

ADRES INWESTYCJI: **KRAKÓW, AL. JANA PAWŁA II 37**

OBRĘB: **OBRĘB: 6**

NR DZIAŁKI: **21/182**

INWESTOR: **POLITECHNIKA KRAKOWSKA IM. TADEUSZA KOŚCIUSZKI  
31-155 KRAKÓW**

**UL. WARSZAWSKA 24, BUD. 10-24 W-9/POK.110**

SOUND & SPACE ROBERT LEBIODA

JEDNOSTKA PROJEKTOWA

60-682 POZNAŃ, UL. W. BIEGAŃSKIEGO 61A

## PROJEKT WYKONAWCZY ZAMIENNY

**PRZEBUDOWA KOMORY BEZPOGŁOSOWEJ NA SALĘ DYDAKTYCZNO-AUDYTORYJNĄ  
DLA POTRZEB WYDZIAŁU MECHANICZNEGO, AL. JANA PAWŁA II, KRAKÓW W BUDYNKU  
6B WYDZIAŁU MECHANICZNEGO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ PRZY AL. JANA PAWŁA II 37, DZ.  
NR 21/257, OBR. EWID. 6**

**TOM VI**

**AKUSTYKA**

Nr uprawnień:

podpis:

### ARCHITEKTURA

#### GLÓWNY PROJEKTANT

mgr inż. arch.  
mgr inż. akustyk-  
elektronik  
ROBERT LEBIODA

704/01/DUW  
DO PROJEKTOWANIA BEZ OGRANICZEŃ W  
SPECJALNOŚCI ARCHITEKTONICZNEJ

.....

#### SPRAWDZAJĄCY

mgr inż. arch.  
ZBIGNIEW  
MAGDZIAREK

WP-IA/OKK/UpB/38/2008  
DO PROJEKTOWANIA BEZ OGRANICZEŃ W  
SPECJALNOŚCI ARCHITEKTONICZNEJ

.....

## Zawartość

<b>1. Część ogólna .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Merytoryczna podstawa opracowania .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Zakres opracowania.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Definicje .....</b>	<b>5</b>
1.3.1 Decybel (dB).....	5
1.3.2 dB(A) .....	5
1.3.3 Izolacyjność akustyczna.....	5
1.3.4 Współczynnik pochłaniania .....	5
1.3.5 Czas pogłosu T .....	6
1.3.6 Przejrzystość $C_{50}$ .....	6
1.3.7 Wskaźnik transmisji mowy STI, RaSTI.....	7
<b>2. Ochrona przeciwdźwiękowa .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Wymagania.....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Dopuszczalny poziom tła akustycznego .....	8
2.1.2 Izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych .....	10
2.1.3 Izolacyjność akustyczna okien oraz drzwi .....	12
2.1.4 Wymagany czas pogłosu i wskaźnik zrozumiałości mowy .....	14
<b>2.2 Rozwiązania projektowe .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Izolacyjność akustyczna ścian .....	16
2.2.2 Izolacyjność akustyczna stropów .....	16
<b>2.3 Wytoczne branżowe .....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Budowlane.....	18
2.3.2 Wentylacja .....	18
2.3.3 Instalacje elektryczne, teletechniczne oraz elektroakustyczne .....	18
<b>3. Akustyka wewnątrz .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Wymagania.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Rozwiązania projektowane – sala audytoryjna.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Dobór i rozmieszczenie ustrojów akustycznych.....	20
3.2.2 Dobór foteli.....	21
3.2.3 Strojenie akustyczne .....	21
3.2.4 Analiza zaprojektowanego rozwiązania.....	21
3.2.5 Wyniki symulacji akustycznych.....	23

<b>3.3</b>	<b>Specyfikacja techniczna ustrojów akustycznych .....</b>	<b>28</b>
------------	--	-----------

## **1. Część ogólna**

### **1.1 Merytoryczna podstawa opracowania**

- [1] Podkłady architektoniczne,
- [2] PN-B-02151-2:1987 Akustyka Budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [3] PN-B-02151-3:2015 Akustyka Budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [4] PN-B-02151-4:2015 Akustyka Budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.
- [5] PN-EN ISO 717-1:2013-08E Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [6] ITB, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 448/2009 Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego, Warszawa 2009.
- [7] ITB, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 369/2002 Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów, Warszawa 2002.
- [8] Sadowski J., Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie, Arkady, 1971
- [9] Everest F. Alton, Podręcznik akustyki, Sonia Draga 2013,
- [10] Egan M. David, Architectural Acoustics, J. Ross Publishing Classics 2007,
- [11] W. Fasold, E. Sonntag, H. Winkler; Bau- und Raumakustik, Berlin 1987.

### **1.2 Zakres opracowania**

W zakres opracowania wchodzi wytyczne akustyczne dotyczące ochrony przed hałasem oraz akustyki wewnątrz Sali Dydaktyczno - Audytoryjnej na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej.

## 1.3 Definicje

### 1.3.1 Decybel (dB)

Stosunek dwóch wielkości wyrażony miarą logarytmiczną. Stosunek ciśnienia akustycznego percypowanego przez ucho ludzkie ma się jak 10000000 (najgłośniejsze dźwięki) do 1 (najcichsze dźwięki). Stosunek chwilowego ciśnienia dźwięku do najmniejszego percypowanego nazywany jest poziomem ciśnienia dźwięku ( $L_p$ ). Dla decybeli obowiązują prawa logarytmicznego dodawania i odejmowania.

### 1.3.2 dB(A)

Jednostka używana do określenia ważonego poziomu ciśnienia dźwięku, który lepiej koresponduje subiektywnemu postrzeganiu jego głośności. Ważenie krzywą A obrazuje percepcję układu słuchowego, który jest znacznie mniej wrażliwy na dźwięki o wysokich i niskich częstotliwościach, niż na te mieszczące się w zakresie 500Hz – 4kHz.

### 1.3.3 Izolacyjność akustyczna

$R_W$  – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej

$R_{A,1}$  – wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej,  $R$ , uwzględniający widmowy wskaźnik adaptacyjny  $C$ .

$$R_{A,1} = R_W + C [dB]$$

$C$  – widmowy wskaźnik adaptacyjny odnoszący się do widma hałasu nr 1 wg PN-EN ISO 717-1.

$R_{A,2}$  – wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej,  $R$ , uwzględniający widmowy wskaźnik adaptacyjny  $C_{tr}$ .

$$R_{A,1} = R_W + C [dB]$$

$C_{tr}$  – widmowy wskaźnik adaptacyjny odnoszący się do widma hałasu nr 2 wg PN-EN ISO 717-1.

$R_{A,1,R}$  – projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej,  $R$ , uwzględniającej widmowy wskaźnik adaptacyjny  $C$ .

$$R_{A,1,R} = R_{A,1} - 2 [dB]$$

### 1.3.4 Współczynnik pochłaniania

Współczynnik pochłaniania jest miarą zdolności powierzchni do pochłaniania fal dźwiękowych. Definiowany jest jako stosunek energii fali pochłoniętej do energii fali padającej na przegrodę.

$$\alpha = \frac{E1}{E2}$$

gdzie:

E1 - energia fali pochłoniętej,

E2 - energia fali padającej.

### 1.3.5 Czas pogłosu T

Czas pogłosu T (ang. Reverberation Time) jest jednym z podstawowych kryteriów oceny jakości sal przeznaczonych zarówno dla przedstawień słownych jak i występów muzycznych. Jest to czas, w którym energia dźwiękowa zawarta w stanie ustalonym w pomieszczeniu od kulistego źródła dźwięku zmaleje po wyłączeniu tego źródła o 60 dB. Dla każdego pomieszczenia, w zależności od funkcji, jak też od jego objętości, zalecane są optymalne przedziały wartości czasu pogłosu i jego optymalna charakterystyka częstotliwościowa.

$$T(f) = \frac{0,161V}{S * \alpha(f)}$$

gdzie:

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

S – powierzchnia ścian pomieszczenia,

$\alpha(f)$  - średni współczynnik pochłaniania w danym paśmie częstotliwości.

### 1.3.6 Przejrzystość C<sub>50</sub>

Przejrzystość opisuje subiektywnie odczuwaną zdolność do rozróżniania szczegółów odbieranego dźwięku, rozpoznawania poszczególnych głosów, odróżniania pojedynczych dźwięków. Matematycznie przejrzystość to stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w ciągu 50ms po dźwięku bezpośrednim do energii pozostałej części odpowiedzi impulsowej.

$$C_{50} = 10\log\left(\frac{\int_0^{0,05} p^2(t)dt}{\int_{0,05}^{\infty} p^2(t)dt}\right) [dB]$$

Gdzie:

p(t) – odpowiedź impulsowa w miejscu odbioru dźwięku

### 1.3.7 Wskaźnik transmisji mowy STI, RaSTI

Wskaźnikami oceny parametrów przydatności wnętrza dla celów słownych są współczynniki STI i RaSTI. Odzwierciedlają one w bezpośredni sposób zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Wyznacza się je najczęściej poprzez bezpośredni pomiar lub symulację funkcji przeniesienia wzorcowej modulacji przez pomieszczenie ( MTF – Modulation Transfer Function).

Współczynnik STI określa zrozumiałość mowy w pomieszczeniu i w zależności od jego wartości następuje ocena globalna pomieszczenia:

**Tabela 1.** Klasy jakości sal ze względu na współczynnik zrozumiałości mowy.

STI śr	< 0,30	0,30÷0,45	0,45÷0,60	0,60÷0,75	>0,75
Ocena	Zła	Słaba	Dostateczna	Dobra	Znakomita

RaSTI jest parametrem określającym zrozumiałość mowy na podstawie uproszczonej metody pomiarowej parametru STI.

## **2. Ochrona przeciwdźwiękowa**

### **2.1 Wymagania**

#### **2.1.1 Dopuszczalny poziom tła akustycznego**

Wymagania stawiane obiektowi są wypadkową założonych norm i standardów. Jako podstawę przyjęto wartości parametrów akustycznych zapewniające komfort akustyczny w obiekcie zgodnie z przeznaczeniem obiektu.

Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu instalacyjnego przenikającego do pomieszczeń chronionych dotyczy:

- Średniego poziomu dźwięku A dla hałasu ustalonego (hałas pochodzący od instalacji c.o., wentylacyjnej, stacji transformatorowej).
- Równoważnego i maksymalnego poziomu dźwięku A dla hałasu nieustalonego (hałas pochodzący od urządzeń dźwigowych, instalacji wodno-kanalizacyjnej ).

Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku A obowiązują przy następujących warunkach:

- Źródłem hałasu są instalacje nie regulowane i nie wyłączane z danego pomieszczenia.
- Źródłem hałasu nie są urządzenia będące wyposażeniem biura (np. komputery, drukarki itp.).
- Dopuszczalny poziom dźwięku A jest określony dla wnętrza pomieszczenia przy zamkniętych drzwiach i oknach, lecz przy zapewnieniu wymiany powietrza w pomieszczeniu zgodnie z wymaganiem określonym przez odrębne przepisy.
- Dopuszczalny poziom dźwięku A dotyczy pomieszczeń umeblowanych i wyposażonych zgodnie z ich przeznaczeniem.

Jeżeli pomieszczenia, dla których podano w tabelach dopuszczalne poziomy dźwięku tylko dla okresu dziennego są użytkowane również w nocy zgodnie ze swym przeznaczeniem, wówczas wymagania dla tych pomieszczeń należy traktować jako niezależne od pory doby przyjmując wartości jak dla dnia.

W Tabeli 2 przedstawiono dopuszczalny poziom dźwięku w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi wg normy PN-87/B-02151/02.



**Tabela 2.** Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi wg normy PN-B-02151-2:1987

Przeznaczenie pomieszczenia	Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A hałasu przenikającego od wszystkich źródeł hałasu łącznie		Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem			
	L <sub>A eq</sub> [dB]		L <sub>A eq</sub> [dB]		L <sub>A max</sub> [dB]	
	dzień	noc	dzień	noc	dzień	noc
Klasy i pracownie szkolne, sale wykładowe, audytoria	40	-	35	-	40	-

Poziom tła akustycznego w pomieszczeniach nie powinien przekraczać wartości określonych w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Dopuszczalne tło akustyczne w pomieszczeniach

Lp.	Nr pomieszczenia	Opis pomieszczenia	Dopuszczalne tło akustyczne	Dopuszczalny łączny hałas od systemu wentylacji, klimatyzacji oraz wyposażenia technicznego
1		Sala audytoryjna	40	35
2		Projektorownia	35	30

### 2.1.2 Izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych

Minimalne wymagania dotyczące parametrów przegród wewnętrznych w budynkach charakteryzuje norma PN-B-02151-3:2015 „Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.”

Izolacyjność przegród wewnętrznych od dźwięków powietrznych w budynkach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy przyjmować według Tabela 4.

W odniesieniu do wszystkich przegród, z wyjątkiem drzwi, wymagania dotyczą wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_{A,1}$  tj. wskaźnika izolacyjności uwzględniającej wpływ pośredniego, w tym bocznego przenoszenia dźwięku.

Izolacyjność akustyczna drzwi dotyczy projektowanego wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej,  $R_{A,1,R}$ , tj. wskaźnika izolacyjności od dźwięków powietrznych określonej na podstawie badań laboratoryjnych, zmniejszonego o 2 dB.

Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy przyjmować według Tabela 5.

Wymagania dotyczą ważonego wskaźnika przybliżonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego  $L'_{n,w}$  tj. poziomu uwzględniającego wpływ bocznego przenoszenia dźwięku.

**Tabela 4.** Wymagane wartości izolacyjności od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej wg PN-B-02151-3:2015

Lp.	Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika [dB]
1	2	3	4
I	Budynki szkół wyższych i placówek badawczych		
	Ściany i drzwi		
I.1	Ściany między salami wykładowymi, audytoriami, salami konferencyjnymi, pracowniami laboratoryjnymi bez urządzeń będących źródłem zakłóceń akustycznych, między tymi pomieszczeniami a czytelniami, między pokojami pracowników naukowych i dydaktycznych, między ww. pomieszczeniami i pomieszczeniami administracyjnymi	$R'_{A,1}$	$\geq 48$
I.2	Ściana i drzwi między pomieszczeniami wyszczególnionymi w VI.1 a obszarem komunikacji ogólnej (korytarze, hole, klatki schodowe)		
I.2.1	- ściana bez drzwi oraz część pełna ściany z drzwiami	$R'_{A,1}$	$\geq 48$
I.2.2	- drzwi	$R'_{A,1,R}$	$\geq 35$
I.3	Ściana między salami dydaktycznymi, wykładowymi, audytoriami i pokojami pracowników dydaktycznych a ogólnodostępnymi pomieszczeniami sanitarnymi	$R'_{A,1}$	$\geq 50$
I.4	Ściana między salami wyszczególnionymi w I.1 a pomieszczeniem ze źródłami hałasu (laboratoria, pomieszczenia techniczne)	$R'_{A,1}$	Określić indywidualnie <sup>a</sup> , przy zachowaniu warunku $\geq 55^b$
I.5	Ściany i drzwi między pomieszczeniami w części administracyjnej	-	wg VIII

	Stropy		
I.6	- strop między pomieszczeniami wyszczególnionymi w I.1 – w dowolnym układzie	$R'_{A,1}$	$\geq 50$
I.7	Strop między pomieszczeniami wyszczególnionymi w I.1 a pomieszczeniem ze źródłami Hałasy wyszczególnionymi w I.4	$R'_{A,1}$	Jak w I.4
I.8	Strop między pomieszczeniem administracyjnym oraz między pomieszczeniem administracyjnym a pomieszczeniem ze źródłami hałasy	$R'_{A,1}$	Wg VIII

<sup>a</sup> Przy indywidualnym określaniu wymagań należy uwzględnić przewidywane maksymalne poziomy hałasu w pomieszczeniu ze źródłami zakłóceń akustycznych.

<sup>b</sup> Równocześnie należy spełnić wymagania wg. PN-B-02151-02 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu.

<sup>c</sup> W przypadku małych punktów handlowych typu kiosk przyjmuje się wartość  $R'_{A1} \geq 53$  dB.

<sup>d</sup> Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń przy pomieszczeniach chronionych.

<sup>e</sup> Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.

<sup>f</sup> Przy indywidualnym ustalaniu wymagań należy uwzględnić rodzaj występujących zakłóceń (np. uderzenia o podłogę, skoki, przesuwanie przedmiotów lub częste przemieszczanie się ludzi).

<sup>g</sup> Zalecana jest większa wartość.

<sup>h</sup> Wymaganie odnosi się do źródeł hałasu występujących w ciągu dnia.

<sup>i</sup> Dopuszcza się przyjęcie niższych wymagań w przypadku, gdy z uwagi na inne względy użytkowe wymaganie wartości  $R'_{A1} \geq 40$  dB powodowałoby istotne trudności techniczne.

**Tabela 5.** Dopuszczalne poziomy dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej wg PN-B-02151-3:2015

Lp.	Wymaganie	Wskaźnik $L'_{n,w}$ [dB]
1	2	
I	Budynki szkół wyższych i placówek badawczych	
I.1	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między salami dydaktycznymi, wykładowymi, audytoriami i pokojami pracowników dydaktycznych	$\leq 58$
I.2	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń wyszczególnionych w I.1 z pomieszczeń o innym przeznaczeniu	
I.2.1	- z obszarów komunikacji ogólnej oraz z pomieszczeń administracyjnych	$\leq 58$
I.2.2	- z pomieszczeń ze źródłami zakłóceń akustycznych (laboratoria, pomieszczenia techniczne z urządzeniami instalacyjnego wyposażenia budynku	Określić indywidualnie <sup>a</sup> , przy zachowaniu warunku $\leq 48$ <sup>b</sup>
I.3	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń w części administracyjnej	Wg poz. VIII

<sup>a</sup> Przy indywidualnym określaniu wymagań należy uwzględnić przewidywane rodzaje źródeł zakłóceń akustycznych.

<sup>b</sup> Wymaganie dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu wg PN-B-02151-02 również powinno być spełnione.

<sup>c</sup> Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.

<sup>d</sup> Niezaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń przy pomieszczeniach chronionych

<sup>e</sup> Przy indywidualnym określaniu wymagań należy uwzględnić rodzaj występujących zakłóceń akustycznych.

<sup>f</sup> W szpitalach wymaganie należy zaostrzyć o 5 dB (tj.  $L'_{n,w} \leq 53$  dB) w przypadku przenoszenia dźwięków uderzeniowych z izby przyjęć, łącznie z poczekalnią, do pomieszczeń łóżkowych

<sup>g</sup> Wymaganie dotyczy źródeł zakłóceń akustycznych występujących w ciągu dnia.

Izolacyjność akustyczna została określona na podstawie norm oraz literatury (punkt 1.1 niniejszego opracowania). Tabela 6 przedstawia wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej  $R'_{A1}$  przegród między pomieszczeniami.

**Tabela 6.** Wymagana izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych

Lp.	Pomieszczenie 1	Pomieszczenie 2	$R'_{A1}$ [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]
1	Sala audytoryjna	Maszynownia wentylatorowa	$\geq 55$	-
2		Komunikacja	$\geq 48$	$\leq 58$
3		Toalety	$\geq 50$	-
4		Projektorownia	$\geq 50$	-
5		Pomieszczenia techniczne	$\geq 55$	$\leq 48$
6	Projektorownia	Komunikacja	$\geq 48$	$\leq 58$
7		Sala audytoryjna	$\geq 50$	-
8		Pomieszczenia techniczne	$\geq 55$	$\leq 48$

### 2.1.3 Izolacyjność akustyczna okien oraz drzwi

Poniższe tabele przedstawiają wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej drzwi oraz okien. Parametry zostały określone na podstawie punktu 2.1.2 oraz literatury specjalistycznej.

**Tabela 7.** Wymagana izolacyjność akustyczna drzwi zewnętrznych

Lp.	Pomieszczenie 1	$R_{A,1,R}$ [dB]
1	Sala audytoryjna	$\geq 40$

**Tabela 8.** Wymagana izolacyjność akustyczna drzwi wewnętrznych

Lp.	Pomieszczenie 1	Pomieszczenie 2	$R_{A,1,R}$ [dB]
1	Sala audytoryjna	Komunikacja	$\geq 35$
2	Projektorownia	Komunikacja	$\geq 35$
3	Maszynownia wentylatorowa	Komunikacja	$\geq 30$

W przypadku par drzwi wymogi dotyczą każdej sztuki z pary.

Dopuszcza się wyłącznie oferty od dostawców deklarujących obniżenie parametru na obiekcie o maksymalnie 2 dB w stosunku do poziomu określonego w laboratorium. Dostawcy posiadający wiedzę o większym obniżeniu parametru po zamontowaniu na obiekcie powinni zaoferować wyrób o wyższych parametrach akustycznych.

**Tabela 9.** Wymagana izolacyjność akustyczna okien wewnętrznych

Lp.	Pomieszczenie 1	Pomieszczenie 2	$R_{A,1}$ [dB]
1	Sala audytoryjna	Projektorownia	$\geq 35$

W przypadku par okien wymogi dotyczą każdej sztuki z pary.

Wskazane wartości izolacyjności akustycznej dotyczą całych okien (razem z ramą okienną, okuciem, oszkleniem itp.).

Nie dopuszcza się ofert od dostawców przedstawiających deklaracje tylko dla szklenia, gdyż nie są w niej uwzględnione wpływy ramy i okucia na parametr wyrobu budowlanego, jakim jest okno jako całość.

Dopuszcza się wyłącznie oferty od dostawców deklarujących obniżenie parametru na obiekcie o maksymalnie 2 dB w stosunku do poziomu określonego w laboratorium. Dostawcy posiadający wiedzę o większym obniżeniu parametru po zamontowaniu na obiekcie powinni zaoferować wyrób o wyższych parametrach akustycznych.

### 2.1.4 Wymagany czas pogłosu i wskaźnik zrozumiałości mowy

Norma PN-B-02151-4 określa wymagania dotyczące:

- Warunków pogłosowych w pomieszczeniach budynków zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, wyrażone za pomocą maksymalnego czasu pogłosu T lub minimalnej chłonności akustycznej A oraz
- Wymagania dotyczące zrozumiałości mowy w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji słownej, wyrażone za pomocą wskaźnika transmisji mowy STI.

Wymagania dotyczące czasu pogłosu T oraz wskaźnika transmisji mowy STI w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji słownej podano w Tabeli 10. Wymagania dotyczą pomieszczeń wykończonych, umeblowanych w sposób typowy dla przeznaczenia, bez obecności ludzi.

Podane w Tabeli 10 wymagania dotyczące czasu pogłosu T dla sal audytoryjnych należy spełnić, uwzględniając poniższe warunki:

- Wartości czasu pogłosu T w pomieszczeniu odnoszą się do każdego oktawowego pasma o środkowej częstotliwości  $f$  wynoszącej 250 Hz; 500 Hz; 1000 Hz; 2000 Hz; 4000 Hz i 8000 Hz.
- W paśmie o środkowej częstotliwości  $f = 125$  Hz wartość czasu pogłosu T może być do 30 % większa od wartości podanej w Tabeli 10 dla danego pomieszczenia.

**Tabela 10.** Czas pogłosu T i wskaźnik transmisji mowy STI w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji słownej

Lp.	Pomieszczenie		Wymaganie	
	Rodzaj pomieszczenia	Kubatura pomieszczenia V [m <sup>3</sup> ] lub wysokość maksymalna pomieszczenia	Czas pogłosu T [s]	Wskaźnik transmisji mowy STI
1.1	Sale rozpraw sądowych, sale konferencyjne, audytorium i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu	$\leq 500 \text{ m}^3$	$\leq 0,8$	$\geq 0,60$
1.2		Od 500 do 2000 m <sup>3</sup>	$\leq 1,0$	
1.3		$> 2000 \text{ m}^3$	Określić indywidualnie	Określić indywidualnie

Chłonność akustyczna, A, pomieszczenia powinna spełniać wymagania podane w Tabeli 11.

**Tabela 11.** Chłonność akustyczna, A, jako krotność powierzchni, S, rzutu pomieszczenia

Lp.	Rodzaj pomieszczenia	Chłonność akustyczna, A, pomieszczenia [m <sup>2</sup> ]
1	Korytarze w przedszkolach, szkołach podstawowych, gimnazjach i szkołach ponadgimnazjalnych	$\geq 1,0 \times S$
2	Klatki schodowe w przedszkolach, szkołach, obiektach służby zdrowia i administracji publicznej	$\geq 0,4 \times S$

Wartości te dotyczą:

- Każdego z pasm oktaowych o środkowej częstotliwości,  $f$ , wynoszącej 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz,
- Pomieszczeń wykończonych, lecz nieumeblowanych,
- Pomieszczeń o wysokości w świetle wykończenia do 4 metrów.

Chłonność akustyczną,  $A$ , pomieszczeń wymienionych w Tabeli 11, o wysokości w świetle wykończenia przekraczającej 4m, należy określić indywidualnie zwiększając ją w stosunku do podanych wymagań, ze względu na zwiększenie kubatury pomieszczenia.

## 2.2 Rozwiązania projektowe

### 2.2.1 Izolacyjność akustyczna ścian

Do wyznaczenia wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej,  $R'_{A1}$ , oparto się na parametrach projektowego wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej,  $R_{A1R}$ , określonych na podstawie danych ITB, raportów z badań oraz kart katalogowych producentów. Wartość poprawki K do obliczenia wskaźnika  $R'_{A1}$  przyjęto  $K = 2$  dB.

Przykładowe rozwiązania spełniające wymagania postawione w Tabeli 6 parametry zostały przedstawione w Tabeli 12.

**Tabela 12.** Przykładowe rozwiązania ścian spełniające wymaganą izolacyjność akustyczną

Lp.	Wymagana izolacyjność ( $R'_{A1}$ [dB])	Rodzaj / typ ściany
2	48	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ściana żelbetowa pełna, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m<sup>3</sup> o grubości <math>\geq 12</math>cm,</li><li>• Ścianka z bloczków silikatowych o gr. min. 24 cm, spoiny pionowe wypełnione zaprawą, otynkowana obustronnie tynkiem cementowo-wapiennym (grubość min. 12mm),</li><li>• Ścianka z bloczków silikatowych o gr. min. 18 cm o gęstości <math>\rho \geq 1800</math> kg/m<sup>3</sup>, spoiny pionowe wypełnione zaprawą, otynkowana obustronnie,</li><li>• Ścianka z pustaków ceramiczny o gr. min. 25 cm, pióro- wpust, otynkowana obustronnie tynkiem cementowo-wapiennym (grubość min. 15 mm)</li></ul>
3	50	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ściana żelbetowa pełna, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m<sup>3</sup> o grubości <math>\geq 14</math>cm</li><li>• Ścianka z bloczków silikatowych o gr. min. 24 cm, spoiny pionowe wypełnione zaprawą, otynkowana obustronnie tynkiem cementowo-wapiennym (grubość min. 12mm),</li></ul>
4	55	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ściana żelbetowa pełna, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m<sup>3</sup> o grubości <math>\geq 20</math>cm,</li><li>• Ścianka z bloczków silikatowych o gr. min. 25 cm o gęstości <math>\rho \geq 2000</math> kg/m<sup>3</sup>, spoiny pionowe wypełnione zaprawą, otynkowana obustronnie tynkiem cementowo-wapiennym (grubość min. 12mm),</li></ul>

### 2.2.2 Izolacyjność akustyczna stropów

Do wyznaczenia wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej,  $R'_{A1}$ , oparto się na parametrach projektowego wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej,  $R_{A1R}$ , określonych na podstawie danych ITB, raportów z badań oraz kart katalogowych producentów. Wartość poprawki K do obliczenia wskaźnika  $R'_{A1}$  przyjęto  $K = 2$  dB.

Przykładowe rozwiązania spełniające wymogi postawione w 2.1.2 zostały przedstawione w Tabeli 13.

**Tabela 13.** Przykładowe rozwiązania stropów spełniające wymaganą izolacyjność akustyczną

Lp.	Wymagana izolacyjność ( $R'_{A1}$ [dB])	Rodzaj / typ ściany
-----	---	---------------------



1	$\geq 48$	Strop żelbetowy pełny, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m <sup>3</sup> o grubości $\geq$ 12cm
2	$\geq 50$	Strop żelbetowy pełny, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m <sup>3</sup> o grubości $\geq$ 14cm
3	$\geq 55$	Strop żelbetowy pełny, gęstość objętościowa min. 2400 kg/m <sup>3</sup> o grubości $\geq$ 20cm

## **2.3 Wytyczne branżowe**

### **2.3.1 Budowlane**

- Wszelkie przegrody, szczególnie w technologii suchej zabudowy, należy wykonywać od stropu do stropu ze szczelnym wypełnieniem pustych przestrzeni.
- Wszelkie otwory po szalunkach należy uzupełnić zaprawą.
- Wszelkie łączenia przegród należy całkowicie wypełnić zaprawą (szczególnie w spoinach pionowych). W systemach murowanych z elementów zazębiających się i bez konieczności wypełniania zaprawą styków pionowych należy bezwzględnie zachować określone przez producenta maksymalne szerokości odstępów pionowych.
- Płytki na biegach schodowych, spocznikach i korytarzach wspólnych kleić za pomocą kleju elastycznego eliminującego propagację dźwięków materiałowych

### **2.3.2 Wentylacja**

- Należy zastosować odpowiednie tłumiki oraz kanały tłumiące tak, aby spełnić wymogi dotyczące tła akustycznego w pomieszczeniach oraz zredukować ewentualne przesłuchy, mające wpływ na izolacyjność akustyczną, między pomieszczeniami chronionymi akustycznie,
- Wszelkie instalacje systemów wentylacyjnych, klimatyzacyjnych, grzewczych, hydraulicznych należy instalować przy pomocy uchwytów i wieszaków zawierających zabezpieczenia antywibracyjne,
- Wszelkie urządzenia systemów wentylacyjnych, klimatyzacyjnych, grzewczych, hydraulicznych należy montować z wykorzystaniem systemów wibroizolacyjnych oraz konsultować ich dobór oraz lokalizację z projektantem akustyki,
- Zalecane jest stosowanie kanałów wentylacyjnych wyłożonych od wewnątrz warstwą materiału pochłaniającego dźwięk (np. wełna mineralna zabezpieczona flizeliną),
- W okolicach przejść przez przegrody sal chronionych akustycznie należy unikać stosowania kanałów wentylacyjnych miękkich oraz wykonanych ze sprasowanej wełny mineralnej. Rozwiązania z zastosowaniem tych systemów powinny być skonsultowane z akustykiem,
- Należy unikać prowadzenia instalacji tranzytowo przez pomieszczenia chronione akustycznie,
- Należy unikać prowadzenia instalacji nad pomieszczeniami nieobsługiwanymi przez dane instalacje,
- Wszelkie przejścia instalacyjne przez przegrody powinny być zabezpieczone akustycznie zgodnie z rysunkami PA1 oraz PA2,

### **2.3.3 Instalacje elektryczne, teletechniczne oraz elektroakustyczne**

- Okablowanie należy prowadzić wewnątrz pomieszczenia minimalizując otworowanie przegród,
- Wszelkie przejścia instalacyjne przez przegrody powinny być zabezpieczone akustycznie zgodnie z rysunkami PA1 oraz PA2,
- W obszarze sali widowiskowej, pomieszczenia realizatorów, sal prób okablowanie należy instalować natynkowo. W przypadku konieczności stosowania bruzd nie mogą być one głębsze niż 10% grubości danej ściany,
- W obszarze sali teatralnej, pomieszczenia realizatorów, sal prób wszelkie przyłącza powinny być wykonywane natynkowo,
- W obszarze sali widowiskowej, pomieszczeniach realizatorów niedopuszczalne jest lokalizowanie regulatorów oświetlenia, transformatorów oświetleniowych, przełączników,

### 3. Akustyka wewnątrz

#### 3.1 Wymagania

Sala audytoryjna o kubaturze 0000 m<sup>3</sup>, zgodnie z normą PN-B-02151-4 (punkt 2.1.4 niniejszego opracowania), powinna charakteryzować się czasem pogłosu (T) krótszym niż 1,0 s bez obecności ludzi. Ponadto, z uwagi na funkcję związaną z komunikacją słowną wskaźnik transmisji mowy, STI, powinien wynosić minimum 0,6 a parametr przejrzystości dźwięku dla sygnałów mowy, C<sub>50</sub>, powinien być większy niż 0 dB.

Tabela 14 przedstawia zestawienie wymagań dotyczących parametrów akustycznych wewnątrz analizowanych pomieszczeń.

**Tabela 14.** Zalecane wartości parametrów akustycznych wewnątrz pomieszczeń analizowanych

Lp.	Pomieszczenia	Parametr	Wartość zalecana
1	Sala audytoryjna	Czas pogłosu T	≤ 1,0 s
2		STI	≥ 0,6
3		C <sub>50</sub>	≥ 0
4		Rozkład poziomego ciśnienia akustycznego	± 3 dB

#### 3.2 Rozwiązania projektowane – sala audytoryjna

##### 3.2.1 Dobór i rozmieszczenie ustrojów akustycznych

Na podstawie analiz oraz symulacji akustycznych dobrano i ustalono rozmieszczenie ustrojów akustycznych zapewniających spełnienie warunków określonych w punkcie 3.1. **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..** W sali projektuje się:

- 283 m<sup>2</sup> P1 na ścianach bocznych oraz przedniej (za mówcą),
- 45,2 m<sup>2</sup> PERF1 na ścianach bocznych,
- 33,1 m<sup>2</sup> PERF2 na ścianie tylnej (za widownią).

Przedstawione metraże są wartościami szacunkowymi.

Na ścianach bocznych widowni ustroje akustyczne powinny być instalowane pod kątem (odchylnie od strony tylnej ściany), co zredukuje możliwość powstawania niekorzystnych zjawisk między dwoma równoległymi powierzchniami – echo trzepoczące. Ponadto układ taki zapewni lepsze rozprzaskanie dźwięku na widowni.

Sufit należy wykonać w formie płyt GKB 12,5 mm. Nad nimi powinno znajdować się 10cm wełny mineralnej (gęstość: 50-70 kg/m<sup>3</sup>). Jego odpowiednio dobrany kształt nad podestem pozwala rozprzaskać wczesne odbite dźwięki w stronę widowni zwiększając zrozumiałość mowy.

Specyfikacja techniczna ustrojów akustycznych przedstawiona punkcie 3.3.

Graficzne rozmieszczenie ustrojów w dalszej części projektu

### 3.2.2 Dobór foteli

W Tabeli 15 określono optymalne parametry pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku jakimi powinien cechować się fotel bez publiczności.

**Tabela 15.** Optymalne pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku foteli bez publiczności

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$	0,10	0,35	0,55	0,55	0,55	0,55

Tolerancja dla powyżej przyjętego współczynnika to +/- 0,5.

Ewentualna zmiana parametrów pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku foteli jest dopuszczalna po etapie strojenia akustycznego sali.

### 3.2.3 Strojenie akustyczne

Wykonując pomieszczenie należy uwzględnić etap strojenia sali w celu zoptymalizowania parametrów akustycznych opisujących wnętrze pomieszczenia. Jest to niezbędne z uwagi weryfikację prac budowlanych oraz niedoskonałości metod predykcyjnych. Celem strojenia akustycznego jest określenie ewentualnej zmiany konstrukcji foteli lub ustrojów akustycznych tak, aby w efekcie ich zastosowania uzyskać zgodny z wytycznymi czas pogłosu w funkcji częstotliwości w pomieszczeniu.

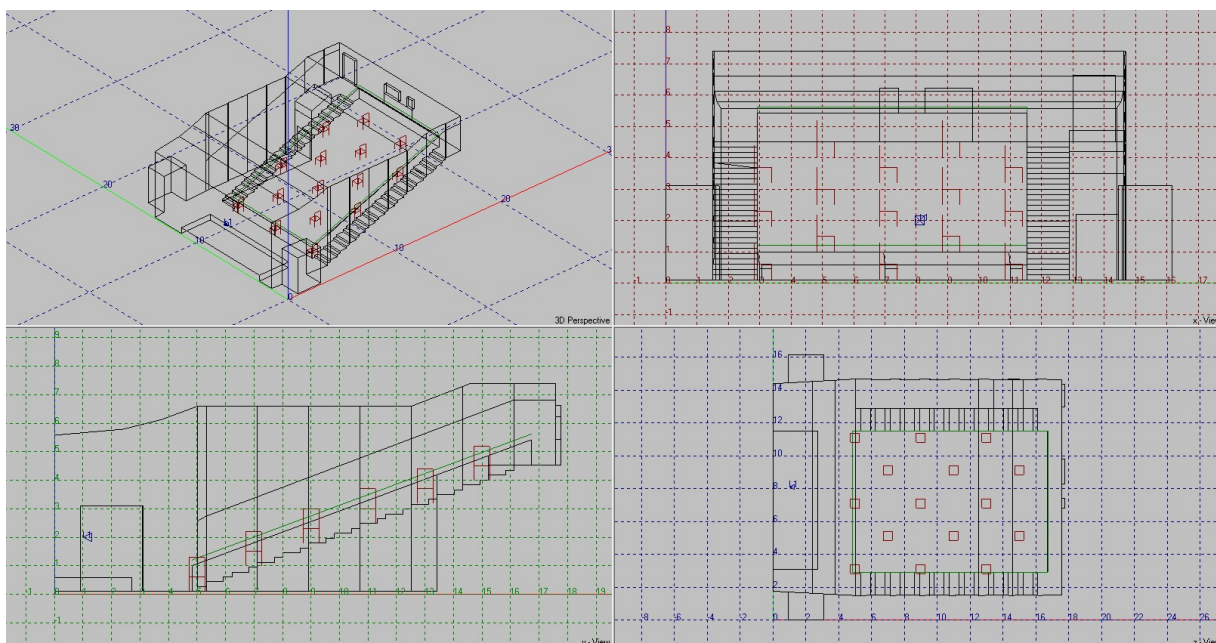
W ramach strojenia akustycznego należy wyznaczyć charakterystykę czasu pogłosu pomieszczenia w zakresie 125 Hz ÷ 8000 Hz. Pomiary należy wykonać w sali wykończonej oraz wyposażonej bez zainstalowanych foteli.

Wyniki pomiarów akustycznych należy przedstawić projektantowi projektu akustyki.

### 3.2.4 Analiza zaprojektowanego rozwiązania

Symulacje akustyczne przeprowadzono w programie EASE 4.3. Opracowano numeryczny model sali, odzwierciedlający bryłę pomieszczenia z opisanymi parametrycznie materiałami dźwiękochłonnymi zaprojektowanymi we wnętrzu. Kubatura opracowanego modelu to 1034 m<sup>3</sup>, powierzchnia efektywna to: 870 m<sup>2</sup>.

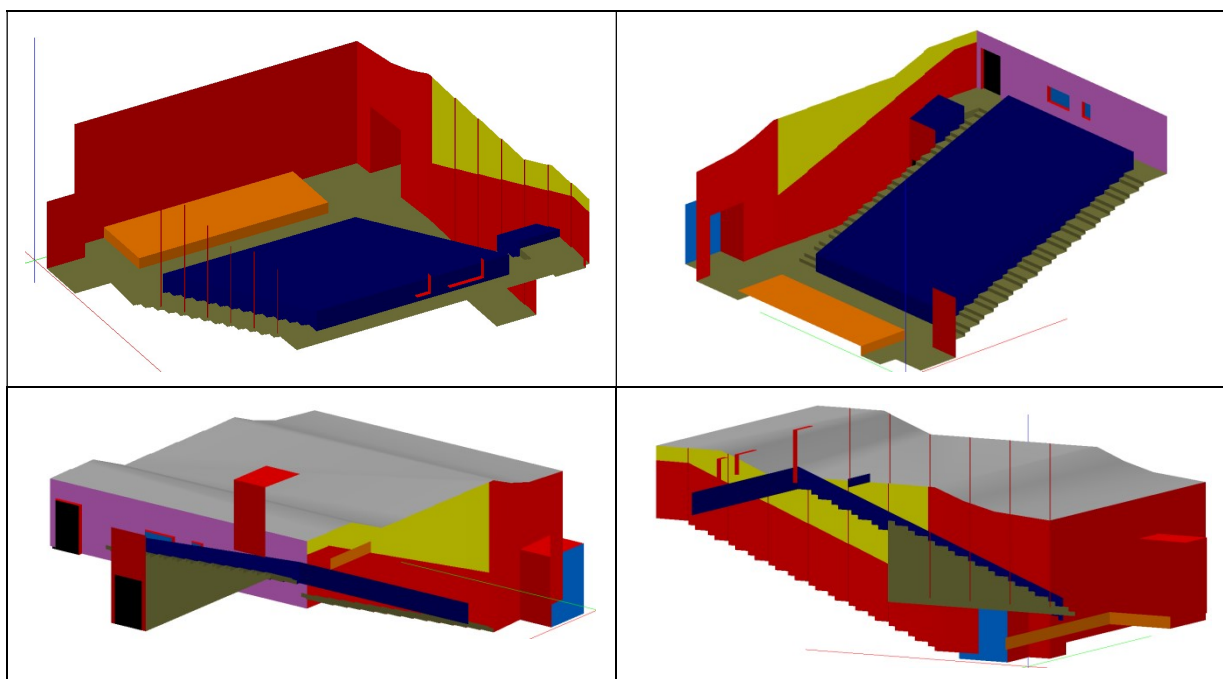
Rysunek 1 przedstawia model sali przyjęty do symulacji wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi oraz źródłem dźwięku.



**Rysunek 1.** Geometria modelu numerycznego sali

Rozmieszczenie materiałów wykończeniowych w badanej sali przyjęto zgodnie z projektem akustyki oraz architektury.

Pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów wykończeniowych dobrane zostały na podstawie biblioteki programu Ease 4.3, kart katalogowych producentów oraz literatury specjalistycznej. przedstawia pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku oraz powierzchnie przyjętych do symulacji materiałów.



**Rysunek 2.** Graficzne rozmieszczenie materiałów w sali.

**Tabela 16.** Pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku przyjętych do symulacji materiałów

Materiał	Kolor	S [m <sup>2</sup> ]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sufit GKB		173,1	0,25	0,10	0,05	0,04	0,07	0,07
P1		283,3	0,30	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05
Fotele, bez widza		149,8	0,10	0,36	0,54	0,53	0,52	0,56
Parkiet drewniany		134,8	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
PERF1 (50)		45,2	0,30	0,70	0,95	0,95	0,90	0,90
Podest drewniany		29,7	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
PERF2 (200)		33,1	0,75	0,85	0,85	0,90	0,95	0,95
Okno		14,8	0,25	0,10	0,07	0,06	0,04	0,02
Drzwi pełne		5,7	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07

### 3.2.5 Wyniki symulacji akustycznych

Symulacja akustyczna została przeprowadzona metodą statystyczną oraz geometryczną opartą na śledzeniu promieni. Analiza warunków akustycznych projektu została dokonana dla pasma 125 Hz do 4000 Hz. Jako źródło dźwięku przyjęto źródło wszechkierunkowe na wysokości 1,5 m na posadzką zlokalizowane na scenie. Na widowni równomiernie rozłożono 15 punktów pomiarowych, w których wyznaczono odpowiedź impulsową pomieszczenia. Analizę przeprowadzono dla sali bez okotowania. Następnie, na podstawie otrzymanych wyników obliczono średnie parametry akustyczne przedstawione na poniższych rysunkach oraz tabeli.

Ustawienia symulacji:

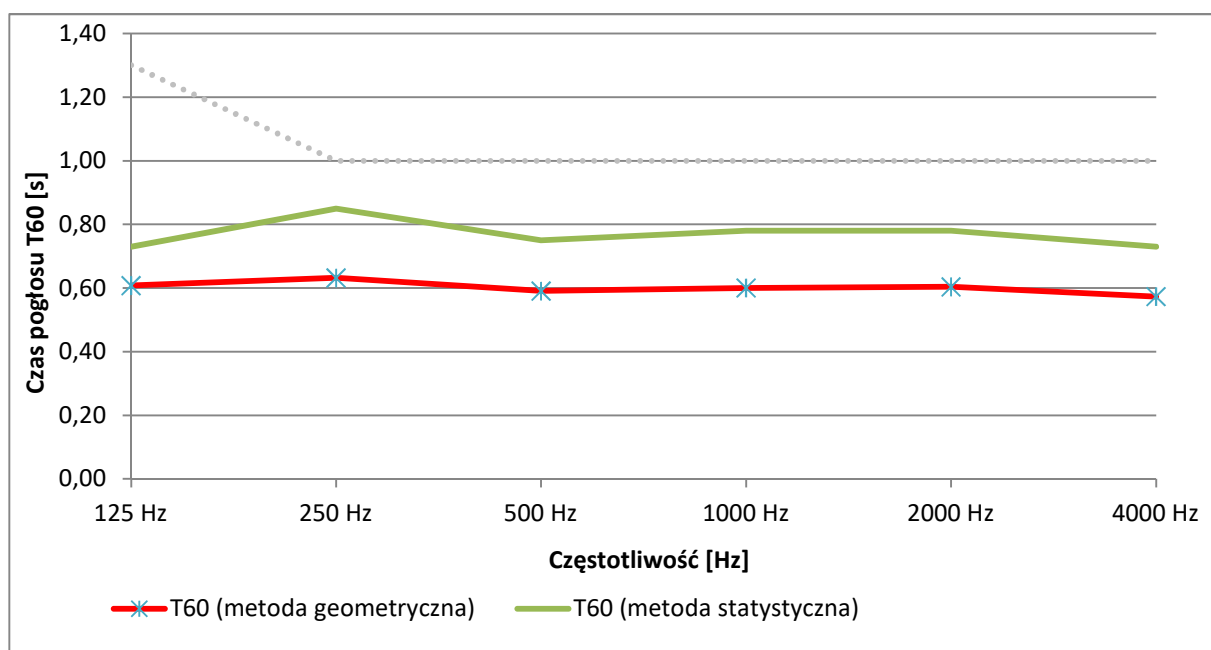
Liczba promieni: 500000,

Czas śledzenia promienia: 1000 ms,

Liczba śledzonych odbić: 30.

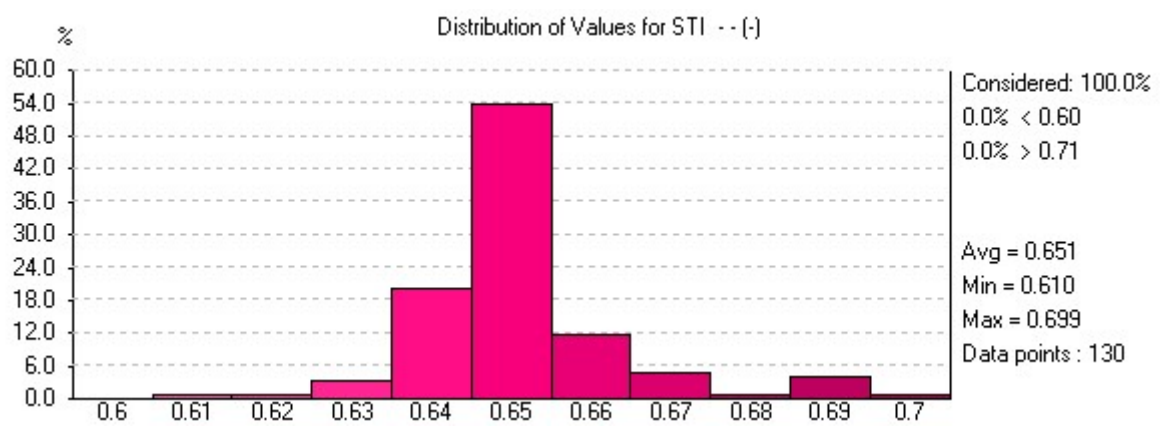
**Tabela 17.** Średnie wartości wyników symulacji

Lp.	Pomieszczenia	Parametr	Wartość średnia
1	Sala widowiskowa	Czas pogłosu T60 (250+4000 Hz) – met. stat.	0,79 s.
2		Czas pogłosu T60 (250+4000 Hz) – met. geom.	0,61 s.
3		Współczynnik transmisji mowy STI	0,651
4		Przejrzystość dźwięku C50	3,01 dB
5		Rozkład poziomego ciśnienia akustycznego	± 3 dB

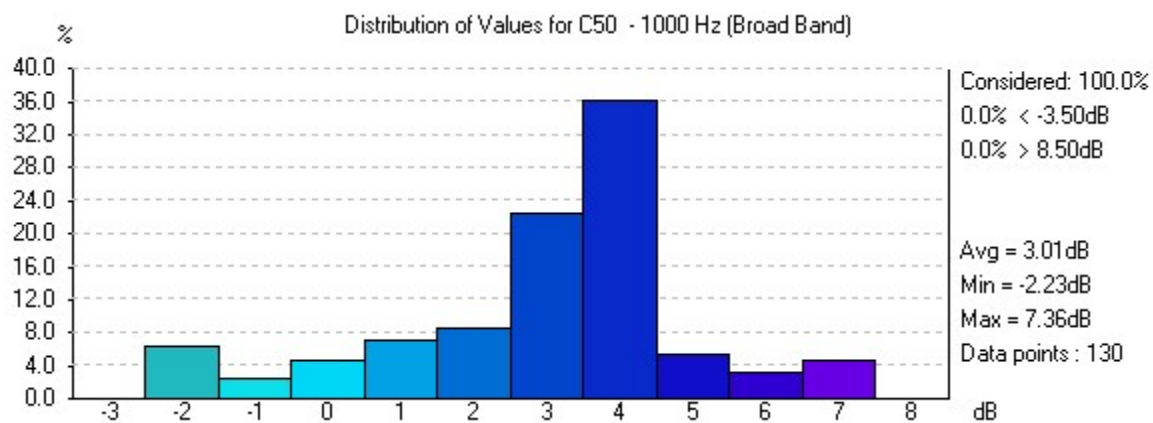


**Rysunek 3.** Czas pogłosu w funkcji częstotliwości

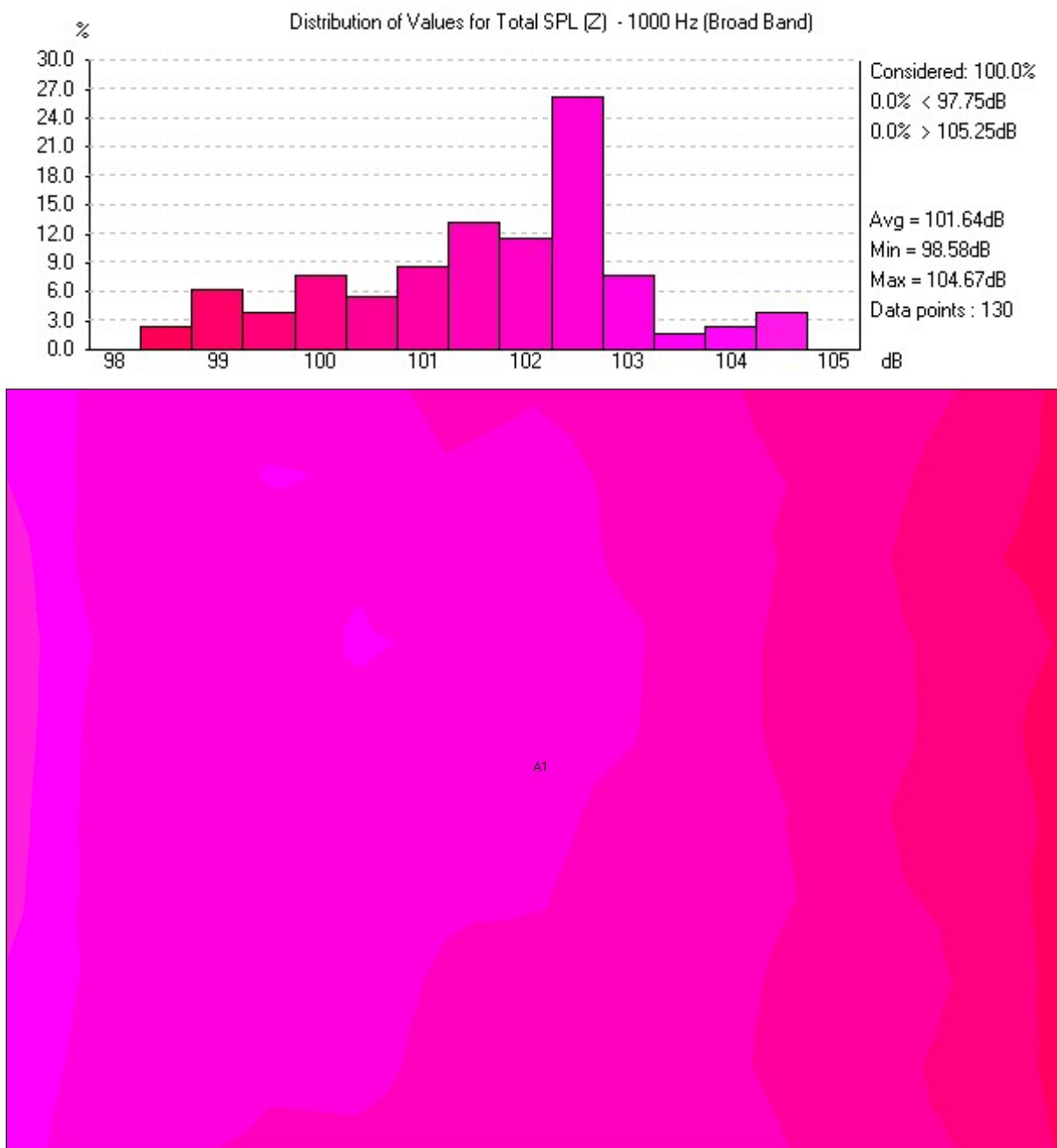




**Rysunek 4.** Dystrybucja oraz rozkład parametru STI na widowni, scena z lewej strony rysunku



**Rysunek 5.** Dystrybucja oraz rozkład parametru przejrzystości dźwięku C50, scena z lewej strony rysunku



**Rysunek 6.** Dystrybucja oraz rozkład parametru całkowitej poziomej dźwięku, scena z lewej strony rysunku

### 3.3 Specyfikacja techniczna ustrojów akustycznych

Użyte w dokumentach nazwy materiałów i urządzeń lub jakichkolwiek wyrobów czy produktów służą jedynie określeniu pożądanego standardu wykonania i określenia właściwości oraz wymogów techniczno - użytkowych założonych w dokumentacji technicznej dla danego typu rozwiązań. Za równoważne Zamawiający uzna takie, które charakteryzują się właściwościami funkcjonalnymi i jakościowymi takimi samymi lub zbliżonymi do tych, które zostały określone, lecz oznaczone innym znakiem towarowym, patentem lub pochodzeniem.

**Tabela 18.** Specyfikacja techniczna ustrojów akustycznych

Lp.	Element	Opis
1	P1	Ustrój akustyczny rezonansowy na bazie płyty MDF 12mm w dystansie 100mm od przegrody masywnej, z wypełnieniem wełną mineralną 100 mm o gęstości 40-60 kg/m <sup>3</sup> . Podkonstrukcja drewniana lub stalowa.
2	PERF1	Ustrój akustyczny perforowany na bazie płyty MDF o grubości 16 mm. Detal na rysunku PERF1.
2	PERF2	Ustrój akustyczny perforowany na bazie płyty MDF o grubości 16 mm. Detal na rysunku PERF2.

Wszystkie elementy muszą spełniać wymogi przeciwpożarowe.

Kolorystyka i wykończenie powinna zostać uzgodniona z projektantem architektury.

Każda zmiana materiałowa musi być konsultowana i zatwierdzona przez projektanta akustyki.