

**mgr inż. Rafał KOWAL**  
Zakład-Laboratorium Sygnalizacji Alarmu Pożaru  
i Automatyki Pożarniczej

## **ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁASNOŚCI AKUSTYCZNYCH SALI KONFERENCYJNEJ NA PODSTAWIE POMIARÓW RZECZYWISTYCH I SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W PROGRAMIE EASE 3.0**

### **Część druga – „Symulacja”**

#### **Streszczenie**

W części drugiej zostały przedstawione wyniki z przeprowadzonej akustycznej symulacji komputerowej i porównano je z wynikami z pomiarów rzeczywistych opisanych w części pierwszej – „POMIARY”.

#### **Summary**

The second part presents results of acoustic computational simulation and comparison with the measurements results described in part one – “MEASUREMENTS”.

### **6. Symulacja akustyczna sali konferencyjnej przy użyciu programu EASE 3.0**

#### **6.1 Parę słów o „EASE 3.0”**

Program *EASE 3.0* to potężne narzędzie wykorzystywane do celów akustycznych. Architektura programu pozwala na projektowanie wszelkiego rodzaju pomieszczeń, z zastosowaniem ogromnej ilości materiałów wykończeniowych, jak i również biblioteki głośników.

Program pozwala na etapie projektowania pomieszczenia, dobrać odpowiednio materiały wykończeniowe tak, aby osiągnąć jak najlepsze parametry akustyczne panujące wewnątrz pomieszczenia, a co za tym idzie osiągnąć zadawalającą zrozumiałość mowy.

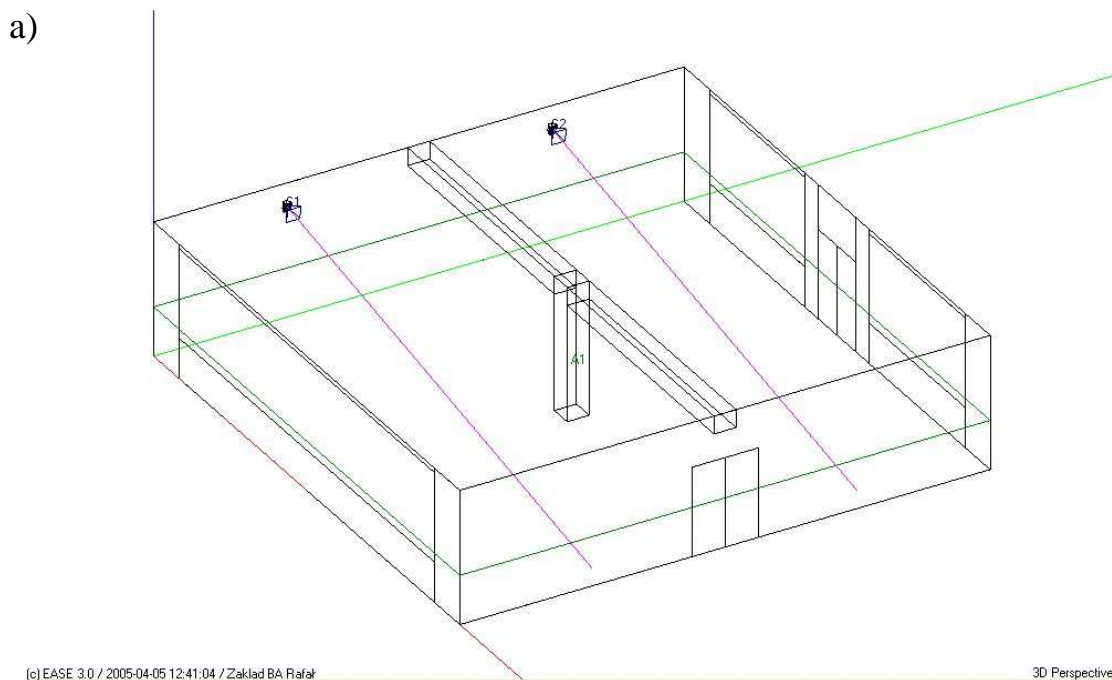
Dodatkowo program pozwala na wirtualną wędrowkę po obiekcie i odsłuchiwanie zainstalowanego systemu nagłośnieniowego wraz z określeniem dokładnych współrzędnych *teoretycznego odbiorcy*.

## 6.2 Symulacja akustyczna pomieszczenia

Aby przeprowadzić symulację akustyczną pomieszczenia należy ustalić jego wymiary, i tak:

- a) w przypadku projektu należy zapoznać się z rysunkami zawierającymi podkłady budowlane, na których podane są wszystkie niezbędne informacje,
- b) w rozpatrywanym przykładzie, gdzie mamy do czynienia z gotowym obiektem należało dokonać pomiarów długości szerokości i wysokości sali konferencyjnej, których wartości przedstawione są na rys1 (część 1).

Następnie należy wprowadzić punkty charakterystyczne opisujące gabaryty pomieszczenia i wrysować ściany, tak aby powstało pomieszczenie zamknięte. Po dokładnym wrysowaniu obiektu otrzymujemy obraz taki jak przedstawiono na **rys 5**.



Rys.5. Sala konferencyjna – widok pomieszczenia wpisanego w projekt **EASE 3.0**.

Po wrysowaniu pomieszczenia przystąpiono do przyporządkowania kolejnym powierzchniom materiałów odpowiadających własnościami akustycznym materiałom rzeczywistym zainstalowanym na obiekcie. Po zdefiniowaniu wszystkich ścian, sufitu, podłogi i pozostałych powierzchni otrzymujemy tabelę zestawieniową, za pomocą, której możemy dokładnie sprawdzić każdą ze zdefiniowanych powierzchni.

### 6.3 Czas pogłosu RT

Po sprawdzeniu czy zadane materiały są zgodne (zbliżone) z rzeczywistymi dokonano symulacji sprawdzenia czasu pogłosu przy wykorzystaniu formuł obliczeniowych:

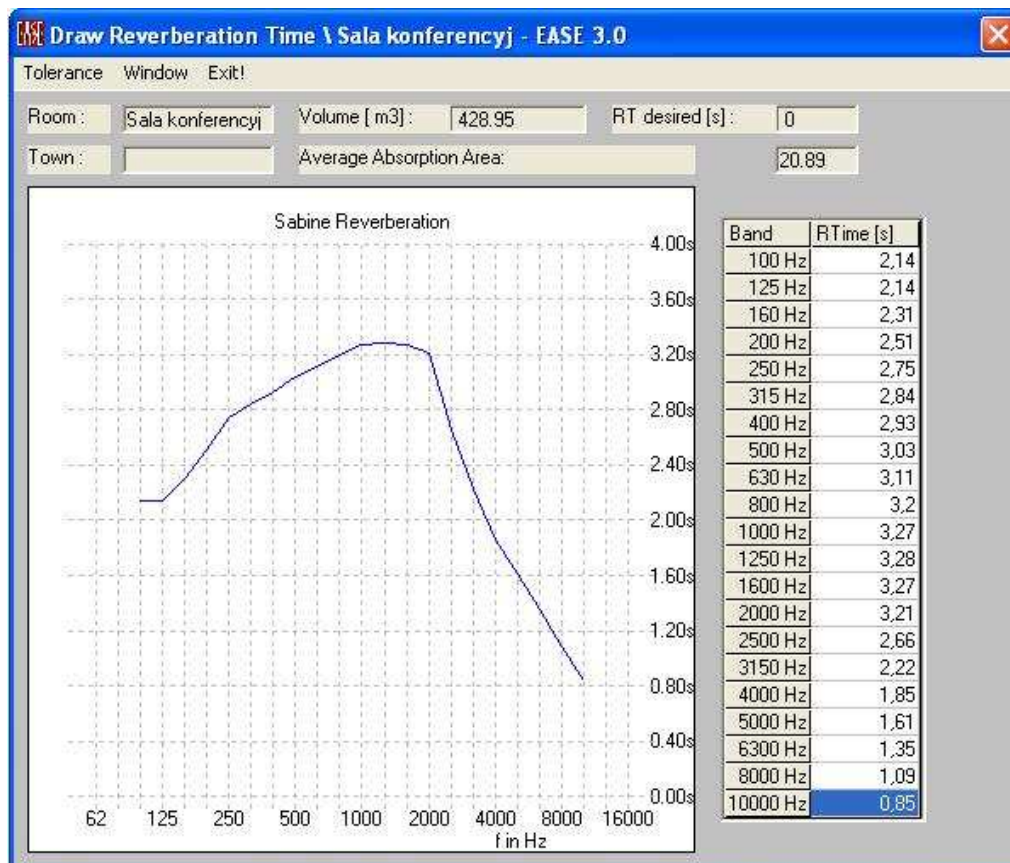
a) Sabine'a:

$$RT = \frac{0,161 \cdot V}{A}$$

gdzie:

V – Objętość pomieszczenia w [m<sup>3</sup>],

A – Całkowita chłonność akustyczna [m<sup>2</sup>].

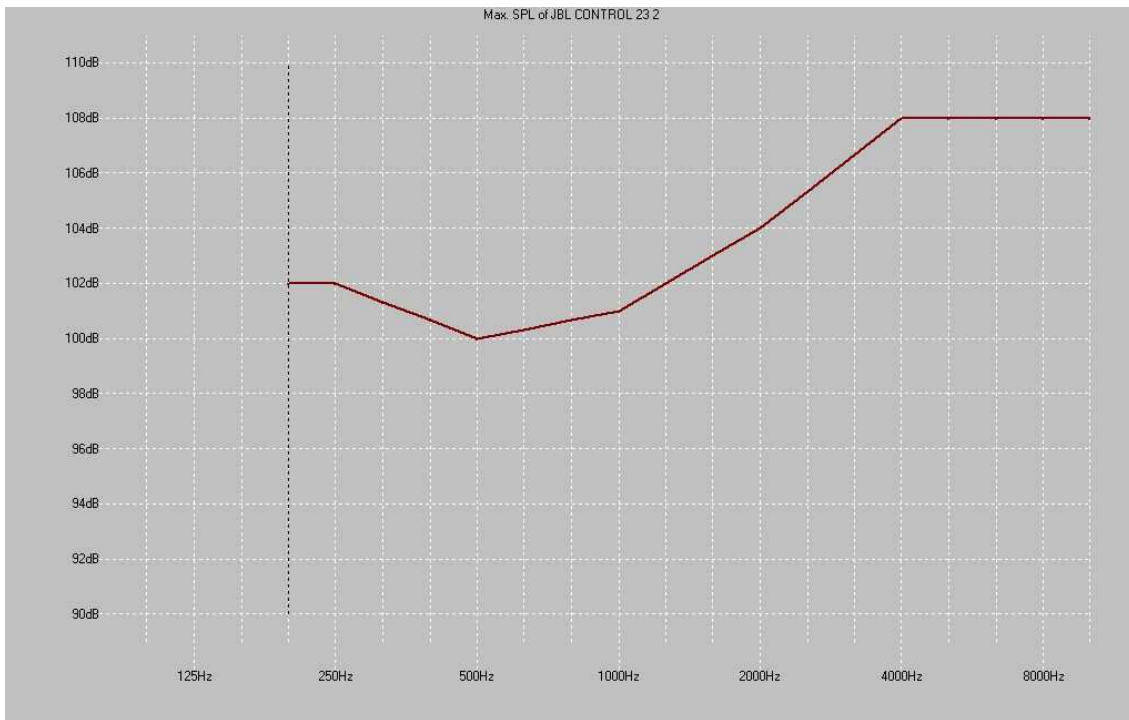


Rys.6. Wykres czasu pogłosu wg Sabine'a otrzymany na podstawie symulacji akustycznej.

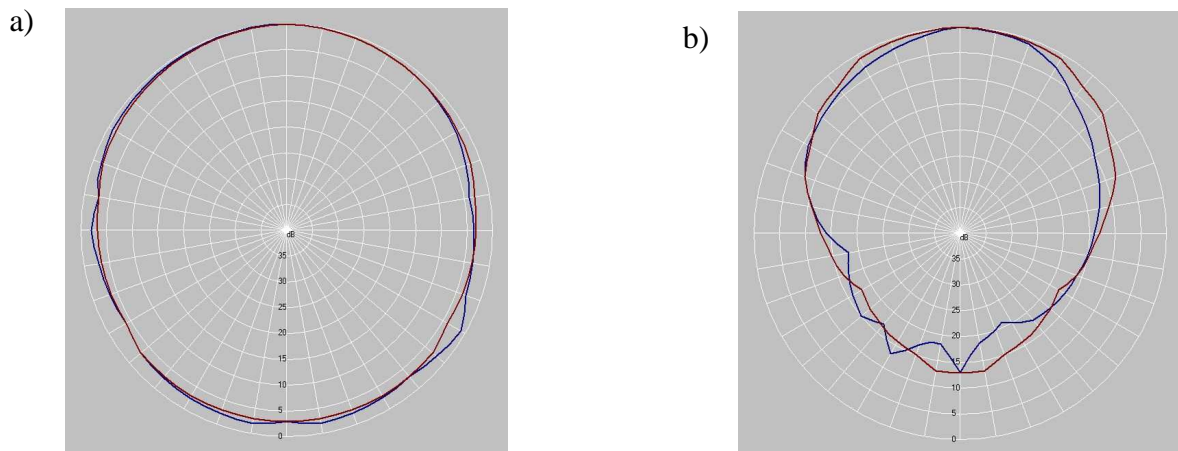
### 6.4. Instalacja nagłośnienia

Jak przedstawiono na rysunku 7a na ścianie przedniej zainstalowano dwie kolumny głośnikowe, które symulują kolumny zainstalowane w warunkach rzeczywistych.

Z biblioteki dostępnych głośników wybrano kolumny *JBL control 23*, których parametry akustyczne przedstawione są poniżej:



**Rys.7.** Wykres rozkładu maksymalnego poziomu dźwięku SPL w funkcji częstotliwości.



**Rys.8.** Charakterystyki kierunkowe poziome i pionowe **JBLcontrol 23** dla poszczególnych częstotliwości: **a) 500Hz, b) 4000Hz.**

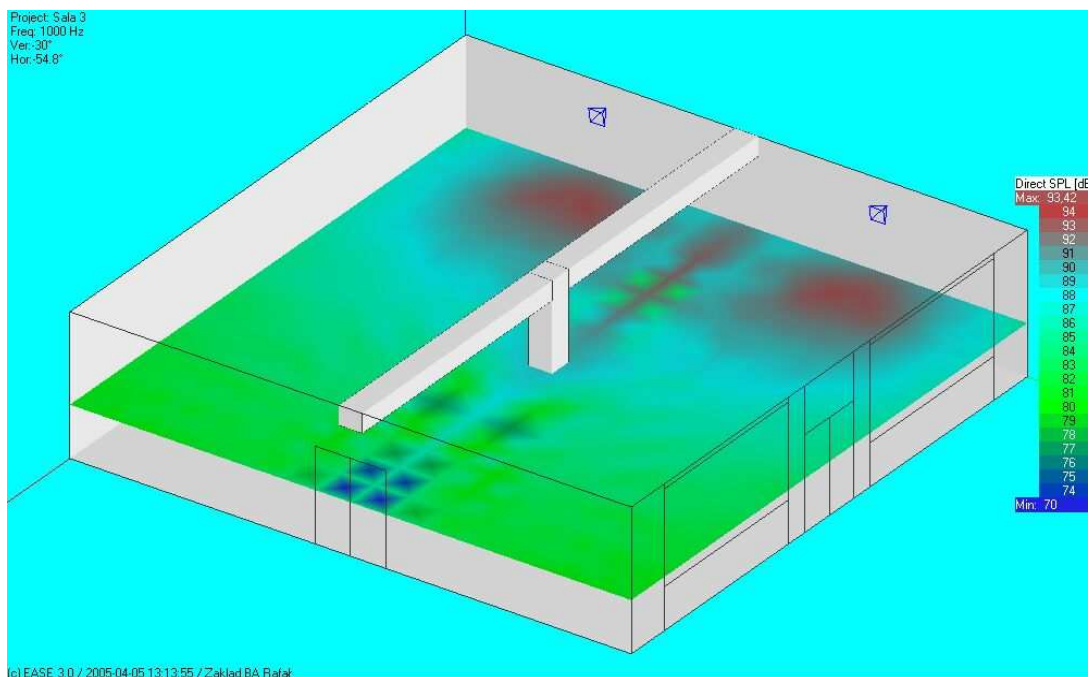
### 6.5 Wizualizacja mapy akustycznej w sali konferencyjnej

Po wybraniu głośników, dokonano „renderingu” pomieszczenia i wyznaczono dla niego podstawowe informacje mówiące o emisji dźwięku z zainstalowanych źródeł oraz jego rozprzestrzenianiu się wewnątrz.

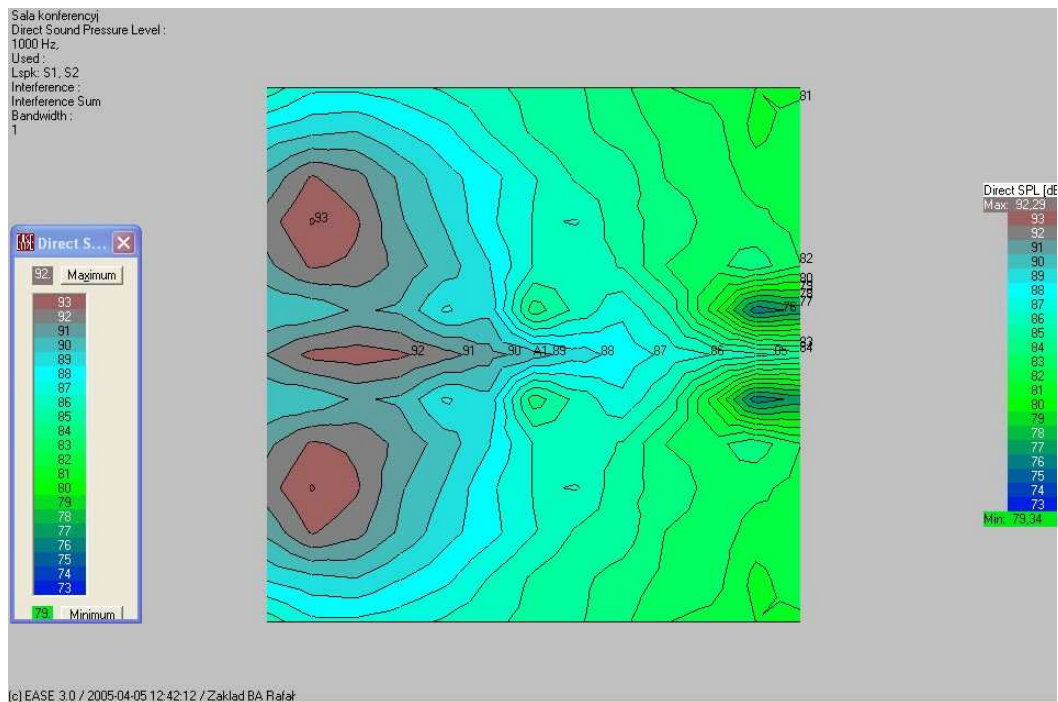


Rys.9. Symulacja wnętrza po jego „wyrenderowaniu” – widok od strony wejścia.

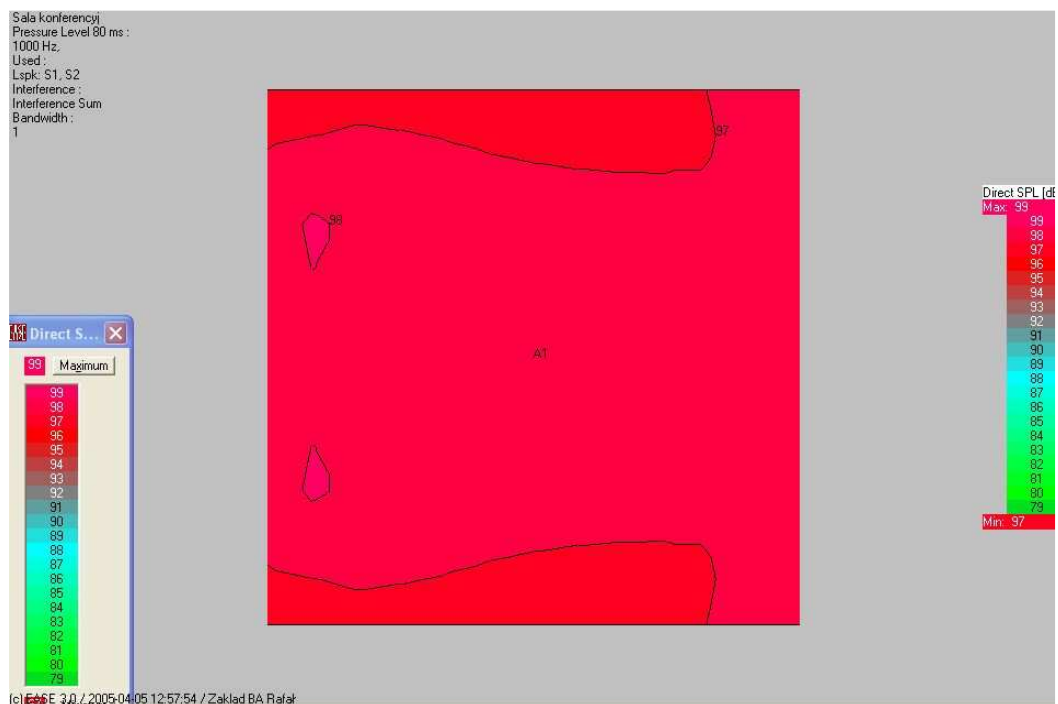
Na rysunkach powyżej przedstawiony jest widok ogólny zasymulowanego pomieszczenia, natomiast rysunek przedstawiony poniżej przedstawia widok całego pomieszczenia wraz z płaszczyzną odsłuchową umieszczoną na poziomie ucha w pozycji siedzącej  $h = 110$  [cm]:  
 Po zdefiniowaniu płaszczyzny odsłuchowej i włączeniu głośników dokonano następujących wizualizacji akustycznych wnętrza pomieszczenia:



Rys.10. Mapa akustyczna rozchodzenia się dźwięku bezpośredniego- Direct SPL.



Rys.11. Poziom natężenia dźwięku bezpośredniego „Direct SPL”– dla 1 kHz.



Rys.12. Mapa akustyczna „, SPL”– dla 1 kHz –po upływie 80[ms].

Jak widać na rysunkach powyżej, poziom natężenia dźwięku SPL wraz z upływem czasu po wypełnieniu pomieszczenia zaczyna rozkładać się równomierniej, jednakże można stwierdzić iż duży wpływ na efekt końcowy ma pogłosowy charakter pomieszczenia, co powoduje powstawanie wielu niekorzystnych odbić fali akustycznej wewnątrz sali. Ostatnią symulacją, jaka została przeprowadzona dla opisywanej sali konferencyjnej, była mapa zrozumiałości mowy, RASTI, której wyniki przedstawione są poniżej.



Rys.13. Mapa akustyczna poziomu zrozumiałości mowy RASTI.

Po przeprowadzonej symulacji poziomu zrozumiałości mowy RASTI otrzymane wyniki są nie zadawalające. Wartości liczbowe otrzymane z procesu symulacji w bardzo małym stopniu różnią się od wyników otrzymanych w procesie pomiarów na obiekcie rzeczywistym.

Możemy, zatem stwierdzić, iż pomiar jak i sama symulacja zostały dobrze przeprowadzone.

## 7. Adaptacja akustyczna sali konferencyjnej

Dla potrzeb analizy badanego pomieszczenia, dokonano jego modyfikacji – zastosowano adaptację akustyczną na całej podłodze. Zasymlowano, że zamiast podłogi wyłożonej płytkami, całą powierzchnię pokryto dywanem. Na rysunkach poniżej przedstawiono dla porównania własności akustyczne obu tych materiałów:

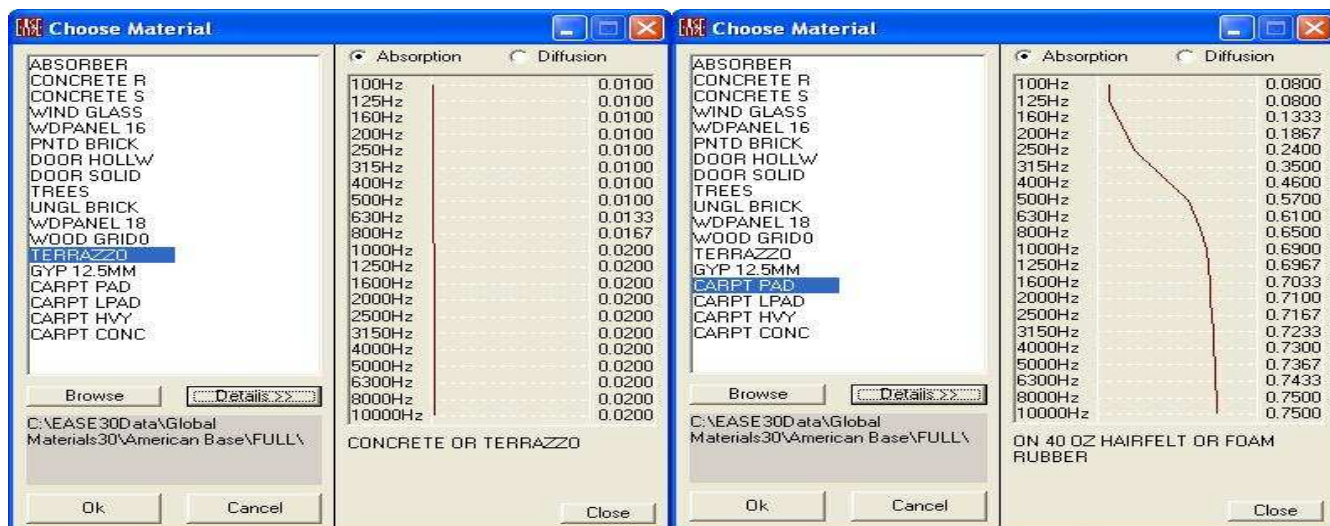


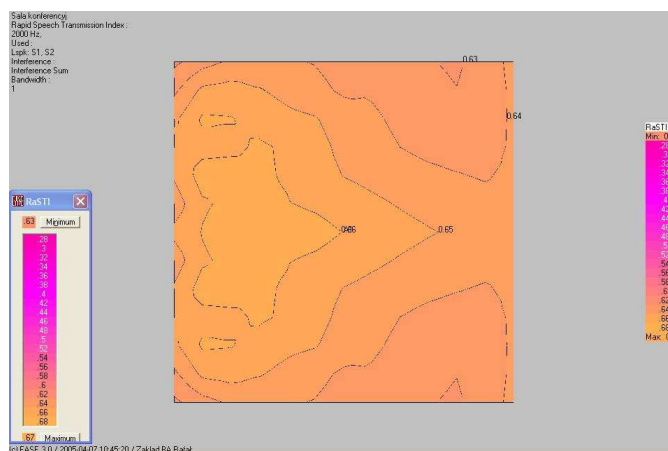
Tabela 5. Współczynniki pochłaniania  $\alpha$  dla terakoty.

Tabela 6. Współczynnik pochłaniania  $\alpha$  dla dywanu

Jak widać współczynniki pochłaniania dla obu przypadków znacznie się różnią. Analizując tabelę częstotliwościową możemy zauważyć, iż w przypadku terakoty praktycznie w całym paśmie akustycznym współczynniki pochłaniania dźwięku  $\alpha$  są bardzo niskie, co wpływa bardzo niekorzystnie na warunki akustyczne panujące wewnątrz pomieszczenia. W zakresie od  $100 [Hz]$  do  $500 [Hz]$  współczynnik  $\alpha$  jest stały i wynosi zaledwie  $0,01$ , natomiast dla częstotliwości od  $1[kHz]$  do  $10[kHz]$  jego wartość wzrasta dwukrotnie i wynosi  $\alpha=0,02$ . Biorąc pod uwagę, że skala dla wyznaczenia współczynnika  $\alpha$  zawiera się w przedziale od  $0,00$  do  $1,0$ , to mamy tu do czynienia z materiałem o bardzo niskich właściwościach absorpcyjnych, wręcz jest to materiał o charakterze typowo odbijającym dźwięk.

Natomiast w przypadku dywanu zaproponowanego w symulowanej adaptacji akustycznej sali konferencyjnej, możemy łatwo zauważyć, że jego parametry akustyczne są zdecydowanie lepsze, co przedstawia na rys24. W zakresie częstotliwości od  $100 [Hz]$  do  $500[Hz]$ , możemy zaobserwować wzrost wartości współczynnika pochłaniania  $\alpha$ , następnie po przekroczeniu  $1000[Hz]$  wartość współczynnika waha się w zakresie od  $0,70$  do  $0,75$ .

Poniżej przedstawiony jest wynik symulacji rozkładu i wartości poziomów zrozumiałości mowy **RASTI**, po zamianie terakoty na dywan wyłożony na całej powierzchni podłogi:



Rys.14. Mapa akustyczna poziomu zrozumiałości mowy RASTI po adaptacji.



Jak można było się spodziewać poziom zrozumiałości mowy poprawił się i jest na poziomie dobrym zgodnie z tabelą przedstawioną w punkcie 1, strona 2.

## 8. WNIOSKI

Po przeprowadzeniu pomiarów wewnątrz sali konferencyjnej i zestawieniu wyników pomiarów mogliśmy zauważyć, że pomieszczenie jest niedostatecznie „wytłumione”, przez co jest zbyt długi czas pogłosu. Efektem zbyt długiego czasu pogłosu były nie zadawalające wyniki z pomiarów zrozumiałości mowy.

Przystępując do przeprowadzenia symulacji akustycznej w programie EASE 3.0 głównym celem było przede wszystkim stworzenie pomieszczenia jak najbardziej zbliżonego parametrami akustycznymi do istniejącego obiektu.

Wykonana symulacja pokazała nam, że wartości współczynników zrozumiałości mowy były również zbyt niskie.

Po porównaniu wyników pomiarów z wynikami otrzymanymi z przeprowadzonej symulacji stwierdzono, że jedynym rozwiązaniem dla poprawienia „klimatu” akustycznego w sali konferencyjnej jest jej adaptacja akustyczna.

Jak przedstawiono w punkcie 7 dokonano jedną z najprostszych operacji związanych z poprawą akustyki w pomieszczeniu i w miejsce terakoty na podłodze umieszczono dywan. Następnie przeprowadzono powtórny symulację akustyczną i sporządzono mapkę **RASTI** (*rys14*), z której jednoznacznie wynika, że przeprowadzony zabieg był trafny.

Są różne metody, które można by było zastosować w celu poprawy własności akustycznych pomieszczenia, jednakże wiążą się one z dużymi kosztami i w tym konkretnym przypadku nie mają uzasadnienia.

## Literatura

1. Materiały dydaktyczne - „Kurs dla projektantów i instalatorów DSO”. CNBOP 2006 – praca zbiorowa,
2. Z. Żyszkowski – „Podstawy elektroakustyki”. PWT -Warszawa 1953.
3. J. Sereda – „Pomiary w elektroakustyce”. WKŁ – Warszawa 1981.
4. A. Gołaś – „Podstawy sterowania dźwiękiem w pomieszczeniach”. AGH – Kraków 2000.
5. B. Urbański – „Elektroakustyka”. WNT – 1993.
6. PN-EN 60849 – „Dźwiękowe Systemy Ostrzegawcze”. 2005
7. Klark - Teknik Plc. - „The Audio System Designer” – Technical reference.

