
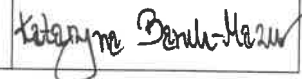


OPERAT AKUSTYCZNY

Teatr Miejski w Świdnicy

Autorzy:	dr inż. Krzysztof Brawata	
	dr inż. Katarzyna Baruch-Mazur	

Styczeń 2022

Spis treści

1	Cel i zakres opracowania.....	3
2	Definicje.....	3
3	Ochrona przeciwhałasowa.....	5
4	Pomiary parametrów akustycznych wnętrza	6
5	Adaptacja akustyczna.....	9
5.1	Sala Teatralna	9
5.1.1	Ogólna charakterystyka sali.....	9
5.1.2	Wymagania akustyczne	9
5.1.3	Adaptacja akustyczna	10
5.1.4	Wyniki symulacji obliczeniowej.....	13
6	Pozostałe przestrzenie	15
7	Podsumowanie.....	15
8	Zestawienie materiałów.....	16
9	Bibliografia	22

1 Cel i zakres opracowania

Zakres prac obejmował przeprowadzenie pomiarów i oceny obecnych warunków akustycznych dla Sali Teatralnej zlokalizowanej w budynku Teatru Miejskiego w Świdnicy, Rynek 43, 58-100 Świdnica oraz przygotowanie opracowania z zakresu adaptacji akustycznej tego wnętrza.

Zakres prac obejmował:

- przeprowadzenie pomiarów i oceny dotychczasowych warunków akustycznych Sali Teatralnej,
- określenie zestawu parametrów akustycznych oraz podanie ich zakładanych wartości wynikających z funkcji i kubatury zgodnie z zaleceniami literaturowymi,
- przedstawienie układu materiałów i ustrojów akustycznych w projektowanym wnętrzu,
- podanie informacji o parametrach akustycznych proponowanych materiałów i ustrojów akustycznych,
- zawarcie wyników obliczeń wartości parametrów akustycznych.

2 Definicje

Czas pogłosu T – czas zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60 dB po wyłączeniu źródła dźwięku wyrażony w sekundach. Jest wyznaczany z krzywej zaniku na podstawie nachylenia prostej regresji liniowej uzyskanej metodą najmniejszych kwadratów w zakresie od 5 dB do 25 dB (T_{20}) poniżej poziomu początkowego (PN-EN ISO 3382-1, 2009)

$$T_{20} = 3 \cdot (t_{-25\text{dB}} - t_{-5\text{dB}}) [\text{s}]$$

Czas wczesnego zaniku (EDT) – sześciokrotna wartość czasu, w którym następuje spadek poziomu dźwięku o 10 dB po wyłączeniu źródła sygnału stacjonarnego, wartość wyrażona w sekundach (PN-EN ISO 3382-1, 2009)

$$\text{EDT} = 6 \cdot (t_{-10\text{dB}} - t_{0\text{dB}}) [\text{s}]$$

Klarowność dźwięku C_t (ang. *Clarity*) – liczbowo określana jest jako stosunek energii docierającej do słuchacza w ciągu czasu t po dźwięku bezpośrednim, do energii pozostałej części odpowiedzi impulsowej (PN-EN ISO 3382-1, 2009)

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

gdzie:

$t_e = 7 \text{ ms}, 50 \text{ ms}$ lub 80 ms ,

$p(t)$ – ciśnienie akustyczne odpowiedzi impulsowej w miejscu odbioru.

Siła dźwięku G (ang. *Strength Index*) – miara przyrostu głośności, z jaką jest słyszane dane źródło dźwięku w pomieszczeniu, w porównaniu z głośnością w polu swobodnym w odległości 10 m od źródła (PN-EN ISO 3382-1, 2009)

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

gdzie:

$p(t)$ – ciśnienie akustyczne odpowiedzi impulsowej w miejscu odbioru w pomieszczeniu,

$p_{10}(t)$ - ciśnienie akustyczne odpowiedzi impulsowej w polu swobodnym w odległości 10 m od źródła.

W licznych publikacjach dotyczących balansu pomiędzy sceną a orkiestronem można spotkać różne ich definicje. W niniejszym dokumencie zdefiniowano balans siły dźwięku G jako:

$$\Delta G_{\text{mid}} = G_{\text{mid}(S1)} - G_{\text{mid}(S2)} \text{ [dB]}$$

gdzie:

$G_{\text{mid}(S)}$ – wartość średnia z oktaw o częstotliwości środkowej 500 Hz i 1000 Hz siły dźwięku G dla źródła dźwięku umieszczonego na scenie w pozycji $S1$ lub $S2$.

Wskaźnik transmisji mowy STI (Speech Transmission Index) – parametr określający zrozumiałość mowy. Zależność pomiędzy zrozumiałością mowy a parametrem STI została podana w tabeli poniżej.

Tabela 1 Ocena zrozumiałości mowy na podstawie wskaźnika STI

STI	Zrozumiałość mowy
> 0,75	bardzo dobra
0,60 – 0,75	dobra
0,45 – 0,59	dostateczna
0,30 – 0,44	słaba
< 0,3	niedostateczna

Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych w_g (PN-EN 717-1, 2013) – określana wartością wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ i $R'_{A,2}$ obliczona zgodnie ze wzorem (1) i (4) lub określana wskaźnikiem oceny izolacyjności akustycznej właściwej obliczanym zgodnie ze wzorem (2) i (5):

$$R'_{A,1} = R_w + C - 2 - K_a \text{ [dB]} \quad (1)$$

$$R_{A,1} = R_w + C \text{ [dB]} \quad (2)$$

$$R_{A,1,R} = R_w + C - 2 \text{ [dB]} \quad (3)$$

$$R'_{A,2} = R_w + C_{tr} - 2 - K_a \text{ [dB]} \quad (4)$$

$$R_{A,2} = R_w + C_{tr} \text{ [dB]} \quad (5)$$

gdzie:

R_w – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej,

C, C_{tr} – widmowy wskaźnik adaptacyjny,

K_a – wpływ bocznego przenoszenia dźwięku na wartość wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej przegrody rozdzielającej dane pomieszczenia w budynku,

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

$D_{nT,A,1}$ – wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów – należy stosować gdy powierzchnia przegrody, wspólna w obu pomieszczeniach, S , jest mniejsza niż 10 m^2 (PN-B-02151-3, 2015)

Krzywe NR (ang. Noise Rating) – Krzywe wyznaczające dopuszczalne wartości poziomów hałasu. Są określone zgodnie z wymogami normy (PN-ISO 1996-1:2006, 2006) w pasmach oktawowych w zakresie od 63 Hz do 8000 Hz. Wartości dla wybranej krzywej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2 Wartości dla wybranych krzywych NR

Krzywa NR	Pasma oktawowe [Hz]							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
	Poziom ciśnienia akustycznego [dB]							
NR20 [dB]	51,3	39,4	30,6	24,3	20,0	16,8	14,4	12,6

3 Ochrona przeciwhałasowa

Ze względu na ograniczony zakres obszaru prowadzonych prac wydano wymagania lub rozwiązania materiałowe dla wybranych przegród budowlanych.

- Podłogi – należy zastosować wykładziny obiektowe antystatyczne o przyroście izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych nie mniejszym niż 25 dB.
- Drzwi i okna zewnętrzne sali – minimalne wartości izolacyjności akustycznej podano w poniższej tabeli.

Tabela 3 Zestawienie wymaganych wartości izolacyjności akustycznej drzwi w remontowanym obiekcie

Lp.	Oznaczenie	Wymagana izolacyjność akustyczna drzwi
1	Drzwi wewnętrzne	$R_{A,1} \geq 40 \text{ dB}$
2	Okna zewnętrzne ze sceny	$R_{A,2} \geq 35 \text{ dB}$

W poniższej tabeli przedstawiono wartości poziomu tła akustycznego dla Sali Teatralnej.

Tabela 4 Maksymalne wartości poziomów tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych

Lp.	Nazwa pomieszczenia	Wymaganie
1	Sala teatralna	Całkowity poziom dźwięku pochodzący od urządzeń wyposażenia technicznego nie powinien przekraczać krzywej NR20.

4 Pomiary parametrów akustycznych wnętrza

Tabela 5 Opis warunków pomiarowych – Sala Teatralna.

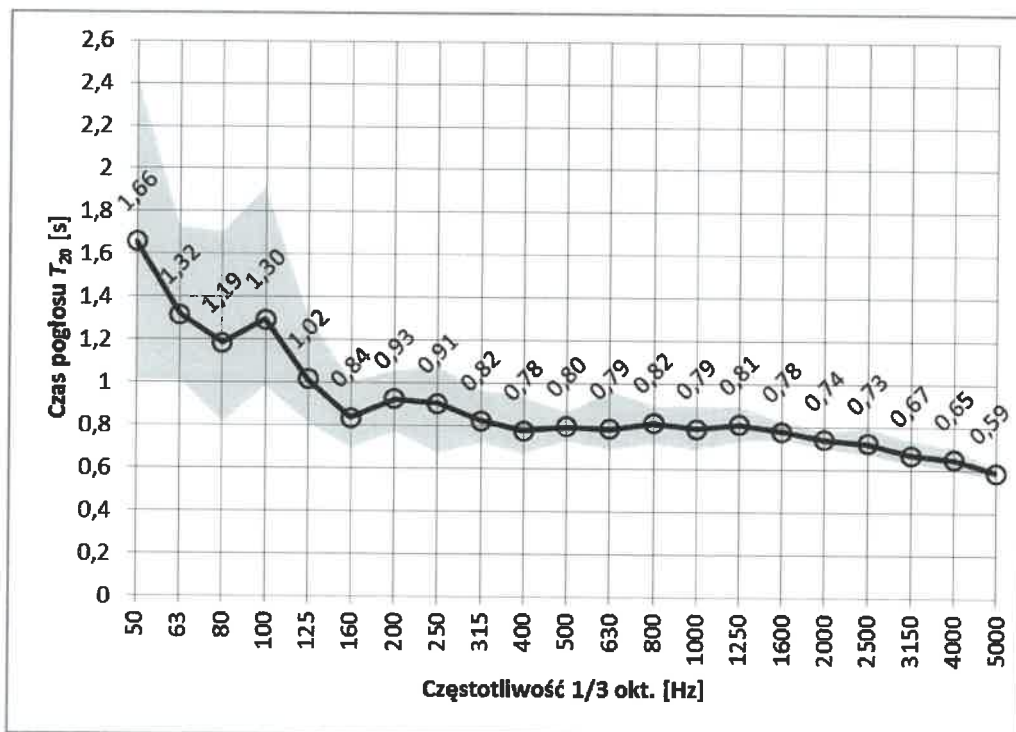
Lp.	Opis	
a	Procedura pomiarowa	Pomiary przeprowadzone zgodnie z normą (PN-EN ISO 3382-1, 2009)
b	Lokalizacja	Teatr Miejski w Świdnicy, Rynek 43, 58-100 Świdnica
c	Wymiary gabarytowe pomieszczenia	Zgodnie z opisami w dalszej części opracowania.
d	Objętość pomieszczenia	Zgodnie z opisami w dalszej części opracowania.
e	Opis foteli	Fotele średnio tapicerowane.
f	Kształt pomieszczenia	Zgodnie z opisami w dalszej części opracowania.
g	Liczba osób	2 osoby.
h	Systemy do regulacji akustyki	Brak
i	Otwór sceniczny	Bez kotary.
j	Wyposażenie sceny	Scena wyposażona w okotowanie tj. horyzont i kulisy.
k	Temperatura i wilgotność	-
l	Aparatura pomiarowa	Mikrofon pomiarowy G.R.A.S. 40AE 1/2"; przedwzmacniacz SVAN SV 17 IEPE; karta dźwiękowa M-Audio Fast Track Ultra; źródło wszechkierunkowe zgodne z PN-EN ISO 3382-1; wzmacniacz Europower EPQ900; oprogramowania AFMG EASERA v1.2.8 (numer licencji: 40054) oraz MATLAB R2020a
m	Sygnał pomiarowy	Sinus przestrajany (ang. <i>sine sweep</i>) ważony.
n	Punkty nadawcze i odbiorcze	3 pozycje źródła 11 pozycji mikrofonów (6 na parterze, 5 na balkonie)
o	Termin pomiarów	11.09.2021; 07:30-11:00

W ramach prac przeprowadzono pomiary akustyczne parametrów akustycznych sali oraz przeprowadzono ocenę warunków akustycznych, zgodnie z autorską metodą (Brawata, 2019).

Ocena warunków akustycznych w sali bazuje na czasie pogłosu T_{20} i sile dźwięku G .



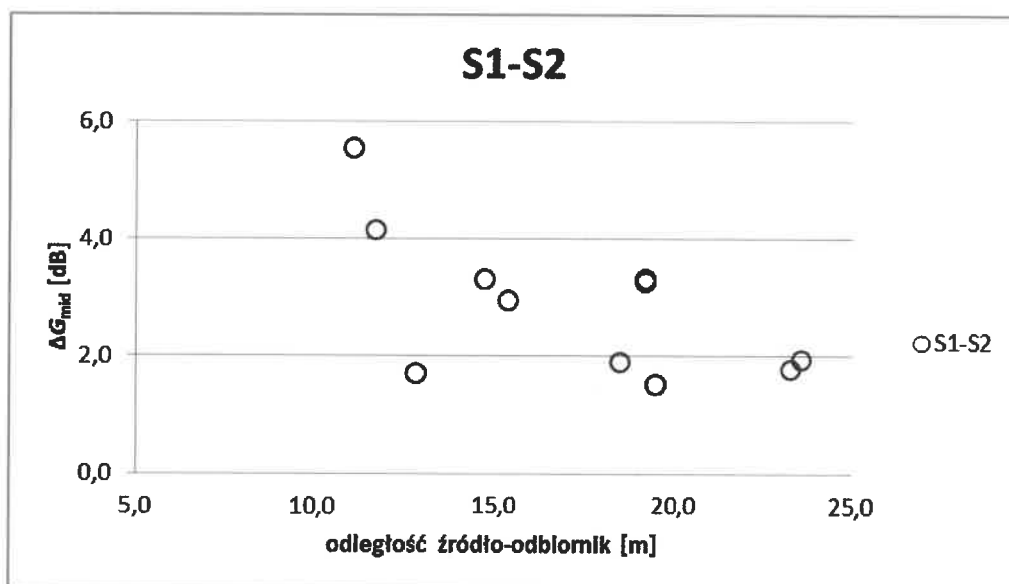
Rys. 1 Widok na scenę podczas sesji pomiarowej.



Rys. 2 Uśredniona wartości czasu pogłosu w Sali Teatralnej wraz z zakresem wartości maksymalnych i minimalnych dla źródła dźwięku w pozycji S1 i punktów odbiorczych na widowni.

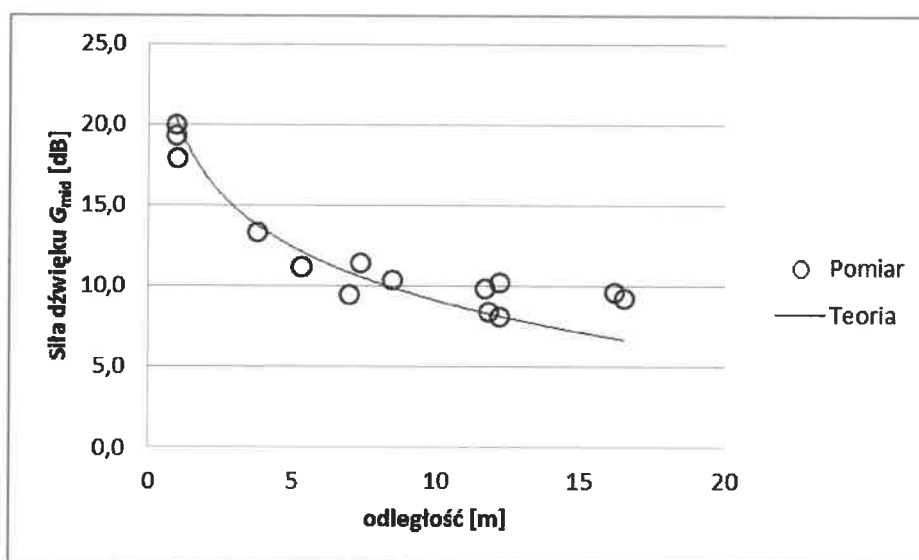
Uzyskane wartości czasu pogłosu (patrz rys. 2) wskazują na dysproporcję pomiędzy najniższymi a pozostałymi pasmami częstotliwości. Wyrównana charakterystyka częstotliwościowa powyżej 160 Hz jest korzystna, natomiast znaczny wzrost wartości poniżej tej częstotliwości może generować problemy w uzyskaniu spójnego obrazu dźwiękowego przy

wykorzystywaniu systemu elektroakustycznego. Wartość średnia czasu pogłosu $T_{500-1000\text{ Hz}} = 0,80$ [s] jest zgodna z zaleceniami literaturowymi dla funkcji teatralnej dla kubatury analizowanego pomieszczenia.



Rys. 3 Wartości siły dźwięku ΔG_{mid} do oceny zmienności warunków akustycznych na scenie i w orkiestrze. S1, S2 – pozycje źródła dźwięku na scenie.

Na rys. 3 przedstawiono balans pomiędzy źródłami na scenie (S1-S2); miara ta służy do oceny zmienności transmisji dźwięku ze sceny w zależności od położenia źródła dźwięku. Uzyskane wyniki wskazują na występowanie anomalii w przedniej części widowni (wartości powyżej 4 dB) co wynika z dość daleko wysuniętego proscenium.



Rys. 4 Siła dźwięku G dla źródła dźwięku S1 na scenie i punktów odbiorczych na widowni. Pomiar – wartości zmierzone; Teoria – predykcja z wykorzystaniem modelu Barrona i Lee (Barron i Lee, 1988).

Przedstawione na rys. 4 wartości siły dźwięku G_{mid} dla źródła dźwięku w pozycji S1 i punktów odbiorczych na widowni, wskazują na równomierne warunki akustyczne na widowni. Uzyskiwane wartości leżą w pobliżu prognozowanych wartości z wykorzystaniem modelu Barrona (Barron i Lee, 1988). Nieznacznie wyższe wartości w rejonie balkonu (odległość > 10 m) sugerują na bardziej pogłosowe warunki akustyczne w tej części sali.

Średnia wartość wskaźnika transmisji mowy STI dla pozycji źródła S1 i punktów odbiorczych zlokalizowanych na widowni wynosi 0,76, a dla pozycji S2 – 0,75. Minimalna wartość wyniosła 0,63 co oznacza, że w całej sali zrozumiałość mowy jest dobra (bez uwzględnienia poziomu tła akustycznego).

Podczas sesji pomiarowej zaobserwowano powstawanie wady akustycznej w przestrzeni widowni w postaci echa trzepoczącego. Wynika to z równoległego układu ścian w całej przestrzeni widowni.

5 Adaptacja akustyczna

Na podstawie otrzymanej dokumentacji rysunkowej stworzono modele akustyczne sal. Modele i obliczenia wykonano z wykorzystaniem oprogramowania AFMG EASE v4.4.11.4 (numer licencji: 72487-0000E-00000-00000-EA4233), które pozwala na predykcję wartości parametrów akustycznych w pasmach tercjowych o częstotliwościach środkowych od 100 Hz do 10 kHz. Symulacje obliczeniowe zostały wykonane z parametrami materiałów podanymi w tabelach. Rodzaje materiałów zostały dobrane na podstawie informacji dostarczonych przez producentów materiałów wykończeniowych, danych zawartych w literaturze oraz doświadczenia zawodowego akustyka.

Przedstawione rozwiązania materiałowe zostały podane jako przykładowe i dopuszcza się ich zamianę na inne o równoważnych właściwościach akustycznych (wartości praktycznych współczynników pochłaniania dźwięku α_p oraz współczynników rozproszenia dźwięku s), po uprzedniej konsultacji z akustykiem posiadającym wykształcenie wyższe w dziedzinie akustyki.

5.1 Sala Teatralna

5.1.1 Ogólna charakterystyka sali

- sala prostopadłościenna z przewyżką i jednym balkonem;
- kubatura (wg. modelu akustycznego): całość $3\,112\text{ m}^3$ w tym widownia $1\,318\text{ m}^3$;
- wymiary gabarytowe sali (szerokość x długość x wysokość) ok. $13,1 \times 17,0 \times 8,5\text{ m}$;
- główne funkcje: sala teatralna, sala wielofunkcyjna, sala kinowa.

5.1.2 Wymagania akustyczne

Czas pogłosu

Zalecana wartość średnia czasu pogłosu $T_{500-1000\text{ Hz}}$ dla tego typu pomieszczenia dla przyjętej kubatury powinna wynosić:

$T_{500-1000 \text{ Hz}} = 0,075 \cdot \sqrt[3]{V} = 0,87 \text{ s}$	sala teatralna (Kulowski, 2007)
$T_{500-1000 \text{ Hz}} = 0,32 \cdot \log_{10}(V) - 0,17 = 0,85 \text{ s}$	sala teatralna (Kulowski, 2007)
$T_{500-1000 \text{ Hz}} = 0,37 \cdot \log_{10}(V) - 0,14 = 1,04 \text{ s}$	przekaz słowny (DIN 18041, 2015)
$T_{500-1000 \text{ Hz}} = 0,40 - 0,64 \text{ s}$	sala kinowa

Zgodnie z literaturą, zalecana jest płaska charakterystyka czasu pogłosu w funkcji częstotliwości z dopuszczalnym odchyleniem $\pm 20\%$ od wartości średniej. Dla częstotliwości poniżej 250 Hz dopuszczalny jest wzrost o ok. 20% na każdą oktawę (ze względu na uwidacznianie się zjawisk falowych i trudności w wytworzeniu wystarczającej chłonności akustycznej elementów wystroju sali w zakresie niskich częstotliwości). Dla częstotliwości powyżej 2 kHz dopuszczalny jest spadek o ok. 20% na każdą oktawę (ze względu na pochłanianie dźwięku przez powietrze, zwłaszcza w wyższych częstotliwościach).

Dla sali w opracowaniu przyjęto, jako kompromis pomiędzy zakładanymi funkcjami wartość średnią czasu pogłosu $T_{500-1000\text{Hz}} = 0,80 \text{ s}$.

5.1.3 Adaptacja akustyczna

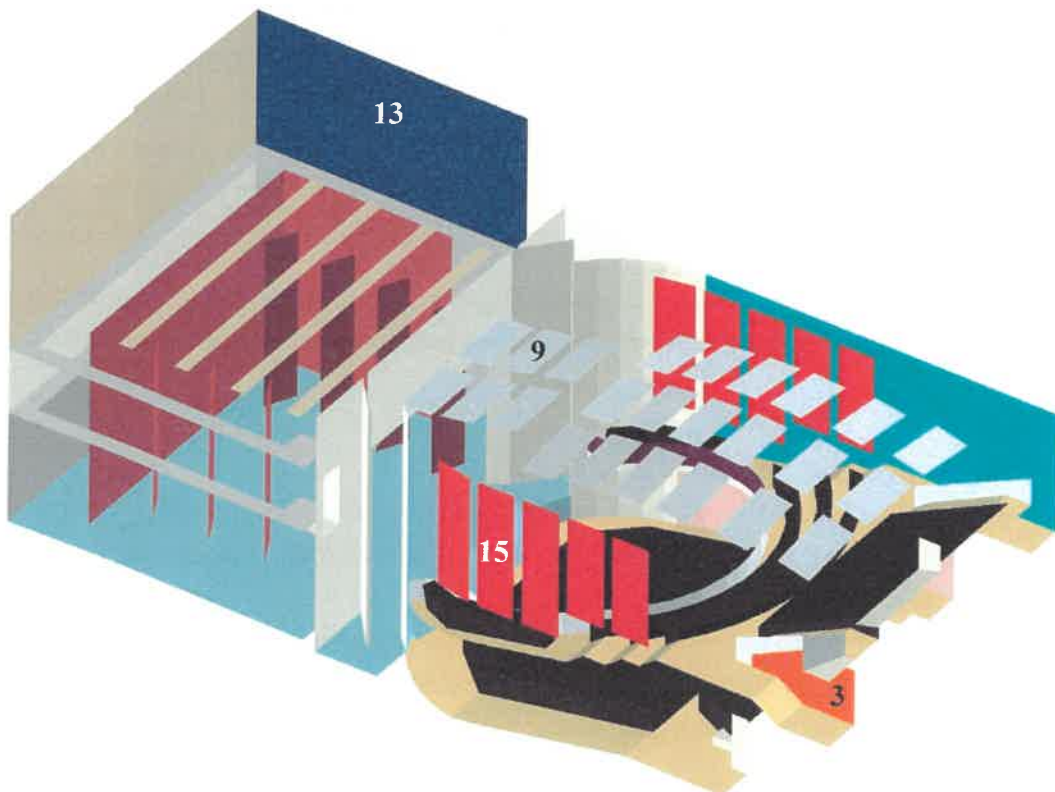
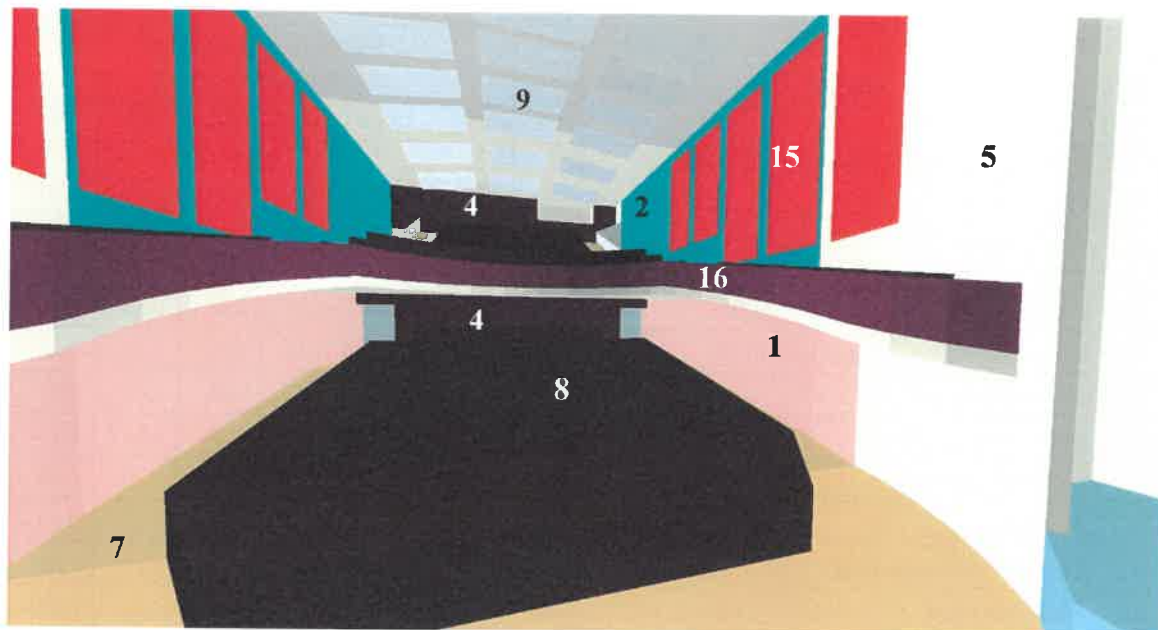
W tabeli poniżej podano parametry z jakimi została przeprowadzona symulacja obliczeniowa.

Tabela 6 Parametry symulacji obliczeniowej

Parametry symulacji obliczeniowej				
Lp.	Nazwa parametru	Wartość		
1	Stan pomieszczenia	Sala z projektowaną adaptacją akustyczną.		
2	Walidacja modelu	Nd.		
3	Wypełnienie widowni	Zapełniona w 100%.		
4	Inne	Scena z okotowaniem.		
5	Warunki atmosferyczne	wilgotność	50	[%]
		temperatura	20	[°C]
		ciśnienie	1013	[hPa]
6	Parametry symulacji	czas predykcji	1050	[ms]
		liczba promieni	74 tys.	-

Zaproponowano wyposażenie sali w elementy adaptacji akustycznej zaznaczone na poniższych rysunkach. Praktyczne współczynniki pochłaniania dźwięku zawiera

tabela 7.



Rys. 5 Schemat rozmieszczenia proponowanych materiałów adaptacji akustycznej.
Uwaga! Kolory symbolizują jedynie rodzaj materiału.

Tabela 7 Zestawienie materiałów adaptacji akustycznej.

Uwaga! Podane wartości powierzchni poszczególnych materiałów wynikają z modelu akustycznego i nie mogą być podstawą do sporządzania przedmiarów, kosztorysów inwestorskich itp.

Lp.	Nazwa	S [m ²]	Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p					
			125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1	Ustrój akustyczny rozpraszająco-pochłaniający (URP1)	50	0,05	0,10	0,25	0,20	0,15	0,20
2	Ustrój akustyczny rozpraszająco-pochłaniający (URP2)	122	0,70	0,45	0,15	0,10	0,15	0,20
3	Ustrój akustyczny pochłaniający (UP1)	11	0,00	0,05	0,20	0,50	0,80	0,95
4	Ustrój akustyczny pochłaniający (UP2)	39	0,60	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
5	Ściana tynkowana	524	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
6	Elementy wyposażenia	248	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15
7	Wykładzina dywanowa	136	0,00	0,00	0,05	0,10	0,20	0,30
8	Widownia	235	0,70	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85
9	Elementy refleksyjne (UR1)	50	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00
10	Przestrzeń sceny	43	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
11	Sufit z wyposażeniem technicznym	244	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
12	Elementy sceny	185	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
13	Ustrój akustyczny pochłaniający (UP3)	52	0,70	0,65	0,70	0,70	0,65	0,60
14	Okotowanie	166	0,20	0,35	0,55	0,65	0,60	0,65
15	Ustrój akustyczny pochłaniający do regulacji akustyki(UP4)	54	0,10	0,40	0,75	0,85	0,65	0,65
16	Tynk akustyczny (TA1)	18	0,50	0,50	0,70	0,75	0,65	0,60

Materiały akustyczne mogą charakteryzować się praktycznymi współczynnikami pochłaniania dźwięku różniącymi się od podanych w powyższej tabeli w granicach $\pm 0,05$.

Fotele

Fotele nie mogą być obficie tapicerowane tzn.:

1. tylna część oparcia nie może być pokryta materiałem tapicerskim,
2. dolna część siedziska musi być wykończona materiałem twardym, nieperforowanym,
3. nogi i podłokietniki nie mogą być pokryte materiałem tapicerskim,
4. grubość gąbki na oparciu i siedzisku powinna być możliwie mała, ale dobrana względami ergonomicznymi.

Ustrój akustyczny UP3 należy zamontować w przestrzeni komina scenicznego.

Regulacja akustyki

W celu regulacji czasu pogłosu, którego wartość zależy od funkcji pomieszczenia oraz ilości widzów przebywających w sali, należy wykorzystać system ustrojów akustycznych ze zróżnicowaną powierzchnią czynną. Powierzchnia czynna ustrojów regulowanych musi charakteryzować się wysokimi wartościami współczynnika pochłaniania dźwięku w szerokim zakresie częstotliwości. Zastosowanie powierzchni o niskiej chłonności akustycznej i struktury czynnej w ustroju wynika z konieczności wprowadzenia elementów w precyzyjnie wskazanych miejscach na ścianach pomieszczenia.

System sterowania ustrojów akustycznych musi umożliwiać:

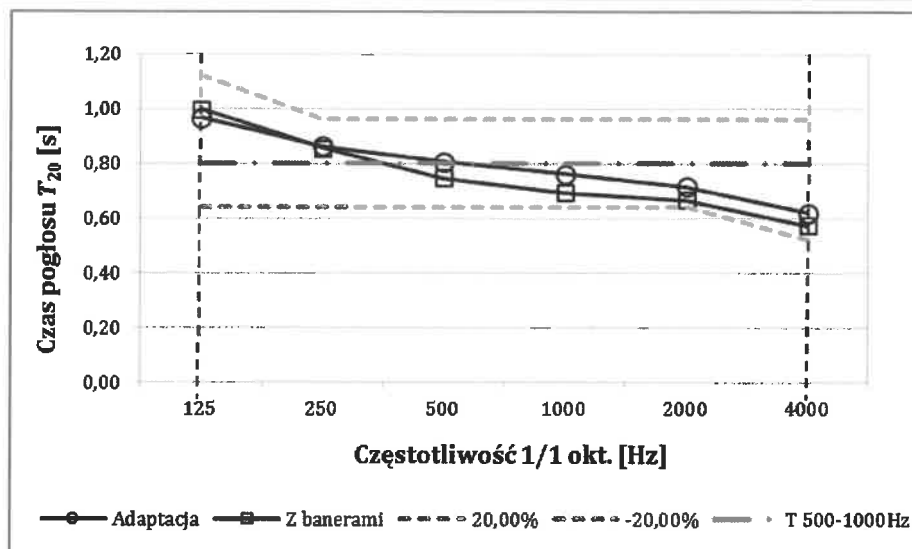
- realizację zaprogramowanych ustawień w co najmniej dwóch lokalizacjach,
- niezależne adresowanie i wysterowanie poszczególnych mechanizmów rozwijających,
- jednoczesne uruchomienie wszystkich mechanizmów rozwijających,
- wysunięcie materiału na zadaną długość,
- zapewnienie informacji zwrotnej o pozycji, w jakiej znajduje się dany ustrój,
- zaprogramowanie poszczególnych ustawień regulacji akustyki pomieszczenia,
- opcjonalną integrację z zewnętrznym systemem sterowania obiektu, przykładowo z systemem BMS lub podobnym.

System sterowania musi również posiadać możliwość zapamiętania i przywołania przez Użytkownika minimum 3-ech ustawień, zależnych od funkcji sali, zastosowania lub nie systemu elektroakustycznego, rodzaju wydarzenia artystycznego oraz ilości widzów tj. ustawienia:

1. sala teatralna bez nagłośnienia,
2. sala teatralna z nagłośnieniem,
3. sala prób.

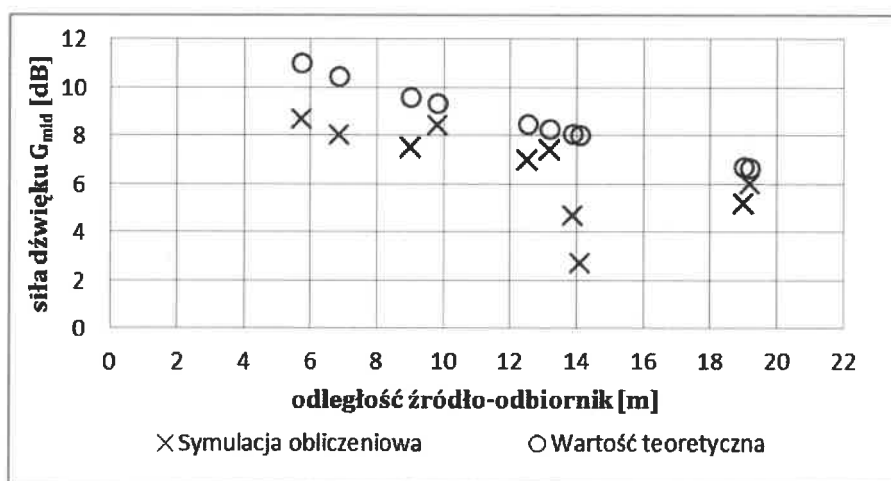
5.1.4 Wyniki symulacji obliczeniowej

Poniżej zaprezentowano wykresy czasu pogłosu w funkcji częstotliwości (wartość średnia dla punktów odbiorczych zlokalizowanych na widowni).



Rys. 6 Czas pogłosu T_{20} w funkcji częstotliwości uzyskany na drodze symulacji obliczeniowej z zaznaczonym przedziałem dopuszczalnych odchyłeń dla założonej funkcji pomieszczenia.

Zaprezentowane wyniki symulacji potwierdzają poprawność zaproponowanych rozwiązań materiałowych adaptacji akustycznej. Wartości czasu pogłosu spełniają założenia projektowe, a charakterystyka częstotliwościowa mieści się w założonym zakresie tolerancji.



Rys. 7 Wartość siły dźwięku G_{mid} w funkcji odległości – wartość wg modelu (Barron i Lee, 1988) i według symulacji obliczeniowej.

Uzyskane wartości potwierdzają możliwość wykorzystywania sali również bez systemu nagłośnieniowego, a różnice uzyskane na drodze symulacji obliczeniowej i modelu matematycznego wynikają głównie z częściowo niedostępnej akustycznie przestrzeni sali powyżej paneli refleksyjnych. Dwa odbiegające punkty dotyczą przestrzeni pod balkonem.

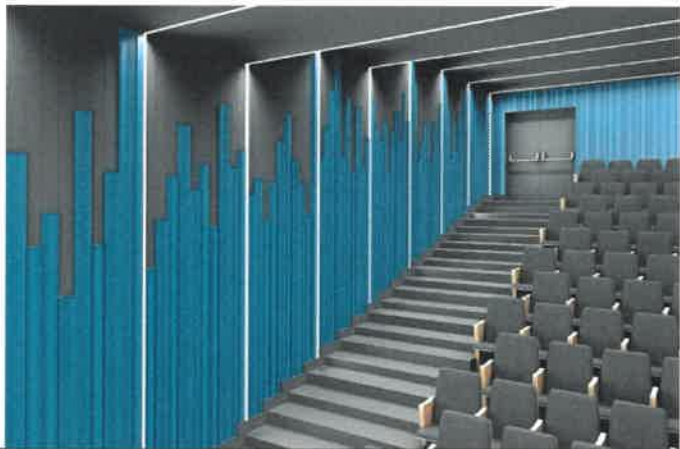
6 Pozostałe przestrzenie

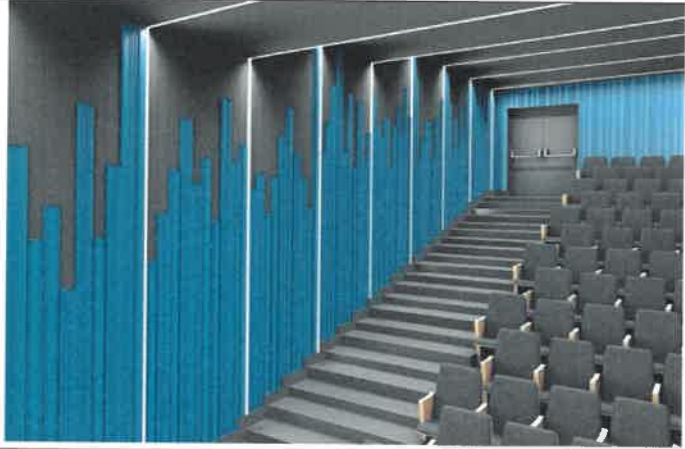

W przestrzeniach korytarzy, klatek schodowych, foyer itp. zaleca się wprowadzenie chłonności akustycznej w celu ograniczenia powstawania tzw. hałasu pogłosowego. Zaleca się zgodnie z (PN-B-02151-4, 2015) chłonności równej co najmniej 40% powierzchni rzutu pomieszczenia dla każdego pasma oktawowego o środkowej częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.



7 Podsumowanie

Wykonanie adaptacji akustycznej zgodnie z zaleceniami sformułowanymi w niniejszym dokumencie pozwoli na użytkowanie zaprojektowanego pomieszczenia zgodnie z jego przeznaczeniem oraz zgodnie z obowiązującym prawem budowlanym. Zapobiegnie również powstawaniu wad akustycznych takich jak nadmierna pogłosowość, echo czy echo wielokrotne.

8 Zestawienie materiałów

Lp.	Symbol	Opis	Przykładowy materiał																																
1	URP1	<p>Dyfuzor akustyczny wykonany z ze specjalnie wyprofilowanego aluminium, zaprojektowany w celu rozpraszania dźwięku w zakresie średnich i wysokich częstotliwości. Profile dostępne w wersji pozytywowej i negatywowej, których połączenie pozwala uzyskać najlepszą skuteczność rozpraszania dźwięku.</p> <p>Współczynnik rozpraszania dźwięku (szczelina od 0 do 5 mm):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1/3-okt. [Hz]</th> <th>1000</th> <th>1250</th> <th>1600</th> <th>2000</th> <th>2500</th> <th>3150</th> <th>4000</th> <th>5000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>s</td> <td>0,05</td> <td>0,13</td> <td>0,28</td> <td>0,44</td> <td>0,53</td> <td>0,62</td> <td>0,82</td> <td>0,90</td> </tr> </tbody> </table> <p>Współczynnik pochłaniania dźwięku (szczelina 1 mm , montaż A):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1/1-okt.</th> <th>125 Hz</th> <th>250 Hz</th> <th>500 Hz</th> <th>1000 Hz</th> <th>2000 Hz</th> <th>4000 Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,05</td> <td>0,10</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> <td>0,15</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Produkt wykonany z materiałów o klasie reakcji na ogień A1.</p> 	1/3-okt. [Hz]	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	s	0,05	0,13	0,28	0,44	0,53	0,62	0,82	0,90	1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_p	0,05	0,10	0,25	0,20	0,15	0,20	Architected Sound OptiDi
1/3-okt. [Hz]	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000																											
s	0,05	0,13	0,28	0,44	0,53	0,62	0,82	0,90																											
1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz																													
α_p	0,05	0,10	0,25	0,20	0,15	0,20																													
2	URP2	<p>Dyfuzor akustyczny wykonany z ze specjalnie wyprofilowanego aluminium, zaprojektowany w celu rozpraszania dźwięku w zakresie średnich i wysokich częstotliwości. Profile dostępne w wersji pozytywowej i negatywowej, których połączenie pozwala uzyskać najlepszą skuteczność rozpraszania dźwięku. Ponadto zmienna szerokość szczelin pomiędzy profilami oraz odpowiednio dobrany materiał dźwiękochłonny umieszczony za elementami OptiDi pozwala dostroić pochłanianie dźwięku w zakresie niskich częstotliwości do wymaganych zakresów.</p> <p>Współczynnik rozpraszania dźwięku (szczelina od 0 do 5 mm):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1/3-okt. [Hz]</th> <th>1000</th> <th>1250</th> <th>1600</th> <th>2000</th> <th>2500</th> <th>3150</th> <th>4000</th> <th>5000</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>s</td> <td>0,05</td> <td>0,13</td> <td>0,28</td> <td>0,44</td> <td>0,53</td> <td>0,62</td> <td>0,82</td> <td>0,90</td> </tr> </tbody> </table> <p>Współczynnik pochłaniania dźwięku (szczelina 3 mm + wełna mineralna 60 mm, cwk. 90 mm):</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1/1-okt.</th> <th>125 Hz</th> <th>250 Hz</th> <th>500 Hz</th> <th>1000 Hz</th> <th>2000 Hz</th> <th>4000 Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,70</td> <td>0,45</td> <td>0,15</td> <td>0,10</td> <td>0,15</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table> <p>Produkt wykonany z materiałów o klasie reakcji na ogień A1.</p>	1/3-okt. [Hz]	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	s	0,05	0,13	0,28	0,44	0,53	0,62	0,82	0,90	1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_p	0,70	0,45	0,15	0,10	0,15	0,20	Architected Sound OptiDi
1/3-okt. [Hz]	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000																											
s	0,05	0,13	0,28	0,44	0,53	0,62	0,82	0,90																											
1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz																													
α_p	0,70	0,45	0,15	0,10	0,15	0,20																													

																	
3	UP1	<p>Dźwiękochłonne panele akustyczne wykonane z niepylącego i w 100% przyjaznego środowisku materiału. Jego niewielką grubość cechuje wysoki współczynnik pochłaniania dźwięku. Może być klejony bezpośrednio do ściany lub montowany na podkonstrukcji drewnianej, dodatkowo wypełnionej materiałem pochłaniającym dźwięk. Dostępny w wielu wersjach kolorystycznych, rozmiarach i kształtach, zależnych od koncepcji wzorniczej.</p> <p>Wymiary ustroju: według indywidualnego projektu, grubość 12 mm</p> <p>Współczynnik pochłaniania dźwięku:</p> <table border="1" data-bbox="427 1032 1150 1099"> <thead> <tr> <th>1/1-okt.</th> <th>125 Hz</th> <th>250 Hz</th> <th>500 Hz</th> <th>1000 Hz</th> <th>2000 Hz</th> <th>4000 Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,00</td> <td>0,05</td> <td>0,20</td> <td>0,50</td> <td>0,80</td> <td>0,95</td> </tr> </tbody> </table> <p>Możliwość wykonania z materiałów o klasie odporności ogniowej B-s2, d0.</p> 	1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_p	0,00	0,05	0,20	0,50	0,80	0,95	Architected Sound EcoPET, 12 mm
1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz											
α_p	0,00	0,05	0,20	0,50	0,80	0,95											
4	UP2	<p>Ścienne lub sufitowy system o dowolnym kształcie, pochłaniający dźwięk w zakresie średnich i wysokich częstotliwości. Wykonany z odpowiednio dobranej warstwy materiału dźwiękochłonnego z warstwą wierzchnią wykonaną z najwyższej jakości materiału tekstylnego o oporności przepływu nie większej niż 300 Pa·s/m². Struktura montowana jest za pomocą listew systemowych na podkonstrukcji drewnianej.</p> <p>Wymiary ustroju: grubość – 110 mm, pozostałe wymiary według indywidualnego projektu (max. szerokość 1200 mm).</p> <p>Współczynnik pochłaniania dźwięku:</p> <table border="1" data-bbox="416 1957 1134 2024"> <thead> <tr> <th>1/1-okt.</th> <th>125 Hz</th> <th>250 Hz</th> <th>500 Hz</th> <th>1000 Hz</th> <th>2000 Hz</th> <th>4000 Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,75</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> <td>0,95</td> </tr> </tbody> </table>	1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_p	0,75	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	Architected Sound Up-Sorber Wall, 110 mm
1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz											
α_p	0,75	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95											

		<p>Produkt wykonany z materiałów o klasie odporności ogniowej co najmniej B-s1, d0.</p> 															
5	UP3	<p>Perforowana płyta gipsowo-kartonowa. Składa się z rdzenia gipsowego obłożonego obustronnie specjalnym kartonem. Oklejona warstwą czarnej lub białej włókniny akustycznej od spodu. Kolor – szary karton przeznaczony do pomalowania.</p> <p>Stopień perforacji: 16%</p> <p>Rodzaj perforacji: kwadratowa</p> <p>Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p^*:</p> <table border="1" data-bbox="422 1176 1157 1243"> <thead> <tr> <th>1/1okt</th> <th>125Hz</th> <th>250Hz</th> <th>500Hz</th> <th>1000Hz</th> <th>2000Hz</th> <th>4000Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,70</td> <td>0,65</td> <td>0,70</td> <td>0,70</td> <td>0,65</td> <td>0,60</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p podano dla c.w.k. = 200 mm z warstwą wełny mineralnej o grubości 50 mm.</p> <p>Klasa reakcji na ogień: A2</p>  <p>Źródło: http://www.archiexpo.com/</p>	1/1okt	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	α_p	0,70	0,65	0,70	0,70	0,65	0,60	<p>Rigips Gyptone Big Quattro 41+ wełna mineralna 50 mm</p>
1/1okt	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz											
α_p	0,70	0,65	0,70	0,70	0,65	0,60											

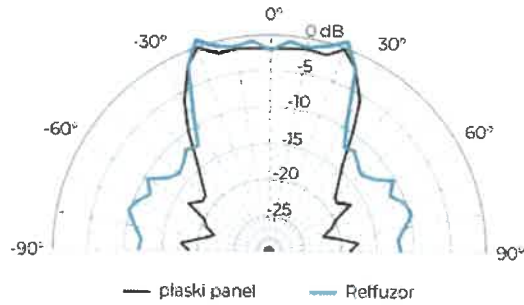
6

UR1

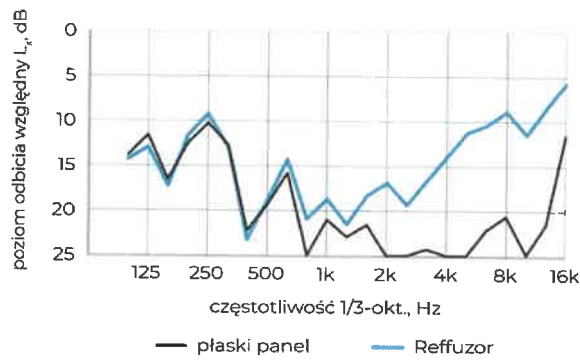
Sufitowy panel akustyczny o podstawowej funkcji kierowania dźwięku, z dodatkową funkcją dźwiękochłoną. Zaprojektowany tak, aby odbicie fali dźwiękowej odbywało się w znacznie szerszym zakresie częstotliwości w stosunku do powszechnie używanych paneli refleksyjnych. System regulacji kąta nachylenia w dwóch płaszczyznach pozwala na kierowanie odbić w określone miejsca sali. Dodatkowa warstwa pochłaniająca dźwięk, zlokalizowana od góry panelu, zapobiega występowaniu niepożądanych odbić dźwięku pomiędzy panelem a powierzchnią sufitu.

Wymiary ustroju: dobierane indywidualnie do wystroju sali i wymaganych własności akustycznych, dostępny w różnych kształtach.

Charakterystyka kierunkowa odbicia dźwięku od panelu Reffuzor oraz od standardowego panelu refleksyjnego dla częstotliwości 4000 Hz:



Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa odbicia dźwięku od panelu Reffuzor oraz od standardowego płaskiego panelu refleksyjnego dla kąta padania fali dźwiękowej równego 75°:



Wykonany z materiałów o klasie reakcji na ogień B-s2, d0.

Architected
Sound Reffuzor



7

UP4

Up-Sorber Roll to elektrycznie rozwijany baner wykonany z materiałów tekstylnych, zapewniający regulację czasu pogłosu w zakresie tonów średnich i wysokich poprzez zwiększenie chłonności akustycznej wnętrza oraz eliminację pierwszych odbić dźwięku. Baner może składać się z pojedynczej lub podwójnej warstwy materiału, co pozwala zwiększyć chłonność akustyczną w zakresie niskich częstotliwości.

Wymiary ustroju: szerokość standardowa: 1,35 m (maksymalna 2,7 m)

długość: maksymalnie 7,0 m

Waga: ok. 26 kg

Współczynnik pochłaniania dźwięku (przy jednej warstwie materiału i dystansie od ściany 100 mm):

1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
α_p	0,10	0,40	0,75	0,85	0,65	0,65

Produkt wykonany z materiałów o klasie odporności ogniowej B-s2, d0.



Architected
Sound Up-
Sorber Roll

8	TA1	<p>Wielowarstwowy, silikatowy tynk akustyczny na 25 mm płycie z wełny mineralnej z dodatkową 30 mm warstwą wełny mineralnej. Dobrze pochłania dźwięki o średnich i wysokich częstotliwościach. Składa się z trzech komponentów: środek wiążący, wypełniacz-średnie uziarnienie, wypełniacz-drobne uziarnienie. Istnieje możliwość montażu bezpośredniego lub na stalowej podkonstrukcji.</p> <p>Grubość warstwy tynku: ok. 25 mm Grubość płyty z wełny mineralnej: 25 mm Zastosowanie: do wewnątrz na sufity i wyższe partie ścian.</p> <p>Współczynnik pochłaniania dźwięku:</p> <table border="1" data-bbox="430 689 1189 784"> <thead> <tr> <th>1/1-okt.</th> <th>125 Hz</th> <th>250 Hz</th> <th>500 Hz</th> <th>1000 Hz</th> <th>2000 Hz</th> <th>4000 Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>α_p</td> <td>0,50</td> <td>0,50</td> <td>0,40</td> <td>0,75</td> <td>0,65</td> <td>0,60</td> </tr> </tbody> </table> <p>Źródło: www.sto.pl</p>	1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	α_p	0,50	0,50	0,40	0,75	0,65	0,60	<p>StoSilent Board 100 + MiWo + warstwa wierzchnia StoSilent Decor M lub inny</p>
1/1-okt.	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz											
α_p	0,50	0,50	0,40	0,75	0,65	0,60											

9 Bibliografia

- Barron, M. i Lee, L.-J. (1988). Energy relations in concert auditoriums. I. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(2), strony 618-628.
- Beranek, L. L. (1995). *How they sound: Concert and opera halls*. American Institute of Physics.
- Brawata, K. P. (2019). *Akustyczne aspekty konstrukcji fosy orkiestrowej w kontekście interakcji ze sceną*. Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza.
- DIN 18041. (2015). *Hörsamkeit in Räumen - Vorgaben und Hinweise für die Planung*. -: -.
- Everest, A. (2001). *The master handbook of acoustics*. New York: McGraw-Hill.
- ISO 17497-1. (2004). *Acoustics -- Sound-scattering properties of surfaces -- Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room*.
- Kulowski, A. (2007). *Akustyka architektoniczna*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- PN-B-02151-02. (2018). *Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*.
- PN-B-02151-3. (2015). *Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych*.
- PN-B-02151-4. (2015). *Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań*.
- PN-EN 717-1. (2013). *Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*.
- PN-EN ISO 3382-1. (2009). *Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne*.
- PN-ISO 1996-1:2006. (2006). *Akustyka -- Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego -- Część 1: Wielkości podstawowe i procedury oceny*.
- Sadowski, J. (1971). *Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie*. Warszawa: Arkady.
- Wenger. (2008). *Planning guide for performance space*.