr><td>160 Hz</td><td>0.30</td><td>0.00</td></tr><tr><td>200 Hz</td><td>0.28</td><td>0.00</td></tr><tr><td>250 Hz</td><td>0.25</td><td>0.00</td></tr><tr><td>315 Hz</td><td>0.20</td><td>0.00</td></tr><tr><td>400 Hz</td><td>0.15</td><td>0.00</td></tr><tr><td>500 Hz</td><td>0.10</td><td>0.00</td></tr><tr><td>630 Hz</td><td>0.09</td><td>0.00</td></tr><tr><td>800 Hz</td><td>0.08</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1000 Hz</td><td>0.07</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1250 Hz</td><td>0.07</td><td>0.00</td></tr><tr><td>1600 Hz</td><td>0.06</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2000 Hz</td><td>0.06</td><td>0.00</td></tr><tr><td>2500 Hz</td><td>0.05</td><td>0.00</td></tr><tr><td>3150 Hz</td><td>0.05</td><td>0.00</td></tr><tr><td>4000 Hz</td><td>0.04</td><td>0.00</td></tr><tr><td>5000 Hz</td><td>0.03</td><td>0.00</td></tr><tr><td>6300 Hz</td><td>0.03</td><td>0.00</td></tr><tr><td>8000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr><tr><td>10000 Hz</td><td>0.02</td><td>0.00</td></tr></tbody></table> ☒ No Scattering☐ 100 % Scattering Frequency100 HzValue0.33 Absorption Values of WINDOW SP 	Frequency	Absorption	Scattering	100 Hz	0.33	0.00	125 Hz	0.33	0.00	160 Hz	0.30	0.00	200 Hz	0.28	0.00	250 Hz	0.25	0.00	315 Hz	0.20	0.00	400 Hz	0.15	0.00	500 Hz	0.10	0.00	630 Hz	0.09	0.00	800 Hz	0.08	0.00	1000 Hz	0.07	0.00	1250 Hz	0.07	0.00	1600 Hz	0.06	0.00	2000 Hz	0.06	0.00	2500 Hz	0.05	0.00	3150 Hz	0.05	0.00	4000 Hz	0.04	0.00	5000 Hz	0.03	0.00	6300 Hz	0.03	0.00	8000 Hz	0.02	0.00	10000 Hz	0.02	0.00
Frequency	Absorption	Scattering																																																																	
100 Hz	0.33	0.00																																																																	
125 Hz	0.33	0.00																																																																	
160 Hz	0.30	0.00																																																																	
200 Hz	0.28	0.00																																																																	
250 Hz	0.25	0.00																																																																	
315 Hz	0.20	0.00																																																																	
400 Hz	0.15	0.00																																																																	
500 Hz	0.10	0.00																																																																	
630 Hz	0.09	0.00																																																																	
800 Hz	0.08	0.00																																																																	
1000 Hz	0.07	0.00																																																																	
1250 Hz	0.07	0.00																																																																	
1600 Hz	0.06	0.00																																																																	
2000 Hz	0.06	0.00																																																																	
2500 Hz	0.05	0.00																																																																	
3150 Hz	0.05	0.00																																																																	
4000 Hz	0.04	0.00																																																																	
5000 Hz	0.03	0.00																																																																	
6300 Hz	0.03	0.00																																																																	
8000 Hz	0.02	0.00																																																																	
10000 Hz	0.02	0.00																																																																	



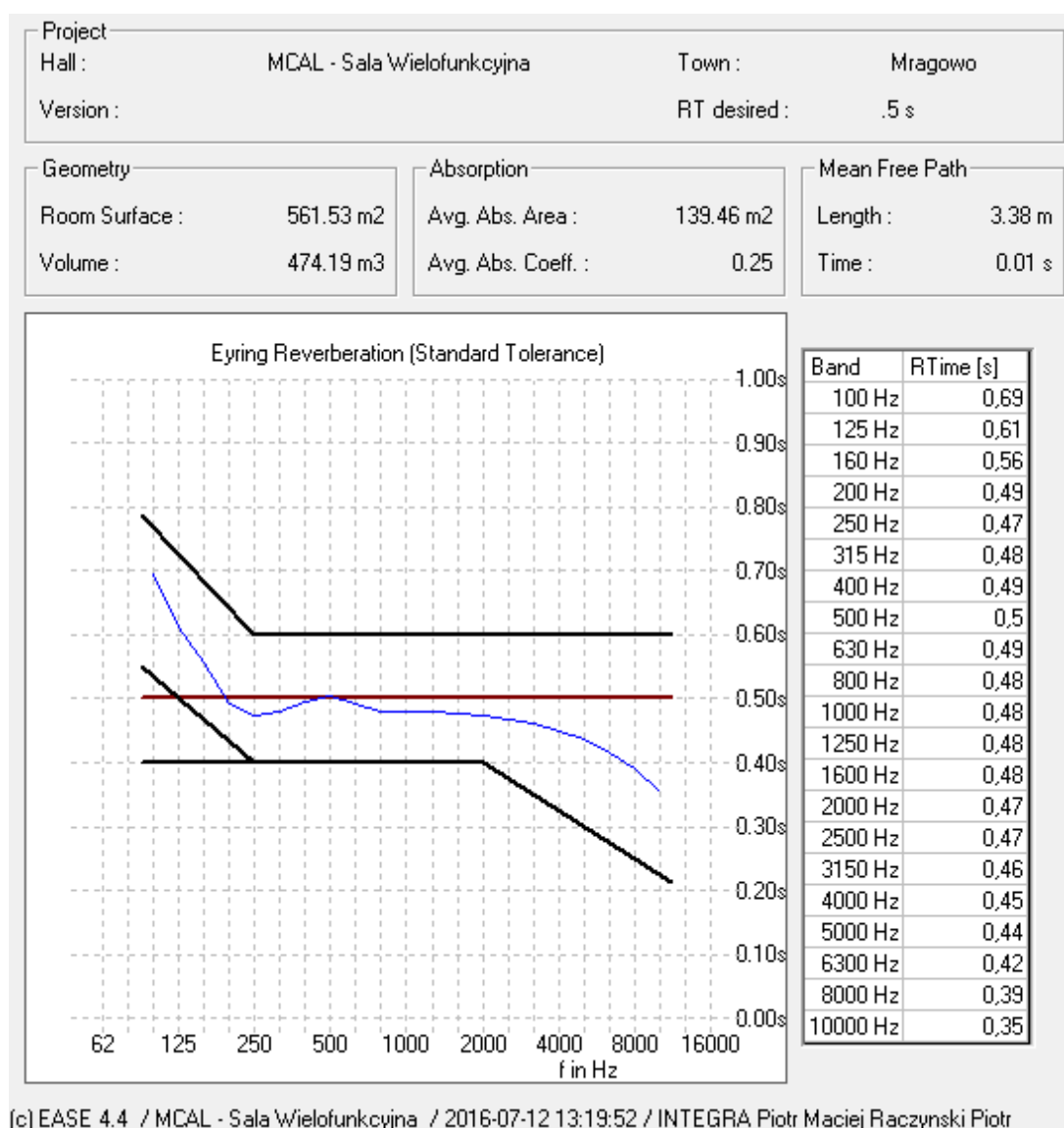
Sufit akustyczny zaprojektowano w oparciu o charakterystykę produktu:

Ecophon Master E 40mm, c.w.k. 200mm

Ze względu na powierzchnię sufitu, wykonaną z podwójnej warstwy płyt G-K, znajdującą się nad sufitem akustycznym, dopuszcza się zmniejszenie wysokości konstrukcji z przyjętej 200 mm na 120 mm.

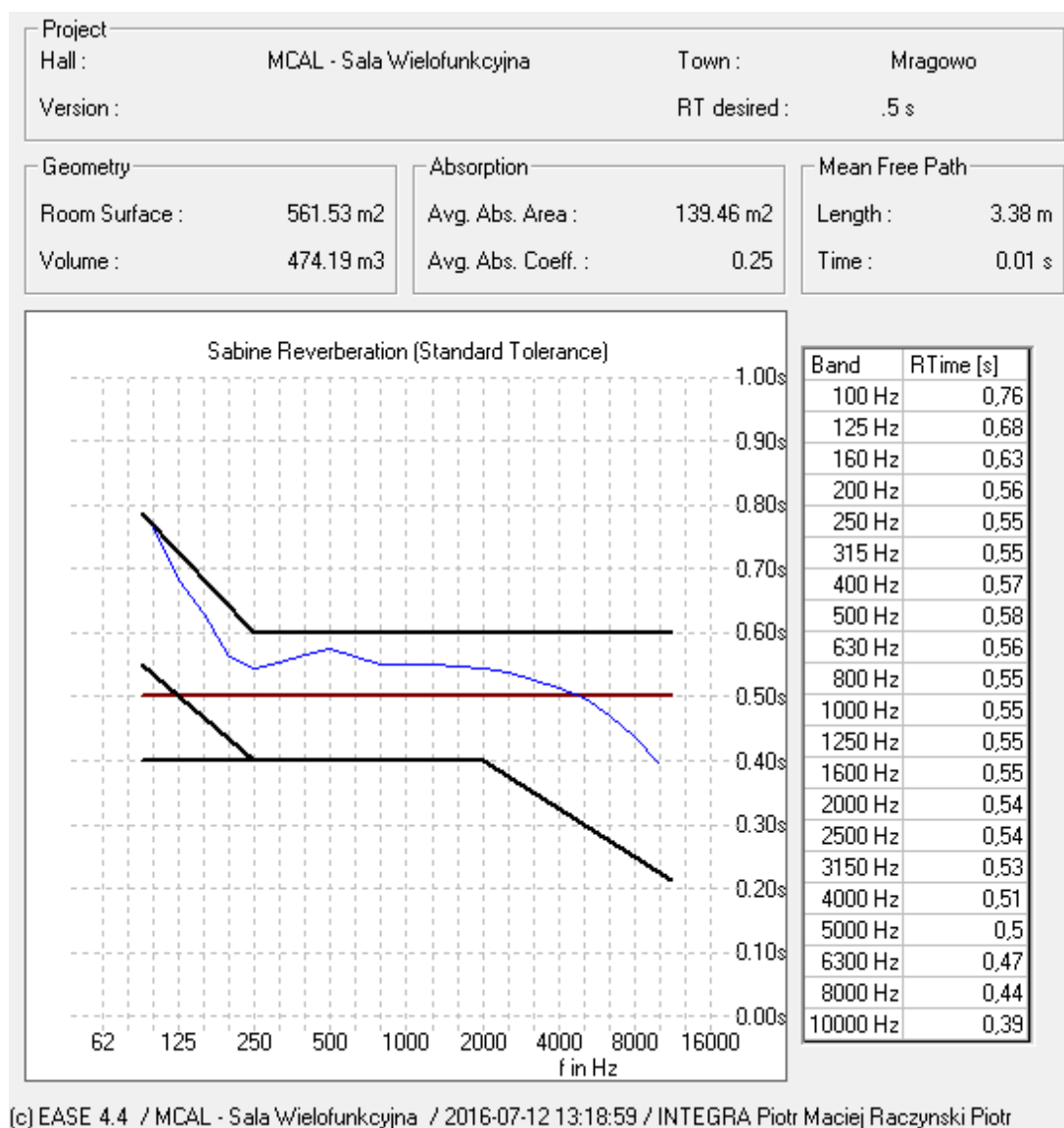
2.3. Czas pogłosu RT

Czas pogłosu RT wyznaczony w symulacji metodą Eyring’a został przedstawiony na poniższym wykresie. Pomieszczenie wykazuje pogłos (RT dla 1kHz 0,48s) na poziomie zbliżonym do maksymalnego zalecanego dla dobrej zrozumiałości.



Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
1.	Projekt	Czas pogłosu RT (Eyring)	Ogólnie dla pomieszczenia

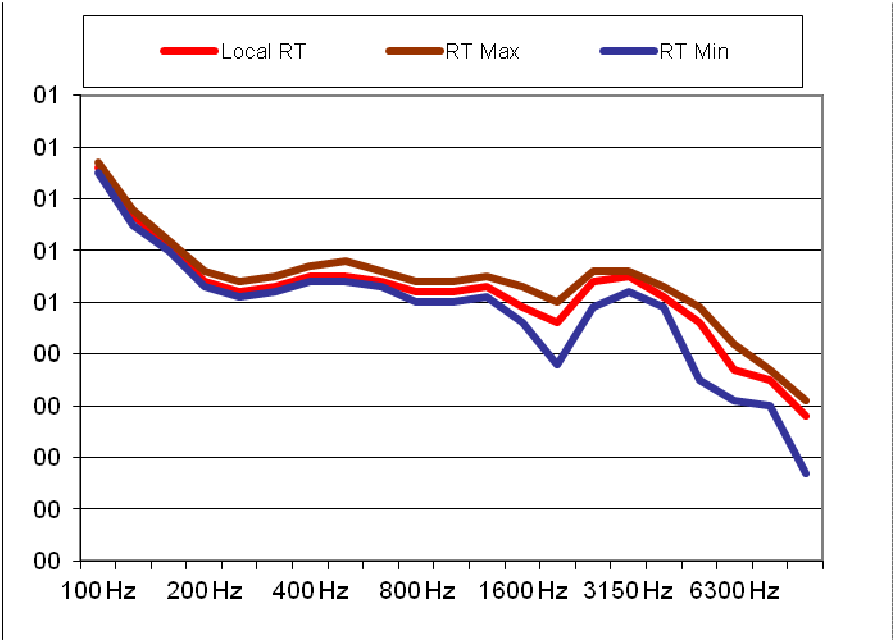
Czas pogłosu RT wyznaczony w symulacji metodą Sabine’a został przedstawiony na poniższym wykresie. Pomieszczenie wykazuje pogłos (RT dla 1kHz 0,55s) na poziomie nieznacznie wyższym od maksymalnego zalecanego dla dobrej zrozumiałości.



Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
2.	Projekt	Czas pogłosu RT (Sabine)	Ogólnie dla pomieszczenia

Czas pogłosu wyznaczony w symulacji jako EDT (Early Decay Time) został przedstawiony na poniższym wykresie. Pomieszczenie wykazuje pogłos (EDT dla 1kHz 0,52s) na poziomie zbliżonym do maksymalnego zalecanego dla dobrej zrozumiałości.

Częstotliwość	Local RT	RT Max	RT Min	Local RT (okt)
100 Hz	0,76	0,77	0,75	0,68
125 Hz	0,67	0,68	0,65	
160 Hz	0,61	0,62	0,60	
200 Hz	0,54	0,56	0,53	0,53
250 Hz	0,52	0,54	0,51	
315 Hz	0,53	0,55	0,52	
400 Hz	0,55	0,57	0,54	0,55
500 Hz	0,55	0,58	0,54	
630 Hz	0,54	0,56	0,53	
800 Hz	0,52	0,54	0,50	0,52
1000 Hz	0,52	0,54	0,50	
1250 Hz	0,53	0,55	0,51	
1600 Hz	0,49	0,53	0,46	0,50
2000 Hz	0,46	0,50	0,38	
2500 Hz	0,54	0,56	0,49	
3150 Hz	0,55	0,56	0,52	0,51
4000 Hz	0,51	0,53	0,49	
5000 Hz	0,46	0,49	0,35	
6300 Hz	0,37	0,42	0,31	0,33
8000 Hz	0,35	0,37	0,30	
10000 Hz	0,28	0,31	0,17	



Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
3.	Projekt	Czas pogłosu Local RT	Płaszczyzny odsłuchu

Wyznaczona w symulacji charakterystyka Local RT została obliczona metodą promieniującego źródła (ray tracing) dla 250 punktów rozmieszczonych regularnie na płaszczyźnie odsłuchu oraz uśredniona. Jest to charakterystyka najlepiej oddająca wrażenie pogłosowości odbierane przez słuchacza w danym miejscu. Zaletą przyjęcia Local RT jako czasu pogłosu do dalszych obliczeń jest to, że takie podejście uwzględnia nie tylko aspekt statystyczny lecz również geometryczny układ przegród pomieszczenia oraz rozmieszczenie materiałów wykończeniowych.

Biorąc pod uwagę RT Max i RT Min można stwierdzić, że zróżnicowanie wartości RT na płaszczyźnie odsłuchu nie jest wysokie. Świadczy to o dobrej jednorodności warunków odsłuchowych na całej płaszczyźnie odsłuchu.

2.4. Tło akustyczne (poziom szum)

Zakłada się istnienie w pomieszczeniu tła akustycznego ogólnego pochodzenia o średnim poziomie 60dBA.

Tło akustyczne

Poziom ciśnienia akustycznego

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lp
Tło akustyczne ogóln. pochodz. [dB]	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	53,0	62,0

Poziom dźwięku

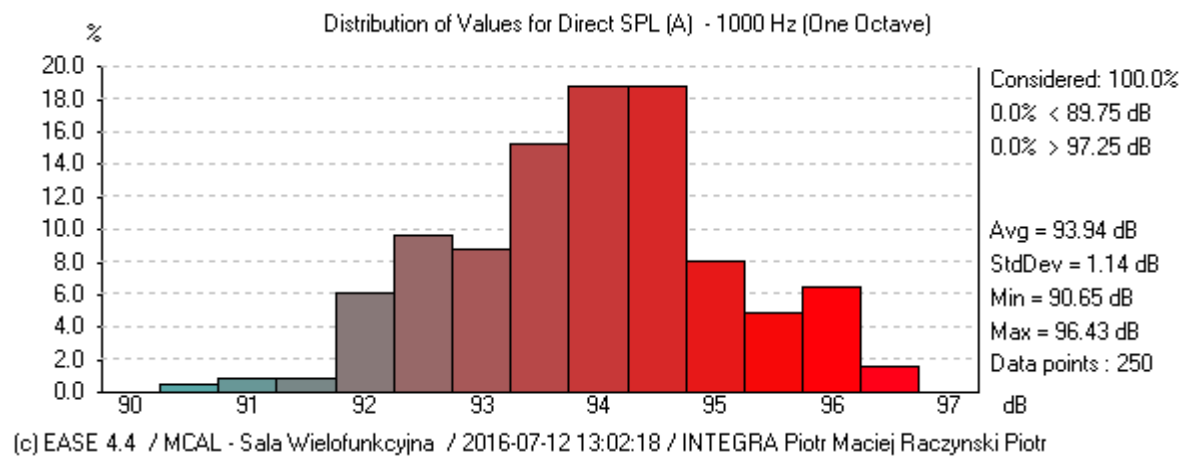
f [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Lp(A)
Filtr A	-26,1	-16,1	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0	-1,1	
Tło akustyczne ogóln. pochodz. [dB(A)]	26,9	36,9	44,4	49,8	53,0	54,2	54,0	51,9	60,0

3. Symulacje akustyczne

3.1. Głośniki sufitowe (M002)

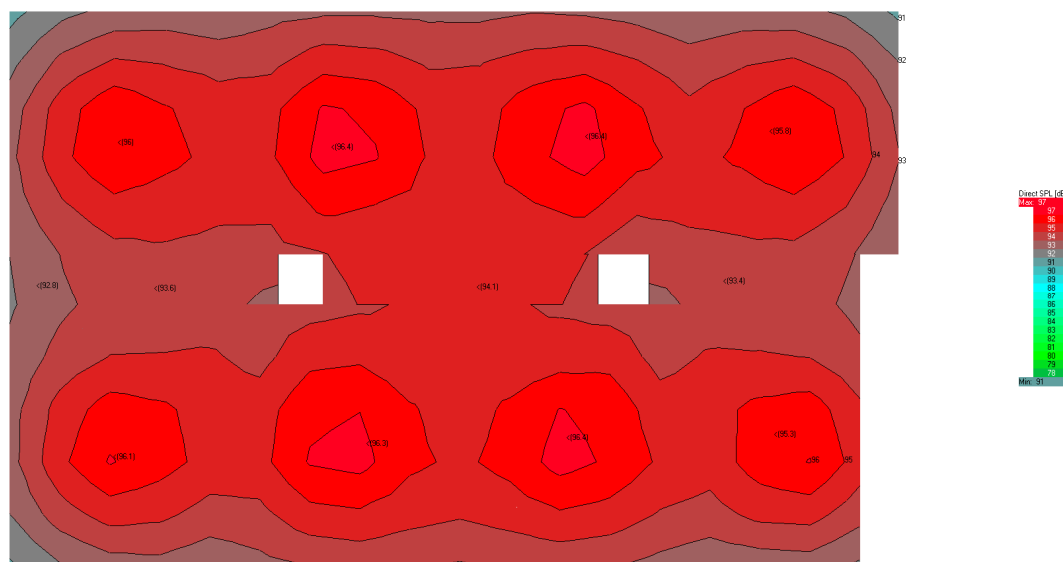
Tabela nr 4. Współrzędne, orientacja i występowanie głośników

Lp	Nr	Model	Moc [W]	X [m]	Y [m]	Z [m]	Hor [°]	Ver [°]	Rot [°]
1	G1	CMX20T	20,0	2,00	7,25	3,29	0	-90	0
2	G2	CMX20T	20,0	5,60	7,25	3,29	0	-90	0
3	G3	CMX20T	20,0	9,20	7,25	3,29	0	-90	0
4	G4	CMX20T	20,0	12,80	7,25	3,29	0	-90	0
5	G5	CMX20T	20,0	2,00	2,35	3,29	0	-90	0
6	G6	CMX20T	20,0	5,60	2,35	3,29	0	-90	0
7	G7	CMX20T	20,0	9,20	2,35	3,29	0	-90	0
8	G8	CMX20T	20,0	12,80	2,35	3,29	0	-90	0
Razem moc [W]			160,0						



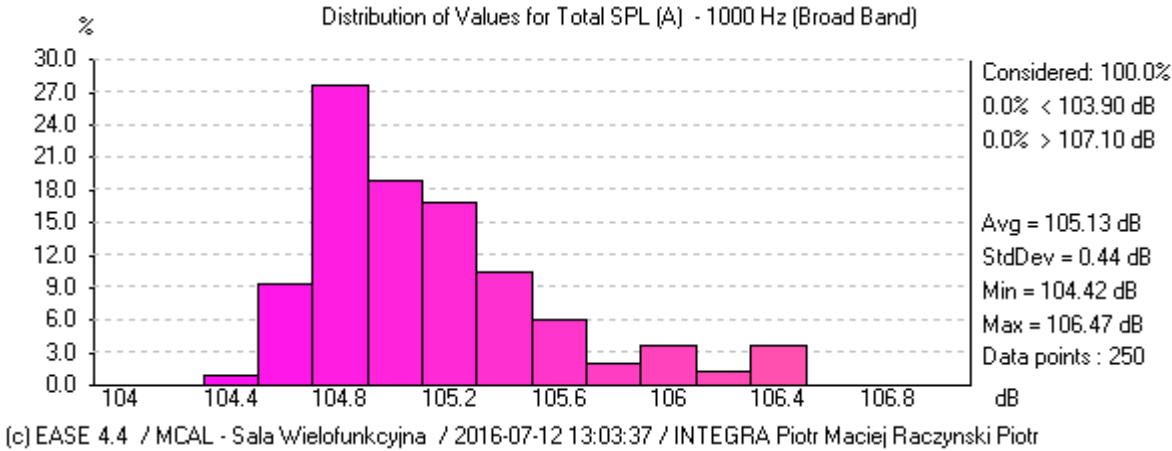
Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
4.	Projekt	Rozkład poziomy ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośr., 1kHz	Płaszczyzny odsłuchu

MCAL - Sala Wielofunkcyjna
 Used :
 Lspk: 01, 05, 06, 08, 07, 02, 04, 03
 Map: Direct SPL (A)
 Freq: 1000 Hz
 [1/1 Octave Sum]
 Energy: Ekin + Epot
 [1/2 Octave]

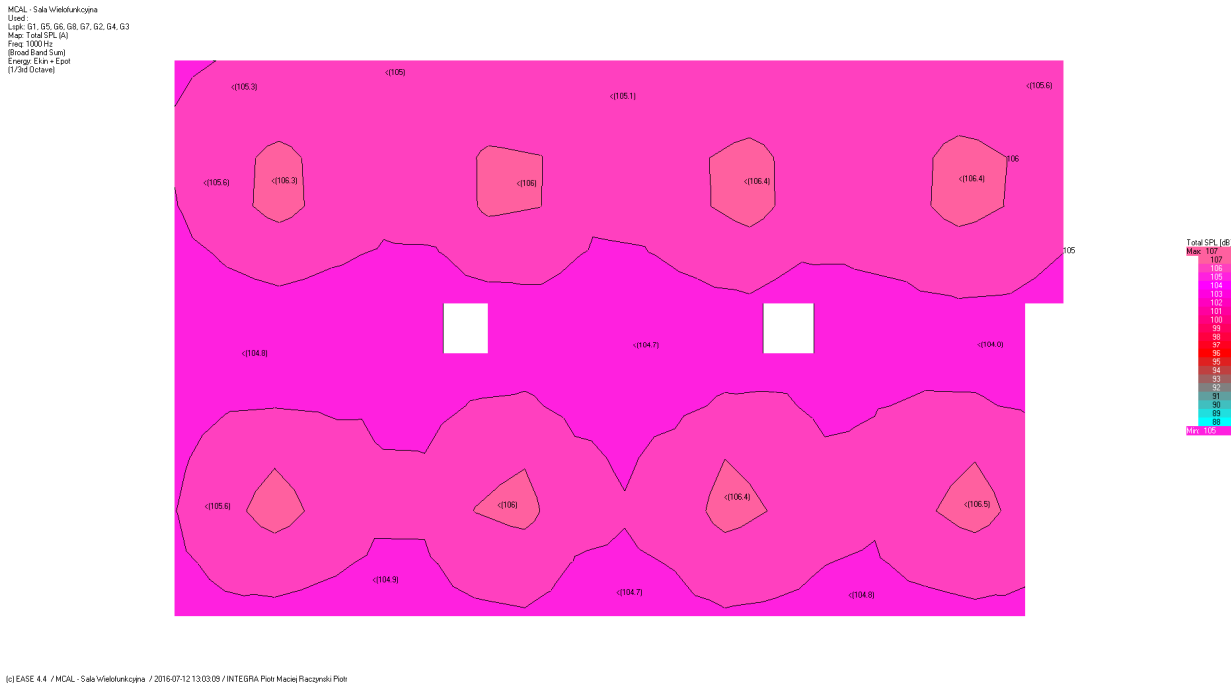


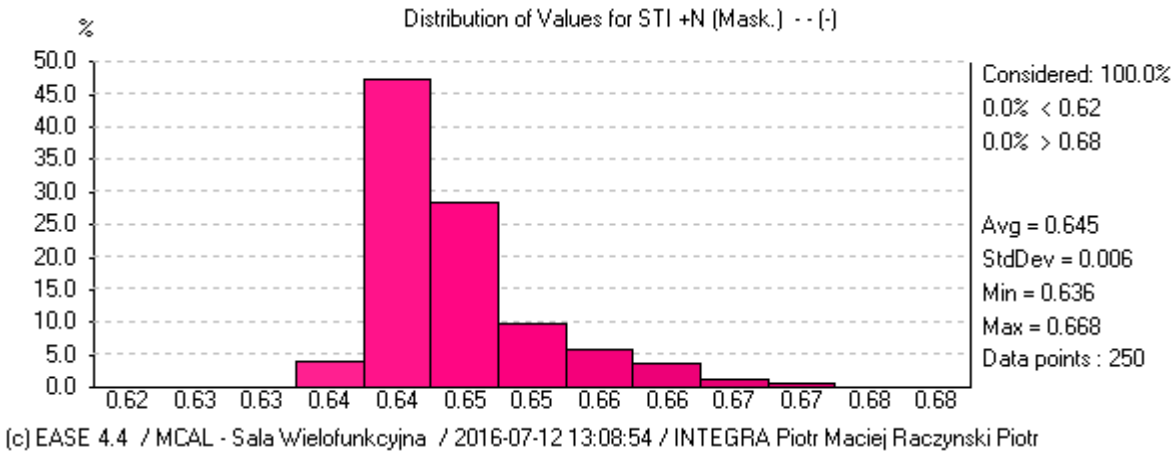
(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:02:10 / INTEGRA Piotr Maciej Raczynski Piotr

Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
5.	Projekt	Poziom ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego, 1kHz	Płaszczyzny odsłuchu



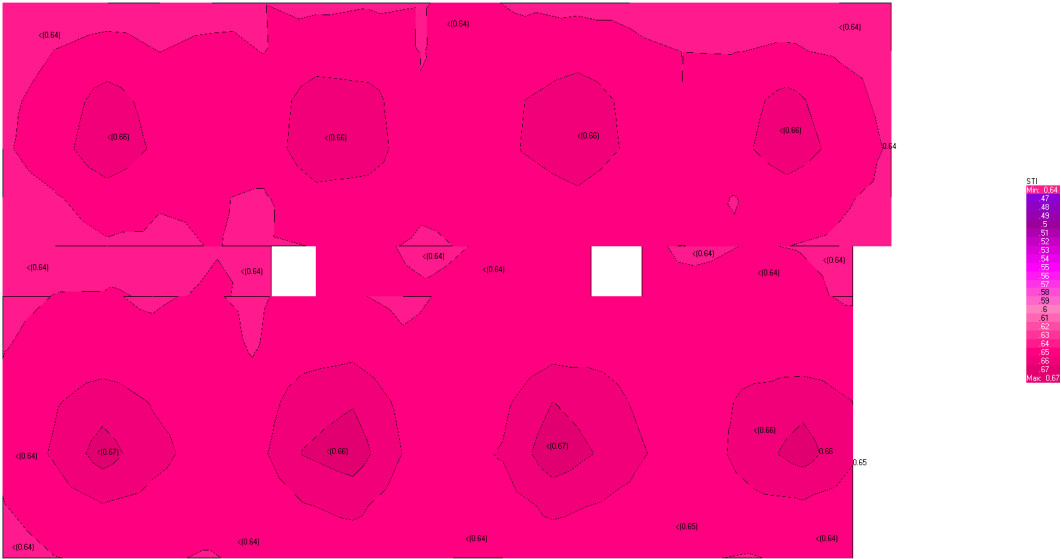
Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
6.	Projekt	Rozkład poziomego ciśnienia akustycznego, całe pasmo	Płaszczyzny odsłuchu





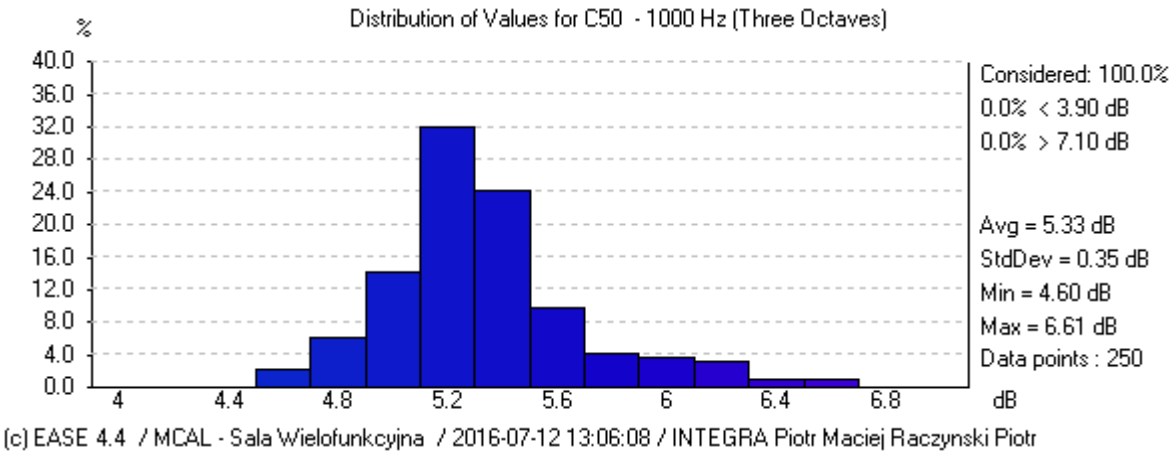
Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
8.	Projekt	Rozkład STI	Płaszczyzny odsłuchu

MCAL - Sala Wielofunkcyjna
(Used)
Lupki: 61, 65, 66, 68, 67, 62, 64, 63
Mask: STI +N (Mask.)
Energy: E100 + E100
(1/3rd Octave)



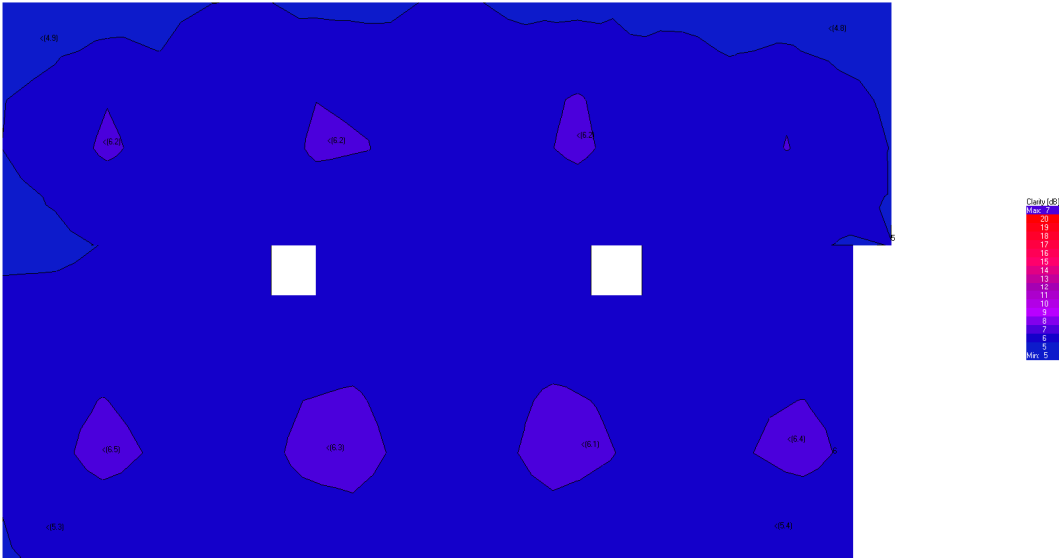
(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:07:42 / INTEGRA Piotr Maciej Raczyński Piotr

Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
9.	Projekt	Zrozumiałość mowy STI	Płaszczyzny odsłuchu



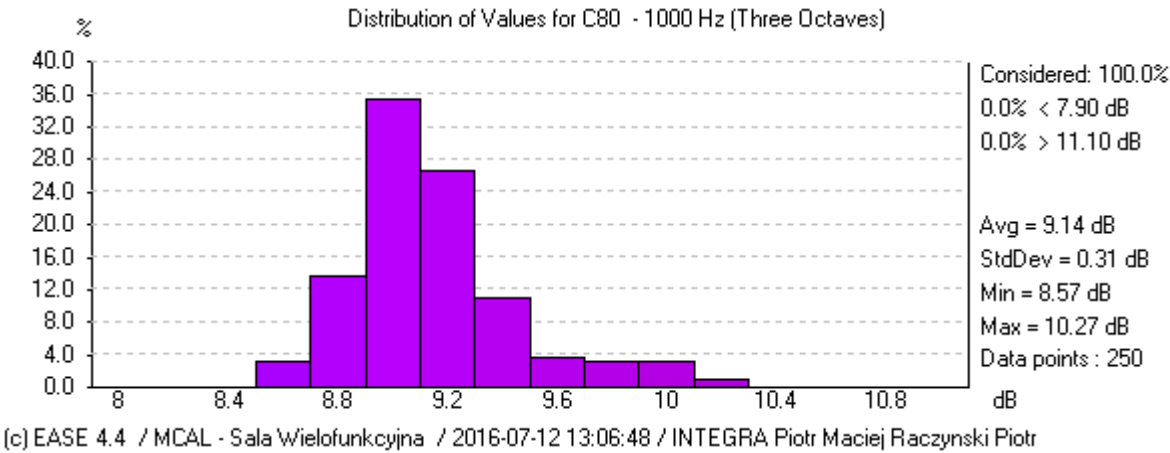
Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
10.	Projekt	Rozkład współczynnika przejrzystości mowy C ₅₀ , 500Hz-2kHz	Płaszczyzny odsłuchu

MCAL - Sala Wielofunkcyjna
Used :
Lup: 51, 65, 66, 68, 67, 62, 64, 63
Map: C50
Freq: 1000 Hz
[31 Octaves Average]
Energy: Ekin + Epol
[17 Oct Octaves]



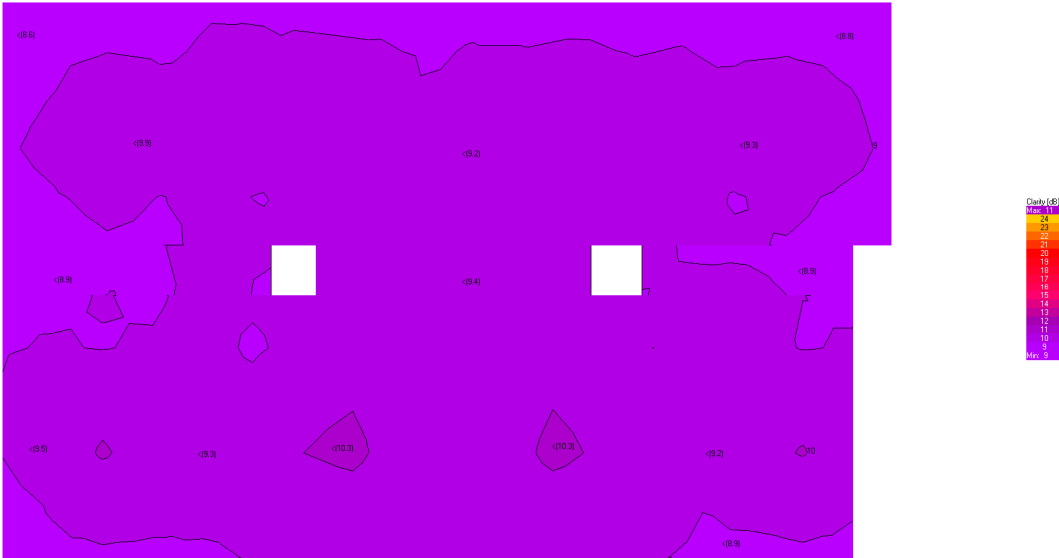
(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:06:16 / INTEGRA Piotr Maciej Raczyński Piotr

Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
11.	Projekt	Współczynnik przejrzystości mowy C ₅₀ , 500Hz-2kHz	Płaszczyzny odsłuchu



Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
12.	Projekt	Rozkład współczynnika przejrzystości muzyki C ₈₀ , 500Hz-2kHz	Płaszczyzny odsłuchu

MCAL - Sala Wielofunkcyjna
Used :
Luph : 01, 05, 06, 08, 07, 02, 04, 03
Map : C80
Freq : 1000 Hz
[31 Octaves Average]
Energy : Ekin + Epol
[17 Oct Octaves]



(c) EASE 4.4 / MCAL - Sala Wielofunkcyjna / 2016-07-12 13:06:35 / INTEGRA Piotr Maciej Raczyński Piotr

Nr rysunku	Faza/Tryb	Tytuł	Lokalizacja
13.	Projekt	Współczynnik przejrzystości muzyki C ₈₀ , 500Hz-2kHz	Płaszczyzny odsłuchu

4. Podsumowanie wyników

Wyznaczone w symulacjach wartości parametrów zostały przedstawione w Tabeli nr 5.

Tabela nr 5. Zestawienie parametrów

Parametr	Minimum	Średnia	Maximum
RT 1kHz	0,52 s		
Direct SPL 1kHz	90,65 dBA	93,94 dBA	96,43 dBA
Total SPL, całe pasmo	104,42 dBA	105,13 dBA	106,47 dBA
STI	0,636	0,645	0,668
C ₅₀	4,60 dB	5,33 dB	6,61 dB
C ₈₀	8,57 dB	9,14 dB	10,27 dB
r		3,38 m	

Sprawdzenie spełnienia warunków przyjętych w założeniach:

Nr	Warunek	Spełnienie warunku - obliczenia	Wynik
Nr 1	$T \leq 0,8 \text{ s}$	$T (250 \text{ Hz okt.}) = 0,53 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$ $T (500 \text{ Hz okt.}) = 0,55 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$ $T (1000 \text{ Hz okt.}) = 0,52 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$ $T (2000 \text{ Hz okt.}) = 0,50 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$ $T (4000 \text{ Hz okt.}) = 0,51 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$ $T (8000 \text{ Hz okt.}) = 0,33 \text{ s} \leq 0,8 \text{ s}$	OK
Nr 2	$T \leq 1,3 * 0,8 \text{ s}$	$T (150 \text{ Hz okt.}) = 0,68 \text{ s} \leq 1,3 * 0,8 \text{ s}$	OK
Nr 3	Płaska charakterystyka	Płaska, wyrównana charakterystyka. Spadek dla 8 kHz	OK ^{*)}
Nr 4	$STI \geq 0,60$	$0,636 > 0,5$	OK
Nr 5	Total SPL $\geq 65 \text{ dBA}$	$105,13 \text{ dBA} > 65 \text{ dBA}$	OK
	Total SPL $\leq 120 \text{ dBA}$	$105,13 \text{ dBA} < 120 \text{ dBA}$	OK
	$S/N \geq 6 \text{ dB}$	$105,13 \text{ dBA} - 60,0 \text{ dBA} = 45,13 \text{ dBA}$ $45,13 \text{ dBA} > 6 \text{ dBA}$	OK

^{*)} Wartość T dla 8kHz jest wyraźnie niższa niż dla 4kHz, co wynika z naturalnego obniżenia pogłosowości w zakresie wysokich częstotliwości. Wyrównywanie charakterystyki w tym zakresie w pomieszczeniu, które nie jest specjalnego przeznaczenia, nie ma uzasadnienia technicznego ani ekonomicznego.

Wyniki symulacji potwierdzają poprawność projektu. Z danych otrzymanych w wyniku symulacji wynika, że charakterystyka czasu pogłosu spełnia przyjęte założenia i wymagania. Zaprojektowany system nagłośnienia zapewni w osiągniętych warunkach akustycznych odpowiednią słyszalność i zrozumiałość. System będzie dysponował dużą nadwyżką mocy i zdolnością do wytwarzania wysokich wartości poziomu dźwięku. Należy zapewnić użytkownikowi możliwość regulowania wartości wzmocnienia w celu dostosowania wytwarzanego poziomu dźwięku do aktualnych warunków, tj. rodzaju sygnału i poziomu tła.

Uzyskany na płaszczyźnie odsłuchu rozkład poziomu ciśnienia akustycznego dźwięku bezpośredniego (Direct SPL) jest równomierny. Wartości mieszczą się w przedziale ± 3 dB.

Przejrystość C_{50} osiąga wartości nie mniejsze niż 4,60 dB. Przyjmuje się, że wartości większe od 1,0 dB oznaczają dobre warunki dla odbioru mowy, a większe od 6,4 dB bardzo dobre. Projektowana Sala Wielofunkcyjna będzie więc posiadała dobre i bardzo dobre warunki do komunikacji słownej.

Przejrystość C_{80} osiąga wartości z zakresu 8,57-10,27 dB. Wartości większe niż 9 dB oznaczają, że pomieszczenie wykazuje niedostateczną pogłosowość do niektórych rodzajów muzyki (np. symfoniczna, organowa). Zmniejszenie pogłosowości zostało narzucone wymaganiami i w związku z tym dostosowanie pomieszczenia do odbioru muzyki wymagającej dłuższych czasów pogłosu wymagałoby zmiany kwalifikacji pomieszczenia na specjalne i weryfikacji założeń.

Odległość graniczna r (promień krytyczny) ma wartość 3,38 m. Oznacza to, że w pomieszczeniu Sali Wielofunkcyjnej podczas komunikacji słownej bez użycia systemu nagłaśniającego zrozumiałość będzie wysoka gdy odległość mówcy od słuchacza będzie mniejsza niż 13,52 m. Potwierdza to dobre warunki do komunikacji słownej w całym projektowanym pomieszczeniu.

Wniosek końcowy

Zaprojektowane pomieszczenie spełnia przyjęte w projekcie założenia i wymagania.

5. WYTYCZNE

- Na etapie realizacji projektu należy stosować materiały wykończeniowe o współczynnikach pochłaniania dźwięku możliwie zgodnych z podanymi w projekcie (Cz. II. 2.2. Wykończenie powierzchni). Dozwolone jest stosowanie materiałów o nieznacznie wyższych współczynnikach pochłaniania w poszczególnych pasmach oktawowych. Stosowanie materiałów o niższych współczynnikach pochłaniania w poszczególnych pasmach oktawowych wymaga przeprowadzenia obliczeń i wykonania w wykończonym pomieszczeniu pomiarów charakterystyki czasu pogłosu i zrozumiałości mowy.
- Sufit akustyczny zaprojektowano w oparciu o charakterystykę produktu Ecophon Master E 40mm, c.w.k. 200mm. Ze względu na powierzchnię sufitu, wykonaną z podwójnej warstwy płyt G-K, znajdującą się nad sufitem akustycznym, dopuszcza się zmniejszenie wysokości konstrukcji z przyjętej 200 mm na 120 mm.
- Układ głośników projektowanego systemu nagłośnienia spełnia wymagania. Należy głośniki rozmieścić zgodnie ze specyfikacją, współrzędnymi, orientacją podanymi w Tabeli nr 4.
- W przypadku wystąpienia kolizji z innymi projektowanymi instalacjami lub ze względów montażowo-wykonawczych dopuszczalny zakres przesunięcia głośników określa się na 50 cm w poziomie (x,y).
- Przeprowadzona analiza akustyczna z wykorzystaniem symulacji komputerowej dotyczy ściśle warunków znanych i przyjętych przy jej wykonywaniu. Należy mieć na uwadze, że każda zmiana założeń technicznych dotyczących geometrii, wystroju oraz wyposażenia pomieszczeń może spowodować zmianę warunków akustycznych, w tym wskaźników zrozumiałości otrzymanych w symulacji i pogorszyć komfort akustyczny odczuwany przez słuchaczy. W takim przypadku należy ponowić przeprowadzenie symulacji lub weryfikować spełnienie wymagań i oczekiwań na drodze pomiarów oraz odsłuchu.