

**MODEL AKUSTYCZNY**  
**SALI WIDOWISKOWEJ TEATRU POLSKIEGO**  
**IM. ARNOLDA SZYFMANA W WARSZAWIE**

Warszawa, listopad 2014

## **SPIS TREŚCI**

1. BADANY OBIEKT
2. ZAŁOŻENIA DO OPRACOWANIA MODELU AKUSTYCZNEGO TEATRU
3. CHARAKTERYSTYKA MODELU
  - 3.1 Dane ogólne
  - 3.2 Rysunki wizualizacyjne modelu komputerowego
4. WSKAŹNIKI I PARAMETRY AKUSTYCZNE SALI TEATRALNEJ UZYSKANE Z MODELOWANIA
5. PORÓWNAWCZA OCENA WPŁYWU SCENY NA PARAMETRY AKUSTYCZNE WIDOWNI
6. WNIOSKI
7. WSTĘPNE ZESTAWIENIE WYMAGAŃ NA FORMĘ I WYBÓR WSKAŹNIKÓW EKLEKTROAKUSTYCZNYCH DO OCENY WYNIKÓW KOMPUTEROWYCH SYMULACJI PROJEKTOWANEGO SYSTEMU NAGŁOŚNIENIA.

### ZAŁĄCZNIKI (płyta CD)

Rysunki architektury

- Z1. Teatr parter
- Z2. Teatr I piętro
- Z3. Teatr II piętro
- Z4. Scena przekrój Model
- Z5. Scena przekrój poprzeczny
- Z6. Tylko\_widownia, plik EASE zip
- Z7. Scena\_widownia, plik EASE zip
- Z8. Charakterystyki czasu pogłosu widowni i widowni ze sceną.

## **1. BADANY OBIEKT**

Modelowanym obiektem jest sala widowiskowa Teatru Polskiego im. Arnolda Szyfmana w Warszawie. Kubatura widowni Teatru wraz z proscenium przy zamkniętej kurtynie pożarowej wynosi około 4200 m<sup>3</sup>. Okno sceny ma wymiary 10.6 x 8 m.

Widownię tworzy część parterowa z 19 rzędami siedzeń, 14 łoży na balkonie I oraz 6 rzędów siedzeń na balkonie II, łącznie 708 miejsc dla widzów. Ostatni rząd siedzeń na balkonie II jest w odległości około 23 m od otworu sceny. Odległość ostatniego rzędu siedzeń na parterze do okna sceny wynosi około 19 m.

Rysunki architektury w formacie pdf widowni i sceny w załącznikach Z1 – Z5.

## **2. ZAŁOŻENIA DO OPRACOWANIA MODELU AKUSTYCZNEGO TEATRU**

- Podstawą do opracowania modelu akustycznego sali teatralnej są:
  - rysunki architektury,
  - identyfikacja materiałów wykończeniowych ścian, podłóg, przegród budowlanych i elementów wystroju wnętrz podczas wizji lokalnej,
  - wyniki pomiarów podstawowych parametrów akustycznych sali.
- Model akustyczny przeznaczony jest do analizy i oceny efektywności działania projektowanego systemu głośnikowego na podstawie wyników symulacji komputerowych frontального nagłośnienia sali teatralnej.
- Do opracowania numerycznego modelu akustyki teatru i badania właściwości elektroakustycznych systemu nagłośnienia zastosowany będzie program komputerowy EASE 4.4.8.
- Jako podstawowe parametry akustyczne charakteryzujące zgodność modelu akustycznego z rzeczywistym obiektem będzie czas pogłosu T30 oraz czas wczesnego zaniku EDT. Ewentualne rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń symulacyjnych wynikające z niepewności w ocenie rzeczywistych parametrów akustycznych materiałów wystroju wnętrza nie powinny przekraczać przedziału +/- 15 % w odniesieniu do wartości parametrów T30 i EDT uzyskanych w pomiarach

### **3. CHARAKTERYSTYKA MODELU**

#### **3.1 Dane ogólne**

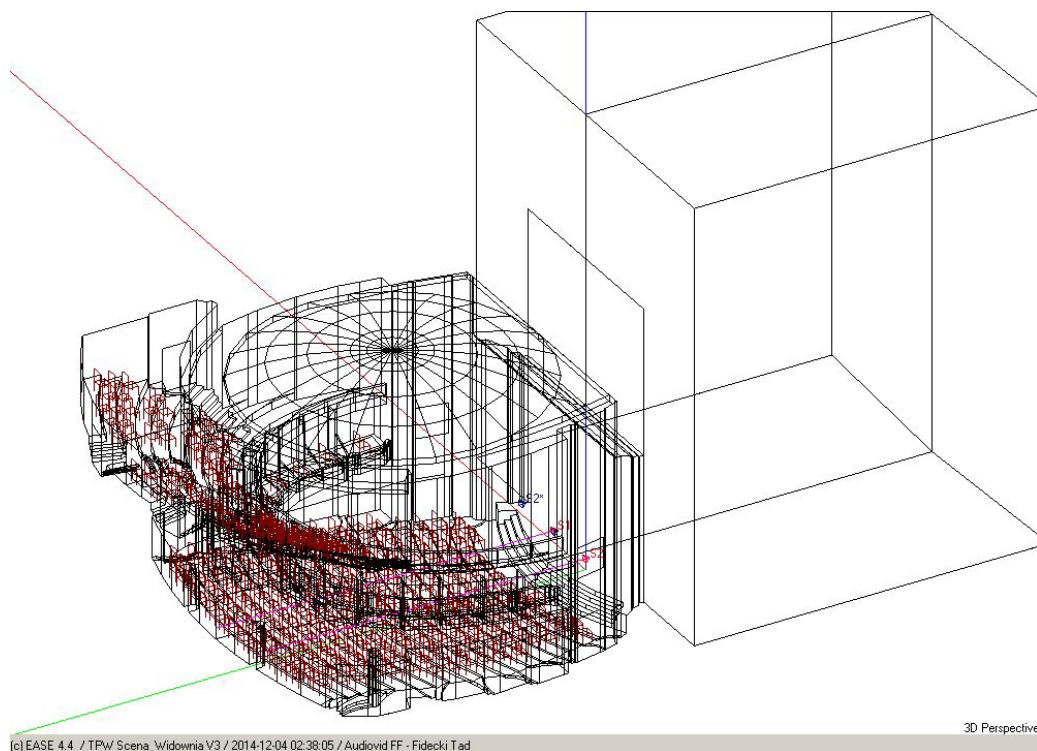
Model akustyczny widowni i sceny Teatru Polskiego został opracowany na podstawie rysunków architektury i pomiarów inwentaryzacyjnych w obiekcie. Model przeznaczony jest do doboru, analizy i oceny działania głośników systemu nagłośnienia frontального widowni. Model wykonano do obsługi w programie EASE wersji 4.4.8 lub wyższej.

Model składa się z 758 powierzchni akustycznych. Ocena działania systemu głośnikowego może być dokonana na podstawie parametrów elektroakustycznych dźwięku na powierzchniach słuchania („audience”) lub w siatce 356 punktów, które reprezentują lokalizację słuchaczy na widowni („seats”).

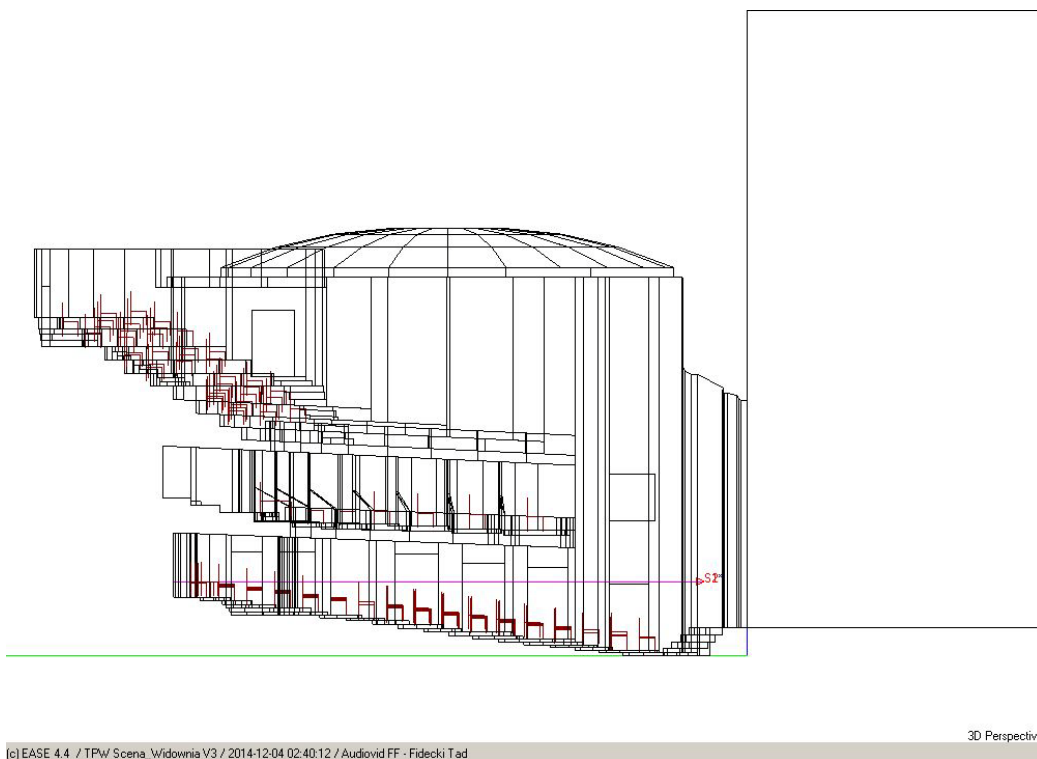
Właściwości akustyczne widowni i sceny teatru zostały odtworzone na podstawie pomiarów akustycznych teatru oraz identyfikacji właściwości dźwiękochłonnych materiałów wykończeniowych podłóg, ścian, sufitu, foteli i elementów wyposażenia technologicznego teatru. Model wykorzystuje bazę 18 różnych materiałów wystroju i wyposażenia wnętrza.

W pomiarach wyznaczono charakterystyki pogłosowe i inne wskaźniki akustyczne widowni i sceny przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej. Zmierzone wartość czasu pogłosu T30 przy uniesionej kurtynie pożarowej, w środkowej części pasma, wynosi 2.10 s. Obliczona za pomocą programu EASE 4.4.8 dla tych warunków wartość czasu pogłosu T30 wyniosła  $T30 (Eyring) = 2.05$ . Zmierzone wartość czasu pogłosu T30 przy opuszczonej kurtynie pożarowej, w środkowej części pasma, wynosi 1.68 s. Obliczona za pomocą programu EASE 4.4.8 dla tej sytuacji wartość czasu pogłosu T30 wyniosła  $T30 (Eyring) = 1.64$  s.

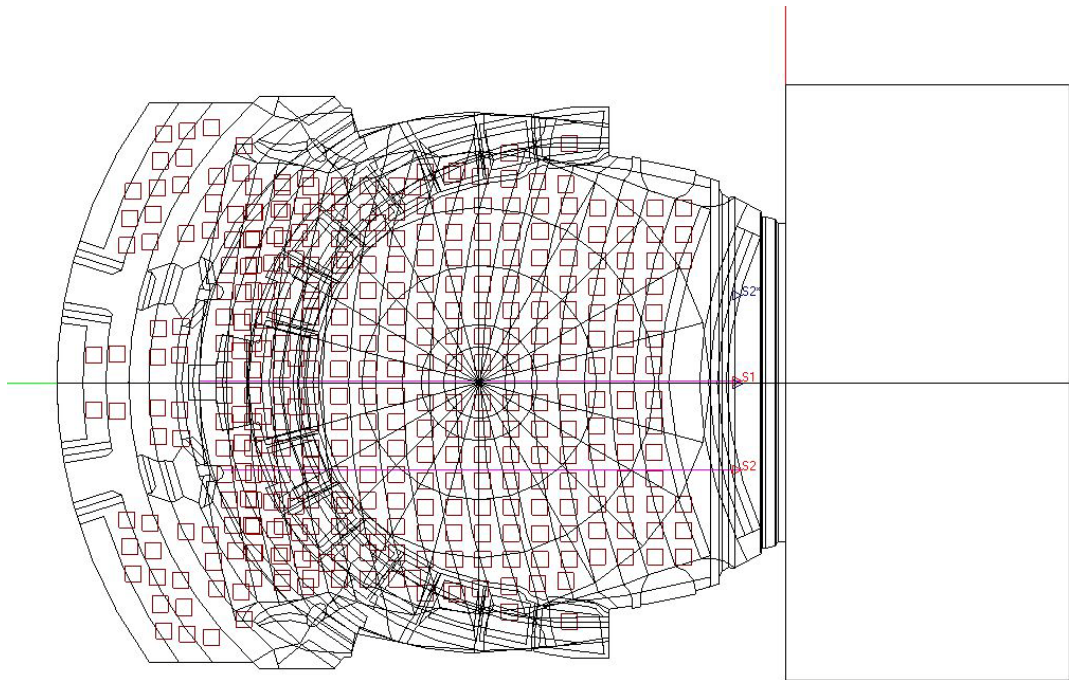
### 3.2 Rysunki wizualizacyjne modelu komputerowego



Widok 3D konturów powierzchni modelu widowni i sceny



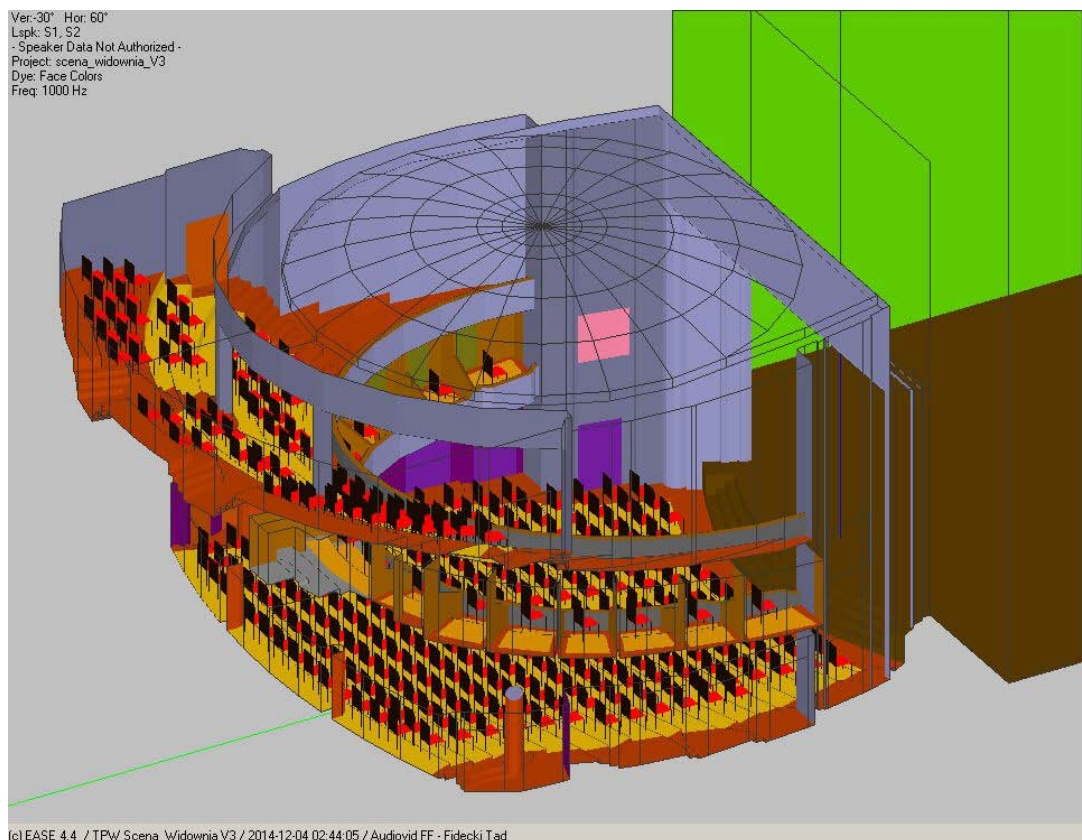
Profil boczny modelu widowni i sceny



[c] EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-12-04 02:41:14 / Audiovid FF - Fidecki Tad

3D Perspective

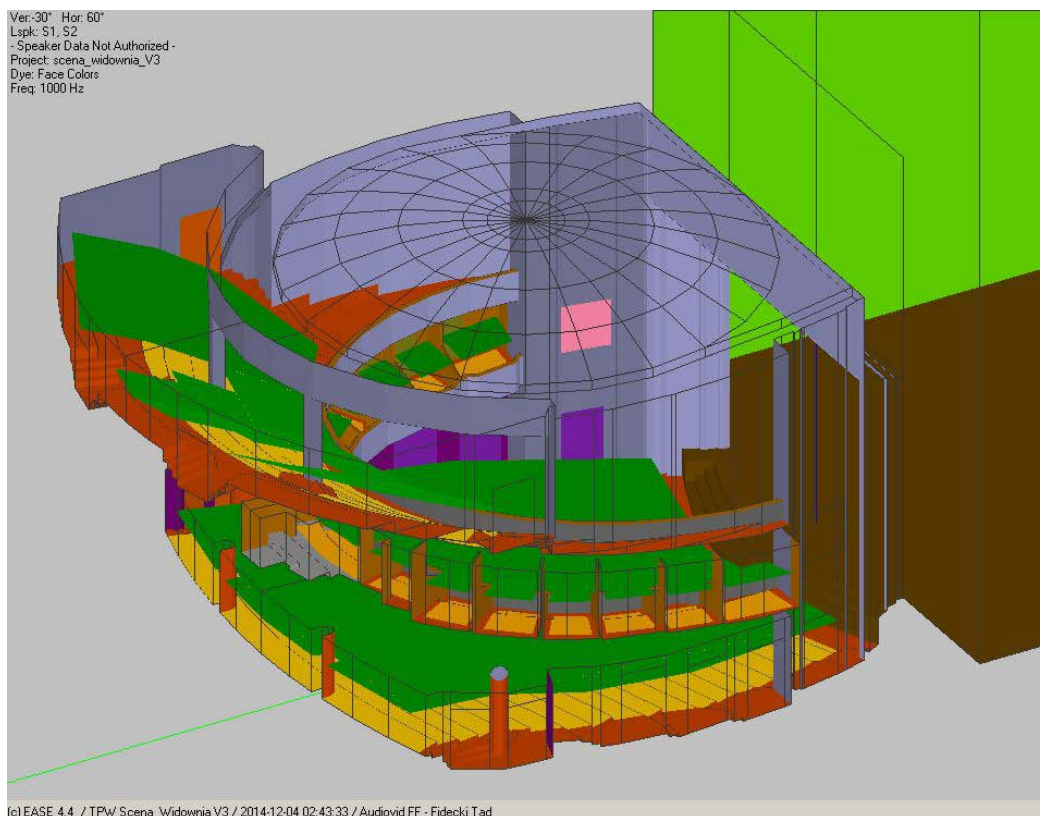
### Widok modelu widowni i sceny w rzucie



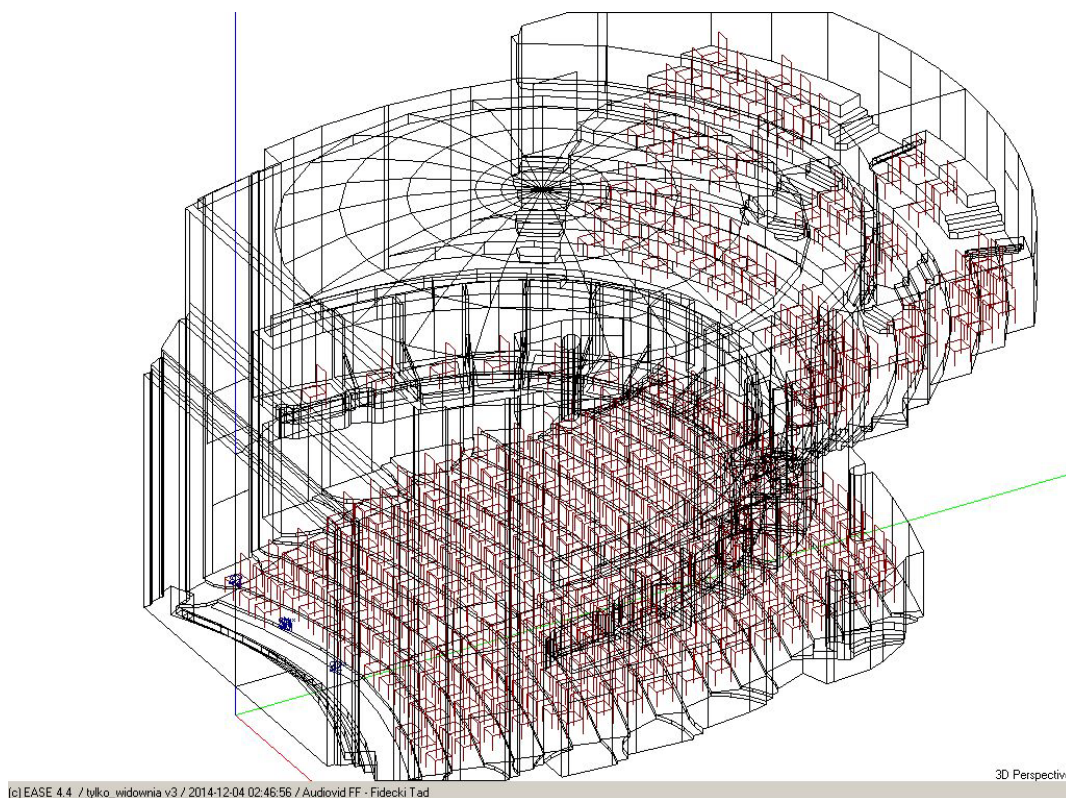
[c] EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-12-04 02:44:05 / Audiovid FF - Fidecki Tad

### Widok 3D modelu widowni i sceny z miejscami siedzącymi

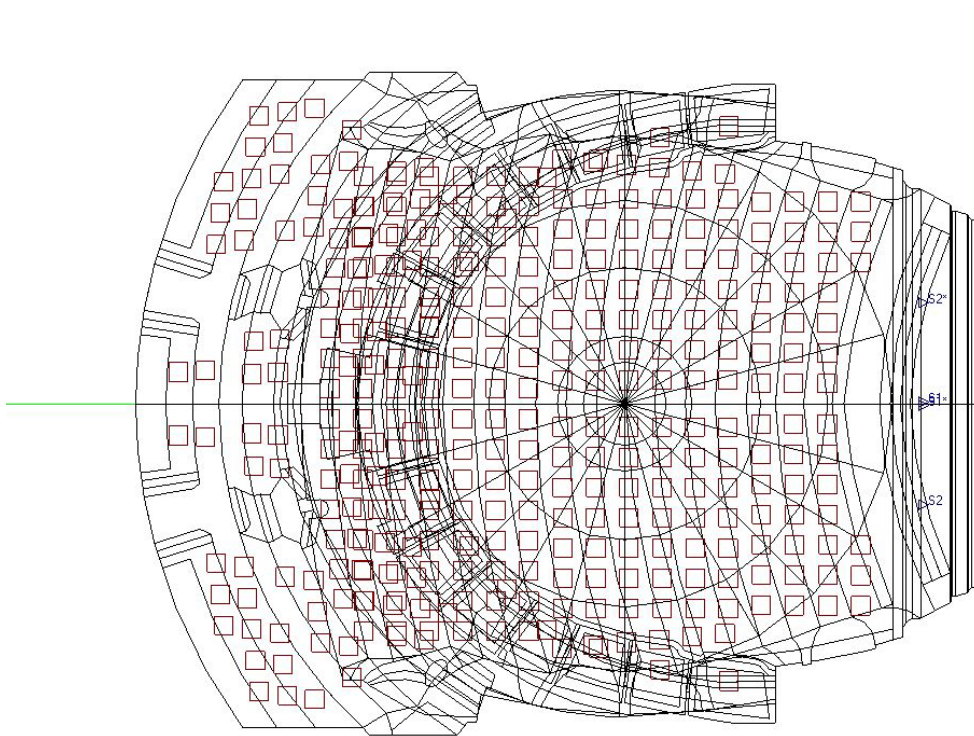




Widok 3D modelu widowni i sceny z konturami powierzchni słuchania



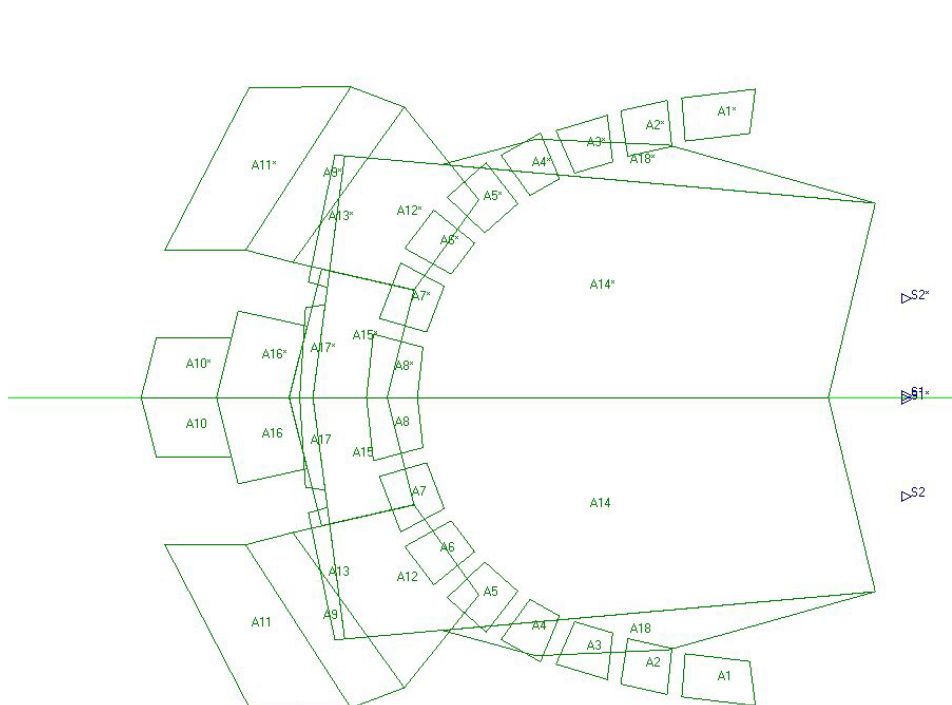
Widok 3D konturów powierzchni modelu widowni przy opuszczonej kurtynie pożarowej



[c] EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 02:48:48 / Audiovid FF - Fidecki Tad

3D Perspective

Widok modelu widowni w rzucie z usytuowanymi siedzeniami

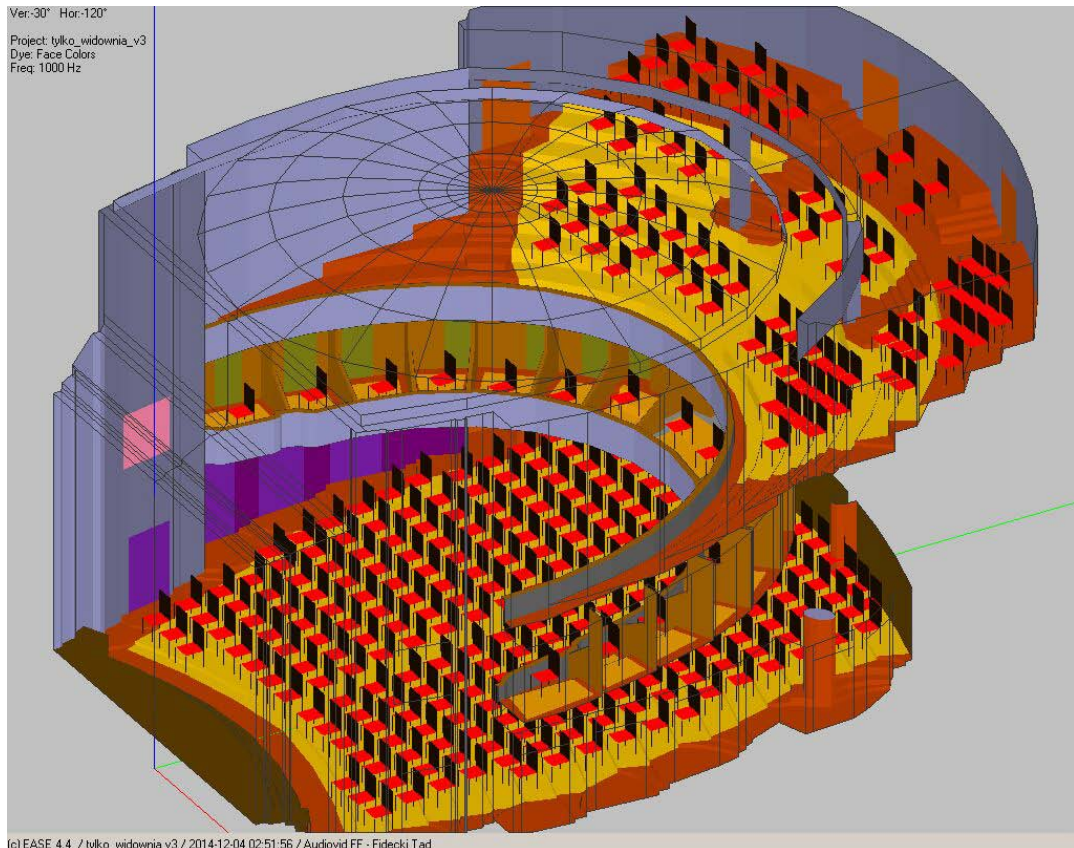


[c] EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 02:50:33 / Audiovid FF - Fidecki Tad

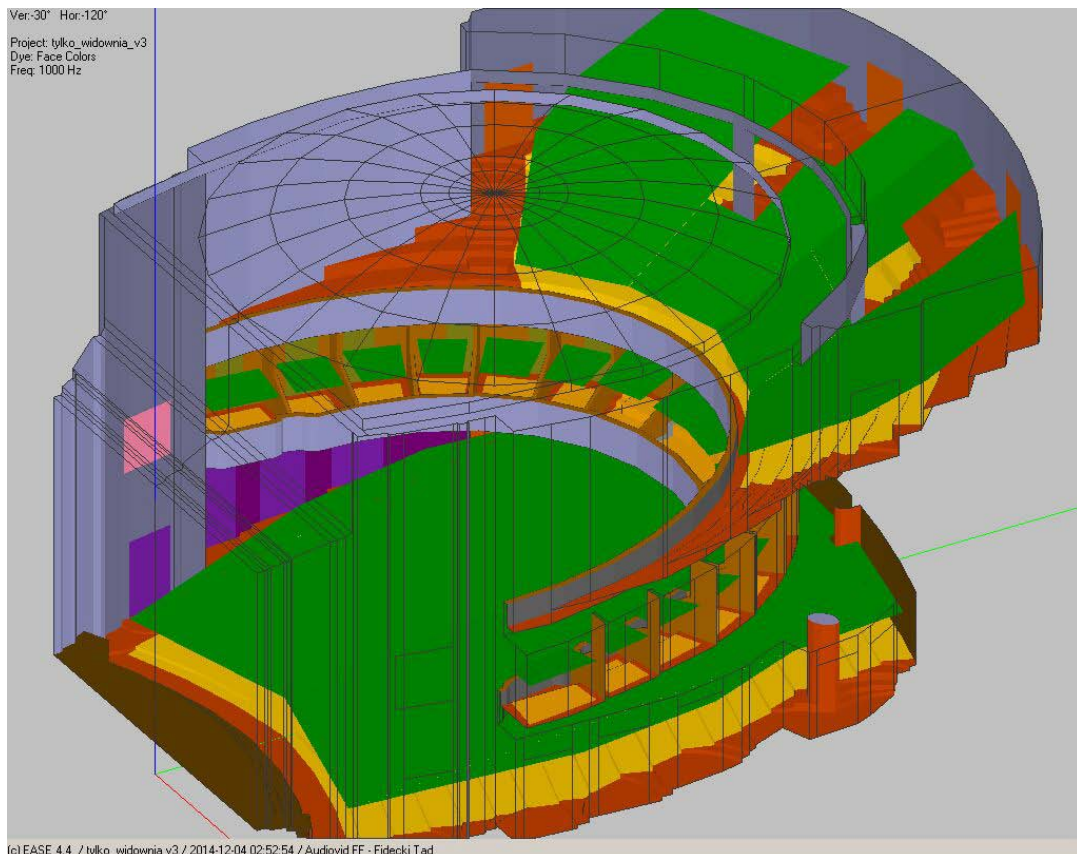
3D Perspective

Rzut modelu widowni z konturami powierzchni słuchania





Widok 3D modelu widowni z siedzeniami

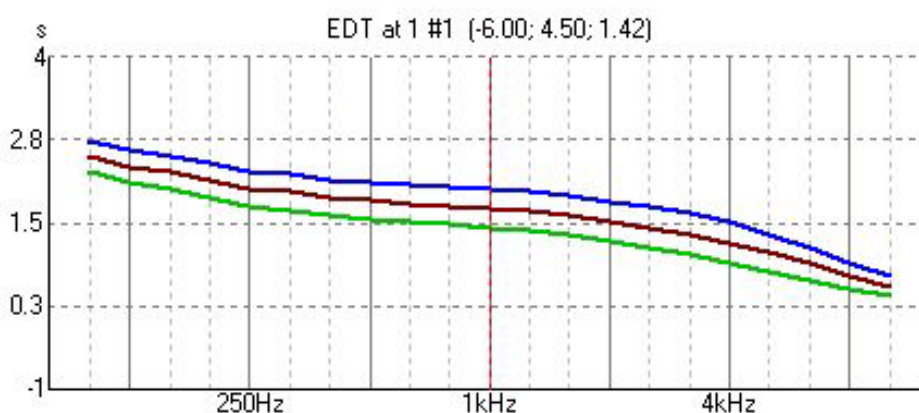


Widok modelu widowni z konturami powierzchni słuchania

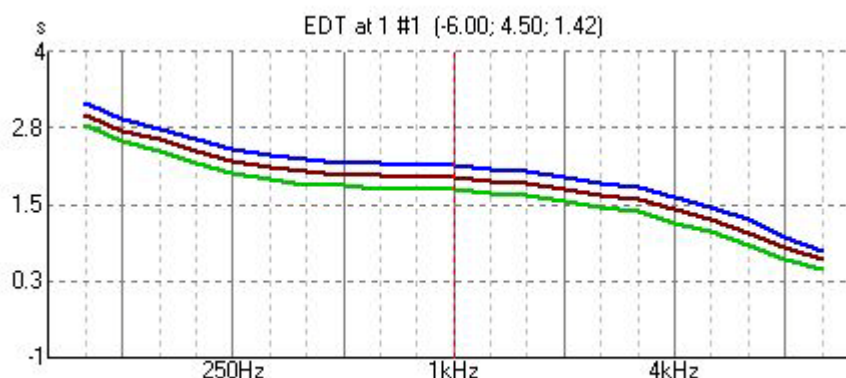
#### 4 WSKAŹNIKI I PARAMETRY AKUSTYCZNE SALI TEATRALNEJ UZYSKANE Z MODELOWANIA

Poniżej zestawiono obliczone na podstawie symulacji komputerowych podstawowe parametry i wskaźniki akustyczne modelu:

- czas wczesnego zaniku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80.

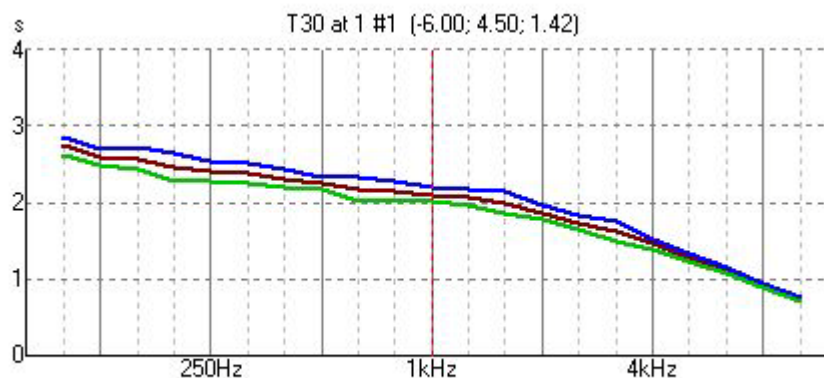


(c) EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-11-24 02:40:16 / Audiovid FF - Fidecki Tad

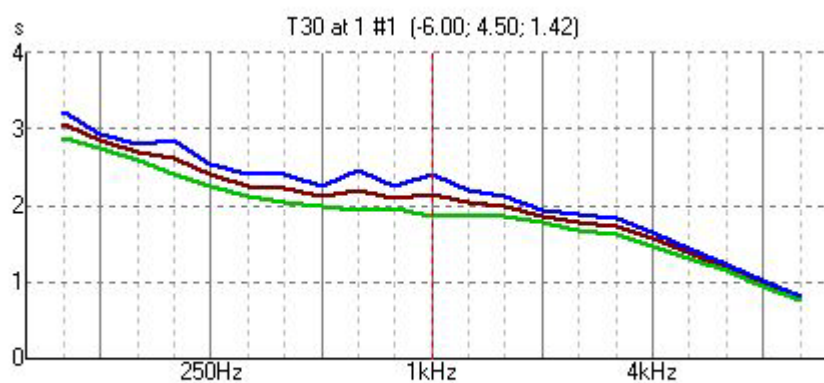


(c) EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 03:37:56 / Audiovid FF - Fidecki Tad

Charakterystyki czasu wczesnego dźwięku zaniku EDT widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej

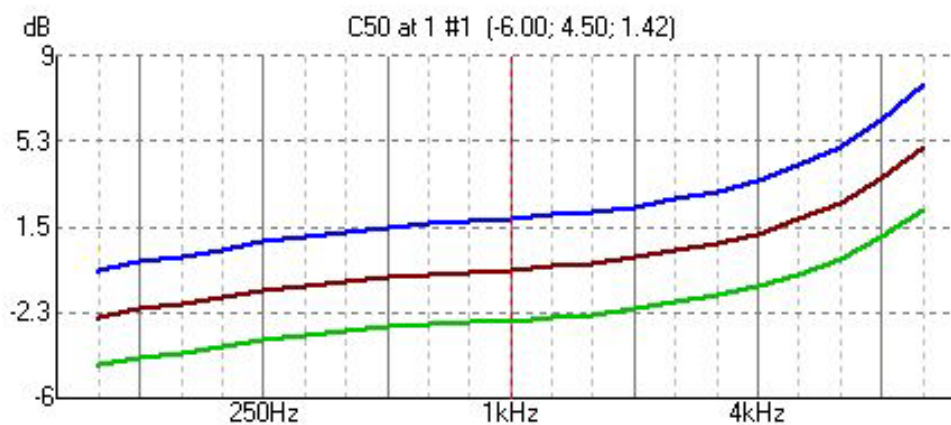


(c) EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-12-04 02:57:35 / Audiovid FF - Fidecki Tad



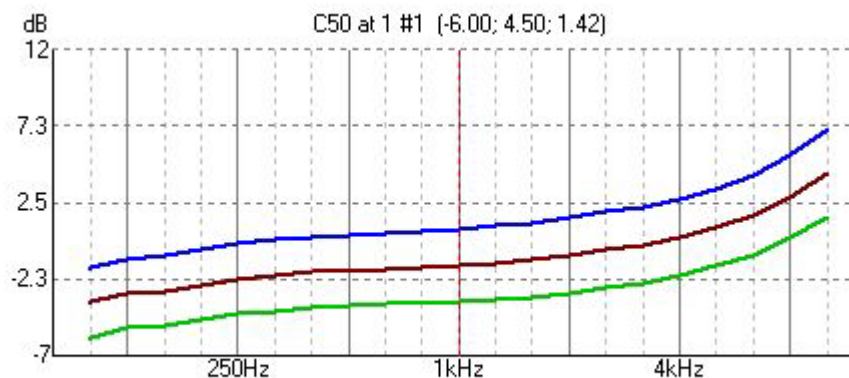
(c) EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 03:52:32 / Audiovid FF - Fidecki Tad

Charakterystyki czasu pogłosu T30 widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej



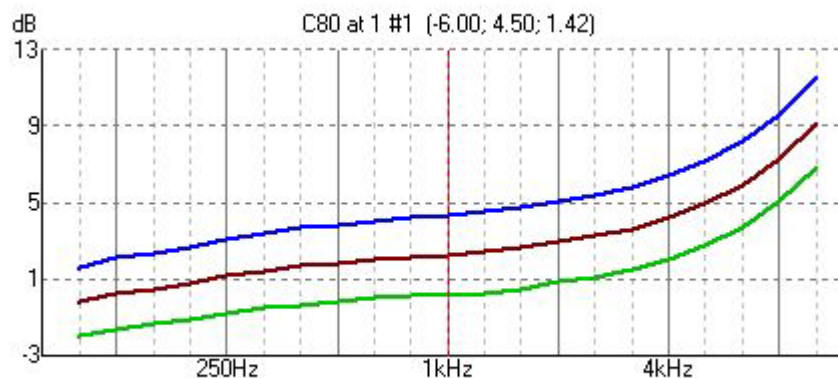
(c) EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-11-24 03:05:55 / Audiovid FF - Fidecki Tad



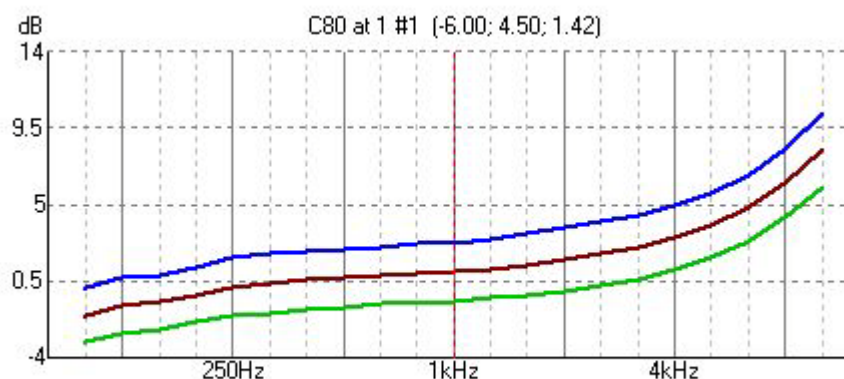


(c) EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 03:52:57 / Audiovid FF - Fidecki Tad

Charakterystyki wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej.



(c) EASE 4.4 / TPW Scena\_Widownia V3 / 2014-12-04 02:55:15 / Audiovid FF - Fidecki Tad

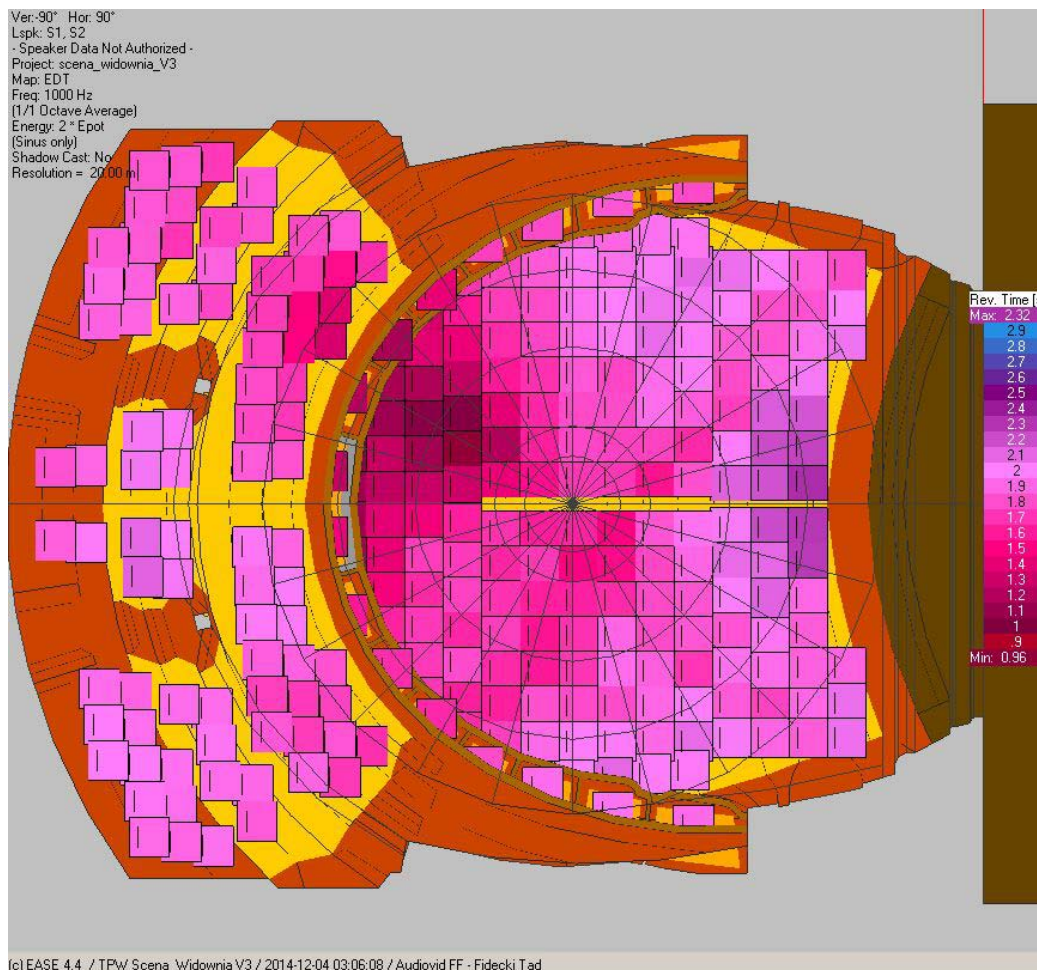


(c) EASE 4.4 / tylko\_widownia v3 / 2014-12-04 03:53:14 / Audiovid FF - Fidecki Tad

Charakterystyki wskaźnika czytelności dźwięku C80 na widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej

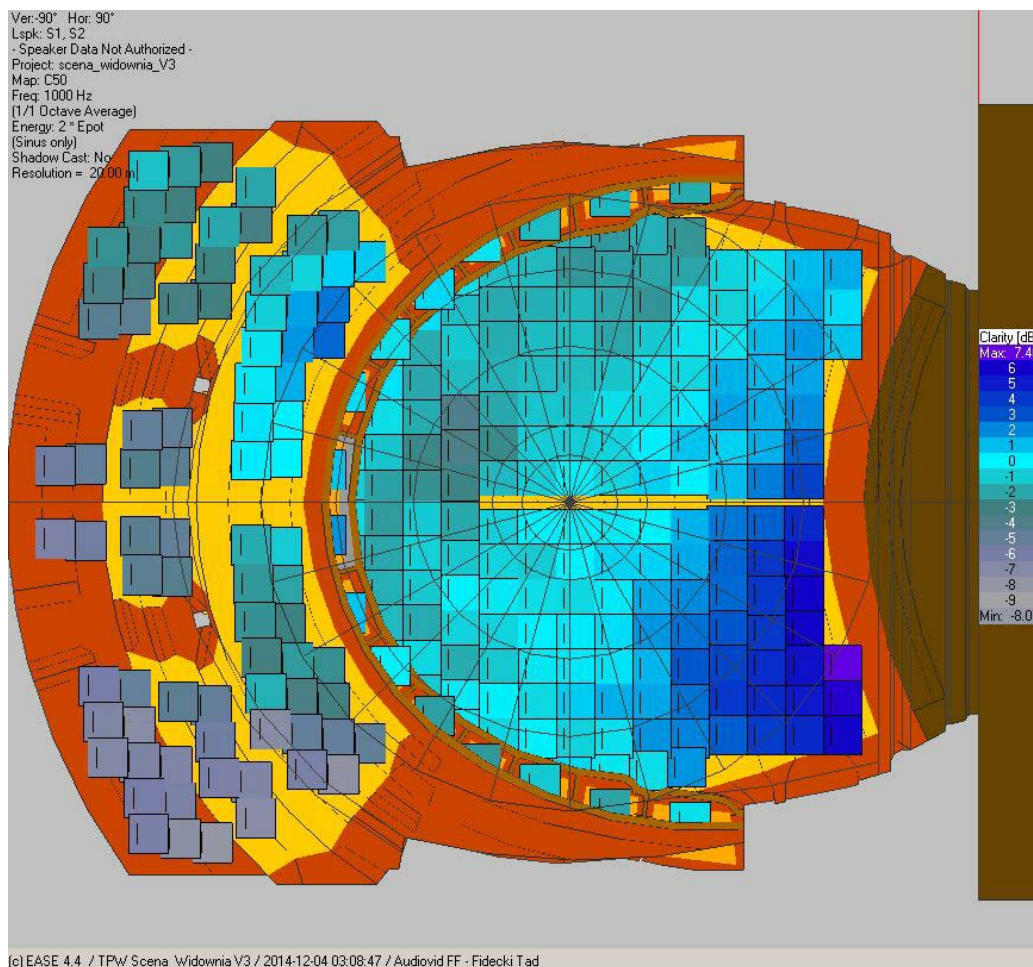
## 5 PORÓWNAWCZA OCENA WPŁYWU SCENY NA PARAMETRY AKUSTYCZNE WIDOWNI

Ocena dotyczy zmiany charakterystyk pogłosowych i wskaźników akustycznych w wyniku podniesienia kurtyny pożarowej.

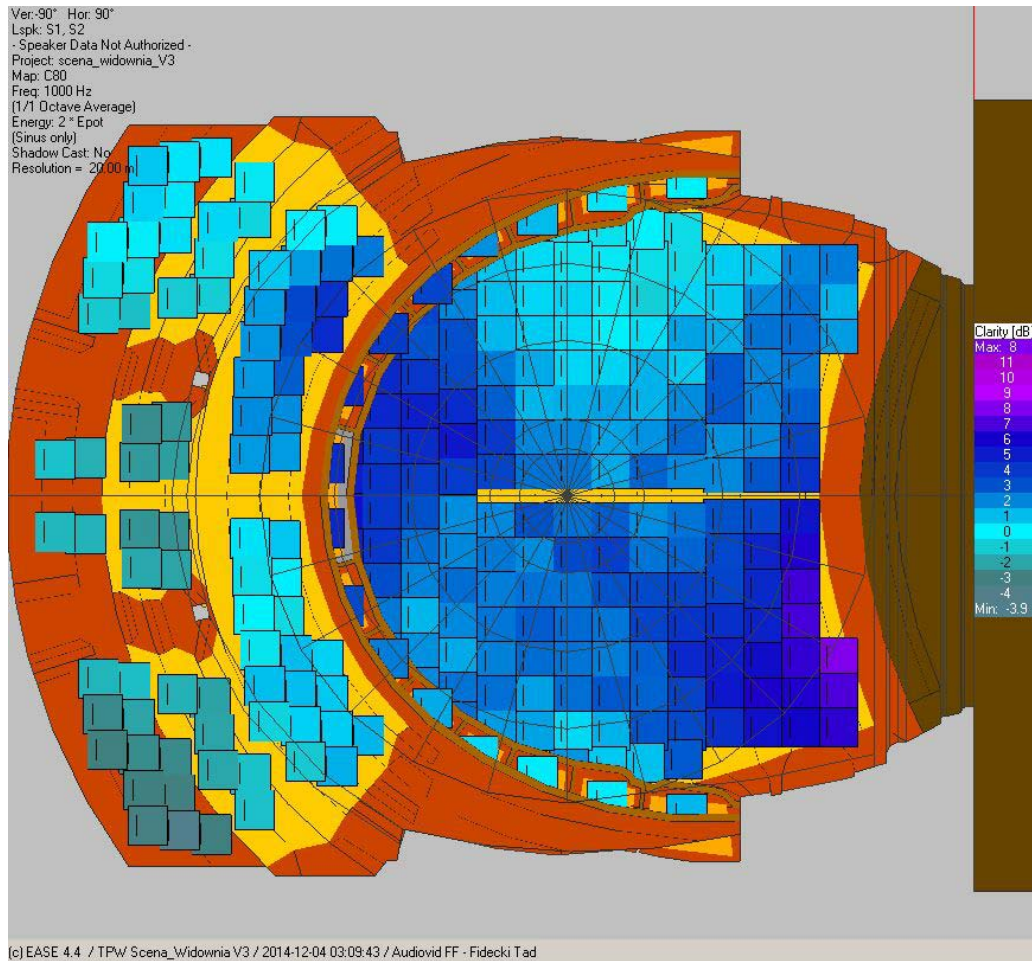


Kontury rozkładu wartości EDT na widowni przy podniesionej kurtynie pożarowej

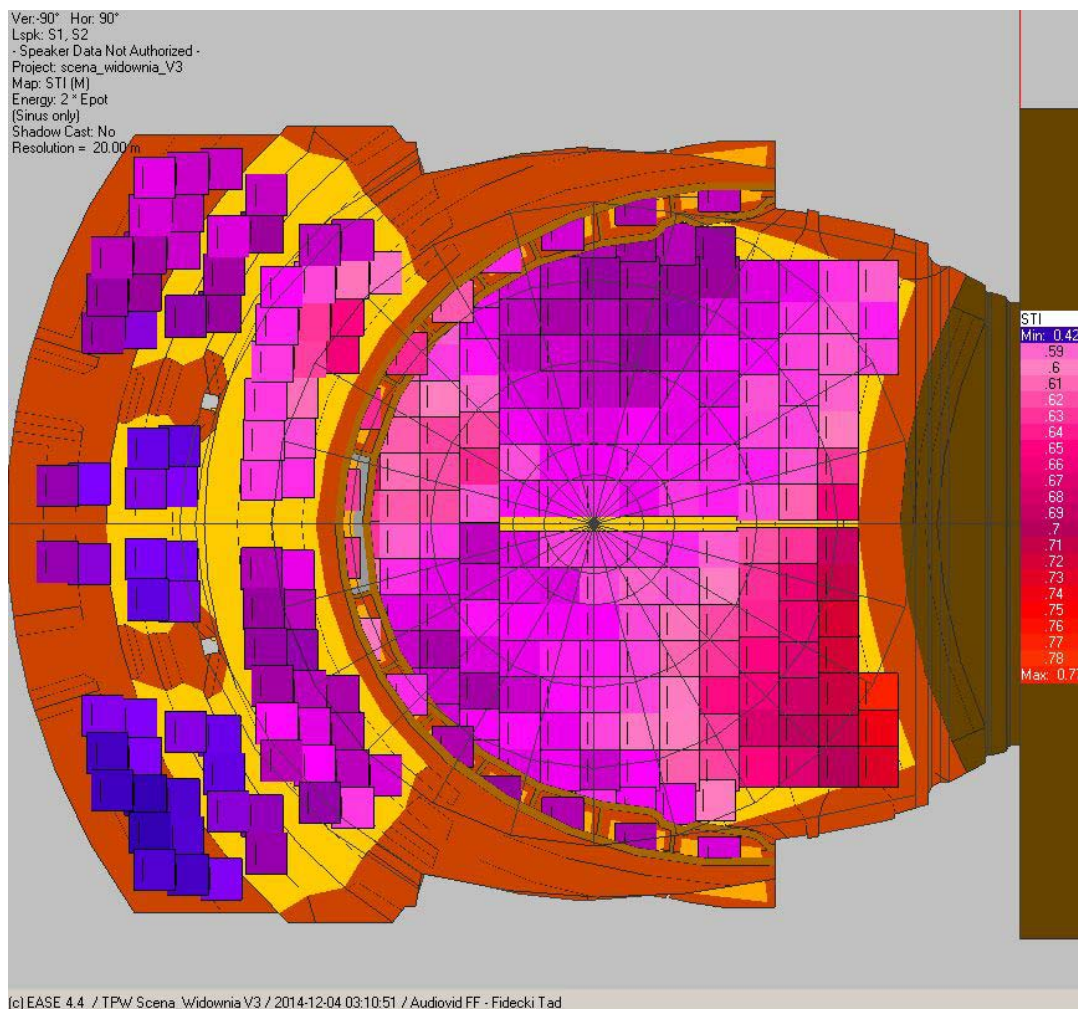




Kontury rozkładu wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej

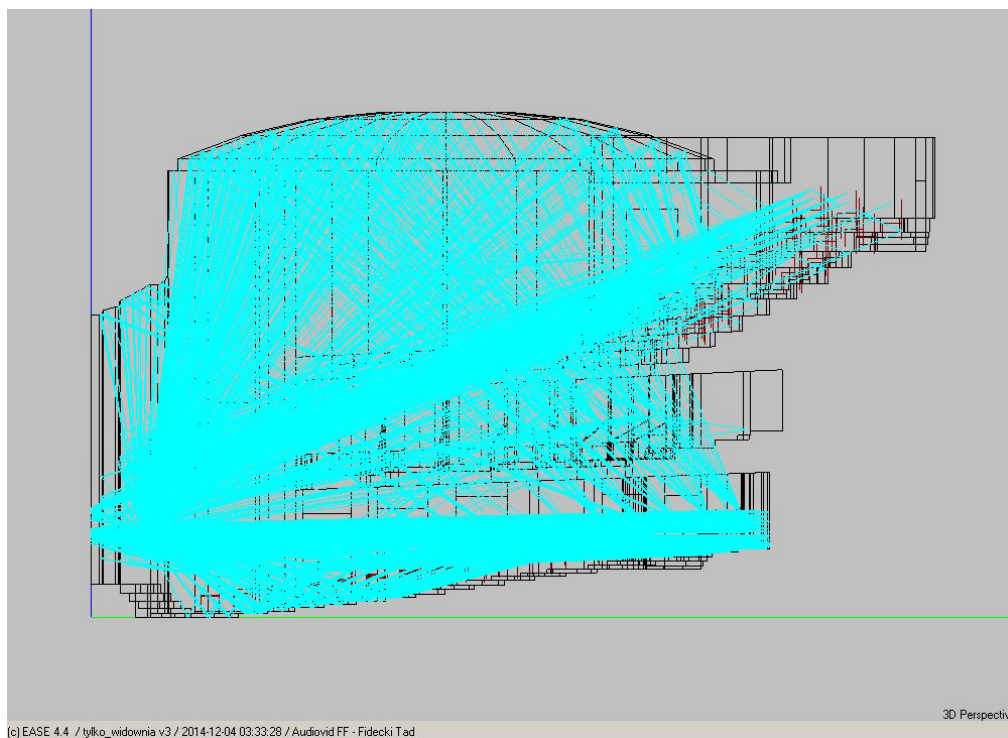


Charakterystyki wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej

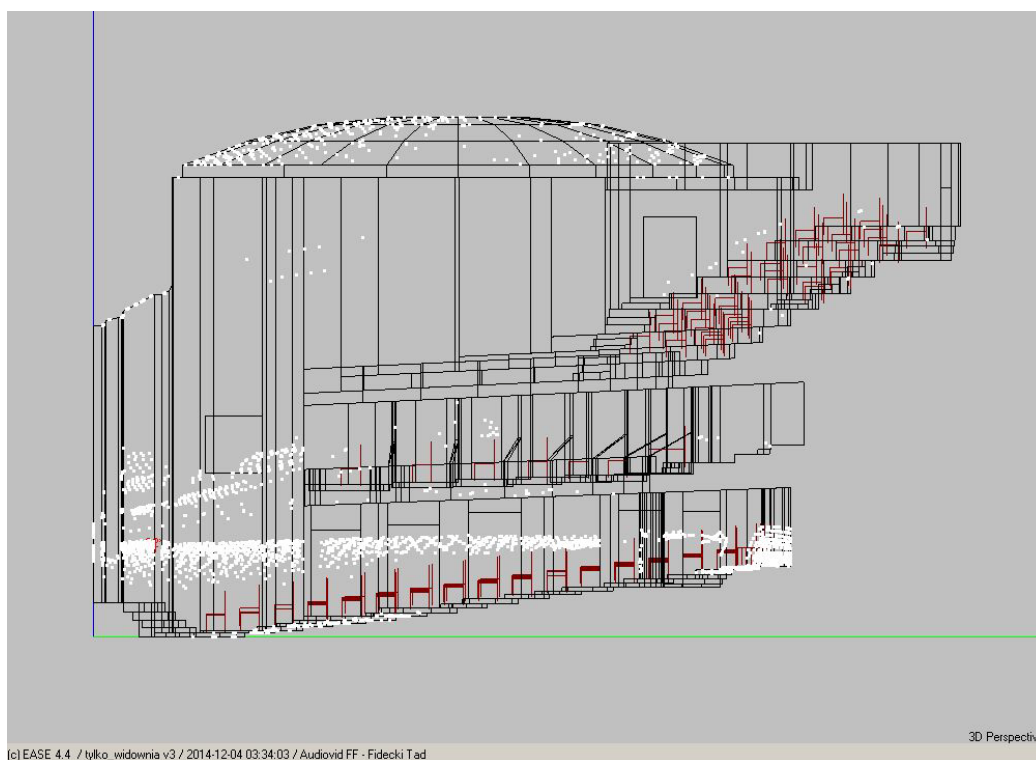


Kontury rozkładu wskaźnika transmisji mowy STI na widowni przy podniesionej i przy opuszczonej kurtynie pożarowej

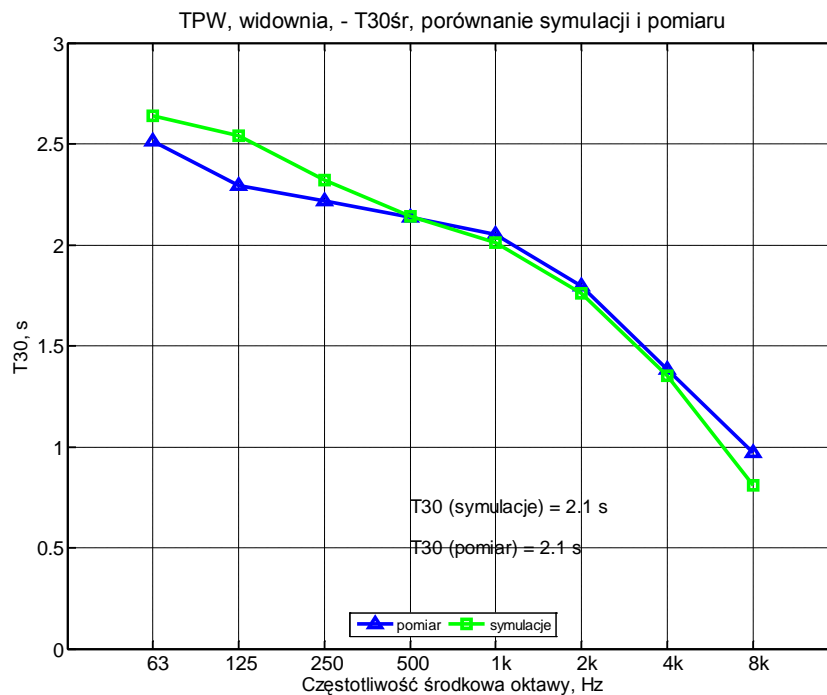




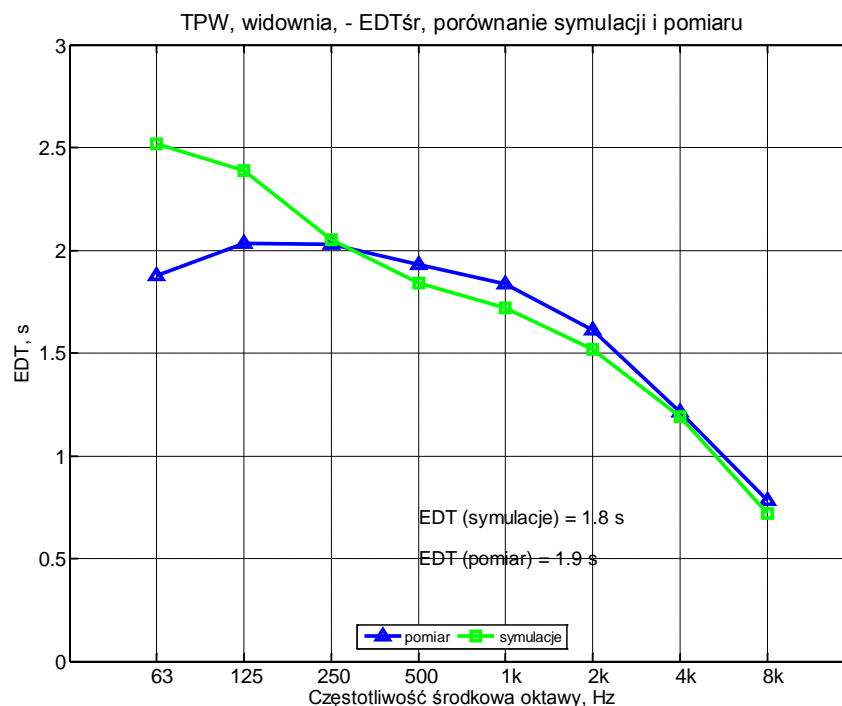
Przykład zastosowania modelu widowni do dróg promieni dźwiękowych od źródła do słuchaczy i identyfikacji powierzchni kierujących pierwsze odbicia dźwięku



Przykład zastosowania modelu widowni do identyfikacji miejsc odbić dźwięku na powierzchniach kierujących pierwsze odbicia do słuchaczy

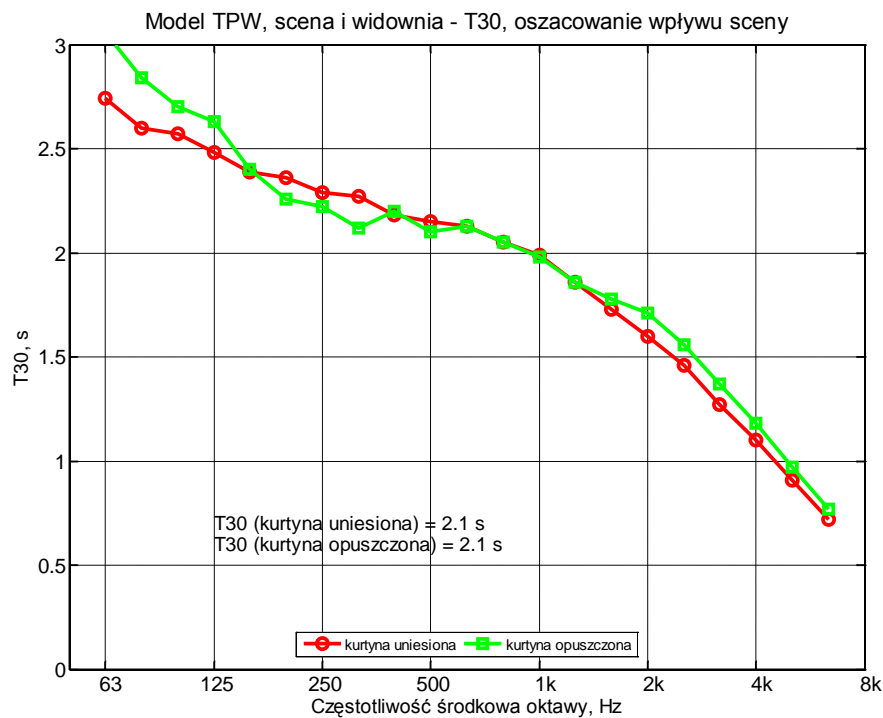


Porównanie charakterystyk częstotliwościowych czasu pogłosu T30 uzyskanych z symulacji i z pomiarów

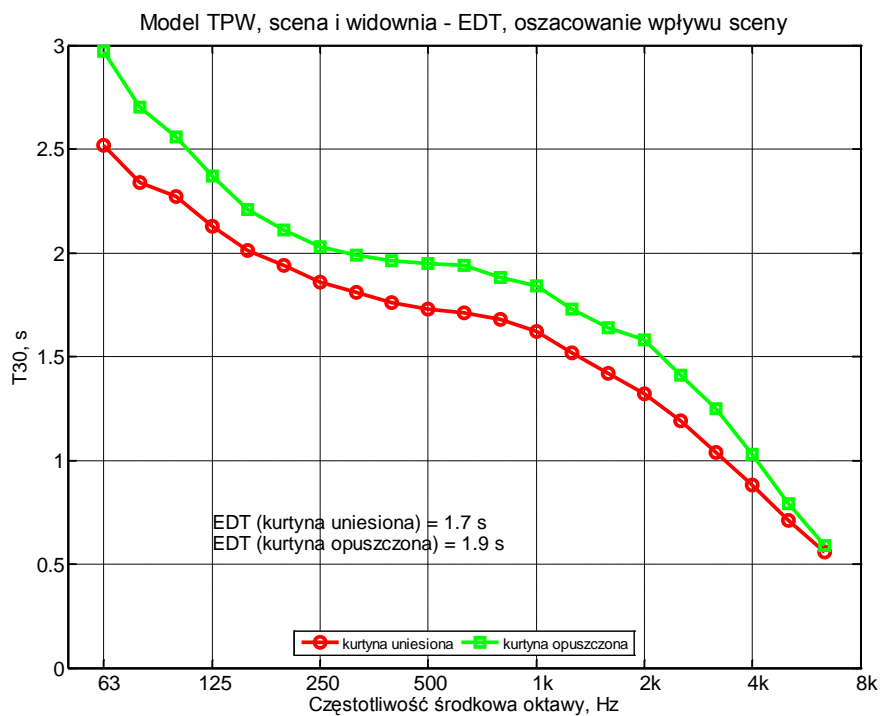


Porównanie charakterystyk częstotliwościowych czasu wczesnego zaniku EDT uzyskanych z symulacji i z pomiarów





Ilustracja wpływu chłonności akustycznej sceny na charakterystykę pogłosową widowni



Ilustracja wpływu chłonności akustycznej sceny na charakterystykę czasu wczesnego zaniku EDT widowni

## **6 WNIOSKI**

- (i) Model akustyczny sali teatralnej został opracowany na podstawie rysunków architektury oraz pomiarów kontrolnych gabarytów sali i elementów zabudowy. W trakcie wizji lokalnej zinwentaryzowano materiały wykończeniowe ścian, podłóg, przegród budowlanych i elementów wystroju wnętrza.
- (ii) Do numerycznego modelowania akustyki teatru i badania właściwości elektroakustycznych systemu nagłośnienia zastosowano najnowszą wersję programu komputerowego EASE 4.4.8. W opracowanym modelu wnętrza akustycznego teatru użytych zostało łącznie 750 powierzchni wnętrza widowni i sceny. Każdej powierzchni zabudowy przypisane zostały parametry akustyczne charakteryzujące ich właściwości dźwiękochłonne i rozpraszające.
- (iii) Podstawą do zaprojektowania urządzeń głośnikowych systemu nagłośnienia frontального widowni powinny być uzyskane z pomiarów wartości wskaźników akustycznych widowni i sceny teatru.
- (iv) Projektowane urządzenia głośnikowe powinny zapewnić najwyższą jakość przekazów słownych i muzycznych, odpowiednią do charakteru realizowanych w teatrze imprez i warunków akustycznych nagłośnianego wnętrza.
- (v) Niezbędnym elementem projektu jest wybór typu głośników i optymalne ich usytuowanie. W projektowaniu systemu głośnikowego konieczne będzie użycie komputerowego oprogramowania symulacyjnego do analizy możliwych wariantów nagłośnienia. Ocena efektywności projektowanego systemu będzie dokonana na podstawie wyników symulacji nagłośnienia z zastosowaniem opracowanego modelu akustycznego sali teatralnej.
- (vi) Jednym z etapów modelowania było wstępne obliczenie parametrów akustycznych sali, jak czas pogłosu T30, czas początkowego zaniku dźwięku EDT i wskaźników czytelności dźwięku. Wyniki obliczeń na ogół różnią się od danych z pomiarów akustycznych, ze względu na błędy wynikające z niepewności w ocenie rzeczywistych parametrów akustycznych materiałów wystroju wnętrza.
- (vii) Rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń symulacyjnych zostały zredukowane do niezbędnego minimum poprzez korektę akustycznych danych materiałowych elementów wnętrza. Uzyskane z symulacji akustyczne parametry sali

nie różnią się w istotny sposób od danych pomiarowych zarówno w odniesieniu do czasu pogłosu T30, jak też czasu początkowego zaniku EDT.

## **7 WSTĘPNE ZESTAWIENIE WYMAGAŃ NA FORMĘ I WYBÓR WSKAŹNIKÓW EKLEKTROAKUSTYCZNYCH DO OCENY WYNIKÓW KOMPUTEROWYCH SYMULACJI PROJEKTOWANEGO SYSTEMU NAGŁOŚNIENIA.**

### **7.1 Podstawowe wymagania elektroakustyczne**

Wymagane podstawowe parametry elektroakustyczne systemu nagłośnienia:

- (i) najwyższa jakość przekazów dźwiękowych, z dobrą zrozumiałością, określoną za pomocą wskaźnika transmisji mowy STI  $\geq 0.6$ ,
- (ii) zniekształcenia nieliniowe THD+N  $\leq 1\%$ ,
- (iii) poziom równoważny dźwięku: LA  $\geq 106$  dB,
- (iv) zakres częstotliwości: 30 Hz – 18 kHz.

### **7.2 Opracowanie dokumentacji technicznej do oferty przetargowej**

Podstawą do sporządzenia dokumentacji technicznej do oferty przetargowej jest:

- niniejsza specyfikacja,
- rysunki architektoniczno budowlane nagłaśnianych sal,
- wyniki pomiarów akustycznych nagłaśnianych sal.

Dostarczona przez Wykonawcę dokumentacja techniczna do oferty przetargowej ma zawierać:

- a) listę oferowanych przez Wykonawcę urządzeń i materiałów, wraz z kartami katalogowymi poszczególnych urządzeń,
- b) opis i schemat blokowy systemu nagłośnienia zawierający podstawowe urządzenia, sposób ich połączenia i zasilania,
- c) rysunki rozmieszczenia urządzeń głośnikowych i sposób ich montażu.
- d) Wyniki symulacji komputerowych, w których Wykonawca wykaże, że oferowany system nagłośnienia zapewni działanie zgodne z wymaganymi przez Inwestora parametrami. Do wykonania obliczeń symulacyjnych należy zastosować program komputerowy EASE, wersja 4.4 lub wyższa. Obliczone parametry powinny obejmować:

A. Dane dla dźwięku bezpośredniego:

- mapa rozkładu wartości poziom dźwięku A,
  - histogram rozkładu wartości poziomu dźwięku A,
  - mapa rozkładu wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz i 4 kHz,
  - histogram rozkładu wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz i 4 kHz,
  - charakterystyka średniej wartości poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości z zakresu 100 Hz – 10 kHz,
- B. Dane dla dźwięku wypadkowego (dźwięk bezpośredni plus pogłosowy):
- charakterystyka czasu pogłosu zastosowana przy modelowaniu systemu nagłośnienia,
  - mapa rozkładu wartości poziomu dźwięku A,
  - histogram rozkładu wartości poziomu dźwięku A,
  - mapa rozkładu wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz i 4 kHz,
  - histogram rozkładu wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz i 4 kHz,
  - charakterystyka średniej wartości poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości z zakresu 100 Hz – 10 kHz,
  - mapa rozkładu wartości wskaźnika STI,
  - histogram rozkładu wartości wskaźnika STI,
  - mapa rozkładu wartości wskaźnik C50,
  - histogram rozkładu wartości wskaźnika C50.

Wykonawca przedstawi wyniki obliczeń symulacyjnych systemu nagłośnienia dla wysterowania głośników mocą znamionową.

- e) Wyniki obliczeń symulacyjnych dla systemu nagłośnienia należy przedstawić w sposób czytelny, na rysunkach zawierających wykresy wymaganych parametrów oraz na nośniku komputerowym w formie plików emp („EASE mapping file”) wraz z archiwalnym plikiem projektu „EASE zip”.