



Konsulting Akustyczny Jarosław Gil

Gostchorze 34a, 66-600 Krosno Odrzańskie

Biuro: ul. Rzeźniczaka 13/13

65-119 Zielona Góra

tel: 607174178, NIP: 973-080-22-19

e-mail: [jgil@aapl.pl](mailto:jgil@aapl.pl)

[www.aapl.pl](http://www.aapl.pl)

## ***Ekspertyza akustyczna***

### ***Plan poprawy warunków akustycznych w sali koncertowej Gminnego Ośrodka Kultury w Lubniewicach***

dokument nr AAPL/002/012012

Autor: Mgr Jarosław Gil

Wykonano dla:

Małgorzata Chołuj

Gminny Ośrodek Kultury „Pod Morwą” w Lubniewicach

ul. Jana Pawła II 51b

69-210 Lubniewice

Zielona Góra, Czerwiec 2012

## **PODSUMOWANIE**

Niniejszy raport przedstawia analizę warunków akustycznych sali koncertowej Gminnego Ośrodka Kultury w Lubniewicach. Za pomocą programu Catt Acoustic stworzono model sali i przeanalizowano wpływ różnych rozwiązań adaptacyjnych na warunki pogłosowe. Wybrano najbardziej korzystne rozwiązanie i w rozdziale 5 przedstawiono zalecany program robót.

SPIS TREŚCI	Strona
1 INFORMACJE O SALI .....	4
2 PROCEDURA .....	4
3 WYNIKI .....	5
4 WNIOSKI.....	8
5 ZALECANA ADAPTACJA AKUSTYCZNA .....	9
ZAŁĄCZNIK 1 – Słowniczek.....	13

## **1 INFORMACJE O SALI**

Przybliżone wymiary sali to:

- długość: 21,5 m
- szerokość: 8,5 m
- wysokość: na scenie 3,15 m, na widowni 4 m.

Aktualnie sala ma posadzkę z gresu i sufit z płyt g-k z ozdobnymi wnękami. Podwyższona scena o wymiarach 6,5 m x 8,5 m jest drewniana. Na ścianach zamontowanych jest siedem paneli dźwiękochłonnych o wymiarach ok. 1,5 m x 2,5 m a tylne szklane drzwi są zakryte grubym materiałem.

## **2 PROCEDURA**

12 Maja 2012 wykonano wstępne pomiary czasu pogłosu\* w sali. Pomiary czasu pogłosu wykonano metodą szumu przerwane. Użyto gotowych plików dźwiękowych szumu białego odtwarzanych z komputera przez dwa aktywne zestawy głośnikowe RCF ART 315A. Do pomiaru użyto analizatora poziomu dźwięku 1 klasy dokładności (zgodnie z IEC 651) SVAN958 (nr fabryczny 20830, data wzorcowania: 10.12.2010). Źródło dźwięku ustawiano kolejno w dwóch pozycjach (na scenie i na końcu sali) i dla każdej z pozycji wykonywano pomiar w sześciu pozycjach mikrofonu.

Następnie w programie Catt Acoustic wykonano model sali. Do obliczenia czasu pogłosu konieczne było wprowadzenie współczynnika pochłaniania ( $\alpha$ ) dla każdej z powierzchni odbijającej. Uzyskane wyniki pomiarów posłużyły do kalibracji modelu, czyli do niewielkiej korekcji współczynnika pochłaniania w pasmach oktawowych tak, aby przewidywane wartości czasu pogłosu były jak najbardziej zbliżone do tych zmierzonych. Po wykonaniu i skalibrowaniu modelu, zastosowano różne rozwiązania adaptacyjne i zbadano ich wpływ na czas pogłosu. Dodatkowo wzięto pod uwagę wymiary pomieszczenia pod kątem rozkładu modów drgań (fal stojących) na osi częstotliwości i z tego względu zaproponowano zainstalowanie ustrojów akustycznych w rogach sali.

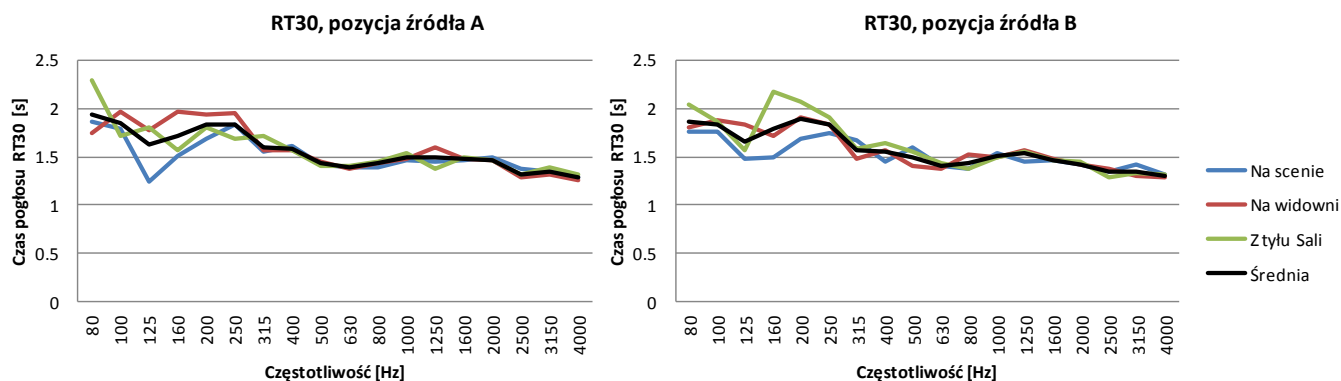
**\* Słowniczek znajduje się w Załączniku 1**

### 3 WYNIKI

Na Rys. 1 przedstawiono wyniki pomiaru czasu pogłosu na scenie, na widowni oraz z tyłu sali, dla dwóch pozycji źródła dźwięku:

Pozycja A – na scenie

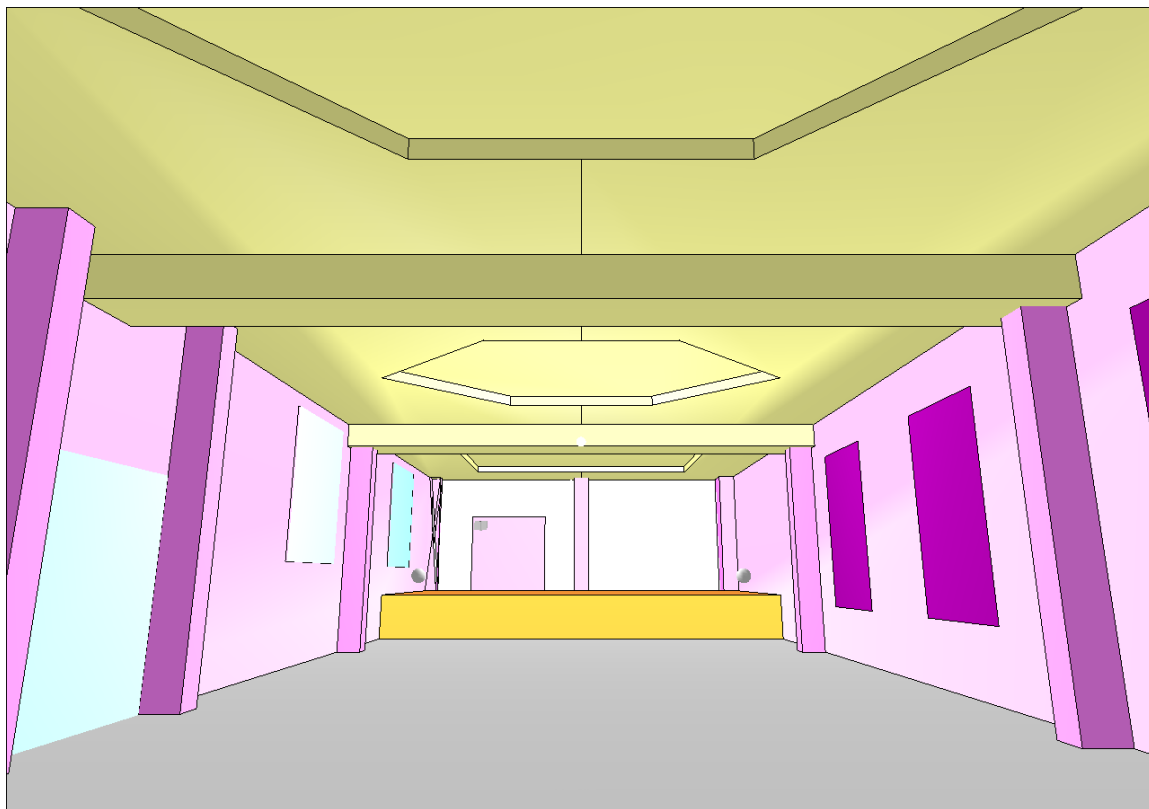
Pozycja B – w przeciwnym końcu sali



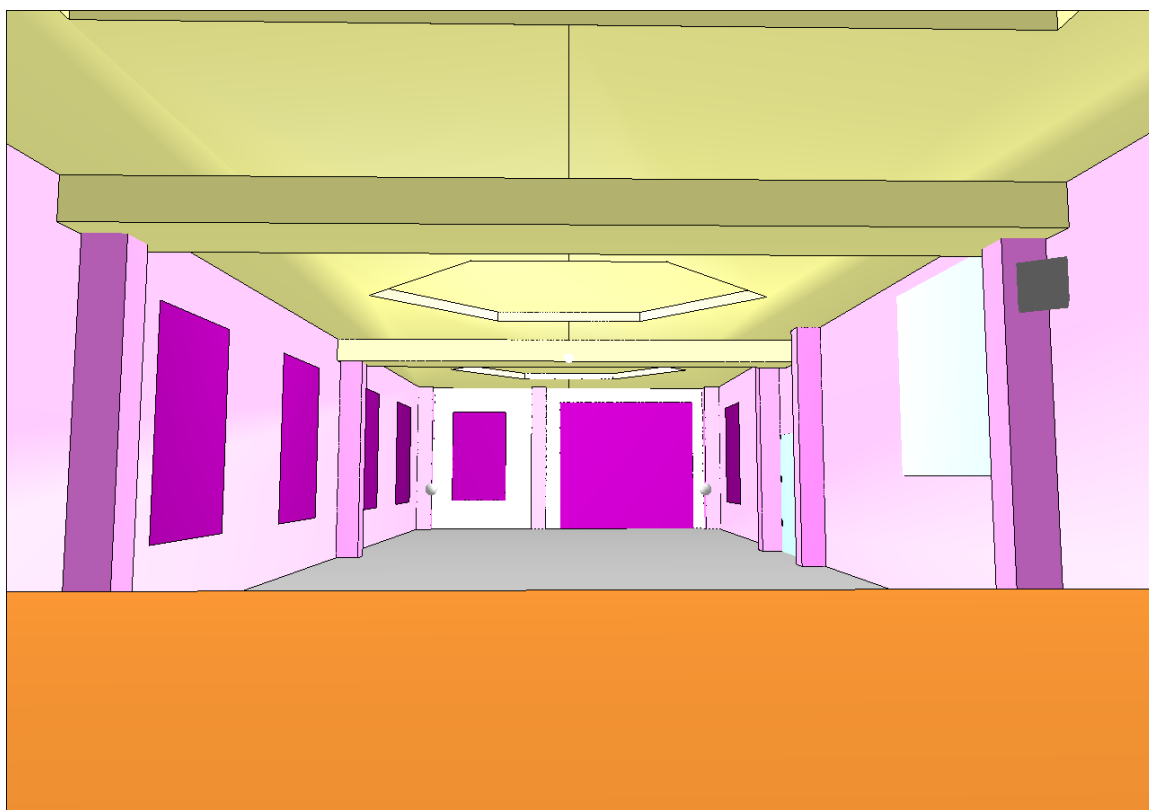
Rys. 1 – Zmierzony czas pogłosu

Po wykonaniu pomiarów stworzono model sali w programie Catt-Acoustic v.9.0. Model został wykonany według wymiarów zmierzonych na miejscu. Trójwymiarowy widok modelu przedstawiony jest na Rys. 2.

a) Widok na scenę

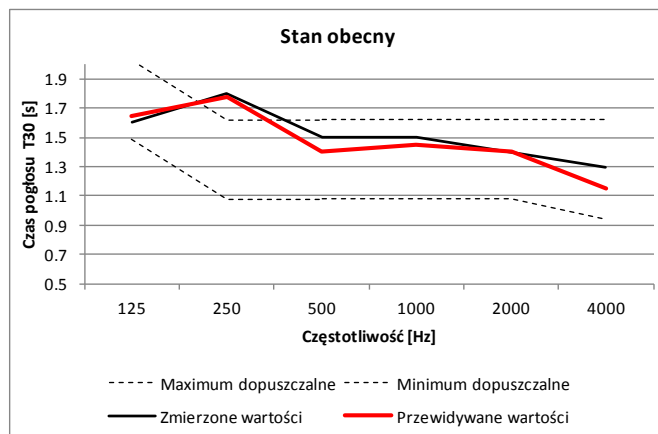


b) Widok ze sceny



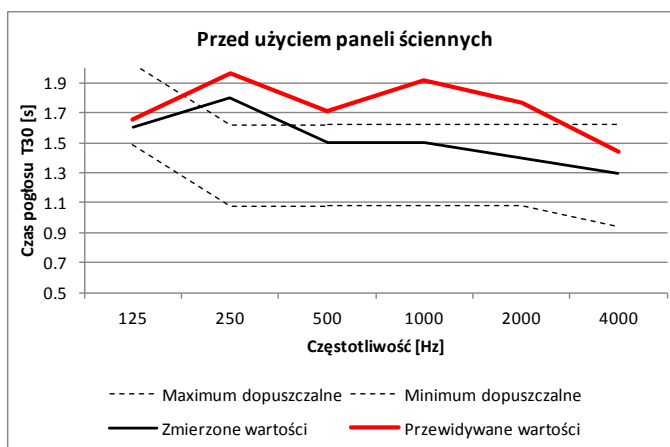
**Rys. 2 – Model sali koncertowej**

Na Rys. 3 przedstawiono charakterystykę czasu pogłosu obliczoną w powyższym modelu. Przewidywane wartości są porównane z wartościami zmierzonymi oraz z zakresem tolerancji dla tego typu sali według niemieckiej normy DIN 18041 (przerywane linie).



**Rys. 3 – Charakterystyka czasu pogłosu w sali przy obecnym stanie adaptacji akustycznej**

Widać, że czas pogłosu obecnie jest w granicach tolerancji w dużym zakresie częstotliwości, za wyjątkiem okolic 250 Hz, gdzie czas pogłosu przewyższa górną granicę dopuszczalności. Użycie dźwiękochłonnych paneli ściennych w dużej mierze już poprawiło warunki pogłosowe. Na Rys. 4 widać charakterystykę czasu pogłosu sprzed tej wstępnej adaptacji akustycznej. Poniższą charakterystykę uzyskano poprzez usunięcie paneli dźwiękochłonnych z modelu komputerowego.



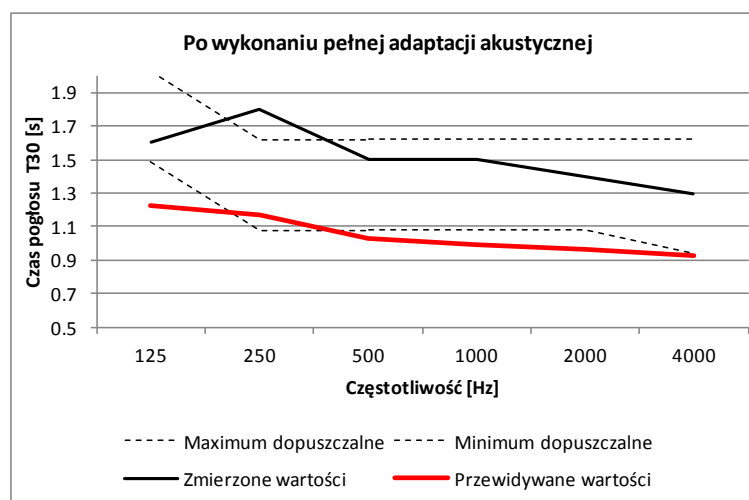
**Rys. 4 – Charakterystyka czasu pogłosu przed instalacją paneli dźwiękochłonnych**

#### 4 **WNIOSKI**

Pomimo uzyskania dużej poprawy warunków pogłosowych w średnim i wysokim zakresie częstotliwości w wyniku zainstalowania ściennych paneli, warunki akustyczne nadal są niezadowolające. Według relacji, muzyka grana naturalnie, bez nagłośnienia brzmi dobrze, jednak koncerty nagłaśniane brzmią źle, nieselektywnie, występują problemy z realizacją koncertów. Przy użyciu sprzętu nagłaśniającego korzystniejsze są niższe wartości czasu pogłosu niż w przypadku instrumentów grających bez nagłośnienia. Mniejszy czas pogłosu daje realizatorowi większą kontrolę nad dźwiękiem wydobywającym się z głośników. Dlatego, celem dalszej adaptacji akustycznej powinno być uzyskanie czasu pogłosu bliskiego dolnej granicy tolerancji (dolna przerywana linia na powyższych wykresach), a nawet niewiele poniżej tej granicy. W celu zmniejszenia czasu pogłosu w szerokim zakresie częstotliwości zaleca się zainstalowanie perforowanych paneli sufitowych, tak jak opisano w rozdziale 5.1. W rozdziale 5.2 zaleca się zainstalowanie materiału dźwiękochłonnego i dobijającego na dwóch dźwigarach. Aby poprawić komfort muzyków, zaleca się zainstalowanie dodatkowych ustrojów dźwiękochłonnych na scenie, tak jak to opisano w rozdziale 5.4.

Dodatkowym problemem w sali są silnie słyszalne dźwięki o niskich częstotliwościach (potocznie „dudnienia”). Zjawisko to jest związane z naturalnymi częstotliwościami rezonansowymi pomieszczenia, tzw. modami drgań. Gdy w jednym pomieszczeniu występuje kilka modów drgań o podobnych częstotliwości, to skutkuje to wzmocnieniem tych częstotliwości, co niekorzystnie wpływa na jakość dźwięku w niskim paśmie częstotliwości oraz na równomierność nagłośnienia. Na rozkład modów drgań można wpływać zmieniając geometrię (np. unikając równoległych powierzchni) lub wymiary pomieszczenia. W tym wypadku nie można zmienić ani wymiarów ani kształtu pomieszczenia. Można jedynie zmniejszyć amplitudę niekorzystnych modów drgań (o częstotliwościach ok. 80-100 Hz). W tym celu zaleca się zainstalowanie ustrojów akustycznych w rogach pomieszczenia, tak jak jest to opisane w rozdziale 5.3.

Przewidywana charakterystyka czasu pogłosu po wykonaniu pełnej adaptacji akustycznej, zgodnie z zaleceniami z rozdziale 5, jest przedstawiona na Rys. 5:



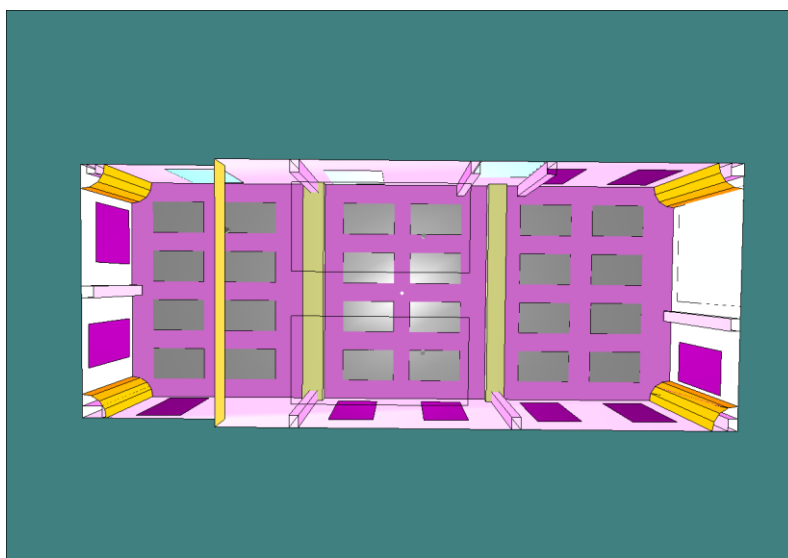
**Rys. 5 – Przewidywana charakterystyka czasu pogłosu po wykonaniu pełnej adaptacji akustycznej sali koncertowej.**

## 5 **ZALECANA ADAPTACJA AKUSTYCZNA**

W celu poprawy warunków pogłosowych zaleca się wykonanie następujących robót:

### 5.1 **Sufit**

Obecny sufit należy rozebrać. Przestrzeń nad sufitem należy wyłożyć wełną mineralną o grubości 100 mm i gęstości minimum  $10 \text{ kg/m}^3$ . Następnie należy zainstalować nowy sufit z płyty g-k z wstawionymi dwudziestoma czterema panelami z perforowanej płyty g-k o wymiarach 2 m x 1,2 m, rozłożonymi równomiernie po całej powierzchni sufitu, jak jest to pokazane na poniższym rusunku. Perforacja płyt powinna być następująca: otwory o średnicy 8mm w odstępnie 2,7 x 2,7 cm oraz 1,6 x 1,6 cm (w miankę). Wymiary i ilość paneli perforowanych może być inna, pod warunkiem, że panele będą rozłożone równomiernie, a całkowity obszar perforowanych płyt wyniesie  $57 \text{ m}^2$ . Zalecany rozkład paneli perforowanych jest przedstawiony na Rys. 6:



Rys. 6 – Widok od dołu z widocznymi panelami perforowanymi (na szaro).

#### **Alternatywne rozwiązanie:**

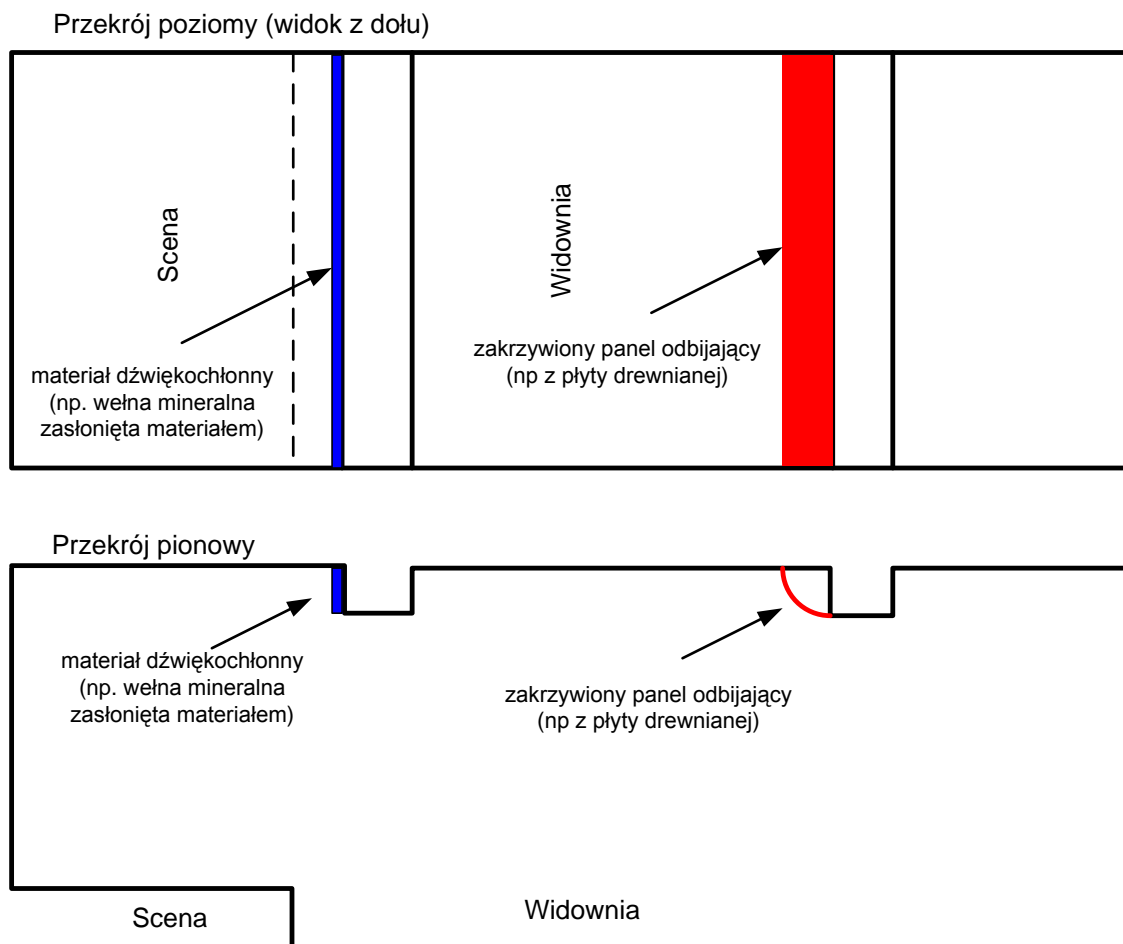
Zamiast instalować perforowane płyty i wełny mineralnej ponad nimi, można zastosować gotowe panele dźwiękochłonne. Zakupione panele powinny osiągnąć współczynnik pochłaniania nie mniejszy niż wartości podane w Tabeli 1, dla pasm częstotliwościowych 125 Hz – 4 kHz. Panele dźwiękochłonne powinny być rozłożone równomiernie po całej powierzchni sufitu, a ich całkowita powierzchnia powinna wynosić  $57 \text{ m}^2$ .

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
0.50	0.90	0.80	0.80	0.70	0.60

Tabela 1 – Zalecane minimalne wartości współczynnika pochłaniania ( $\alpha$ ) sufitowych paneli dźwiękochłonnych.

## 5.2 Dźwigary

Pod sufitem znajdują się dwa dźwigary. Na jednym z nich (bliżej sceny) należy od strony sceny zainstalować materiał dźwiękochłonny, na przykład warstwę 5 cm wełny mineralnej przykrytą materiałem, jak jest to pokazane na **niebiesko** na Rys. 7. Na drugim (dalej sceny) od strony sceny należy zainstalować zakrzywiony panel odbijający wykonany z jakiegokolwiek twardego materiału, na przykład z zakrzywionej płyty drewnianej (sklejka). Jest to pokazane na **czerwono** na Rys. 7.



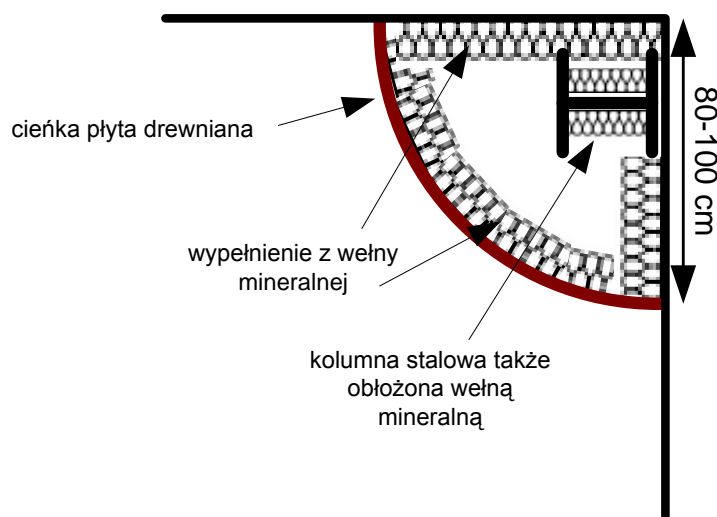
**Rys. 7 – Materiał pochłaniający i panel odbijający na dźwigarach.**

## 5.3 Rogi sali

W czterech rogach pomieszczenia zaleca się zainstalowanie ustrojów akustycznych o kształcie ćwierćwalca, o promieniu podstawy 80-100 cm, jak pokazano na Rys. 8 oraz 9. Ustroje powinny być zbudowane następująco:

- Należy rozebrać obudowę z płyt g-k narożnych kolumn i uszczelnić wszystkie powstałe od tego szczeliny;
- Następnie wyłożyć 5-10 cm grubości wełnę mineralną na powierzchnię ścian w rogu oraz wokół kolumny;

- Wybudować ramę przytrzymującą zagiętą płytę drewnianą. Rama powinna być taka, żeby promień podstawy ćwierćwalca wynosił 80-100 cm;
- Wewnętrzną powierzchnię cienkiej płyty drewnianej (np. sklejka o grubości 5 mm) wyłożyć wełną mineralną o grubości 5-10 cm;
- Zagiętą płytę należy przymocować do ramy tak, żeby tworzyła powierzchnię ćwierćwalca;
- Zewnętrzną powierzchnię płyty można pomalować.

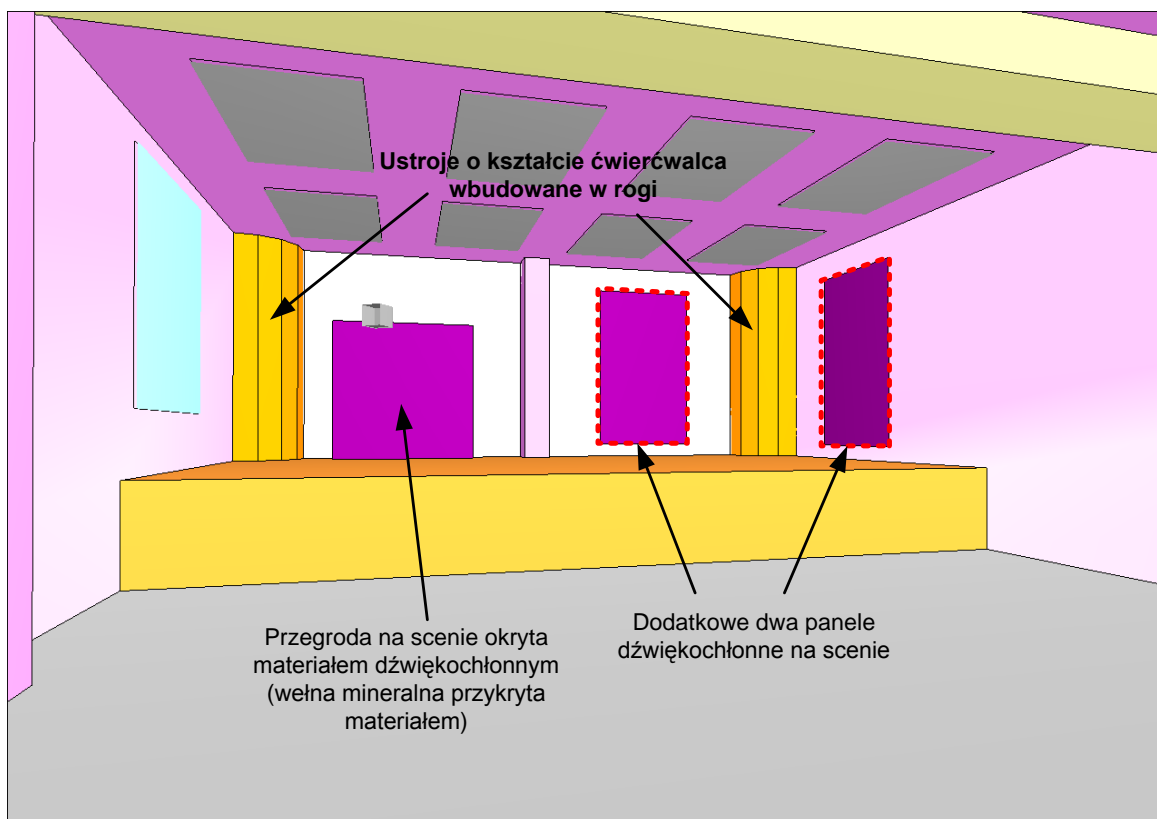


Rys. 8 – Przekrój poziomy przez narożny ustrój akustyczny

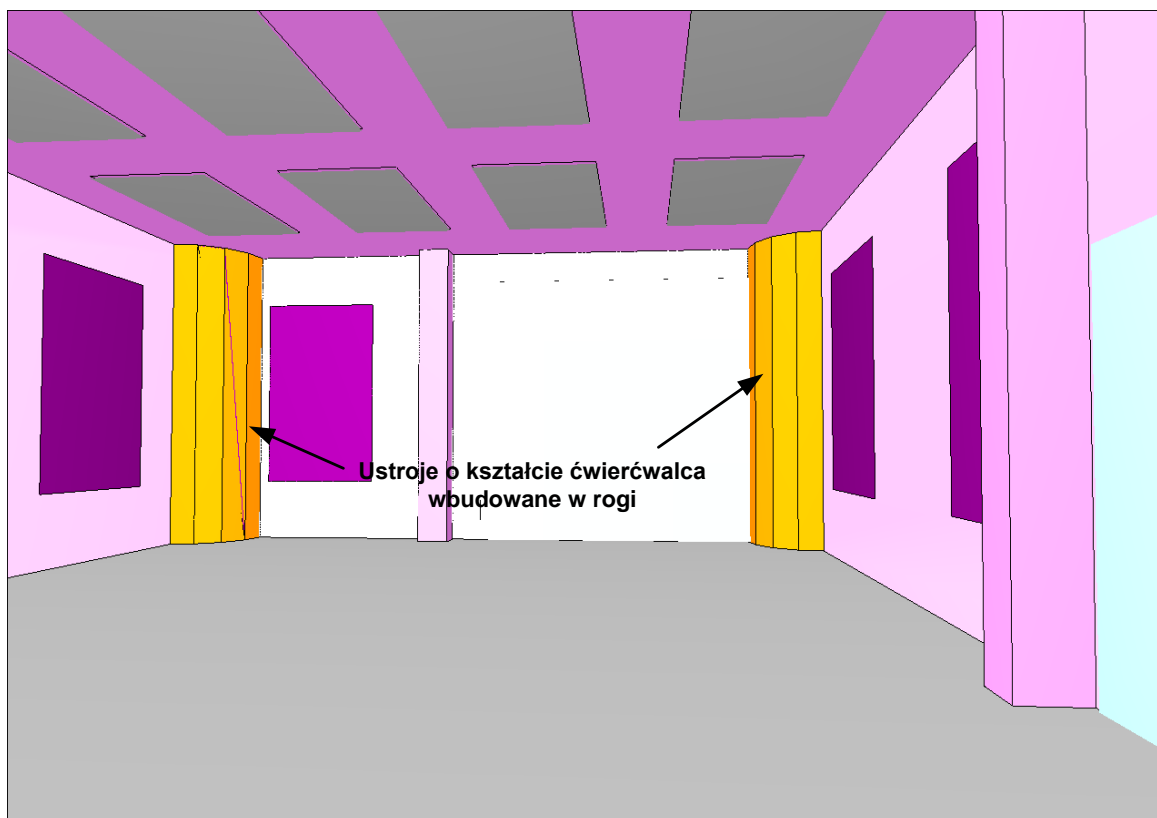
#### 5.4 Ściany

Aktualnie na ścianach zainstalowanych jest siedem paneli dźwiękochłonnych o wymiarach ok. 1,5 m x 2,5 m wykonanych z ramy drewnianej wypełnionej wełną mineralną (ok. 5 cm grubości), przykrytej materiałem. Te panele powinny pozostać na ścianach. Dodatkowo zaleca się zamontowanie kolejnych dwóch takich paneli na ścianach na scenie. Zaleca się też zamontowanie materiału dźwiękochłonnego (5 cm grubości wełna mineralna zasłonięta materiałem) na wolno stojącej przegrodzie na scenie, tak jak to jest pokazane na Rys. 9.

### Widok na scenę



### Widok na ścianę przeciwną do sceny



Rys. 9 – Zalecane ustroje akustyczne na ścianach sceny oraz w rogach pomieszczenia

## **ZAŁĄCZNIK 1 – Słowniczek**

<b>Czas pogłosu (T)</b>	Czas zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60 dB (milionkrotnie) po nagłym wyłączeniu dźwięku w pomieszczeniu, wyrażony w sekundach .
<b>Hałas</b>	Niepożądany lub szkodliwy dźwięk.
<b>Hałas pogłosowy</b>	Hałas w pomieszczeniu związany z wielokrotnymi odbiciami dźwięku od powierzchni ograniczających. Hałas pogłosowy negatywnie wpływa na zrozumiałość mowy.
<b>Poziom ciśnienia akustycznego</b>	Wartość fizyczna związana z głośnością podawana w decybelach (dB) w odniesieniu do najmniejszego słyszalnego ciśnienia akustycznego ( $2 \times 10^{-5}$ Pa)
<b>Częstotliwość</b>	Ilość cykli fali akustycznej w jednej sekundzie. Podaje się w hercach (Hz).
<b>Równoważny poziom dźwięku A (<math>L_{Aeq,T}</math>)</b>	Wartość poziomu ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, która w określonym przedziale czasu odniesienia jest równa średniemu kwadratowi ciśnienia akustycznego analizowanego dźwięku o zmiennym poziomie w czasie; równoważny poziom dźwięku A określa się w decybelach (dB)
<b>Charakterystyka częstotliwościowa A</b>	Charakterystyka częstotliwościowa stosowana do ważenia wartości poziomu ciśnienia akustycznego tak, by odzwierciedlić sposób słyszenia przez ludzkie ucho (człowiek dobrze słyszy dźwięki w zakresie średnich częstotliwości a zdecydowanie gorzej słyszy niskie i wysokie dźwięki).
<b>Pole swobodne</b>	Pole, w którym dźwięk rozchodzi się swobodnie, bez odbić od budynków, itp. W praktyce dopuszcza się odbicia od podłoża.
<b>Pasma oktauwowe</b>	Pasma częstotliwości, którego górna granica jest dwa razy wyższa od dolnej granicy. Pasma oktauwowe podaje się według środkowych częstotliwości, np.: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 (Hz)
<b>Pasma tercjowe</b>	Pasma częstotliwościowe o węższym zakresie od pasm oktauwowych. W jednym paśmie oktauwowym zawierają się trzy pasma tercjowe.