



Główny projektant	dr inż. Piotr Z. Kozłowski
Zespół projektowy	mgr inż. Bartosz Zawieja
Zadanie	Prace projektowe w zakresie adaptacji akustycznej sali widowiskowej i studia nagrań Wrzesińskiego Ośrodka Kultury
Temat	Akustyka wnętr sali koncertowej i studia nagrań
Nazwa obiektu	Wrzesiński Ośrodek Kultury
Adres obiektu	ul. Kościuszki 21, 62-300 Września
Inwestor	Wrzesiński Ośrodek Kultury
Adres inwestora	ul. Kościuszki 21, 62-300 Września
Stadium	Projekt wykonawczy
Tom	Opis techniczny
Edycja	Ostateczna v.01
Branża	Akustyka wnętr

Niniejsze opracowanie stanowi własność intelektualną Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. i objęte jest prawem autorskim zgodnie z ustawą z dnia 04.02.1994 "O prawie autorskim i prawach pokrewnych". Żadna z jego części nie może być kopiowana, powielana, udostępniana w żadnej formie, również elektronicznej, bez wyraźnej pisemnej zgody autorów. Opracowanie to może być wykorzystane jedynie zgodnie z przeznaczeniem, dla którego zostało wykonane, chyba że właściciele praw autorskich podpisali na to zgodę wydaną w następstwie odpowiedniej umowy handlowej. Do czasu uregulowania pełnego wynagrodzenia Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. jest ona jedynym właścicielem wszelkich praw autorskich oraz praw do wykorzystania niniejszej dokumentacji.

© Copyright by Pracownia Akustyczna Kozłowski sp. j., Wrocław, 2015

Adres jednostki projektowania:

PRACOWNIA AKUSTYCZNA Kozłowski sp. j.
ul. Opolska 140
52-014 Wrocław

NIP: 899-261-33-93

REGON: 020574694

KRS: 0000286159

tel. +48 71 794 93 31

fax. +48 71 722 08 19

web: www.akustyczna.pl

email: pracownia@akustyczna.pl

Spis treści

Adres jednostki projektowania:.....	3
Spis treści	5
Spis tabel w części opisowej	7
Spis rysunków w części opisowej.....	7
Spis rysunków w części rysunkowej.....	8
1. Podstawa opracowania	9
1.1. Podstawa formalna	9
1.2. Podstawa merytoryczna.....	9
2. Przedmiot i zakres opracowania	11
3. Akustyka wnętrz.....	13
3.1. Sala widowiskowa.....	13
3.1.1. Założenia projektowe	13
3.1.2. Komputerowy model akustyczny.....	14
3.1.3. Wyniki obliczeń	18
3.1.4. Akustyczne dostrajanie widowni	24
3.1.5. Adaptacja akustyczna sali widowiskowej	24
3.1.6. Reflektory akustyczne.....	26
3.2. Studio nagrań	27
3.2.1. Założenia projektowe	27
3.2.2. Adaptacja akustyczna studia.....	28
3.3. Reżysernia.....	29
3.3.1. Założenia projektowe	29
3.3.2. Adaptacja akustyczna reżyserni.....	30
3.3.3. Akustyczne dostrajanie reżyserni i studia.....	31
3.4. Opis proponowanych rozwiązań	31
4. Podsumowanie	35
5. Załącznik 1 – wybrane wyniki obliczeń.....	37

Spis tabel w części opisowej

Tab. 3-1. Lokalizacje punktów obliczeniowych oraz źródeł dźwięku podczas symulacji.	15
Tab. 3-2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywej oceny hałasu NR25.....	18
Tab. 3-3. Wysokości zawieszenia reflektorów akustycznych.....	26
Tab. 3-4 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP1.....	31
Tab. 3-5 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP2.....	31
Tab. 3-6 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP3.....	32
Tab. 3-7 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP4.....	32
Tab. 3-8 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP5.....	32
Tab. 3-9 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP6.....	32
Tab. 3-10 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP7.....	32
Tab. 3-11 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP8.....	33
Tab. 3-12 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP9.....	33
Tab. 3-13 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP10.....	33
Tab. 3-14 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP11.....	33
Tab. 3-15 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP12.....	33
Tab. 5-1. Wyniki symulacji czasu pogłosu T_{30}	37
Tab. 5-2. Wyniki symulacji siły dźwięku G	38
Tab. 5-3. Wyniki symulacji przejrzystości dźwięku C_{80}	39
Tab. 5-4. Wyniki symulacji wyrazistości dźwięku C_{50}	40
Tab. 5-5. Wyniki symulacji wskaźnika transmisji mowy STI.....	41

Spis rysunków w części opisowej

Rys. 3-1 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla sali widowiskowej.	14
Rys. 3-2. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych.	15
Rys. 3-3 Widok wzdłuż osi X (przekrój poprzeczny).	16
Rys. 3-4 Widok wzdłuż osi Y (przekrój wzdłużny).....	16
Rys. 3-5 Widok wzdłuż osi Z (rzut).	16
Rys. 3-6 Widok aksonometryczny.	17
Rys. 3-7 Widok ze sceny.....	17
Rys. 3-8 Widok z balkonu.	17
Rys. 3-9 Zestawienie wyników symulacji parametru T_{30} dla sali widowiskowej.....	18
Rys. 3-10 Przejrzystość dźwięku C_{80} w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.	19

Rys. 3-11 Przejrzystość dźwięku C80 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.	19
Rys. 3-12 Wyrazistość dźwięku C50 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.	20
Rys. 3-13 Wyrazistość dźwięku C50 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.	20
Rys. 3-14 Siła dźwięku G w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.....	21
Rys. 3-15 Siła dźwięku G w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.....	21
Rys. 3-16 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI sali widowiskowej dla źródła znajdującego się na proscenium.	22
Rys. 3-17 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI sali widowiskowej dla źródła znajdującego w głębi sceny.	23
Rys. 3-18 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia nagrań.....	27
Rys. 3-19 Charakterystyka czasu pogłosu w studiu nagraniowym.....	28
Rys. 3-20 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla reżyserni.....	29
Rys. 3-21 Charakterystyka czasu pogłosu w reżyserni.....	30

Spis rysunków w części rysunkowej

1. AW01 Adaptacja akustyczna sali widowiskowej. Rzut.
2. AW02 Rozmieszczenie reflektorów akustycznych.
3. AW03 Adaptacja akustyczna studia i reżyserni. Rzut.
4. AW04 Adaptacja akustyczna. Widoki ścian i sufitu reżyserni i studia nagrań.

1. Podstawa opracowania

1.1. Podstawa formalna

- [1] Umowa nr ZL_208/2014 z 2015-11-04 na prace projektowe dla przebudowy Wrzesińskiego ośrodka Kultury.

1.2. Podstawa merytoryczna

- [2] Long M., Architectural Acoustics, Elsevier Inc., 2006.
- [3] Kulowski A., Akustyka Sal, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.
- [4] Makrinenko L. I., Acoustics of Auditoriums in Public Buildings, Acoustical Society of America, 1994.
- [5] Sadowski J., Akustyka Architektoniczna, PWN, Warszawa, 1976.
- [6] AESTD1001.1.01-10 Multichannel surround sound systems and operations, AES Technical Council.
- [7] PN-EN 60268-16:2011, Urządzenia systemów elektroakustycznych - Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.

2. Przedmiot i zakres opracowania

Zakres opracowania obejmuje wykonanie prac projektowych w zakresie adaptacji akustycznej sali widowiskowej i studia nagrań mających na celu w szczególności:

- analizę zaawansowania prac projektowych na podstawie istniejącej uprzednio dokumentacji projektowej w zakresie adaptacji akustycznej,
- analizę warunków akustycznych i ustalenie optymalnych parametrów sali widowiskowej i studia nagrań,
- obliczenia komputerowe i optymalizację parametrów akustycznych pomieszczeń,
- dobór i rozmieszczenie ustrojów i materiałów akustycznych z wykorzystaniem w możliwym zakresie rozwiązań przewidzianych w istniejącej uprzednio dokumentacji.

Opracowanie nie obejmuje wykonania prac projektowych w zakresie izolacyjności akustycznej.

3. Akustyka wewnątrz

W niniejszym rozdziale przedstawiono wytyczne i rozwiązania dotyczące akustyki wnętrza sali widowiskowej i studia nagrań Wrzesińskiego Ośrodka Kultury, na podstawie wykonanych obliczeń komputerowych oraz istniejącej dokumentacji projektowej.

Założenia projektowe opracowano z uwzględnieniem kubatury i funkcji pomieszczeń na podstawie fachowej literatury oraz własnych doświadczeń autorów projektu.

Układ, proporcje pomieszczeń, rozmieszczenie drzwi do studia nagrań i reżyserni oraz okien pomiędzy tymi pomieszczeniami nie wchodzi w zakres prac projektowych. Wynika to ze stanu zastanego i nie podlega możliwości zmiany.

Proponowane rozwiązania sali widowiskowej zostały zweryfikowane poprzez symulacje komputerowe z wykorzystaniem programu CATT-Acoustic.

3.1. Sala widowiskowa

3.1.1. Założenia projektowe

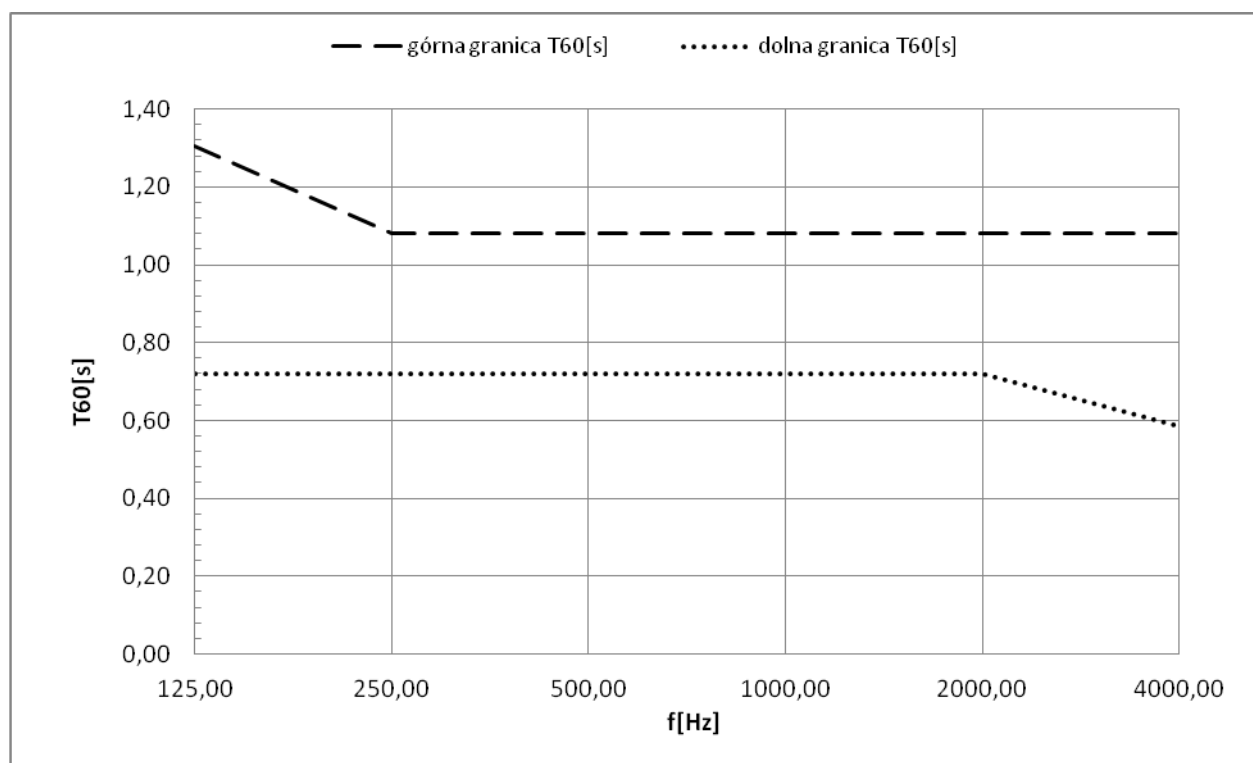
Główną funkcją sali widowiskowej jest możliwość organizowania koncertów z nagłośnieniem. W mniejszym stopniu przewiduje się możliwość wystawiania spektakli teatralnych. Możliwe również będzie wykorzystanie sali jako sali audytoryjnej i do prowadzenia zajęć tanecznych lub muzycznych.

Jako jedyniczbową wartość czasu pogłosu przyjęto wartość średnią czasu pogłosu dla pasm 1/1-oktawowych o częstotliwościach środkowych 500 Hz i 1 000 Hz.

Uwzględniając kubaturę sali przyjęto, dla sali wypełnionej publicznością w 70%, wartość czasu pogłosu $T_{30} = 0,9$ s [2], [3].

Częstotliwościowa charakterystyka czasu pogłosu powinna mieścić się w granicach (Rys. 3-1) [3]:

- +45/0 % dla częstotliwości 125 Hz,
- ± 20 % dla częstotliwości 250 - 2 000 Hz,
- +20/-35 % dla częstotliwości 4 000 Hz.



Rys. 3-1 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla sali widowiskowej.

Wartość wskaźnik zrozumiałości mowy STI powinna być większa niż 0,5 na co najmniej 80% powierzchni widowni.

Przejrzystość dźwięku na widowni z publicznością powinna wynosić: $C_{80} > 0$ [dB] [4].

Wyrazistość dźwięku wyrażona parametrem C_{50} powinna mieścić się w zakresie $0 \div 7$ [dB].

Siła dźwięku G w sali w środkowej części widowni w zakresie średnich częstotliwości będzie mieścić się w przedziale 5 – 10 dB.

Zrozumiałość mowy określona przez ważone wartości współczynnika przejrzystości C_{50} powinna być DOBRA. Aby spełnić ten wymóg wartości ważonego współczynnika przejrzystości C_{50} powinna mieścić się w zakresie $+2 \div +7$ [dB] [4].

3.1.2. Komputerowy model akustyczny

Modelowanie akustyki sali widowiskowej wykonano wykorzystując teorię statystyczną oraz teorię akustyki geometrycznej.

W celu wykonania analizy obliczeniowej parametrów akustycznych pomieszczenia wykonano trójwymiarowy model akustyczny.

Geometrię sali zbudowano w oparciu o przekazane rysunki w formacie .dwg.

Akustyczny model obejmuje widownię wraz z pudłem sceny, o łącznej kubaturze – równej $2\,155\text{ m}^3$. Średnia droga swobodna wynosi 3,66 m. Kubatura widowni wynosi około $1\,753\text{ m}^3$. Kubatura pudła sceny wynosi około 402 m^3 .

Sala widowiskowa przewidziana jest na około 336 miejsc siedzących (przy rozstawieniu wszystkich krzeseł). Współczynnik kubaturowy wynosi wtedy około $5,2\text{ m}^3/\text{os.}$

3. Akustyka wnętrz

Symulacje przeprowadzono dla temperatury powietrza 20,0°C i wilgotności względnej 35 %.

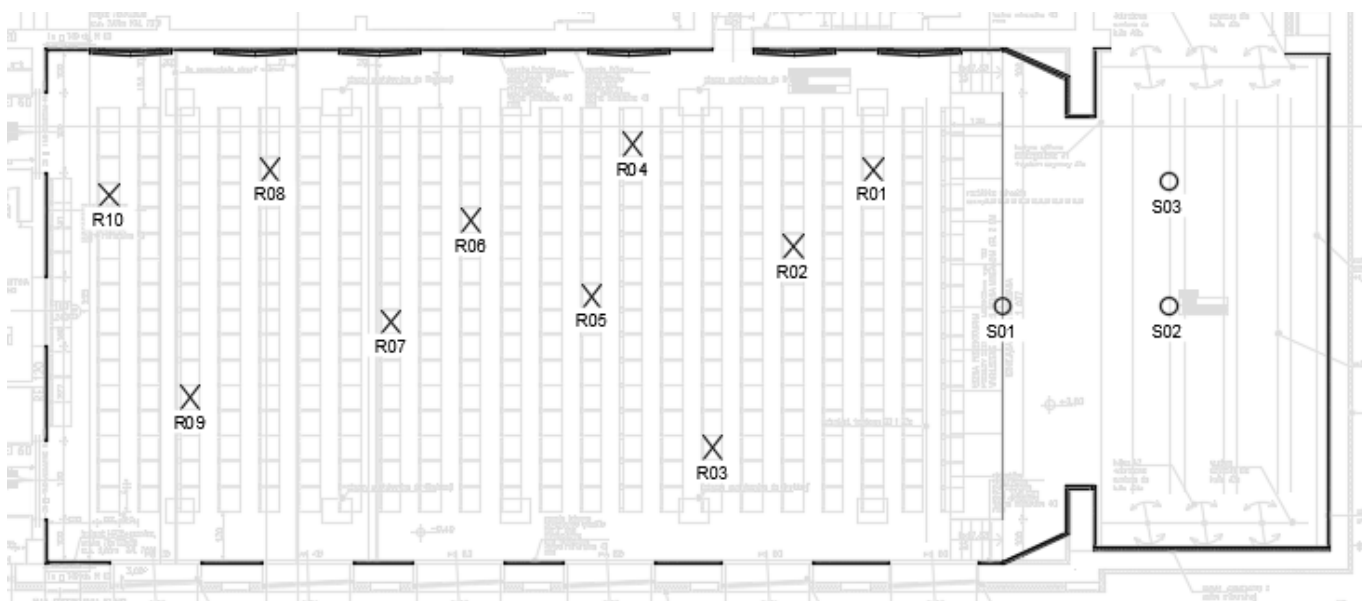
Wyjściowe parametry akustyczne poszczególnych materiałów, takie jak współczynniki pochłaniania i rozpraszania dźwięku, dobrano w oparciu o dane literaturowe oraz karty katalogowe zastosowanych lub podobnych materiałów.

Szczegółowe dane dotyczące lokalizacji punktów obliczeniowych oraz źródeł dźwięku umieszczono w tabeli Tab. 3-1 oraz na Rys. 3-2.

Tab. 3-1. Lokalizacje punktów obliczeniowych oraz źródeł dźwięku podczas symulacji.

Lokalizacje punktów obliczeniowych na widowni			
Oznaczenie	Miejsce	Rząd	Poziom
R01	3	2	Parter
R02	6	4	Parter
R03	14	6	Parter
R04	2	8	Parter
R05	8	9	Parter
R06	5	12	Parter
R07	9	14	Parter
R08	3	17	Parter
R09	12	19	Parter
R10	4	21	Parter
Lokalizacje źródeł dźwięku na scenie			
Oznaczenie	x [m]	y [m]	Uwagi
S01	0,0	0,0	-
S02	4,0	0,0	-
S03	4,0	3,0	-

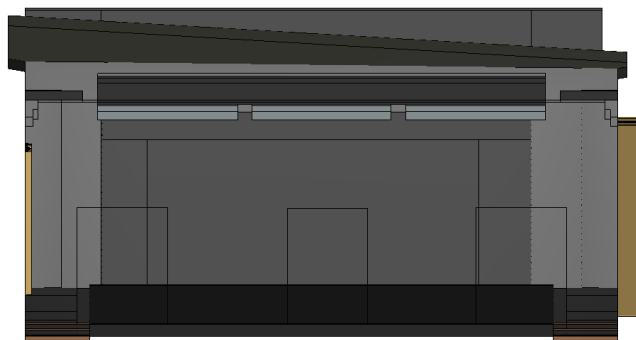
Uwaga: położenie źródeł dźwięku oraz punktów obliczeniowych na scenie określono w układzie współrzędnych prostokątnych, w którym punkt (0,0) znajduje się na osi widowni, na początku proscenium (nie licząc podestów scenicznych), współrzędne $x > 0$ są położone w głąb sceny, $y > 0$ na prawo patrząc ze sceny.



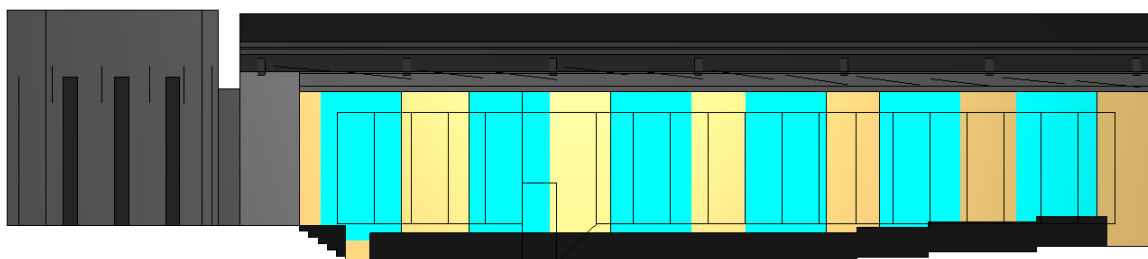
Rys. 3-2. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych.

3. Akustyka wnętrz

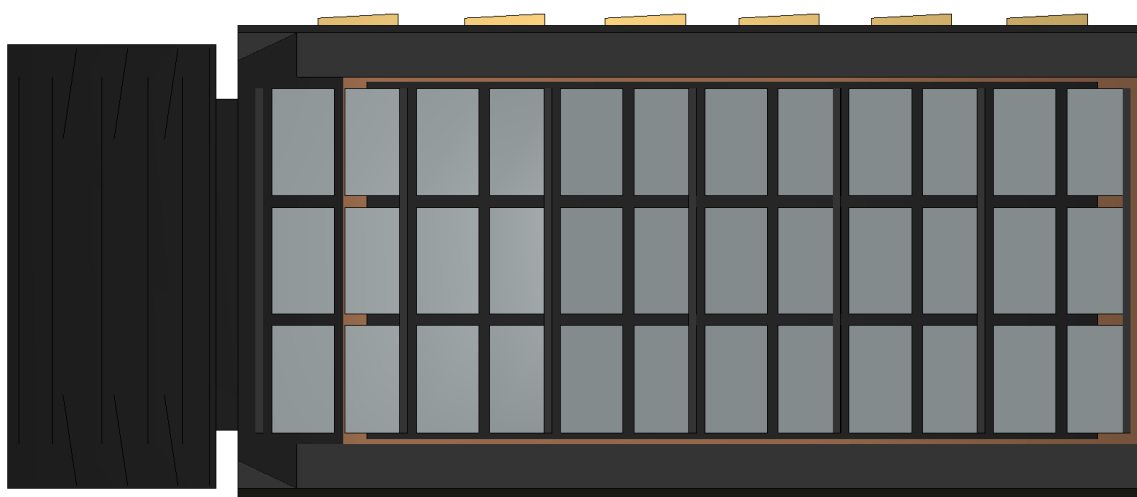
Na rysunkach od Rys. 3-3 do Rys. 3-8 przedstawiono poszczególne widoki wykonanego modelu akustycznego sali.



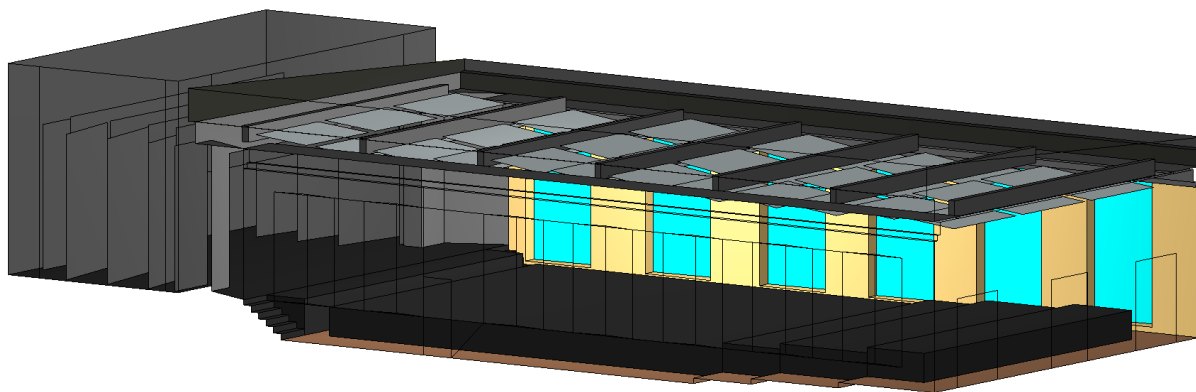
Rys. 3-3 Widok wzdłuż osi X (przekrój poprzeczny).



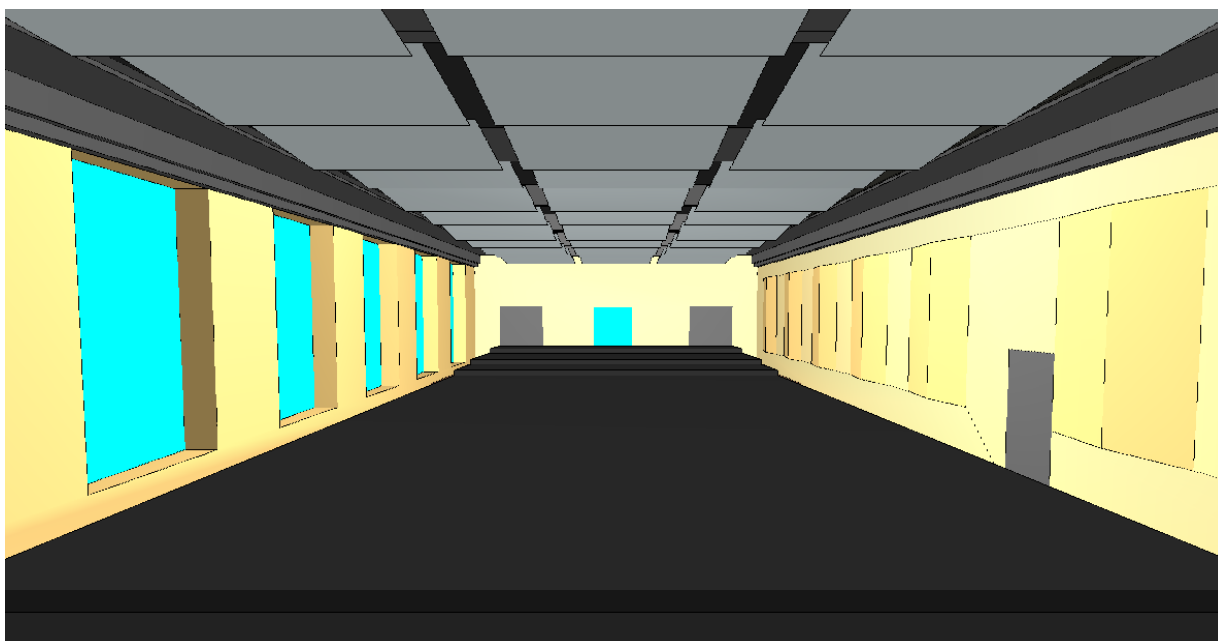
Rys. 3-4 Widok wzdłuż osi Y (przekrój wzdłużny).



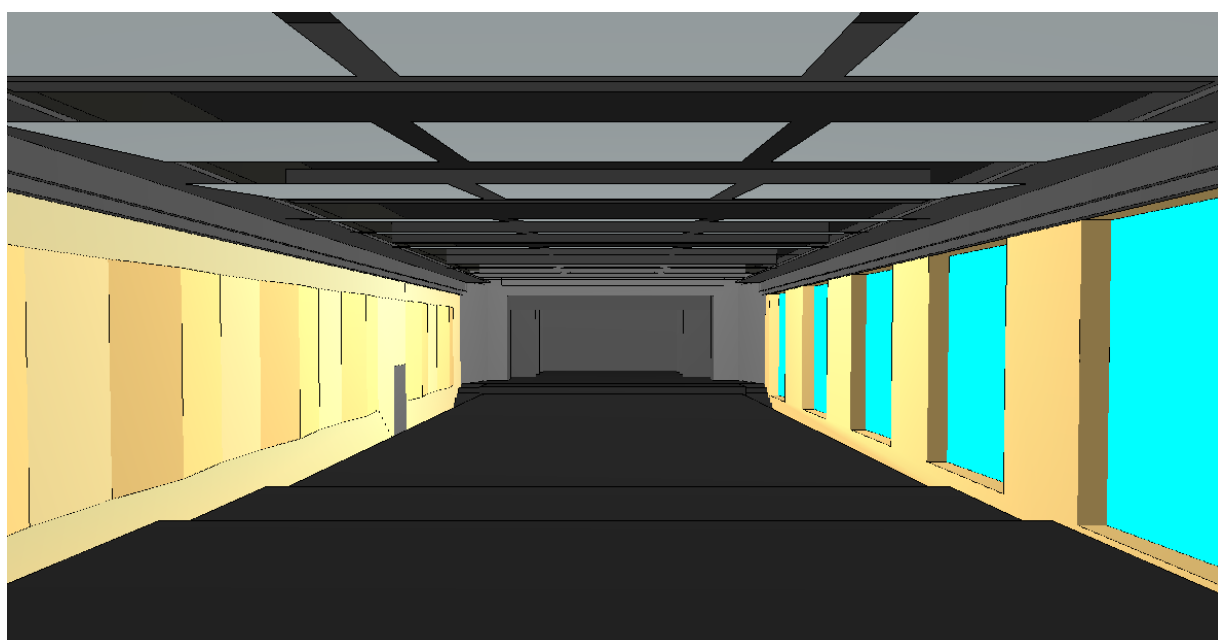
Rys. 3-5 Widok wzdłuż osi Z (rzut).



Rys. 3-6 Widok aksonometryczny.



Rys. 3-7 Widok ze sceny.



Rys. 3-8 Widok z balkonu.

3.1.3. Wyniki obliczeń

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki symulacji parametrów akustycznych sali widowiskowej.

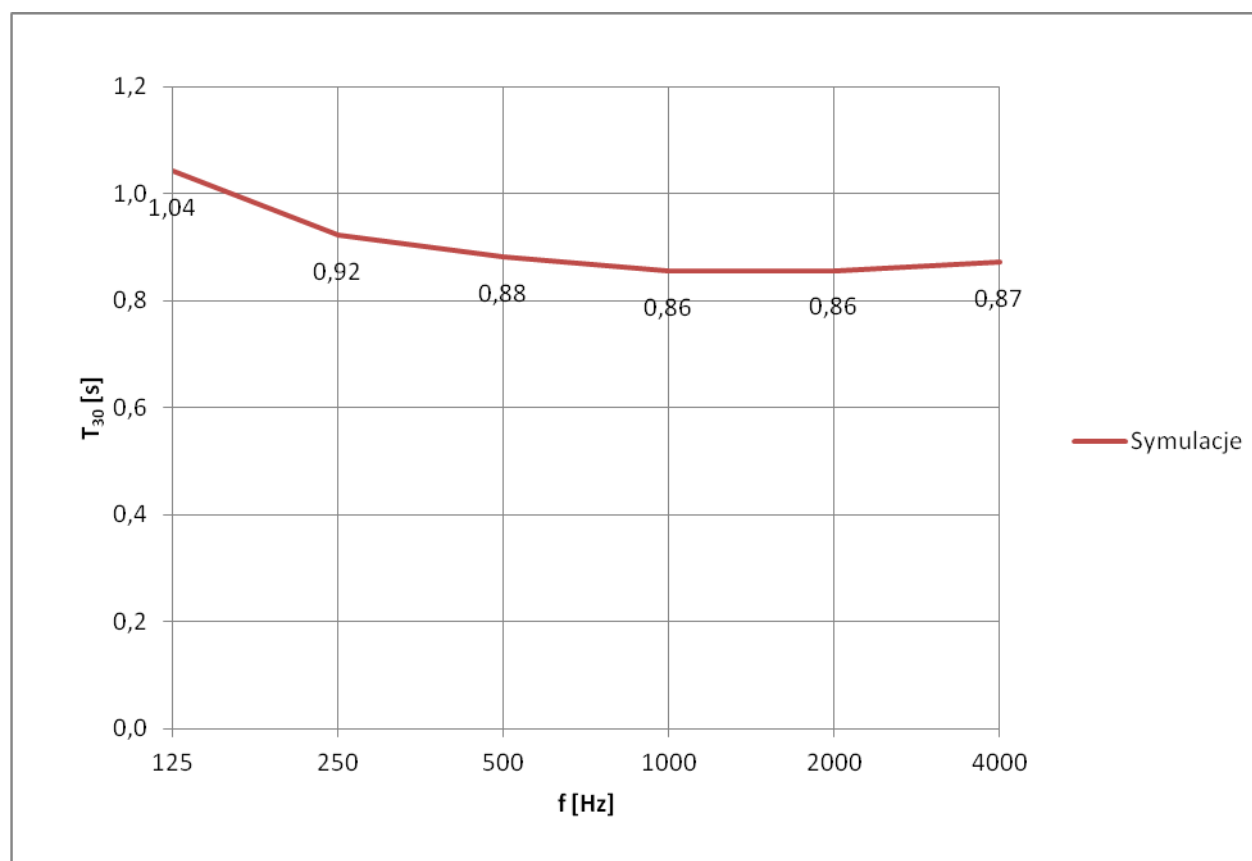
W załączniku 1 przedstawiono wyniki symulacji dla 10 punktów znajdujących się na widowni i dla trzech źródeł - jednego na proscenium (S01) i dwóch na scenie (S02 i S03). W programie symulacyjnym źródła dźwięku oznaczane są literą "A" - źródło dźwięku A2 w programie symulacyjnym odpowiada źródłu S02 w rzeczywistości.

Symulacje wskaźnika transmisji mowy przeprowadzono dla poziomu tła akustycznego określonego krzywą oceny hałasu NR25 (Tab. 3-2), co odpowiada w przybliżeniu poziomowi dźwięku 35 dBA.

Tab. 3-2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywej oceny hałasu NR25

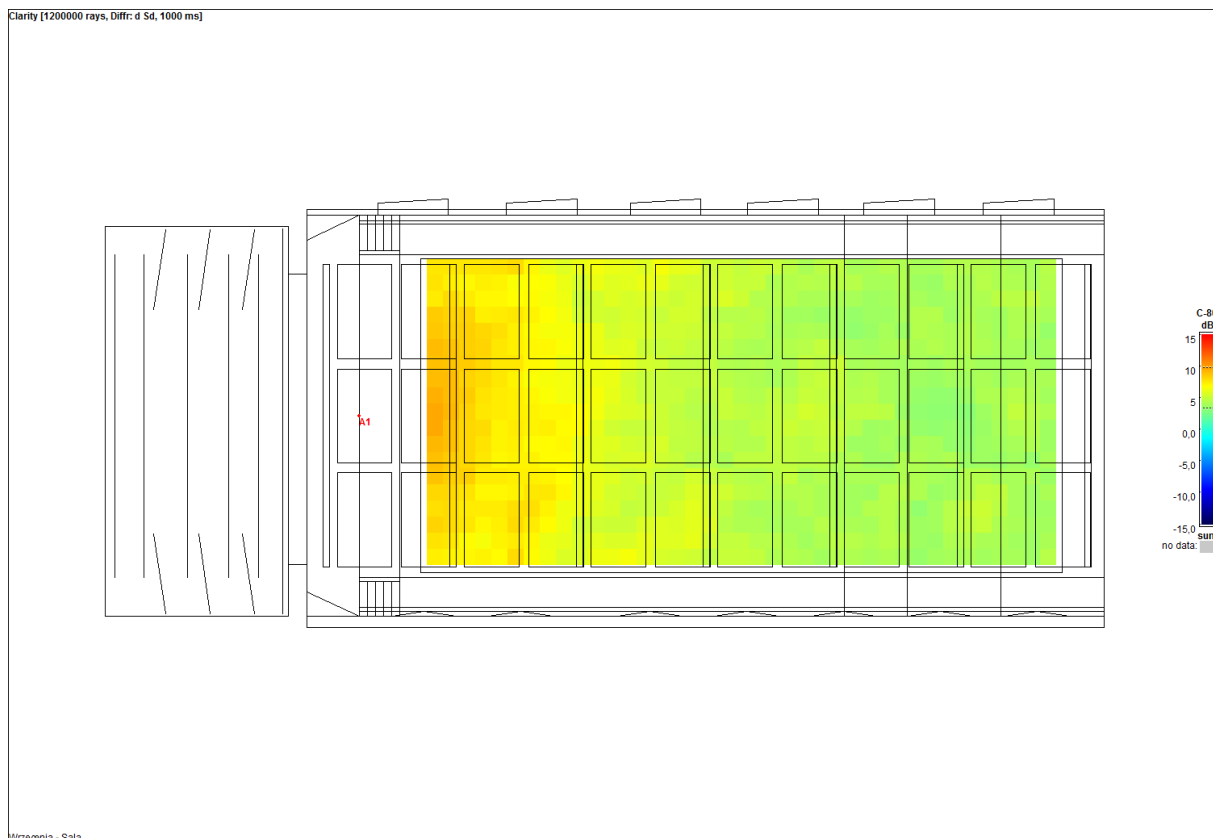
f [Hz]	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
NR25	72,4	55,2	43,7	35,2	29,2	25,0	21,9	19,5	17,7

Na Rys. 3-9 pokazano wyniki symulacji parametru T_{30} , uśrednione dla źródeł S1, S2 i S3 oraz dla 10 punktów pomiarowych na widowni.

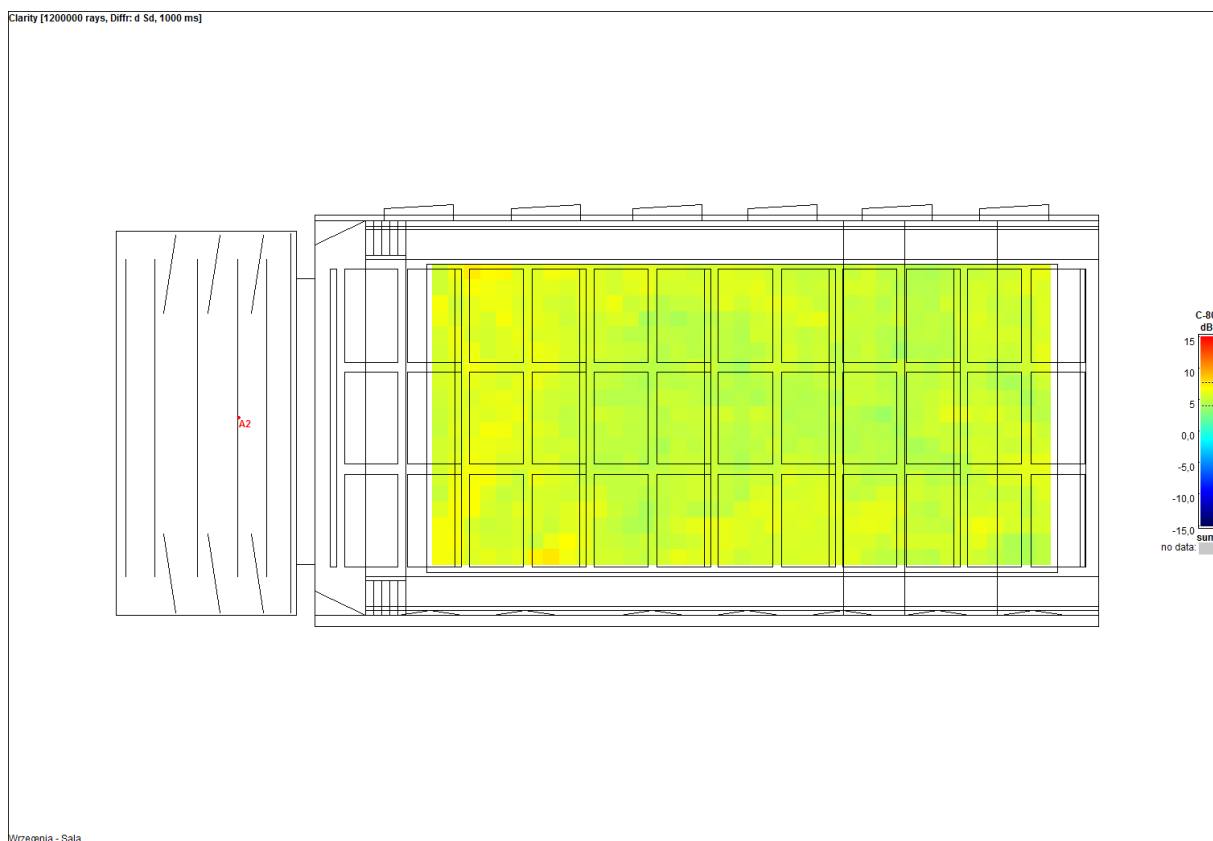


Rys. 3-9 Zestawienie wyników symulacji parametru T_{30} dla sali widowiskowej.

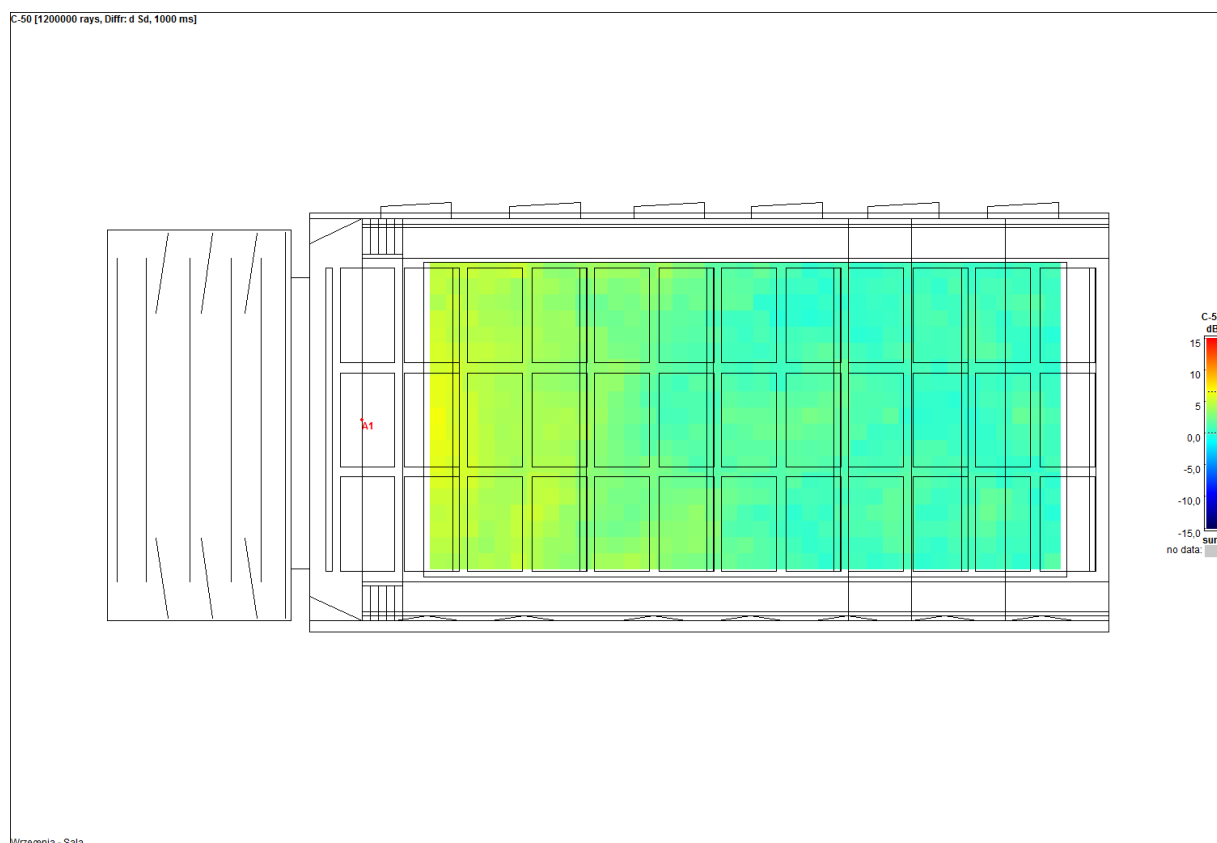
Na rysunkach poniżej podano wyniki obliczeń przejrzystości dźwięku C80 (Rys. 3-10, Rys. 3-11), wyrazistości dźwięku C50 (Rys. 3-12, Rys. 3-13), siły dźwięku G (Rys. 3-14, Rys. 3-15) oraz wskaźnika zrozumiałości mowy STI (Rys. 3-16, Rys. 3-17). Na rysunkach pokazano rozkład danego parametru na obszarze widowni dla dwóch położań źródła dźwięku - na proscenium i w obszarze sceny.



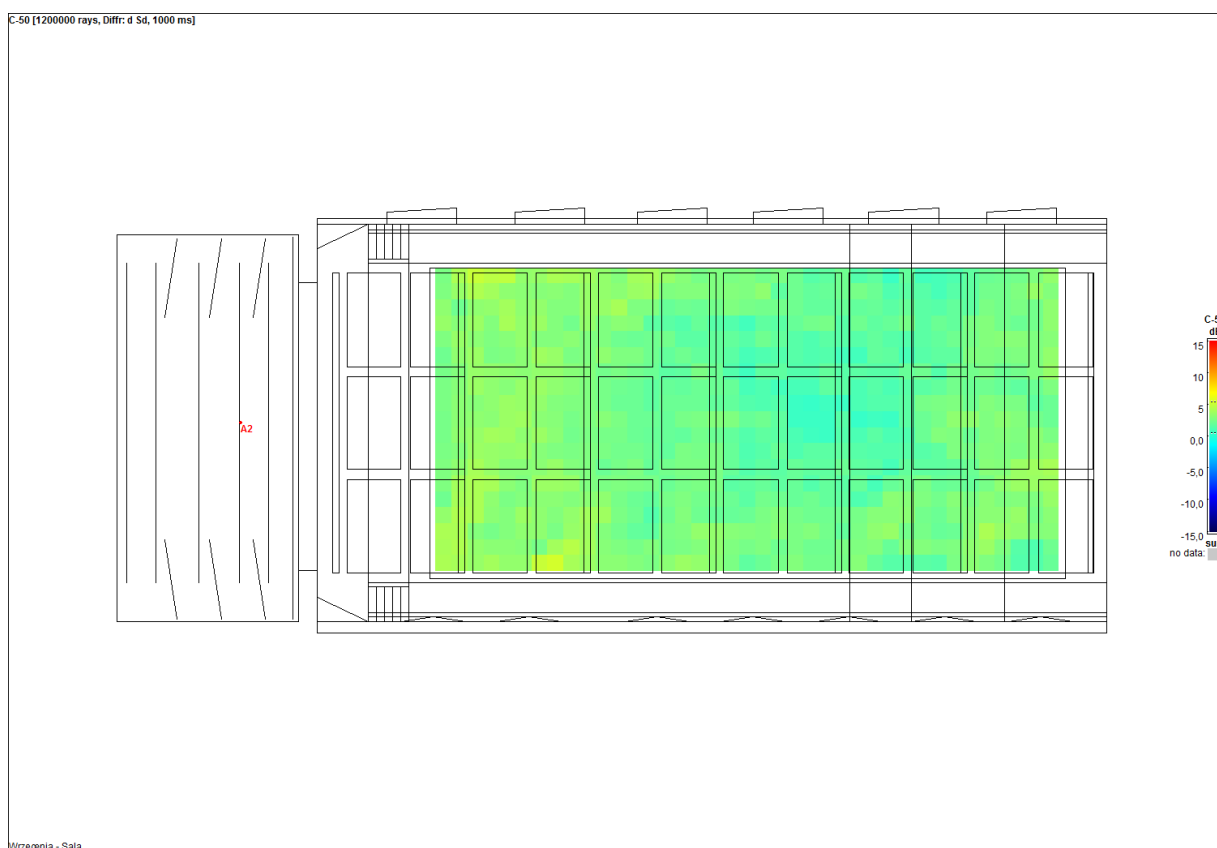
Rys. 3-10 Przejrzystość dźwięku C80 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.



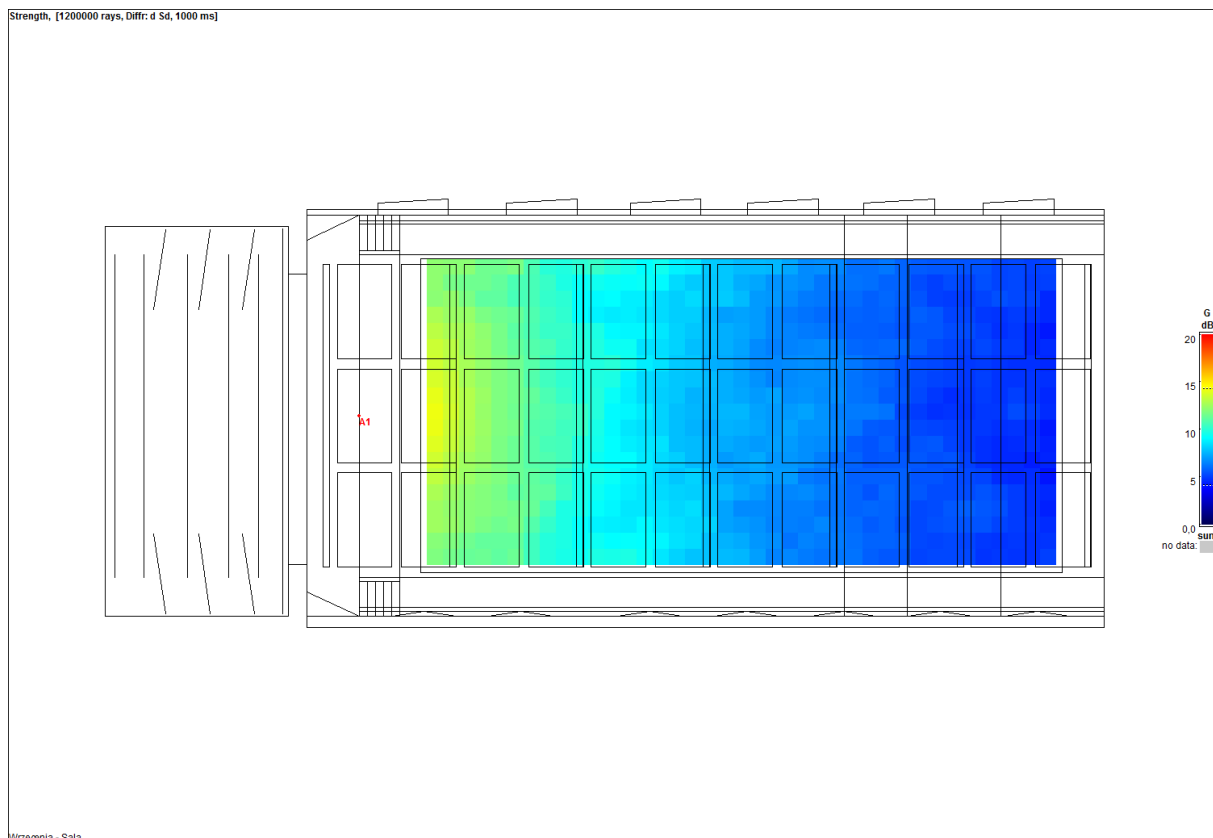
Rys. 3-11 Przejrzystość dźwięku C80 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.



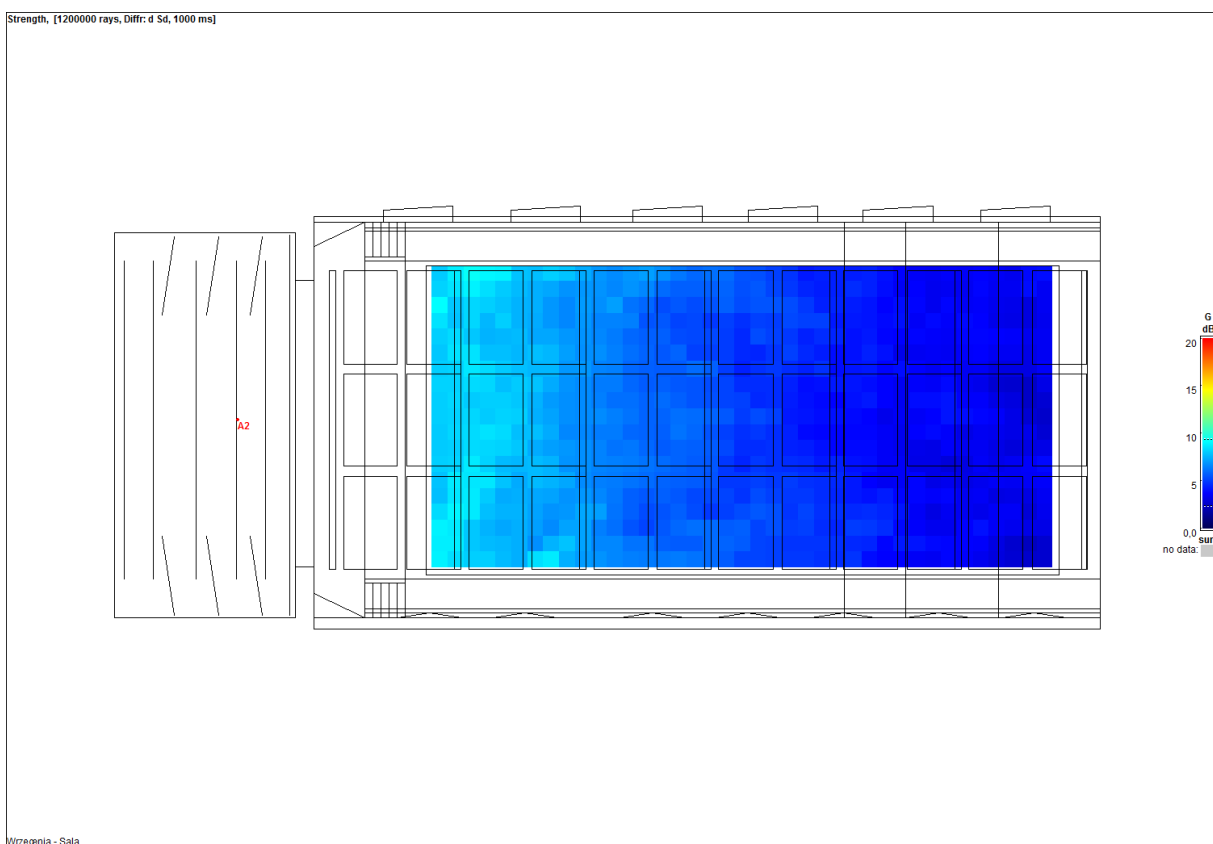
Rys. 3-12 Wyrazistość dźwięku C50 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.



Rys. 3-13 Wyrazistość dźwięku C50 w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.

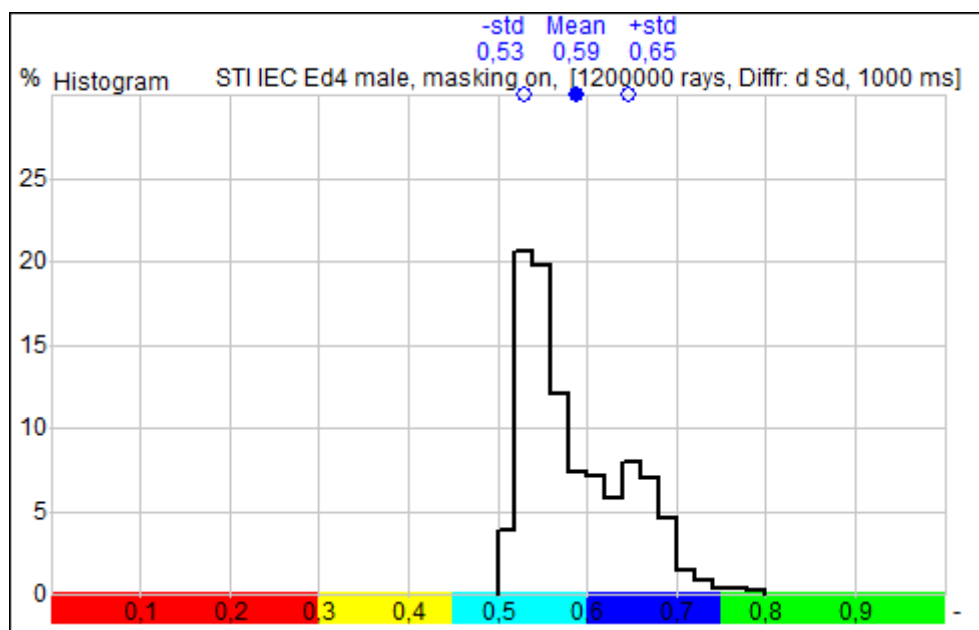
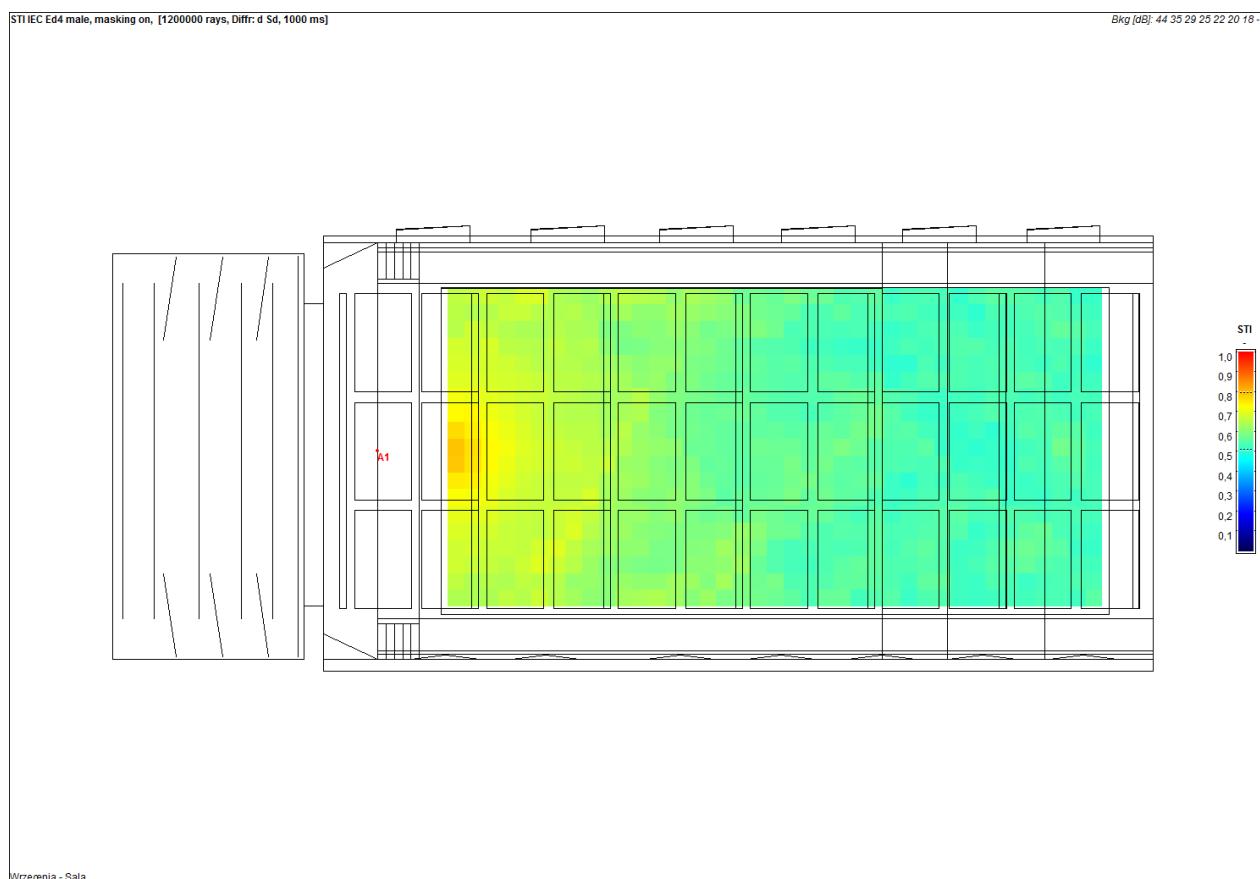


Rys. 3-14 Siła dźwięku G w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się na proscenium.



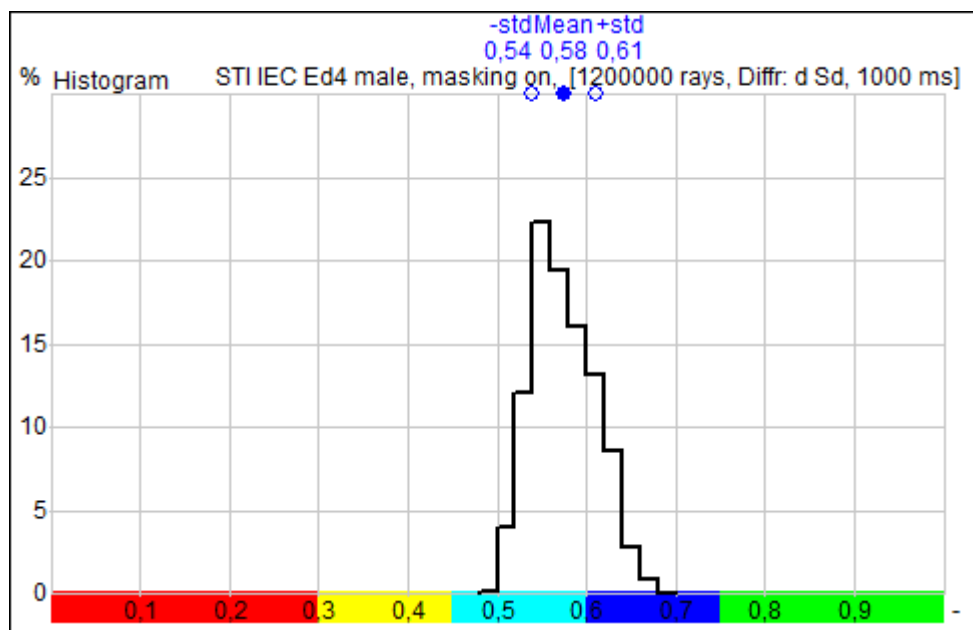
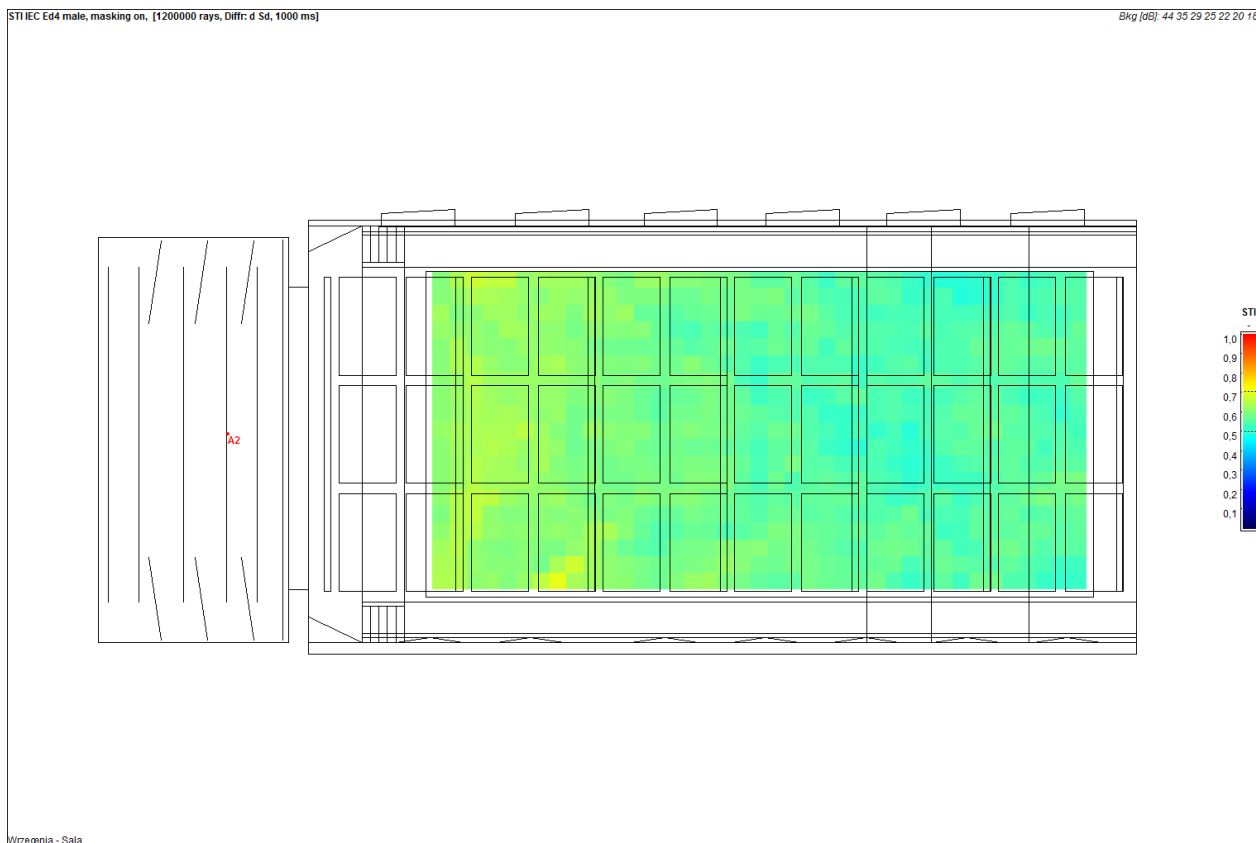
Rys. 3-15 Siła dźwięku G w sali widowiskowej dla źródła dźwięku znajdującego się w głębi sceny.

3. Akustyka wnetrz



Rys. 3-16 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI sali widowiskowej dla źródła znajdującego się na proscenium.

3. Akustyka wnętrz



Rys. 3-17 Wskaźnik zrozumiałości mowy STI sali widowiskowej dla źródła znajdującego w głębi sceny.

3.1.4. Akustyczne dostrajanie widowni

Rozmieszczenie elementów adaptacji akustycznej w obszarze widowni (ściany boczne i ściana tylna) zostanie wydane ostatecznie w ramach procedury strojenia akustycznego sali.

Przyjęta adaptacja sali, dla której zostały przeprowadzone symulacje, spełnia wymagania jakie zostały postawione danej sali widowiskowej. Należy jednak wziąć pod uwagę niepewność związaną z precyzją wykonania prac budowlanych i wykończeniowych wpływających na parametry akustyki wnętrza.

W zależności od wyników pomiarów należy dobrać odpowiednią kombinację ustrojów:

- ustrój odbijający,
- ustrój rezonansowy płytowy, pochłaniający w zakresie małych częstotliwości,
- ustrój perforowany, pochłaniający w zakresie małych/średnich częstotliwości.

Szczegółowy dobór ustrojów należy przeprowadzić w ramach procedury dostrajania sali.

W ramach procedury dostrajania sali należy wykonać pomiar czasu pogłosu sali.

Pomiar czasu pogłosu należy wykonać po zakończeniu 1 fazy prac wykończeniowych na widowni, tzn. w momencie, w którym zrealizowane są wszystkie elementy wykończenia wnętrza z wyjątkiem okładzin adaptacji akustycznej ścian bocznych i ściany tylnej. Stan przygotowania sali do 1 etapu pomiarów akustycznych w ramach procedury strojenia można opisać następująco:

- zakończone prace wykończeniowe na suficie, podłodze, ścianach bocznych proscenium, ścianie portalowej, w obrębie sceny,
- podwieszone reflektory akustyczne,
- na ścianach bocznych widowni i na tylnej ścianie widowni przygotowana podkonstrukcja do montażu okładzin,
- na podłodze widowni ustawione krzesła,
- zamknięte wszystkie otwory drzwiowe oraz okienne.

Na podstawie wyników pomiarów zostanie wykonany ostateczny dobór ustrojów akustycznych wykończeniowych na ściany boczne i ścianę tylną.

Procedura strojenia akustycznego sali (pomiar akustycznego, finalne obliczenia akustyczne i ostateczne decyzje co do doboru okładzin) powinna być zrealizowana przez projektanta akustyki wnętrza.

3.1.5. Adaptacja akustyczna sali widowiskowej

W celu uzyskania odpowiednich parametrów akustycznych sali widowiskowej zastosowano następujące rozwiązania materiałowe (zachowując możliwie najwięcej rozwiązań przewidzianych w uprzednio istniejącej dokumentacji projektowej):

- podłoga: parkiet na wylewce cementowej,
- siedziska: krzesła z wyściełanym siedziskiem i oparciem,
- ściana tylna: ustrój perforowany (perforacja $<10\%$, wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości 15 mm i gęstości około 800 kg/m^3) lub odbijający (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości

minimalnej 50 mm) lub rezonansowy (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości około 13 mm) - ostatecznie wybór typu ustroju zostanie dokonany na etapie akustycznego dostrajania widowni,

- ścian boczna (naprzeciwko okien): ustroje płytowe odchylone od ścian pod kątem co najmniej 3°. Pozostała część ściany: ustrój perforowany (<20 perforacja <30%, wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości 15 mm i gęstości około 800 kg/m³) lub odbijający (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości minimalnej 50 mm) lub rezonansowy (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości około 13 mm) – ostatecznie wybór typu ustroju zostanie dokonany na etapie akustycznego dostrajania widowni,
- ściana boczna (z oknami): ustrój perforowany (<20 perforacja <30%, wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości 15 mm i gęstości około 800 kg/m³) lub odbijający (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości minimalnej 50 mm) lub rezonansowy (wykonany z płyty drewnopochodnej o grubości około 13 mm) – ostatecznie wybór typu ustroju zostanie dokonany na etapie akustycznego dostrajania widowni,
- sufit nad widownią: reflektory akustyczne (szczegóły w rozdziale 3.1.6), istniejące wiązary stalowe obudowane obustronnie płytami GK,
- ściany boczne proscenium: okładzina akustyczna z płyt G-K (2x12,5 mm), pod okładziną wełna mineralna o grubości 50 mm i gęstości 60 - 80 kg/m³,
- portal sceniczny od strony widowni: okładzina akustyczna z płyt G-K (2x12,5 mm), pod okładziną wełna mineralna o grubości 50 mm i gęstości 60 - 80 kg/m³,
- portal sceniczny od strony sceny: okładzina ścienna dźwiękochłonna TYP 6,
- ściana boczna sceny (sąsiadująca z zapleczem sceny): tynk gipsowy,
- ściana boczna sceny: okładzina akustyczna z płyt G-K, pod okładziną wełna mineralna o grubości 50 mm i gęstości 60 - 80 kg/m³,
- ściana tylna sceny: okładzina ścienna dźwiękochłonna TYP 6,
- sufit sceny: tynk, sznurowania.

Dach sali widowiskowej należy pokryć warstwą wełny mineralnej o możliwie dużej grubości (nie mniej niż 15 cm) i gęstości około 80 kg/m³ zgodnie z projektem architektury.

3.1.6. Reflektory akustyczne

Na widowni przewiduje się zainstalowanie reflektorów akustycznych, których zadaniem będzie dogłośnienie widowni dźwiękiem odbitym.

Reflektory akustyczne będą zainstalowane w przestrzeni podsufitowej widowni w obszarach pomiędzy istniejącymi wiązarami stalowymi.

Główne cele jakie mają być osiągnięte poprzez zastosowanie układu reflektorów akustycznych to równomierne dogłośnienie całej widowni oraz poprawa zrozumiałości mowy dla źródeł znajdujących się na proscenium i w głębi sceny.

Reflektory należy rozmieścić w 12 rzędach po 3 reflektory w każdym. Środek drugiego (środkowego) reflektora w rzędzie powinien znajdować się na osi symetrii sali. Dwa pozostałe reflektory powinny być umieszczone symetrycznie w jednej osi z reflektorem środkowym. Wszystkie reflektory w danym rzędzie mają być umieszczone na tej samej wysokości. W Tab. 3-3 opisano wysokości, na jakich powinny zostać umieszczone reflektory akustyczne.

Przedstawione wysokości należy zmierzyć, przyjmując za poziom 0,00 m poziom sceny.

Wysokości podano dla dwóch punktów krańcowych tafli reflektora w danym rzędzie:

- krawędź 1 – oznacza krawędź reflektora zlokalizowaną bliżej okna sceny,
- krawędź 2 – oznacza krawędź reflektora zlokalizowaną dalej od okna sceny.

Tab. 3-3. Wysokości zawieszenia reflektorów akustycznych.

Rząd reflektorów	Wysokość krawędzi 1 [m]	Wysokość krawędzi 2 [m]
I	4,28	4,13
II	4,13	3,93
III	4,17	3,99
IV	4,12	3,91
V	4,24	4,00
VI	4,14	3,93
VII	4,15	3,91
VIII	4,03	3,76
IX	3,99	3,76
X	3,92	3,71
XII	3,96	3,79
XII	3,86	3,68

Reflektory powinny być wykonane z twardej masywnej płyty o masie powierzchniowej $\geq 40 \text{ kg/m}^2$. Grubość płyty powinna wynosić co najmniej 3 cm.

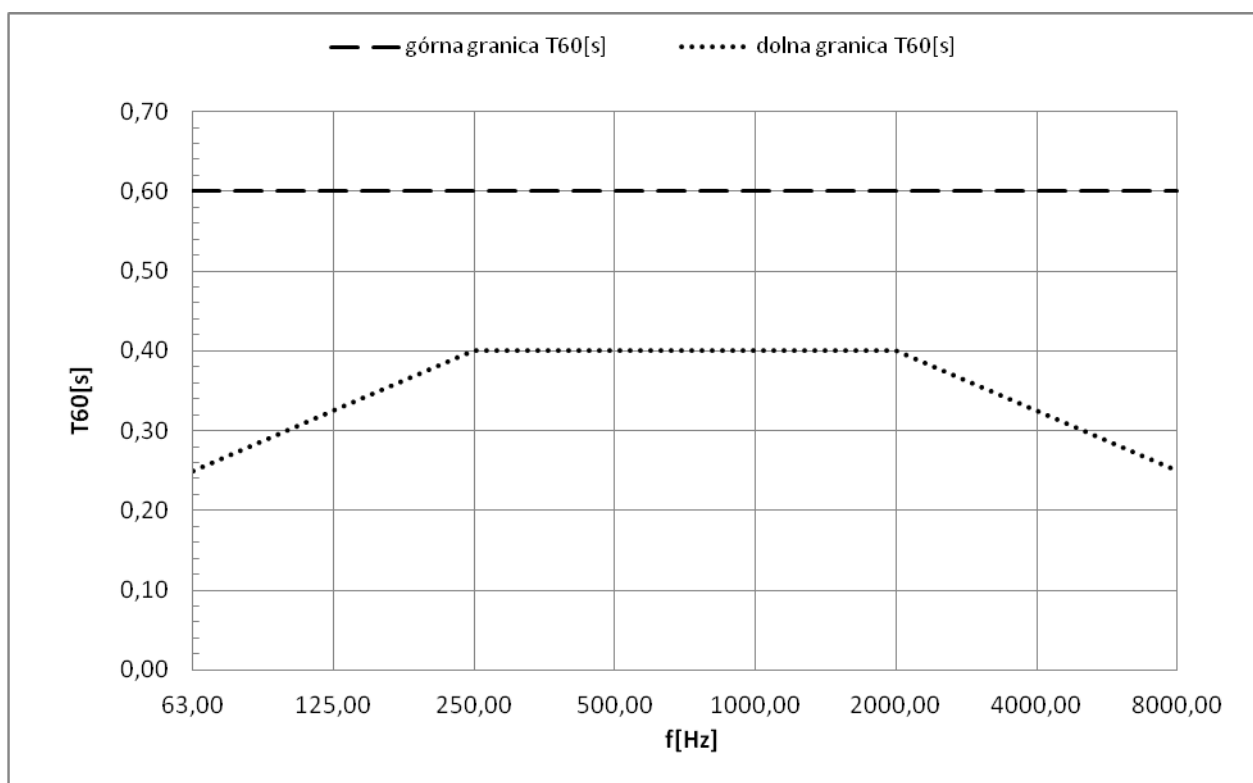
3.2. Studio nagrań

3.2.1. Założenia projektowe

Adaptacja akustyczna w studio została zaprojektowana w sposób pozwalający osiągnąć jak największe rozproszenie dźwięku w możliwie szerokim zakresie częstotliwości.

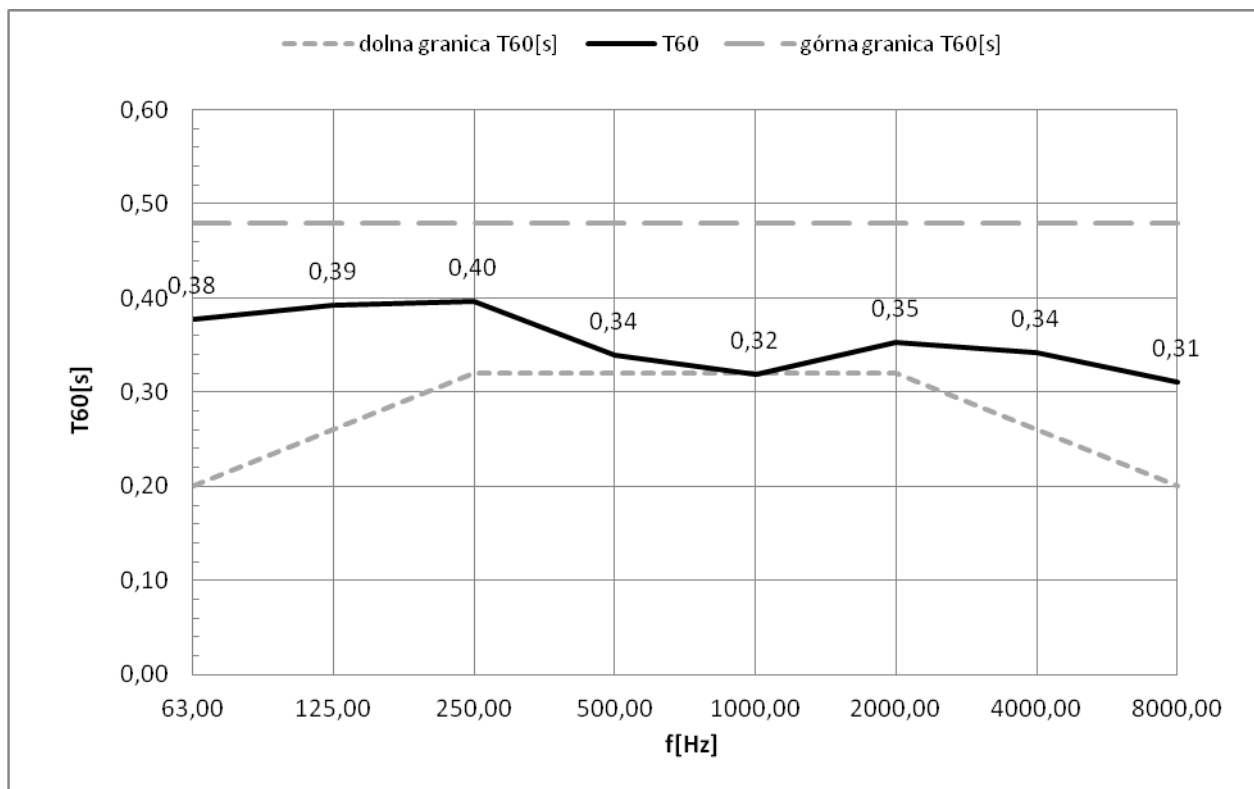
Wartość czasu pogłosu studia powinna wynosić 0,40 s. Nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej czasu pogłosu względem wartości zalecanej powinna mieścić się w zakresie (Rys. 3-18) [5], [6]:

- +20/-50 % dla częstotliwości 63 Hz,
- +20/-35 % dla częstotliwości 125 Hz,
- +/-20 % dla częstotliwości 250 – 2 000 Hz,
- +20/-35 % dla częstotliwości 4 000 Hz,
- +20/-50 % dla częstotliwości 8 000 Hz.



Rys. 3-18 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia nagrań.

Rys. 3-19 pokazuje wykres czasu pogłosu w pasmach oktaowych. W obliczeniach uwzględniono obecność trzech osób w pomieszczeniu. Czas pogłosu wynosi 0,33 s a jego nierównomierność mieści się w założonych granicach.



Rys. 3-19 Charakterystyka czasu pogłosu w studiu nagraniowym.

3.2.2. Adaptacja akustyczna studia

W celu uzyskania odpowiednich parametrów akustycznych studia nagrań zastosowano następujące rozwiązania materiałowe (zachowując możliwie najwięcej rozwiązań przewidzianych w uprzednio istniejącej dokumentacji projektowej):

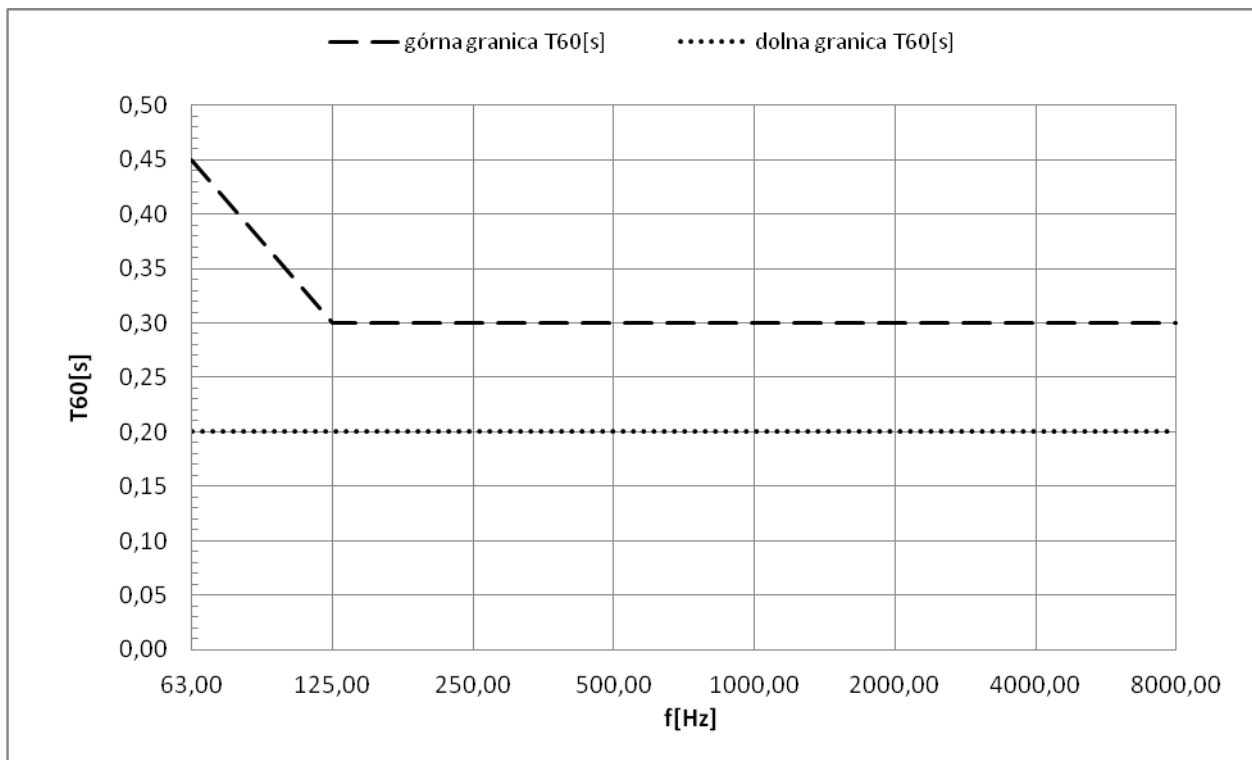
- ściana tylna: ustroje na całej szerokości ściany w następującej konfiguracji (patrząc od podłogi studia):
 - TYP1,
 - TYP2,
 - TYP3,
 - TYP1,
- ściana fasadowa: TYP5,
- ściana z drzwiami wejściowymi: TYP5,
- ściana przednia: na całej szerokości ściany od podłogi do wysokości 1 m ustrój TYP11, na pozostałej powierzchni TYP6 zlicowany z ustrojem TYP11,
- sufit: sufit podwieszany 20 cm poniżej stropu - w pasie o szerokości około 60 cm wzdłuż ścian zastosować materiał TYP7, pozostałą powierzchnię wypełnić materiałem TYP8

3.3. Reżysernia

3.3.1. Założenia projektowe

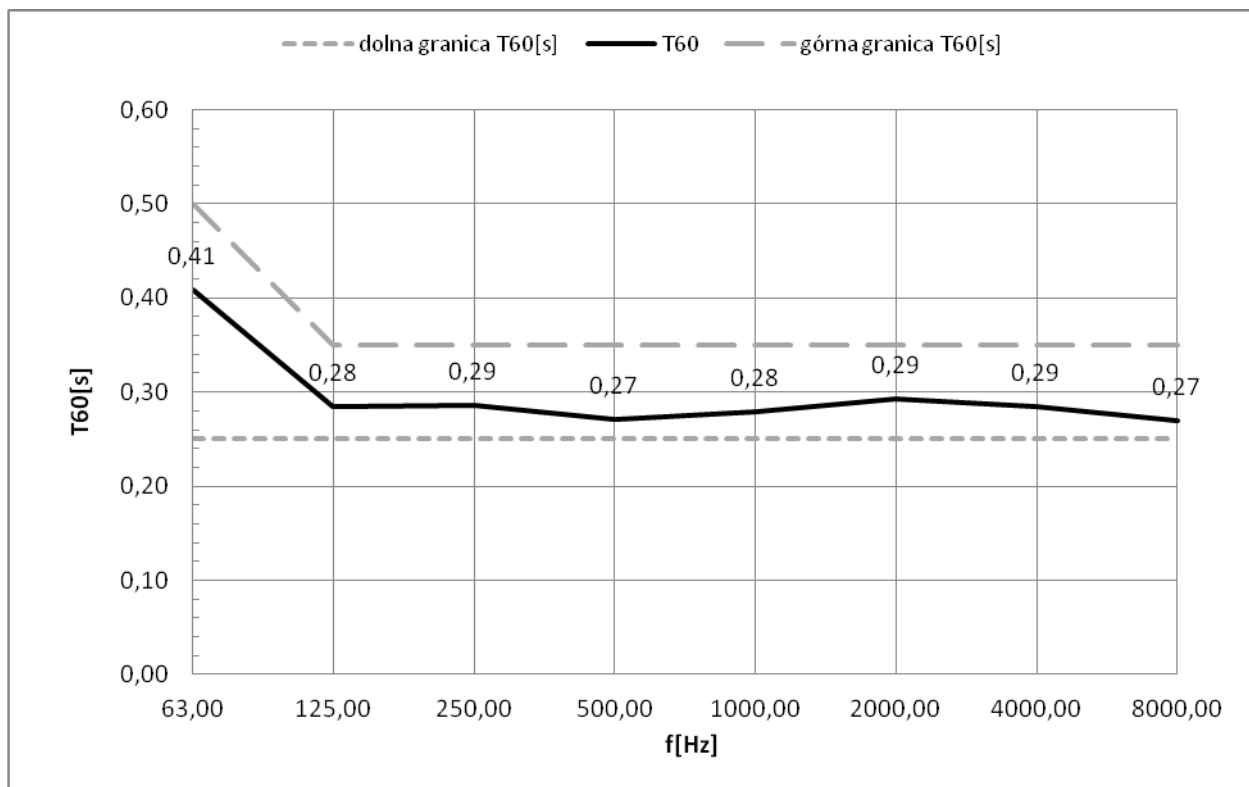
Wartość czasu pogłosu Reżyserni powinna wynosić około 0,30 s. Nierównomierność częstotliwościowej charakterystyki T_{60} względem wartości zalecanej powinna mieścić się w zakresie (Rys. 3-20) [6]:

- $+0,2/-0,05$ s dla częstotliwości 63 Hz,
- $\pm 0,05$ s dla częstotliwości 125 – 8 000 Hz.



Rys. 3-20 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla reżyserni.

Rys. 3-21 pokazuje wykres czasu pogłosu w pasmach oktawowych. W obliczeniach uwzględniono obecność jednej osoby wewnątrz pomieszczenia. Czas pogłosu wynosi 0,28 s a jego nierównomierność mieści się w założonych granicach.



Rys. 3-21 Charakterystyka czasu pogłosu w reżyserni.

3.3.2. Adaptacja akustyczna reżyserni

W celu uzyskania odpowiednich parametrów akustycznych reżyserni zastosowano następujące rozwiązania materiałowe (zachowując możliwie najwięcej rozwiązań przewidzianych w uprzednio istniejącej dokumentacji projektowej):

- ściana tylna (z kominami): pomiędzy kominami ustroje TYP2 montowane w odległości 10 cm od ściany od podłogi do wysokości 2,4 m, powyżej i na kominach ustroje TYP9, wszystkie ustroje zlicowane,
- ściana boczna fasadowa: TYP5,
- ściana boczna z drzwiami wejściowymi: TYP5,
- ściana przednia: na całej szerokości ściany od podłogi do wysokości 1 m ustrój TYP12, na pozostałej powierzchni okładzina akustyczna z płyty gipsowo-włókninowej, pod okładziną wełna mineralna o grubości 40 mm i gęstości 60 - 80 kg/m³ przymocowana do płyty oraz pustka powietrzna. Na płycie okładzina TYP4. Całość licowana z ustrojem TYP12.
- sufit: TYP7 i TYP10 rozmieszczone naprzemiennie w układzie szachownicy. Całkowita wielkość konstrukcji - 200 mm

3.3.3. Akustyczne dostrajanie reżyserni i studia

Adaptacja akustyczna reżyserni i studia została opracowana bazując na uprzednio istniejącej dokumentacji, w której nie było informacji m. in. na temat planowanego rodzaju odsłuchu, umiejscowienia monitorów odsłuchowych czy miejsca pracy realizatora.

Przyjęta adaptacja studia i reżyserni, dla której zostały przeprowadzone obliczenia, spełnia wymagania jakie zostały postawione. Należy jednak wziąć pod uwagę niepewność związaną z precyzją wykonania prac budowlanych i wykończeniowych wpływających na parametry akustyki wnętrza.

Finalne opracowanie dotyczące rodzaju, ilości oraz rozmieszczenia ustrojów akustycznych będzie możliwe w ramach procedury strojenia akustycznego, po przekazaniu projektantom kompletu brakujących informacji (m.in. dobór i rozmieszczenie monitorów odsłuchowych, aranżacja technologiczna studia i reżyserni).

3.4. Opis proponowanych rozwiązań

Drzwi wejściowe do studia i reżyserni należy wykonać jako podwójne w układzie śluzy akustycznej. Minimalna izolacyjność akustyczna każdych drzwi w parze powinna wynosić $R_w \approx 42$ dB.

Okno pomiędzy pomieszczeniami studia i reżyserni należy wykonać jako podwójne. Okno od strony reżyserni wykonać w istniejącym miejscu. Okno od strony studia wykonać w ścianie dostawianej zlicowanej z obudową szachtu/komina. Okno osadzić jako obrócone względem osi poziomej o kąt minimum 5° .

Ściana dostawiana - murowana z bloczków silikatowych o grubości 15 cm.

Ściany zewnętrzne należy pokryć warstwą wełny mineralnej (zgodnie z opisem architektury).

Tab. 3-4 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP1

Typ ustroju	Dyfuzor typu QRD					
Wymiar	60 × 60 cm, głębokość ustroju około 20 cm					
Wymagane wartości współczynników rozpraszania						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
S (±10%)	0,03	0,22	0,72	0,86	0,82	0,90
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,30	0,26	0,33	0,23	0,20	0,21

Tab. 3-5 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP2

Typ ustroju	Dyfuzor typu QRD					
Wymiar	120 × 60 cm, głębokość ustroju około 20 cm					
Wymagane wartości współczynników rozpraszania						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
S (±10%)	0,03	0,22	0,72	0,86	0,82	0,90
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,30	0,26	0,33	0,23	0,20	0,21

Tab. 3-6 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP3

Konstrukcja	1. płyta licowa perforowana, perforacja około 20 %, grubość płyty około 12 mm 2. wełna mineralna 40 mm, 60 - 80 kg/m ³ , 3. pustka powietrzna 4. ściana 5. okładzina zlicowana z powierzchnią ustrojów TYP1 i TYP2					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,64	0,98	0,91	0,87	0,76	0,59

Tab. 3-7 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP4

Materiał bazowy	Materiał dźwiękochłonny na bazie wełny mineralnej					
Grubość	15 mm					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,05	0,15	0,35	0,60	0,75	0,90

Tab. 3-8 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP5

Konstrukcja	<div><div>1. płyta licowa w postaci ustroju akustycznego rozpraszającego o współczynnikach rozpraszania podanym poniżej</div><div>2. pustka powietrzna 50 mm,</div><div>3. wełna kamienna lub szklana o grubości 100 mm, kamienna: 70 – 90 kg/m³, szklana 50 – 70 kg/m³,</div><div>4. ściana.</div></div>							
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku								
f [Hz]	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,65	0,74	0,21	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Wynagana wartość współczynników rozpraszania								
S (±10%)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,25	0,57	0,69

Tab. 3-9 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP6

Materiał bazowy	Materiał dźwiękochłonny na bazie wełny mineralnej					
Grubość	40 mm					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,20	0,75	0,99	0,99	0,99	0,99

Tab. 3-10 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP7

Materiał bazowy	Materiał dźwiękochłonny na bazie wełny mineralnej					
Grubość	40 mm					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,40	0,85	0,85	0,90	0,99	0,99

Tab. 3-11 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP8

Typ ustroju	Dyfuzor typu 2D					
Wymiar	60 × 60 cm, głębokość ustroju około 12 cm					
Wymagane wartości współczynników rozpraszania						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
S (±10%)	0,26	0,05	0,14	0,51	0,71	0,91
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,14	0,12	0,15	0,20	0,09	0,12

Tab. 3-12 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP9

Materiał bazowy	Materiał dźwiękochłonny na bazie wełny mineralnej					
Grubość	40 mm					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,20	0,75	0,99	0,99	0,99	0,99

Tab. 3-13 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP10

Konstrukcja	1. płyta licowa perforowana, perforacja około 10 %, grubość płyty około 12 mm 2. wełna mineralna 40 mm, 60 - 80 kg/m ³ , 3. pustka powietrzna 4. strop					
Wysokość podwieszenia	100 mm					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,20	0,48	0,72	0,57	0,29	0,20

Tab. 3-14 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP11

Konstrukcja	1. płyta licowa perforowana, perforacja około 10 %, grubość płyty około 12 mm 2. wełna mineralna 30 mm, 60 - 80 kg/m ³ , 3. ściana							
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku								
f [Hz]	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,42	0,43	0,45	0,40	0,35	0,23	0,17	0,14

Tab. 3-15 Specyfikacja wymagań dla elementu adaptacji akustycznej TYP12

Konstrukcja	1. płyta licowa perforowana, perforacja około 15 %, grubość płyty około 10 mm 2. wełna mineralna 120 mm, 40 - 60 kg/m ³ , 3. ściana					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,72	0,24	0,05	0,01	0,01	0,01

4. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu przedstawiono projekt wykonawczy dla zadania "Prace projektowe w zakresie adaptacji akustycznej sali i studia nagrań Wrzesińskiego Ośrodka Kultury" w zakresie akustyki wnętrz.

Wszystkie rozwiązania przyjęte w projekcie są zgodne z wytycznymi przekazanymi zespołowi projektowemu. Część rozwiązań wynika z zastanych ograniczeń np. lokalizacja stolarki nie mogła ulec zmianie w wyniku prac projektowych opisanych w niniejszym opracowaniu.

Opracowanie jest zgodne z postanowieniami umowy [1] oraz dokumentów związanych. W opracowaniu wykorzystano uzgodnienia poczynione z Zamawiającym w trakcie procesu projektowego.

Opracowanie jest kompletne ze względu na cel, jakiemu służy.

5. Załącznik 1 – wybrane wyniki obliczeń

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki symulacji dla sali widowiskowej.

W tabelach od Tab. 5-1 do Tab. 5-5 przedstawiono wyniki symulacji najważniejszych parametrów akustycznych dla sali widowiskowej. Wyniki przedstawiono dla 10 punktów obliczeniowych na widowni, których lokalizacje opisano w Tab. 3-1. Symulacje przeprowadzono dla trzech położań źródła: S01, S02 i S03.

Tab. 5-1. Wyniki symulacji czasu pogłosu T_{30} .

Źródło	Odbiornik / f [Hz]	T_{30} [s]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
S01	R01	1,02	0,88	0,88	0,89	0,83	0,85
	R02	1,02	0,90	0,87	0,86	0,88	0,85
	R03	1,02	0,90	0,88	0,84	0,89	0,86
	R04	1,03	0,89	0,86	0,89	0,89	0,88
	R05	1,06	0,91	0,86	0,85	0,87	0,86
	R06	1,04	0,93	0,86	0,86	0,88	0,91
	R07	1,02	0,93	0,88	0,87	0,88	0,87
	R08	1,03	0,91	0,88	0,86	0,93	0,91
	R09	1,07	1,01	0,91	0,89	0,85	0,91
	R10	1,04	0,99	0,85	0,86	0,92	0,89
S02	R01	1,05	0,91	0,82	0,84	0,83	0,83
	R02	1,02	0,94	0,89	0,86	0,83	0,87
	R03	1,01	0,92	0,92	0,88	0,83	0,87
	R04	1,02	0,91	0,87	0,88	0,83	0,89
	R05	1,05	0,97	0,81	0,87	0,83	0,83
	R06	1,05	0,89	0,91	0,88	0,86	0,89
	R07	1,02	0,90	0,89	0,83	0,83	0,88
	R08	1,02	0,90	0,84	0,83	0,85	0,89
	R09	1,12	0,93	0,85	0,88	0,84	0,88
	R10	1,09	0,95	0,89	0,88	0,85	0,87
S03	R01	0,99	0,90	0,86	0,81	0,80	0,82
	R02	1,01	0,89	0,81	0,84	0,86	1,09
	R03	1,05	1,01	0,88	0,82	0,83	0,85
	R04	1,02	0,87	0,84	0,87	0,89	0,86
	R05	1,04	0,90	0,86	0,85	0,87	0,86
	R06	1,04	0,92	0,90	0,83	1,20	0,86
	R07	1,04	0,94	0,87	0,93	0,83	0,87
	R08	1,05	0,91	0,89	0,86	0,89	0,93
	R09	1,06	0,89	0,91	0,91	0,91	0,91
	R10	1,06	0,93	0,84	0,87	0,87	1,14
ŚREDNIA		1,04	0,92	0,87	0,86	0,87	0,89

Tab. 5-2. Wyniki symulacji siły dźwięku G.

Źródło	Odbiornik / f [Hz]	G [dB]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
S01	R01	13,5	12,1	10,7	11,5	11,1	11,2
	R02	12,7	11,7	10,1	10,7	10,6	10,5
	R03	11,1	10,1	8,9	7,9	8,2	8,1
	R04	10,9	10,1	9,5	8,6	9,0	9,2
	R05	9,6	8,9	7,8	6,8	7,1	7,0
	R06	9,3	8,6	7,3	6,6	6,8	6,9
	R07	9,0	8,5	7,3	7,1	6,9	7,2
	R08	7,6	7,1	6,3	5,6	5,5	5,5
	R09	6,7	6,3	6,0	5,6	5,6	5,3
	R10	6,2	6,1	5,5	5,2	4,9	4,9
S02	R01	10,7	8,9	8,0	7,3	7,3	7,5
	R02	10,1	8,6	6,9	6,1	6,5	6,2
	R03	9,2	7,3	6,2	5,4	5,8	5,6
	R04	8,2	7,5	6,0	5,3	4,6	4,7
	R05	8,5	7,0	6,3	5,6	5,5	5,7
	R06	7,2	6,3	5,7	4,3	4,3	4,8
	R07	6,3	5,4	4,1	3,2	3,2	3,6
	R08	5,8	4,8	4,2	3,9	3,7	3,4
	R09	6,1	5,9	5,3	5,2	5,4	5,2
	R10	4,7	4,5	4,1	3,7	3,7	3,6
S03	R01	9,8	8,2	7,8	7,3	7,3	7,0
	R02	9,7	8,4	6,7	5,7	6,5	6,4
	R03	8,6	7,6	7,1	7,1	6,5	6,4
	R04	8,0	7,0	5,5	5,0	6,0	5,1
	R05	7,9	6,8	5,3	4,8	4,3	4,6
	R06	6,6	5,6	5,1	4,2	4,9	4,8
	R07	6,8	5,4	4,8	4,0	3,8	3,9
	R08	5,9	4,8	4,5	3,5	3,6	3,7
	R09	4,9	3,6	2,8	2,0	1,9	1,9
	R10	5,6	3,9	4,9	3,4	4,1	3,4
ŚREDNIA		8,8	7,8	6,8	6,3	6,4	6,3

Tab. 5-3. Wyniki symulacji przejrzystości dźwięku C_{80} .

Źródło	Odbiornik / f [Hz]	C_{80} [%]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
S01	R01	6,0	6,6	6,6	8,5	8,3	8,0
	R02	5,6	6,3	6,5	7,9	8,0	7,4
	R03	4,2	5,0	5,2	5,1	5,8	5,2
	R04	4,5	5,7	6,7	7,0	8,1	7,3
	R05	3,8	4,8	5,3	4,8	5,8	5,2
	R06	4,0	4,5	4,9	5,1	5,7	5,3
	R07	4,4	5,1	5,5	6,4	6,8	6,4
	R08	3,6	4,2	4,7	4,8	5,0	4,3
	R09	3,2	4,1	4,8	5,1	5,4	4,5
	R10	3,1	3,7	4,2	5,1	5,1	4,4
S02	R01	3,6	6,2	6,9	7,4	8,1	8,4
	R02	3,7	6,1	6,4	6,6	7,7	7,0
	R03	3,5	5,3	6,8	6,8	7,5	7,4
	R04	2,8	5,8	5,8	6,7	6,1	5,9
	R05	4,0	5,4	6,0	6,2	6,1	7,0
	R06	3,4	5,6	7,5	7,4	8,1	8,7
	R07	2,9	5,4	5,9	6,2	6,6	6,8
	R08	2,8	5,0	6,5	7,8	7,9	7,0
	R09	4,6	6,5	7,5	8,4	8,7	8,2
	R10	3,3	5,7	7,0	7,4	8,0	7,3
S03	R01	3,0	5,0	6,5	7,3	7,3	7,1
	R02	3,6	5,2	5,4	5,6	7,2	6,2
	R03	3,7	5,9	6,1	8,2	7,8	8,1
	R04	2,6	4,6	5,5	6,6	7,5	6,5
	R05	4,2	5,3	5,1	6,2	5,9	6,0
	R06	2,6	5,2	5,7	6,4	7,7	7,6
	R07	4,2	5,8	5,9	6,6	6,1	6,8
	R08	3,8	5,3	6,4	6,1	6,6	7,3
	R09	3,3	4,8	6,0	6,1	6,4	5,7
	R10	4,7	5,1	6,8	7,4	8,6	6,6
ŚREDNIA		3,8	5,4	6,1	6,7	7,1	6,8

Tab. 5-4. Wyniki symulacji wyrazistości dźwięku C_{50} .

Źródło	Odbiornik / f [Hz]	C_{50} [%]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
S01	R01	3,4	3,8	3,6	5,6	5,2	4,9
	R02	2,9	3,3	2,9	4,9	4,9	4,4
	R03	1,3	1,7	2,0	1,5	2,8	2,2
	R04	2,0	3,1	4,5	4,9	6,0	5,3
	R05	0,5	0,8	0,6	0,3	1,2	0,7
	R06	1,1	1,2	1,0	0,6	1,6	1,4
	R07	1,6	2,1	2,3	3,1	3,4	3,1
	R08	1,0	1,3	1,8	1,9	2,0	1,3
	R09	0,2	0,8	1,8	2,3	2,7	1,5
	R10	-0,4	-0,3	0,3	1,1	1,2	0,4
S02	R01	1,1	3,8	4,8	5,4	6,0	6,2
	R02	1,4	3,6	4,1	4,1	5,3	4,6
	R03	1,0	2,9	4,2	4,2	5,3	5,0
	R04	0,4	3,5	3,6	4,4	3,7	3,5
	R05	1,4	2,4	3,2	3,3	3,4	4,2
	R06	0,5	2,4	3,0	2,7	3,2	4,2
	R07	-0,3	1,5	1,2	1,0	1,7	2,2
	R08	0,4	2,3	3,3	4,9	5,0	4,2
	R09	2,5	3,8	4,5	5,2	5,5	5,2
	R10	1,1	3,2	4,4	5,0	5,7	5,0
S03	R01	-0,1	1,9	3,0	3,6	3,9	4,1
	R02	0,8	2,1	2,5	2,5	4,0	3,3
	R03	1,3	3,5	4,2	5,7	5,8	5,7
	R04	0,0	2,1	3,2	4,4	5,8	4,8
	R05	1,7	2,5	2,1	3,1	2,4	3,0
	R06	-0,4	2,1	2,5	2,9	4,1	4,6
	R07	1,1	2,2	2,7	3,4	3,1	3,4
	R08	0,9	2,0	3,4	2,9	3,5	3,9
	R09	0,6	1,5	2,3	2,4	2,7	2,0
	R10	2,7	2,6	4,7	5,1	6,0	4,4
ŚREDNIA		1,2	2,4	3,1	3,7	4,2	3,9

Tab. 5-5. Wyniki symulacji wskaźnika transmisji mowy STI.

Źródło	Odbiornik	STI
S01	R01	0,66
	R02	0,65
	R03	0,58
	R04	0,64
	R05	0,56
	R06	0,56
	R07	0,58
	R08	0,54
	R09	0,54
	R10	0,51
S02	R01	0,62
	R02	0,61
	R03	0,59
	R04	0,57
	R05	0,59
	R06	0,58
	R07	0,54
	R08	0,56
	R09	0,61
	R10	0,57
S03	R01	0,62
	R02	0,59
	R03	0,61
	R04	0,60
	R05	0,56
	R06	0,56
	R07	0,55
	R08	0,56
	R09	0,49
	R10	0,57
ŚREDNIA		0,58