

Adaptacja akustyczna

OBIEKT: Sala koncertowa
Szkoła Muzyczna I stopnia
Przasnysz

TEMAT: „PRZEBUDOWA Z ROZBUDOWĄ (MODERNIZACJA) BUDYNKU SZKOŁY ROLNICZEJ DLA POTRZEB SZKOŁY MUZYCZNEJ I STOPNIA W PRZASNYSZU”- PROJEKT POD NAZWĄ „WZMOCNIENIE POTENCJAŁU KULTURALNEGO POWIATU PRZASNYSKIEGO POPRZECZ DOSTOSOWANIE ISTNIEJĄCEGO OBIEKTU SZKOŁY ROLNICZEJ DO NOWYCH FUNKCJI KULTURALNYCH POWIATU, W TYM SZKOŁY MUZYCZNEJ I STOPNIA W PRZASNYSZU ”

BRANŻA: Akustyka wnętrz

FIRMA: **AVprojekt**
biuro: ul. Rogowska 127
54-440 Wrocław
tel./fax (71) 71 79 000 43
avprojekt@avprojekt.com

OPRACOWAŁ: mgr inż. Roman Marczak 

SPRAWDZAJĄCY: mgr inż. Paweł Barczyński 

październik 2017 r.

SPIS TREŚCI

1	WYKAZ NORM, LITERATURY	3
2	PRZEDMIOT OPRACOWANIA	4
3	PODSTAWOWE POJĘCIA AKUSTYCZNE	5
4	WYTYCZNE W ZAKRESIE OCHRONY PRZED HAŁASEM	7
	4.1 Wytyczne dla instalacji wentylacyjnej	7
5	ADAPTACJA AKUSTYCZNA	9
	5.1 Założenia	9
	5.2 Model akustyczny	9
	5.3 Adaptacja akustyczna	11
	5.3.1 Czas pogłosu	11
	5.3.2 Wskaźnik przejrzystości muzyki C80	12
	5.3.3 Wskaźnik przejrzystości mowy C50	14
	5.3.4 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI	14
6	OPIS USTROJÓW AKUSTYCZNYCH	17
	6.1 Ustrój akustyczny UA3.	17
7	WYKAZ RYSUNKÓW	18

1 WYKAZ NORM, LITERATURY

- [1]. PN-B-02151-4 Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach – Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach
- [2]. Polska Norma PN-B-02151-03/99 „Akustyka budowlana: Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania”
- [3]. Jerzy Sadowski „Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie” Wyd. Arkady, Wydanie 1, Warszawa 1971
- [4]. Jerzy Sadowski „Akustyka architektoniczna” PWN, Wydanie 1, Poznań 1976
- [5]. Glen Ballou, Editor „Handbook for Sound Engineers – the New Audio Cyclopedia” Howard W. Sams & Co, Second edition, Carmel Indiana USA 1991.
- [6]. Cox, D’Antonio, Acoustic Absorbers and Diffusers, Taylor & Francis 2009
- [7]. A. Kulowski, Akustyka Sal, Gdańsk 2007

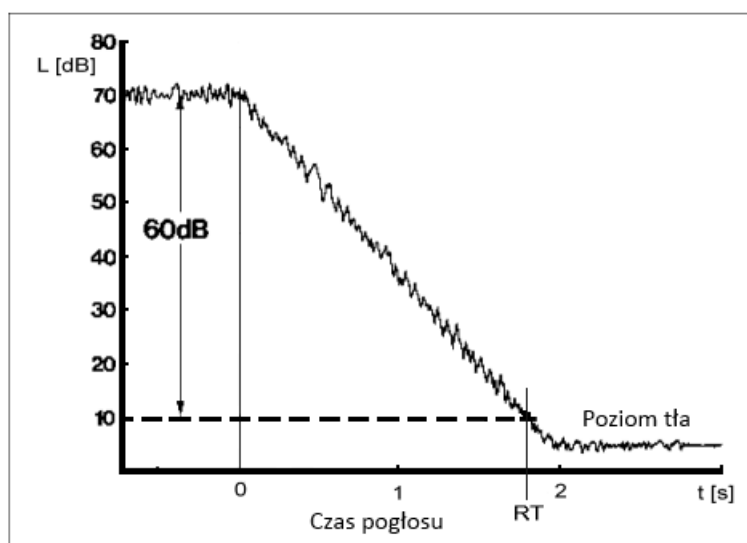
2 PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Przedmiotem opracowania jest analiza akustyki sali koncertowej należącej do Szkoły Muzycznej I stopnia w Przasnyszu. Opracowanie zawiera wytyczne związane z adaptacją akustyczną – dobór i rozmieszczenie materiałów dźwiękochłonnych, oparty na podstawie symulacji komputerowej w programie EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) firmy Renkus-Heinz.

Opracowanie zawiera także wytyczne odnośnie izolacyjności przegród budowlanych oraz wymagania normatywne dotyczące dopuszczalnych poziomów dźwięku od źródeł hałasu.

3 PODSTAWOWE POJĘCIA AKUSTYCZNE

Czas pogłosu T – Jest to podstawowy parametr określający właściwości akustyczne pomieszczenia. Jest to czas wyrażony w sekundach, który byłby potrzebny do zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60 dB, po wyłączeniu źródła dźwięku. Definicja T dla spadku poziomu ciśnienia akustycznego może być spełniona dla liniowej ekstrapolacji krótszych zakresów oceny takich jak T_{30} (jest to czas określany od momentu, w którym krzywa zaniku osiągnie po raz pierwszy spadek 5dB poniżej poziomu początkowego do momentu spadku o 35dB) albo T_{20} (czas spadku od 5dB do 25dB).



Rys. 1: Wykres ilustrujący sposób wyznaczania czasu pogłosu pomieszczenia.

Wskaźnik przejrzystości – jest to stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w ciągu czasu t po dźwięku bezpośrednim do energii pozostałej części odpowiedzi impulsowej. Można to opisać za pomocą wzoru:

$$C_t = 10 \log \frac{\int_0^t p^2(t) dt}{\int_t^\infty p^2(t) dt} [dB]$$

Parametr ten odpowiada subiektywnemu parametrowi przejrzystości, określającego możliwość rozróżnienia poszczególnych dźwięków i ich źródeł. Badania psychoakustyczne uzasadniły wprowadzenie stałych czasowych 80ms dla muzyki oraz 50ms dla mowy.

Wskaźnik przejrzystości mowy C_{50} – stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w ciągu 50ms do energii pozostałej.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_{-\infty}^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} [dB]$$

Wskaźnik przejrzystości muzyki C_{80} - stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w ciągu 80ms do energii pozostałej.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_{-\infty}^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} [dB]$$

4 WYTYCZNE W ZAKRESIE OCHRONY PRZED HAŁASEM

Sala koncertowa należy do pomieszczeń o akustyce kwalifikowanej. W związku z tym stawiane są warunki odnośnie:

- dopuszczalnego poziomu hałasu w pomieszczeniu
- dopuszczalnego poziomu hałasu od instalacji wewnętrznych budynku (np. instalacji wentylacyjnej)

Dopuszczalny poziom tła akustycznego w pomieszczeniu nie powinien przekraczać wartości określonych krzywą **NR25** (odpowiada to poziomowi dźwięku **30dBA**). Natomiast hałas od urządzeń instalacyjnych nie powinien przekraczać wartości określonych krzywą **NR20** (odpowiada to poziomowi dźwięku **25dBA**). Poniżej w tabeli przedstawiono dopuszczalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla wymienionych krzywych hałasowych.

f[Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR25[dB]	55.2	43.7	35.2	29.3	25.0	21.9	19.5	17.7
NR20[dB]	51.3	39.4	30.6	24.3	20.0	16.8	14.4	12.6

Tabela 1: Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywych NR20 i NR25.

Wymagana izolacyjność drzwi w pomieszczeniu musi spełniać następujące wymagania:

Pomieszczenie	Sala widowiskowa Wymagana izolacyjność akustyczna
Klatka schodowa	Rw >= 42dB
Pom. zakulisowe	Rw >=37dB

Tabela 2: Wymagana izolacyjność drzwi w sali

4.1 Wytyczne dla instalacji wentylacyjnej

Dopuszczalny poziom hałasu od urządzeń wentylacyjnych w sali nie może przekraczać wartości dopuszczalnych (opisanych w rozdziale głównym).

W celu ograniczenia hałasu przenoszonego przez elementy nośne budynku (drgania przenoszone przez konstrukcje – tzw. hałas materiałowy) należy zastosować dla central wentylacyjnych i innych urządzeń wentylacyjnych zabezpieczenia wibroizolacyjne. W przypadku urządzeń wolnostojących zaleca

się stosowanie wibroizolatorów punktowych podpierających konstrukcję urządzeń (np. miseczkowe lub płytowe). Wibroizolatory należy dobrać indywidualnie pod każde urządzenie biorąc pod uwagę jego masę oraz częstotliwość pobudzającą do drgań itp. Należy pamiętać także o kompensatorach elastycznych na rurociągach.

W przypadku pomieszczeń technicznych, w których hałas emitowany od urządzeń w danym pomieszczeniu przekracza wartości 70dB/A/ sugeruje się zainstalować na urządzeniach osłony dźwiękochłonne-izolacyjne. Osłony należy wykonać w postaci segmentów dźwiękochłonne – izolacyjnych instalowanych do konstrukcji wsporczej.

Przepusty przez ściany, stropy kanałów wentylacyjnych, instalacji wodnokanalizacyjnych należy wykonać stosując elementy elastyczne, wibroizacyjne (wyeliminowanie sztywnych połączeń z przegrodą). Należy stosować wyłącznie systemowe elastyczne mocowania przewodów i kanałów (podwieszenia, podparcia). Przepusty przez ściany muszą być uszczelnione, zapewniające zachowanie izolacyjności akustycznej przegrody akustycznej.

Dla zapewnienia odpowiedniego poziomu hałasu przepływającego powietrza zaleca się stosowanie kanałów wentylacyjnych o odpowiednio dużych przekrojach wyłożonych od wewnątrz materiałem dźwiękochłonnym.

5 ADAPTACJA AKUSTYCZNA

Objętość analizowanej sali widowiskowej wynosi około 1720m³. Widownię tworzy 160 miejsc siedzących. Pomieszczenie będzie wielofunkcyjne: jego przeznaczeniem będzie:

- organizowanie koncertów muzycznych akustycznych, z wykorzystaniem sprzętu elektroakustycznego (główne przeznaczenie).
- organizowanie prezentacji multimedialnych, prelekcji.
- organizowanie projekcji kinowych z wykorzystaniem profesjonalnego cyfrowego projektora kinowego DCI.

5.1 Założenia

W związku ze sprzecznością założeń projektowych pod względem akustycznym, w pomieszczeniu zaprojektowano ustroje akustyczne o zmiennych parametrach akustycznych. Dzięki temu możliwe jest spełnienie różnych warunków akustycznych dla koncertów muzycznych jak i projekcji kinowych:

- Optymalny czas pogłosu dla **opcji koncertowej** powinien wynieść $RT = 1.4s$ (przy pustej widowni oraz scenie). Czas pogłosu powinien mieć liniową charakterystykę w funkcji częstotliwości w zakresie 125Hz – 4kHz, z dopuszczalną odchyłką wynoszącą +/- 20%.
- Optymalny czas pogłosu dla **opcji kinowej** powinien wynieść $RT = 1.0s$ (przy pustej widowni oraz scenie). Czas pogłosu powinien mieć liniową charakterystykę w funkcji częstotliwości w zakresie 125Hz – 4kHz, z dopuszczalną odchyłką wynoszącą +/- 20%.

5.2 Model akustyczny

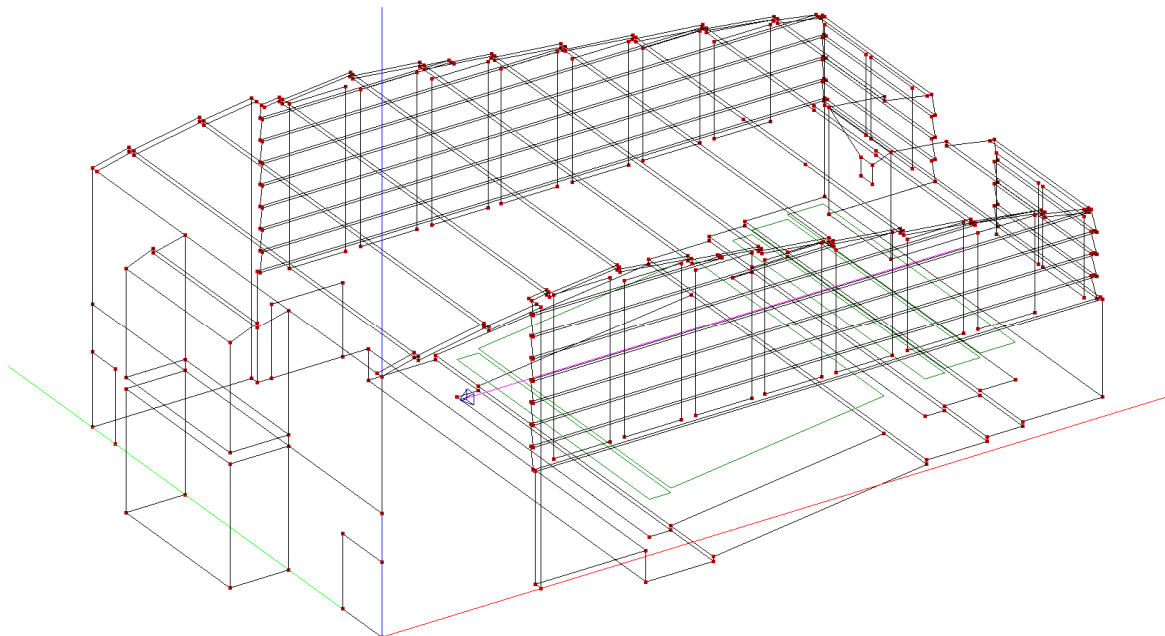
Na potrzeby adaptacji akustycznej został wykonany model analizowanej sali widowiskowej w programie Ease. Program pozwala na analizę parametrów akustycznych z wykorzystaniem metody statystycznej oraz geometrycznej.

Przy tworzeniu modelu pomieszczenia uwzględniono parametry akustyczne materiałów:

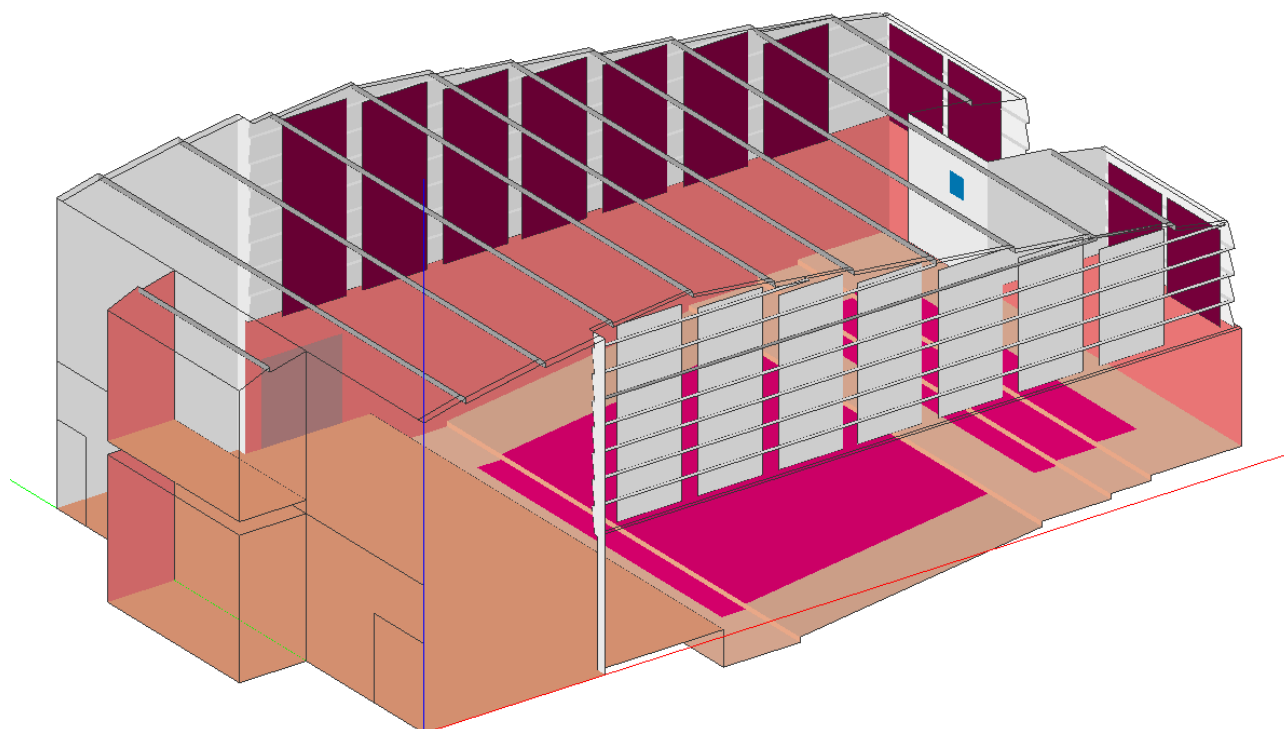
$f [Hz]$	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
Podłoga, widownia – parkiet na betonie						
α	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Podłoga, scena – parkiet na legarach						
α	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Ściany, sufit – tynk wapienny						
α	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Otwory, pustka powietrzna						
α	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fotel Megan Millenium lub podobny, bez publiczności						
α	0,25	0,41	0,45	0,52	0,50	0,50

Drzwi						
α	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10

Tabela 3: Współczynniki pochłaniania użytych materiałów.



Rys. 2: Model akustyczny sali widowiskowej.



Rys. 3: Model akustyczny sali widowiskowej – wizualizacja.

5.3 Adaptacja akustyczna

Dla uzyskania wymaganych parametrów akustycznych w pomieszczeniu zaprojektowano ustroje pochłaniające, ustroje rozpraszające oraz ustroje o zmiennej akustyce.

Poniżej znajduje się tabela zawierająca współczynniki pochłaniania zastosowanych ustrojów akustycznych.

<i>f</i> [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
Ustrój akustyczny UA1						
α	0,35	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25
Ustrój akustyczny UA2						
α	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04
Ustrój akustyczny UA3						
α	0,25	0,60	0,75	0,90	1,00	1,00
Ustrój akustyczny D1, dyfuzor akustyczny						
α	0,23	0,24	0,35	0,23	0,20	0,20

Tabela 4: Współczynniki pochłaniania ustrojów akustycznych

Aby uzyskać zmienną charakterystykę czasu pogłosu w pomieszczeniu zaprojektowano banery akustyczne -> ustroje o zmiennej chłonności. W zależności od rodzaju odbywającego się wydarzenia kulturalnego będzie możliwe kształtowanie charakterystyki czasu pogłosu w określonym zakresie (od 1.4s do 1.0s)

<i>f</i> [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
Ustrój akustyczny UA3						
α	0,25	0,60	0,75	0,90	1,00	1,00

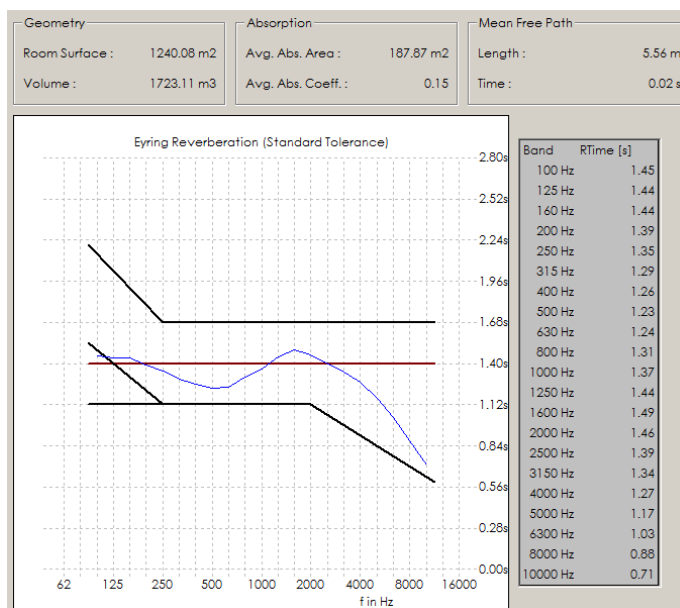
Rozmieszczenie ustrojów akustycznych oraz ich konstrukcje przedstawiają rysunki AK01 – AK06 w załączniku.

5.3.1 Czas pogłosu

Czas pogłosu w pomieszczeniu badany był metodą statystyczną.

a) Opcja koncertowa.

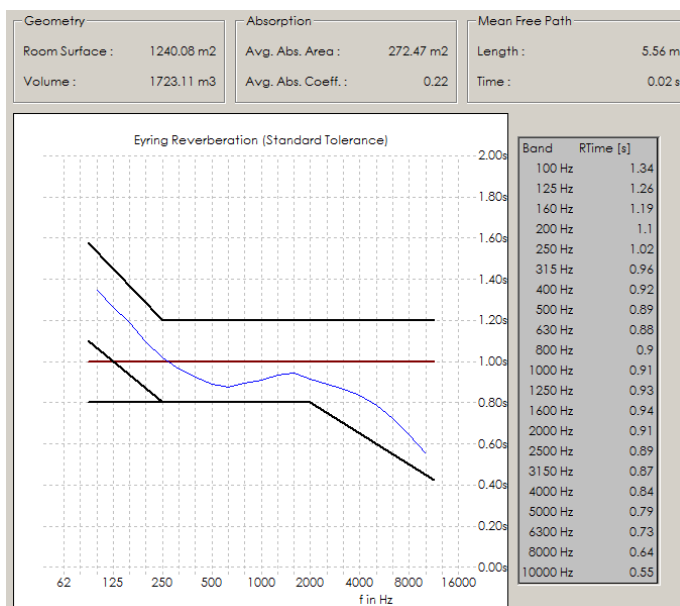
W opcji koncertowej banery akustyczne UA3 będą całkowicie zwinięte.



Rys. 4: Czas pogłosu sali widowiskowej po adaptacji akustycznej, opcja koncertowa.

b) Opcja kinowa.

W opcji kinowej banery akustyczne UA3 będą całkowicie rozwinięte.



Rys. 5: Czas pogłosu sali widowiskowej po adaptacji akustycznej, opcja kinowa.

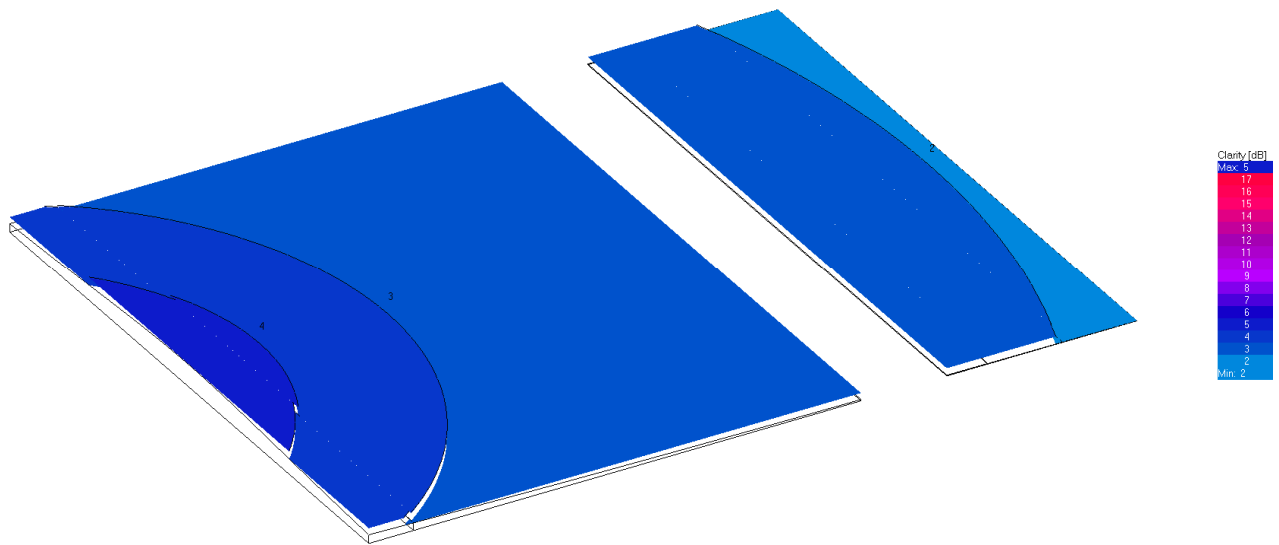
5.3.2 Wskaźnik przejrzystości muzyki C80

Analizę wskaźnika przejrzystości muzyki, przejrzystości mowy oraz wskaźnika zrozumiałości mowy (STI) przeprowadzono wykorzystując źródło dookólne umieszczone na proscenium. Analizę wskaźnika przejrzystości muzyki i mowy wykonano tylko dla opcji koncertowej.

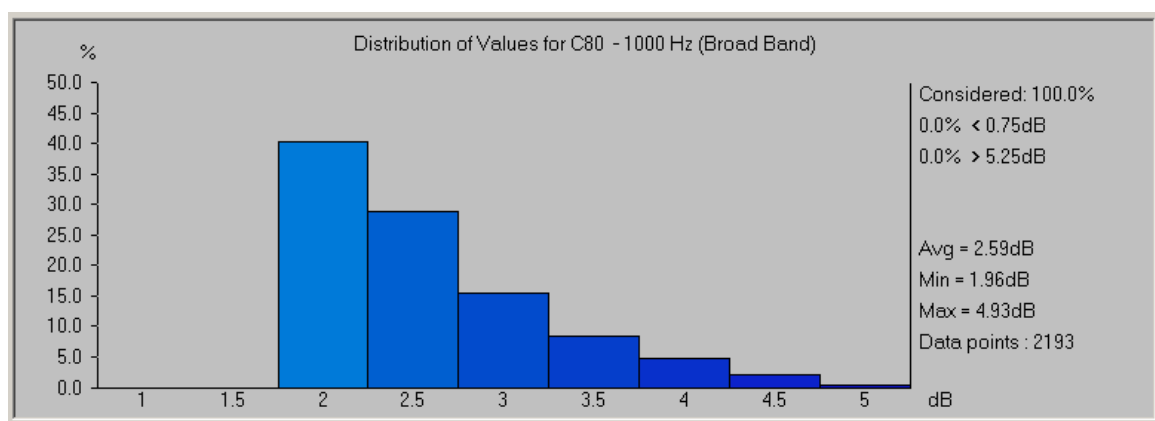
Warunki symulacji:

- Poziom dźwięku w odległości 1m: 97dB (w zakresie od 100Hz – 10kHz)

- Rozdzielczość analizy: 0.2m
- Opóźnienie dźwięku traktowanego jako użyteczny: 20ms

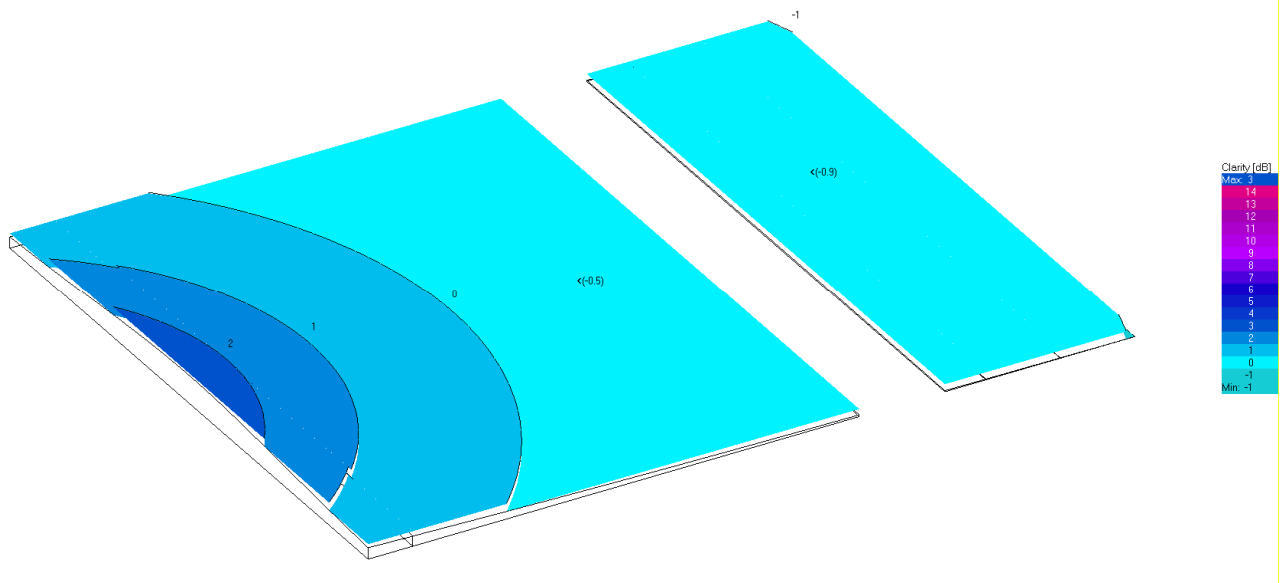


Rys. 6: Rozkład wskaźnika przejrzystości muzyki C80 na widowni, opcja koncertowa.

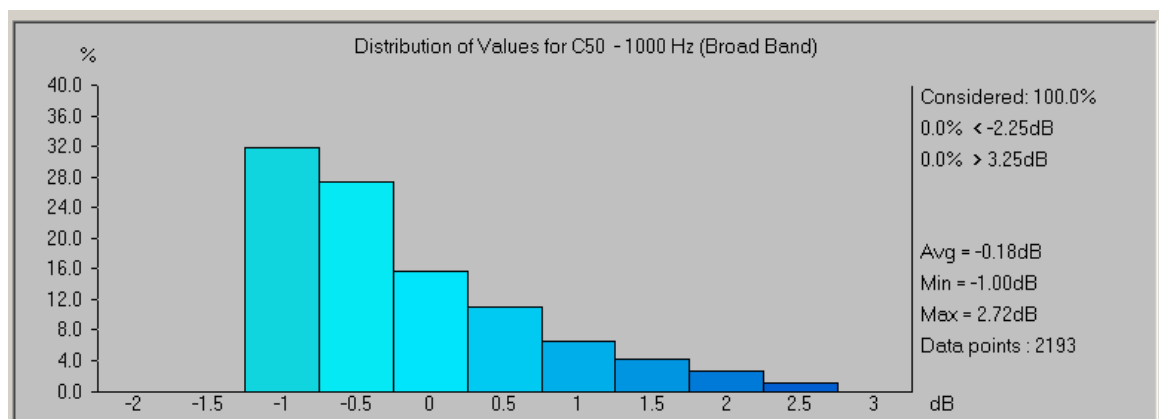


Rys. 7: Rozkład wskaźnika przejrzystości muzyki C80 na widowni, wartości statystyczne, opcja koncertowa.

5.3.3 Wskaźnik przejrzystości mowy C50



Rys. 8: Rozkład wskaźnika przejrzystości mowy C50 na widowni, opcja koncertowa.

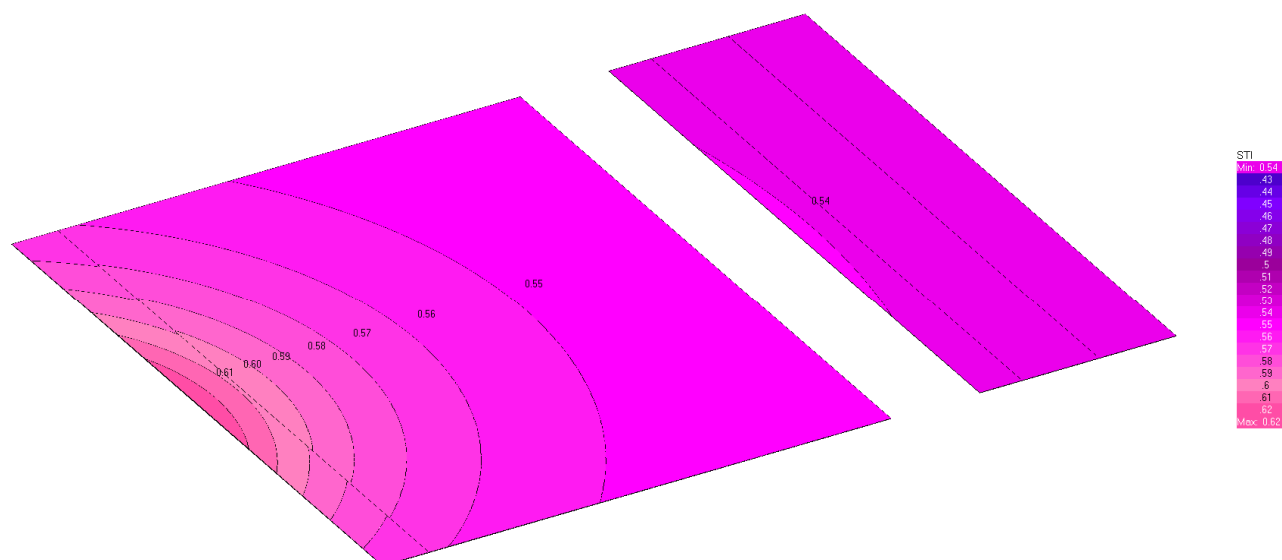


Rys. 9: Rozkład wskaźnika przejrzystości muzyki C50 na widowni, wartości statystyczne, opcja koncertowa.

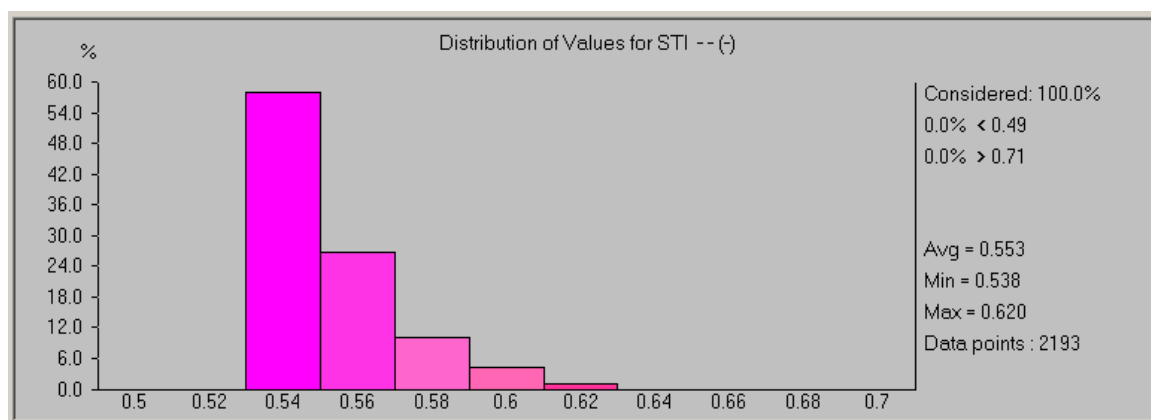
5.3.4 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI

a) Opcja koncertowa.

W opcji koncertowej banery akustyczne UA3 będą całkowicie zwinięte.



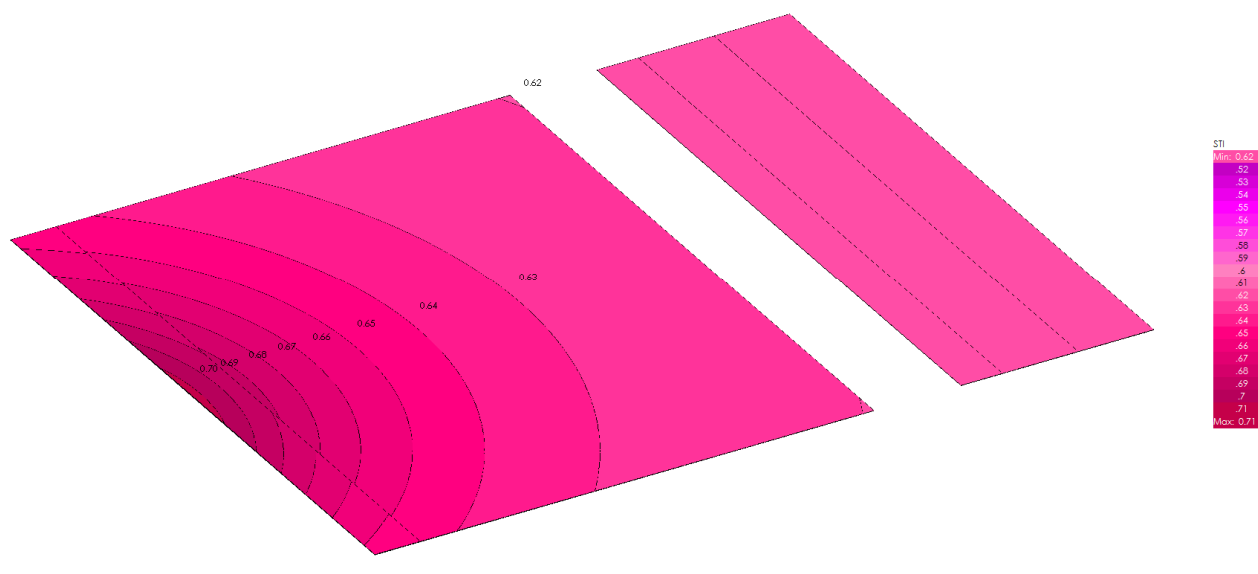
Rys. 10: Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, opcja koncertowa.



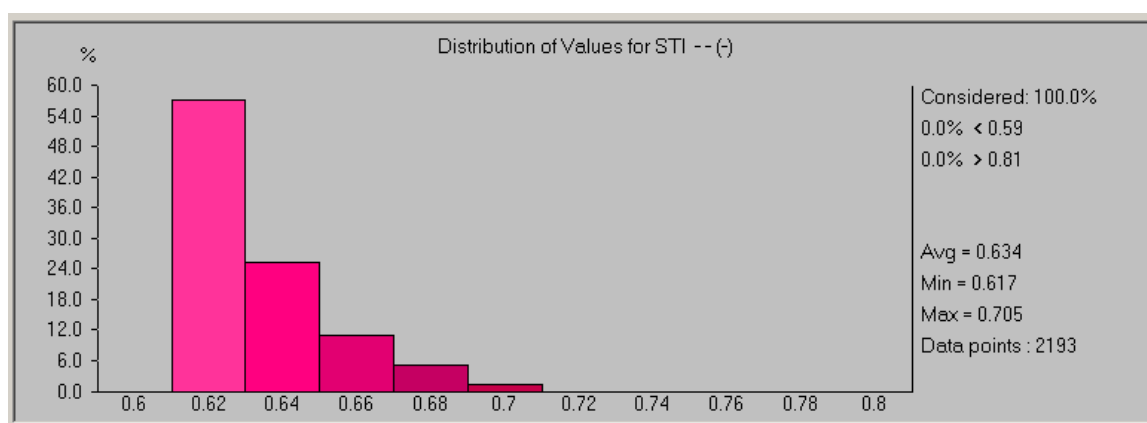
Rys. 11: Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, wartości statystyczne, opcja koncertowa.

a) Opcja kinowa.

W opcji kinowej banery akustyczne UA3 będą całkowicie rozwinięte.



Rys. 12: Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, opcja kinowa.



Rys. 13: Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, wartości statystyczne, opcja kinowa.

6 OPIS USTROJÓW AKUSTYCZNYCH

6.1 Ustrój akustyczny UA3.

Ustrój należy wykonać według wytycznych:

- Materiał tkaniny banera akustycznego: plusz kurtynowy o gramaturze co najmniej 470g/m²
- Zasilanie elektryczne
- Możliwość sterowania rozwinięciem, zwinięciem banera akustycznego z poziomu centralnego sterowania z dokładnością co najmniej 20mm
- Metalowa kaseta zabezpieczająca materiał przed zabrudzeniem
- Konstrukcja kasety nie wpadająca w drgania podczas odtwarzania muzyki oraz podczas pracy
- Wysokość materiału akustycznego zgodnie z rysunkami AK05, AK07.

7 WYKAZ RYSUNKÓW

Nr rys.	Nazwa rysunku	Nazwa rysunku
1	Ustrój akustyczny UA1	AK01
2	Ustrój akustyczny UA2	AK02
3	Ustrój akustyczny D1	AK03
4	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, przekrój	AK04
5	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, rzut ściany A-B	AK05
6	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, rzut ściany B-C	AK06
7	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, rzut ściany D-A	AK07
8	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, rzut sufitu	AK08
9	Rozmieszczenie ustrojów akustycznych, linia sufitu podwieszanego	AK09