# PROJEKT ZAMIENNY BUDOWLANO – WYKONAWCZY PRZEBUDOWY, NADBUDOWY I ROZBUDOWY MIEJSKIEGO DOMU KULTURY W MŁAWIE-Etap II

**FAZA PROJEKTU:** *Projekt wykonawczy*

**INWESTOR:** *Urząd Miasta Mława*
*ul. Stary Rynek 19 06-500 Mława*

**ADRES INWESTYCJI:** *ul. Stary Rynek 13 06-500 Mława*

**TOM VIIIa** *P.W. Opracowania akustyczne*

**AUTORZY OPRACOWANIA:**

*Branża multimedialna:*

**mgr inż. Marcin Biegaj**

*wrzesień 2015*

**Spis treści**

1 Cel i zakres opracowania ..... 3
2 Materiały wyjściowe ..... 3
3 Opis pomieszczenia ..... 4
4 Akustyka wnętrz ..... 6
4.1 Wymagania projektowe ..... 6
4.1.1 Czas pogłosu ..... 6
4.1.2 Zrozumiałość mowy STI, RASTI ..... 9
4.2 Założenia projektowe ..... 9
4.3 Model komputerowy ..... 10
4.4 Wytyczne adaptacji akustycznej ..... 11
4.5 Ocena parametrów akustycznych ..... 18
4.5.1 Analiza czasu pogłosu $T_{20}$ ..... 19
4.5.2 Analiza parametru zrozumiałości mowy RASTI ..... 20
4.6 Wnioski ..... 20
4.7 Zalecenia ..... 20
5 Ochrona przed hałasem ..... 21
5.1 Pojęcia związane z izolacyjnością akustyczną przegród ..... 21
5.2 Wymagania w zakresie izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych ..... 23
5.3 Ocena przyjętych rozwiązań oraz wytyczne konstrukcji stropów ..... 24
5.4 Wnioski ..... 26

## 1 CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest przedstawienie rozwiązań technicznych mających na celu zapewnienie prawidłowych warunków akustycznych projektowanej sali wielofunkcyjnej z wiodącą funkcją kina znajdującej się w przebudowywanym budynku Miejskiego Domu Kultury w Mławie zlokalizowanym przy ul. Stary Rynek 13 w Mławie.

Zakres pracy:

a) akustyka wnętrz
- wykonanie przestrzennego modelu pomieszczenia w programie służącym do modelowania akustyki wnętrz na podstawie rysunków dostarczonych przez zleceniodawcę,
- określenie wymagań akustycznych dla sali w odniesieniu do jej funkcji,
- opracowanie wytycznych adaptacji akustycznej sali, dobór i lokalizacja materiałów,
- obliczenia parametrów akustycznych sali: $T_{20}$ i RASTI po uwzględnieniu proponowanych rozwiązań,

b) ochrona przed hałasem
- określenie wymagań w zakresie dopuszczalnych poziomów hałasu w pomieszczeniu,
- określenie wymagań w zakresie izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych,
- ocena rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych przegród wewnętrznych.

## 2 MATERIAŁY WYJŚCIOWE

1. Rysunki rzutów i przekrojów sali,
2. A. Kulowski „Akustyka sal", Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007,
3. M .David Egan „Architectural Acoustics" J.Ross Publishing, 2007,
4. M. Long „Architectural Acoustics", Elsevier Academic Press, 2006,
5. F. Alton Everest „Podręcznik akustyki", Wydawnictwo Sonia Draga, Katowice 2004,
6. AS/NZS 2107:2000 Acoustics – Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors",

7. PN-B-02151-02:1987 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach,
8. PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania,
9. PN-B-02151-4: 2015 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach,
10. Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i nawiewników powietrza zewnętrznego, poradnik nr 448/2009, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2009,
11. Programu *Insul ver. 8.0.08* do obliczeń izolacyjności akustycznej przegród złożonych,
12. Program *Zorba ver. 3.0.1.* do obliczeń współczynników pochłaniania dźwięku ustrojów pochłaniających,
13. Program *QRDude ver. 3.00* do obliczeń wymiarów dyfuzorów typu QRD (http://www.subwoofer-builder.com/qrd.htm).

## 3 OPIS POMIESZCZENIA

Projektowana sala wielofunkcyjna z wiodącą funkcją kina znajduje się w budynku Miejskiego Domu Kultury w Mławie zlokalizowanym przy ul. Stary Rynek 13 w Mławie, który ma zostać przebudowany i rozbudowany.

Główną i nadrzędną funkcją pomieszczenia jest sala kinowa, w której będą wyświetlane projekcje filmowe z zastosowaniem przestrzennego systemu nagłośnienia dźwięku w technologii Dolby Atmos. Okazjonalnie sala będzie wykorzystywana do organizacji różnego rodzaju wydarzeń kulturalno-rozrywkowych oraz imprez słowno-muzycznych w tym m.in. przedstawień teatralnych i koncertów.

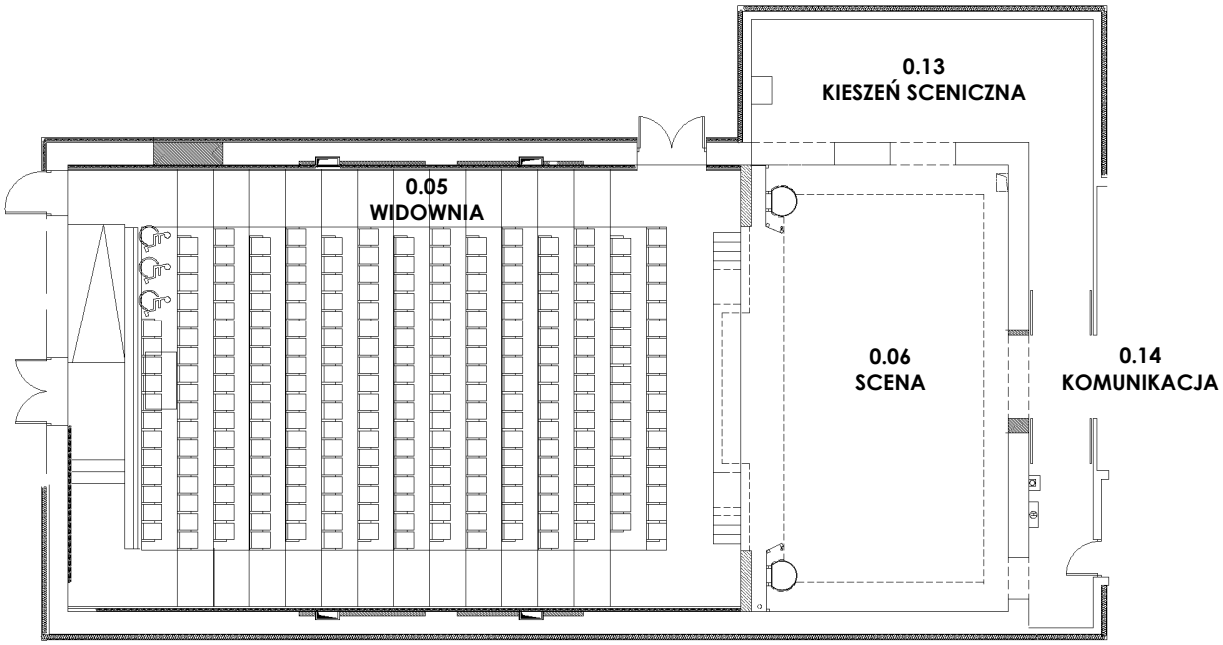
W skład sali wchodzi obszar widowni (0.11) oraz scena z kieszenią boczną i korytarzem komunikacyjnym (0.12/0.13/0.14).

Widownia oparta jest na planie prostokąta. Wewnętrzne wymiary widowni to 19,42m x 12,86m (długość x szerokość), wysokość od 5,58 do 7,53m. Wewnętrzne wymiary sceny bez kieszeni bocznej to 7,40m x 12,86m x 11,67,m (długość x szerokość x wysokość). Kieszeń sceniczna o pow. 28,760m$^2$, korytarz komunikacyjny o pow. 32,12,83m$^2$, oba obszary o wysokości 2,91m. Objętość całego pomieszczenia, obliczona na podstawie rysunków przedstawiających rzuty i przekroje sali, wynosi ok.

2 983m$^3$. Pomieszczenie sali jest całkowicie zamknięte. Nie występują przestrzenie akustyczne powiązane z analizowanym wnętrzem.

Scena znajduje się na podwyższeniu 0,77m powyżej poziomu widowni. Po lewej stronie sceny, patrząc z widowni w kierunku sceny, mieści się kieszeń sceniczna, która przechodzi w korytarz komunikacyjny prowadzący na zaplecze magazynowe. Na suficie znajdują się sztankiety, na których zamontowana jest technologia sceniczna, podwieszane kotary i opuszczany ekran. Na tylnej ścianie zamontowane są drzwi na zaplecze magazynowe.

Pozostałą przestrzeń sali stanowi obszar widowni. Z przodu, po lewej stronie, patrząc z widowni w kierunku sceny, znajdują się drzwi wejściowe na poziomie -1.53m. Widownia wznosi się lekko do góry. Miejsca siedzące rozmieszczone są w 15 rzędach, po 17 foteli w rzędzie. Po obu bokach sali usytuowane są schody, umożliwiające dostęp do poszczególnych rzędów na widowni. Łącznie sala wielofunkcyjna przewidziana jest na pomieszczenie 253 słuchaczy. Za ostatnim rzędem widowni, na poziomie +0,42, znajduje się niska ścianka działowa, za którą schowane są schody i podjazd do wejścia głównego zlokalizowanego na poziomie +0,00m. Na ścianie tylnej znajdują sie okna z kabiny operatora na 1 piętrze.




Rys. 1. Plan projektowanej sali wielofunkcyjnej (rzut parter)

Obszar widowni sąsiaduje z holem wejściowym na parterze, kabiną operatora na 1 piętrze oraz klatką schodową na obu kondygnacjach. Nad widownią, na drugim piętrze znajduje się sala baletowa (2.10), która będzie pełnić funkcję sali tanecznej, konferencyjnej oraz dodatkowej sali kinowej.

Obszar sceny przylega do pomieszczenia amplifikatorni, toalety i magazynu garderoby na 1 piętrze oraz pokoju gościnnego, toalety i magazynu bielizny na 2 piętrze. Przestrzeń komunikacyjna za sceną przylega do magazynu rekwizytów i klatki schodowej na parterze. Część budynku, w której znajduje się sala wielofunkcyjna, ekranowana jest od ulicy zwartą zabudową usługowo-mieszkaniową.

# 4 AKUSTYKA WNĘTRZ

## 4.1 Wymagania projektowe

### 4.1.1 Czas pogłosu

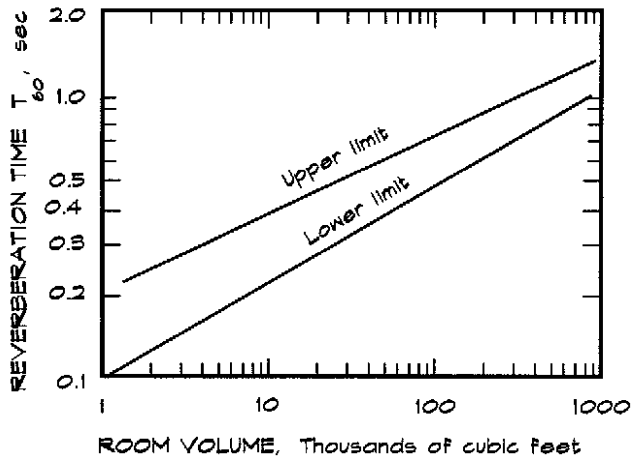
Czas pogłosu jest czasem zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60dB po wyłączeniu źródła dźwięku, wyrażonym w sekundach.

Analizowana sala wielofunkcyjna należy do grupy pomieszczeń specjalnych o akustyce kwalifikowanej, których przeznaczenie i funkcja użytkowania jest bezpośrednio związana z właściwościami akustycznymi pomieszczenia.

W chwili obecnej nie istnieją w Polsce przepisy odnosząca się do problemu czasu pogłosu w pomieszczeniach specjalnych. Norma [9] nie określa wymagań dla pomieszczeń o akustyce kwalifikowanej, dlatego posłużono się normami zagranicznymi i zaleceniami zawartymi w literaturze tematu.

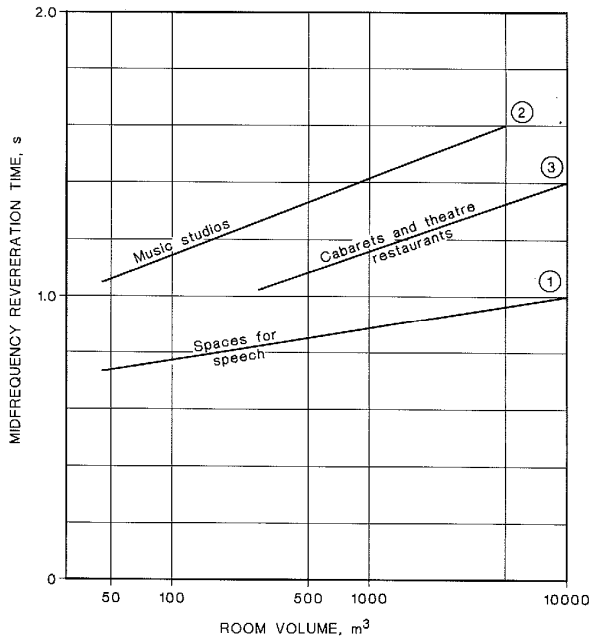
Zgodnie z założeniami projektowymi wiodąca funkcją sali wielofunkcyjnej będzie sala kinowa.

Według wymagań amerykańskiego Stowarzyszenia Inżynierów Filmu i Telewizji SMPTE (Sociaty of Motion Picture and Televisoin Engineers), podanych w literaturze zagranicznej [4], optymalny czas pogłosu, w zależności od kubatury pomieszczenia, powinien zawierać się w przedziale wartości pomiędzy dolną i górną krzywą umieszczoną na Wykresie 1.




Wykres 1. Wymagane wartości czasu pogłosu dla sal kinowych wg standardu SMPTE [4]

Według wytycznych zawartych w normie AS/NZS 2107:2000, obowiązującej na terenie Australii i Nowej Zelandii [6], zalecany czas pogłosu dla sal kinowych, dla częstotliwości środkowej 500Hz lub 1000Hz, w zależności od kubatury pomieszczenia, powinien wynosić zgodnie z krzywą 1 umieszczoną na Wykresie 2.




Wykres 2. Wymagane wartości czasu pogłosu dla sal kinowych wg normy AS/NZS 2107:2000 [6]

Według wytycznych zawartych w literaturze [2], wymagany czas pogłosu dla sal kinowych, w zależności od kubatury sali, można obliczyć ze wzorów [2]:

– kino studyjne $T_{wym} = 0{,}20 \cdot \log(V) + 0{,}41$ (1.1)

– kino typu „multikino" $T_{wym} = 0{,}30 \cdot \log(V) - 0{,}30$ (1.2)

gdzie: V – objętość obiektu

Według wytycznych zawartych w literaturze [3], optymalny czas pogłosu w salach kinowych powinien zawierać się w przedziale wartości ok. 0,8 ÷ 1,2s.

Zgodnie z założeniami projektowymi sala wielofunkcyjna okazjonalnie będzie pełnić funkcję sali teatralnej lub sali koncertowej.

W przypadku pomieszczeń wielofunkcyjnych i sal audytoryjnych ogólnego przeznaczenia dla muzyki i mowy optymalny czas pogłosu powinien wynosi ok. 1,6-1,8s s [3].

W przypadku sal teatralnych, zalecany czas pogłosu w zależności od kubatury pomieszczenia można obliczyć ze wzorów [2]:

– dla sal teatralnych: $T_{wym} = 0{,}30 \cdot \log(V) + 0{,}3$ (1.3)

– dla teatrów dramatycznych: $T_{wym} = 0{,}075 \cdot \log(V)^{\frac{1}{3}}$ (1.4)

– dla teatrów operowych: $T_{wym} = 0{,}25 \cdot \log(V) + 0{,}39$ (1.5)

$T_{wym} = 0{,}5 \cdot \log(V) - 0{,}5$ (1.6)

gdzie: V – objętość obiektu

Według wytycznych zawartych w literaturze [2][3][4], preferowana wartość czasu pogłosu mieści się w zakresie od ok. 0,80s do 1,40s – w przypadku teatrów dramatycznych i kabaretów (o przeznaczeniu słownym), od 1,20 do 1,60 – w przypadku teatrów słowno-muzyczny (musicale, operetki) oraz od ok. 1,40 do 1,80 – w przypadku teatrów operowych.

W przypadku sal koncertowych muzyki klasycznej, zalecany czas pogłosu w zależności od kubatury pomieszczenia można obliczyć ze wzorów z pozycji [2]:

– sala koncertowa: $T_{wym} = 0{,}30 \cdot \log(V) + 0{,}46$ (1.7)

$T_{wym} = 0{,}09 \cdot (V)^{\frac{1}{3}}$ (1.8)

$T_{wym} = 0{,}38 \cdot (V)^{\frac{1}{6}}$ (1.9)

$T_{wym} = 0{,}5 \cdot \log(V)$ (1.10)

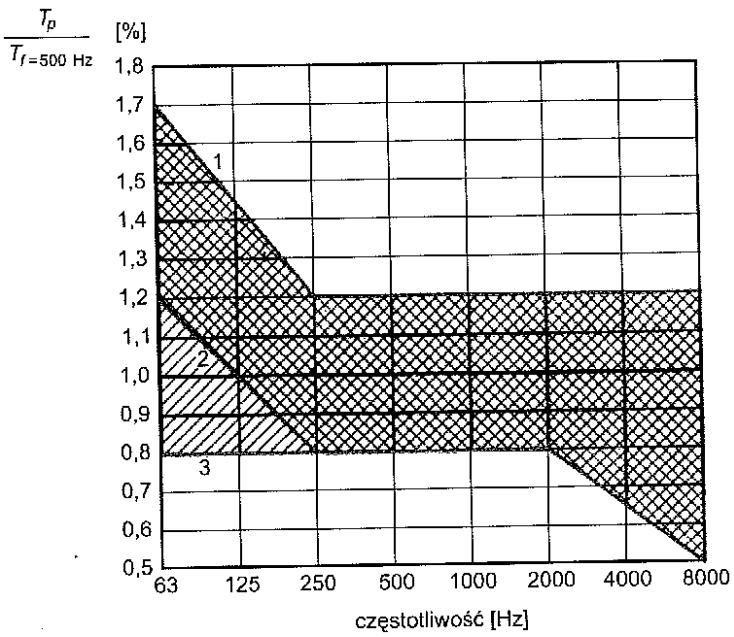
– sala kameralna: $T_{wym} = 0{,}2 \cdot \log(V) + 0{,}31$ (1.11)

gdzie: V – objętość obiektu

Według wytycznych zawartych w literaturze [2][3][4], sugerowany czas pogłosu w salach koncertowych zawiera sie w przedziale wartości od 1,5s do 2,3s – dla sal przeznaczonych do wykonywania muzyki symfonicznej oraz w zakresie 1,0 ÷ 1,7s – dla sal koncertowych muzyki kameralnej i recitali solowych.

W przypadku sal koncertowych przewidzianych na występy zespołów rockowych i muzyki pop, optymalny czas pogłosu powinien wynosić ok. 0,90 s ÷ 1,2 s [2][3].

Wymagania odnoszą się do pomieszczeń z ludźmi (100 % zapełnienia). W zależności od przeznaczenia pomieszczenia, związanego z sygnałem mowy lub muzyki, optymalne wartości czasu pogłosu w funkcji częstotliwości powinny mieścić się w przedziale tolerancji ±20% określonej na Wykresie 3 [2].




Wykres 3. Tolerancja wartości wymaganego czasu pogłosu w zależności od częstotliwości dla sygnału mowy (krzywe 1-3) i muzyki (krzywe 1-2) [2]

### 4.1.2 Zrozumiałość mowy STI, RASTI

Zrozumiałość mowy STI (Speech Transmission Index, RASTI – Rapid Articulation Speech Transmission Index) służy do oceny zdolności odbiorcy do zrozumienia poszczególnych sylab, słów we wnętrzu. Na poziom zrozumiałości mowy wpływa wiele czynników, np. sam sygnał mowy, kierunek, z którego nadchodzi dźwięk, poziom szumu tła, czas pogłosu w pomieszczeniu oraz kształt pomieszczenia.

Zestawienie wartości parametru STI przedstawiono w poniższej tabeli:

| Parametr | Wartości zalecane oraz ocena subiektywna | | | |
|---|---|---|---|---|
| | doskonała (exellent) | dobra (good) | dostateczna (fair) | słaba (poor) |
| STI, RASTI | >0,75 | 0,60 – 0,75 | 0,45 – 0,60 | 0,30 – 0,45 |

Przyjmuje się, że zrozumiałość mowy będzie co najmniej dobra.

## 4.2 Założenia projektowe

Ze względu na rozbieżność wymagań czasu pogłosu wynikających z wielofunkcyjnego przeznaczenia pomieszczenia oraz z racji tego, że wiodącą funkcją pomieszczenia będzie sala kinowa, czas pogłosu został ustalony na podstawie wymagań odnoszących się dla pomieszczeń kinowych.

- Obliczona na podstawie rysunków objętość sali wynosi około **V ≈ 2 983m³ (≈ 105 344 ft³)**,

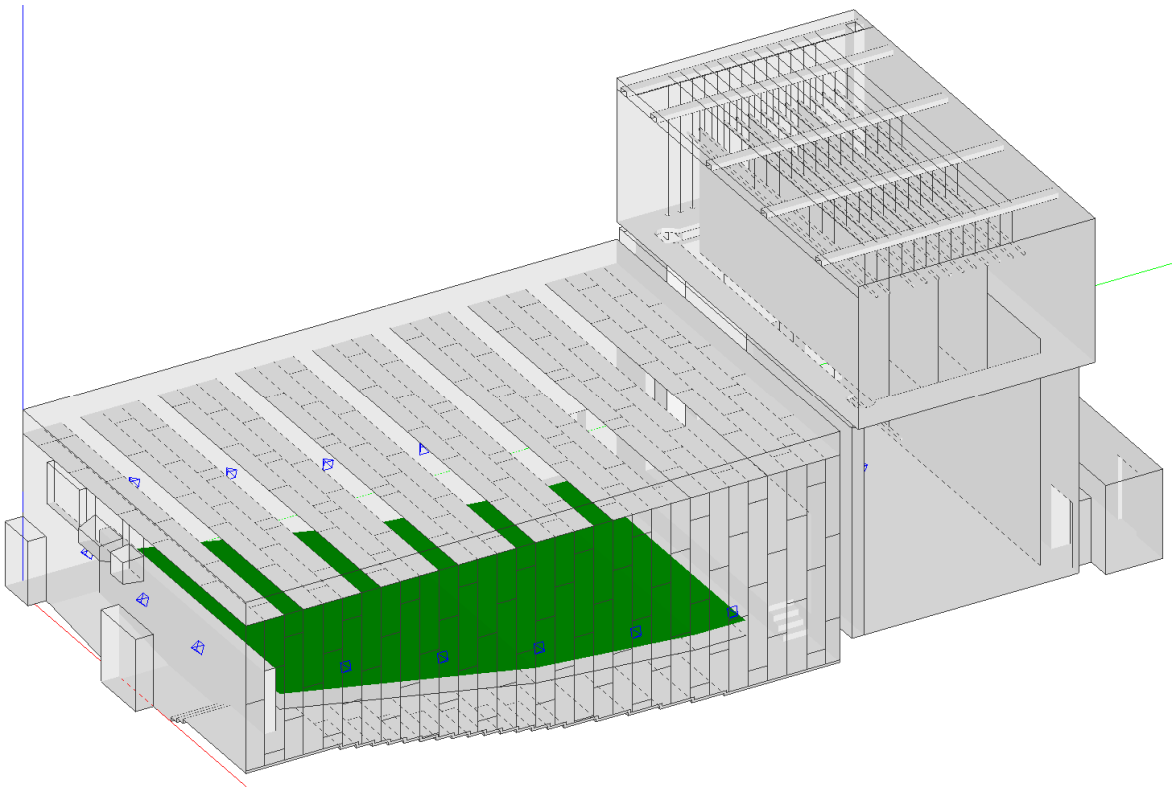
- Wartość czasu pogłosu:
    - wg wykresu 1 (SMPTE), dla obliczonej kubatury sali, wynosi ok. **0,60 s**
    - wg wykresu 2 (AS/NZS), dla obliczonej kubatury sali, wynosi ok. **0,90 s**
    - wg wzoru (1.1) (kino studyjne), dla obliczonej kubatury sali, wynosi **1,10 s**
    - wg wzoru (1.2) (multikino), dla obliczonej kubatury sali, wynosi **0,74 s**
    - wg literatury średnia wartość wynosi **0,80 ÷ 1,20 s**

Biorąc pod uwagę powyższe zestawienie oraz fakt, że projektowana sala przewiduje zastosowanie systemu nagłośnienia w technologii Dolby Atmos, przyjęto:

- Czas pogłosu, dla obliczonej kubatury pomieszczenia, powinien wynosić **$T_{wym}$ = 0,65 s,** z tolerancją wg wykresu 3, przy pełnym zapełnieniu słuchaczami.
- Parametr RASTI będzie przyjmował wartość **> 0,60.**

### 4.3 Model komputerowy

W celu obliczenia parametrów akustycznych wnętrza sali wykonano model komputerowy w programie EASE (Enhanced Acoustic Simulator for Engineers) Version 4.2.4.37 (Acoustics, Aura, Vision). Poniżej przedstawiono widok pomieszczenia w 3D stanowiący wydruk z ww. programu.



Rys. 2 Model 3D sali wielofunkcyjnej

### 4.4 Wytyczne adaptacji akustycznej

W celu uzyskania wymaganych wartości czasu pogłosu proponuje się zastosowanie następujących rozwiązań:

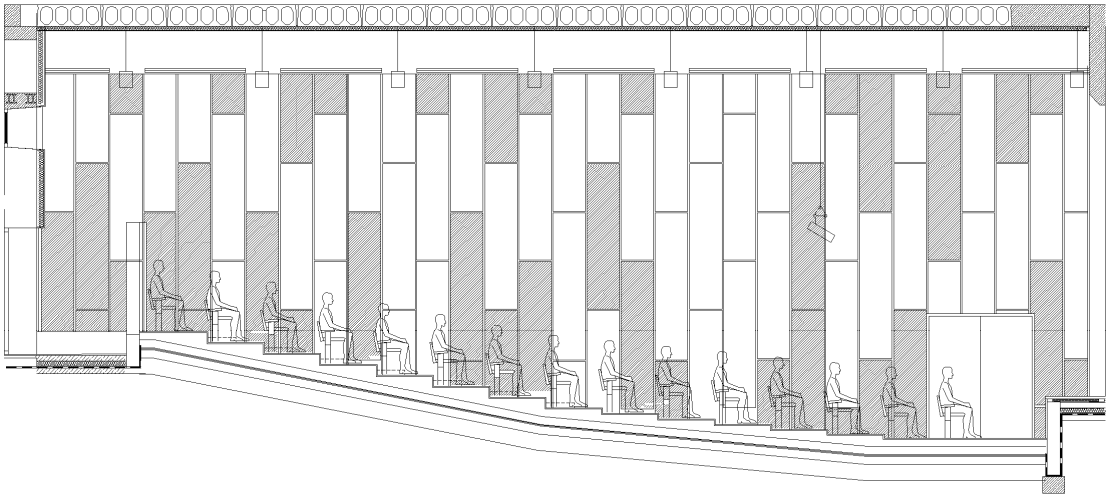
– na powierzchni ścian bocznych, po obu stronach sali, na wysokości od listwy przypodłogowej do sufitu podwieszanego, montaż 2 rodzajów paneli akustycznych:
  - paneli dźwiękochłonnych wykonanych z wełny szklanej o gęstości 100kg/m$^3$. Powierzchnia licowa wykończona tkaniną z włókna szklanego w wybranym kolorze (panel 1). Panele charakteryzujące się współczynnikiem pochłania dźwięku a w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. Ecophon Acusto Wall C/Texona – 43mm c.w.k. ):

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,20 | 0,75 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,95 |

  - paneli częściowo odbijających wykonanych z wełny szklanej o gęstości 100kg/m$^3$. Powierzchnia licowa wykończona powłoką odbijającą w wybranym kolorze (panel 2). Panele charakteryzujące się współczynnikiem pochłania dźwięku a w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. Ecophon Acusto Wall C/Textona gamma – 43mm c.w.k.):

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,35 | 0,25 | 0,35 | 0,20 | 0,25 | 0,15 |

Panele o wymiarach 600x2700mm i grubości 40mm zamocowane w odległości 100mm od ściany z wypełnieniem wełną mineralną grubości 100mm i gęstości 50kg/m$^3$, całkowita odległość konstrukcyjna 143mm. Płyty mocowane w konstrukcji aluminiowej, z widocznymi profilami między łączeniami, w celu podkreślenia przesunięcia paneli względem siebie. Płyty z możliwością stosowania jako okładzina ścienna potwierdzone aktualną aprobatą techniczna na okładzinę ścienną. Rozmieszczenie paneli na ścianach bocznych przedstawiono na rysunku nr 3. Układ paneli identyczny dla obydwu ścian bocznych.



Rys. 3. Lokalizacja paneli na ścianach bocznych
obszar zakreskowany – panel 1, obszar pusty – panel 2

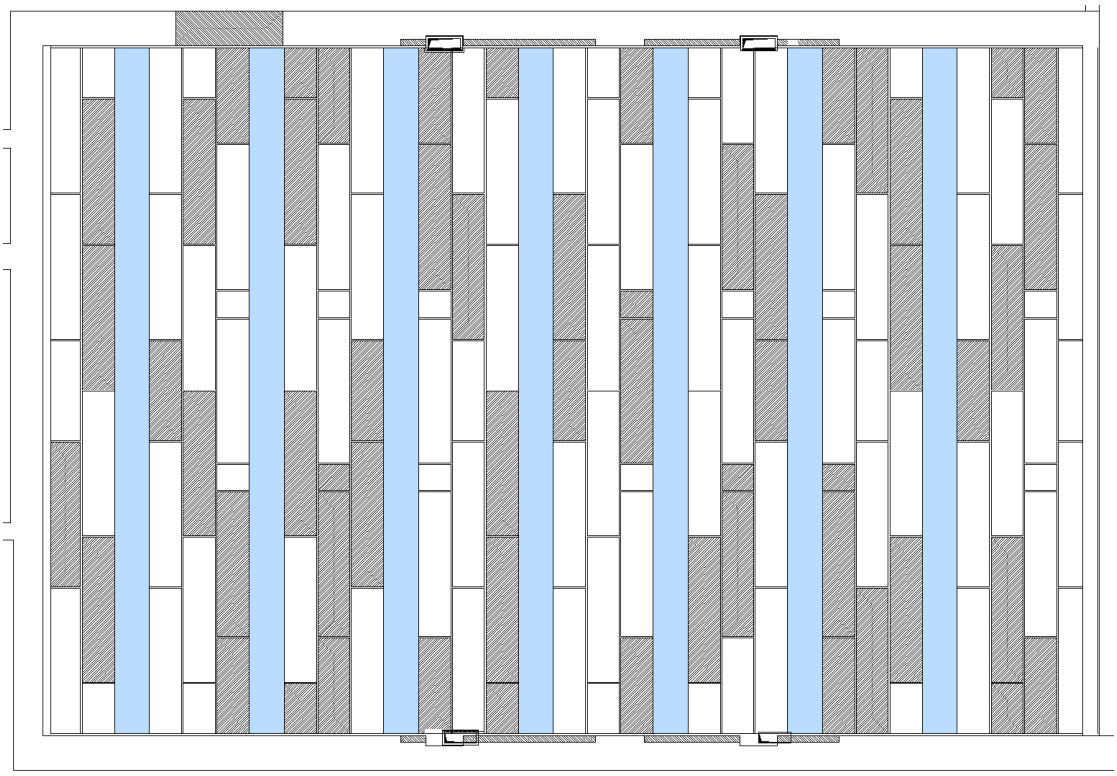
- na pozostałej powierzchni ścian bocznych, po obu stronach sali, na wysokości od sufitu podwieszanego do stropu, montaż pełnej, pojedynczej płyty gipsowo-kartonowej grubości 12,5mm, zlicowanej do linii paneli akustycznych, na stelażu w odległości ok. 140mm od ściany z wypełnieniem wełną mineralną grubości 100mm i gęstości 50kg/m$^3$, całkowita odległość konstrukcyjna 143mm,
- na całej powierzchni ściany tylnej, montaż pełnej, pojedynczej płyty gipsowo-kartonowej grubości 12,5mm na stelażu grubości 50mm z wypełnieniem wełną mineralną grubości 50mm i gęstości 50kg/m$^3$, całkowita odległość konstrukcyjna 62,5mm. Płyty pokryte zacieranym tynkiem o granulacji 1,5-2mm.
- nad obszarem widowni, na całą szerokość sali, montaż sufitu podwieszanego wykonanego z 2 rodzajów paneli akustycznych:
    - paneli dźwiękochłonnych wykonanych z wełny szklanej o gęstości 100kg/m$^3$. Powierzchnia licowa wykończona tkaniną z włókna szklanego w wybranym kolorze (panel 1). Panele charakteryzujące się współczynnikiem pochłania dźwięku a w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. Ecophon Acusto Wall C/Texona – 43mm c.w.k. ):

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,20 | 0,75 | 1,00 | 1,00 | 0,95 | 0,95 |

- paneli częściowo odbijających wykonanych z wełny szklanej o gęstości 100kg/m$^3$. Powierzchnia licowa wykończona powłoką odbijającą w wybranym kolorze (panel 2). Panele charakteryzujące się współczynnikiem pochłania dźwięku a w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. Ecophon Acusto Wall C/Textona gamma – 43mm c.w.k.):

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,35 | 0,25 | 0,35 | 0,20 | 0,25 | 0,15 |

Panele o różnej długości, szerokości 600mm i grubości 40mm, zamocowane w odległości 81cm od stropu masywnego, całkowita wysokość konstrukcyjna 85cm. Płyty mocowane w konstrukcji aluminiowej, z widocznymi profilami między łączeniami, w celu podkreślenia przesunięcia paneli względem siebie. Płyty z możliwością stosowania jako okładzina ścienna potwierdzone aktualną aprobatą techniczna na okładzinę ścienną. Rozmieszczenie paneli na suficie podwieszanym przedstawiono na rysunku nr 4.

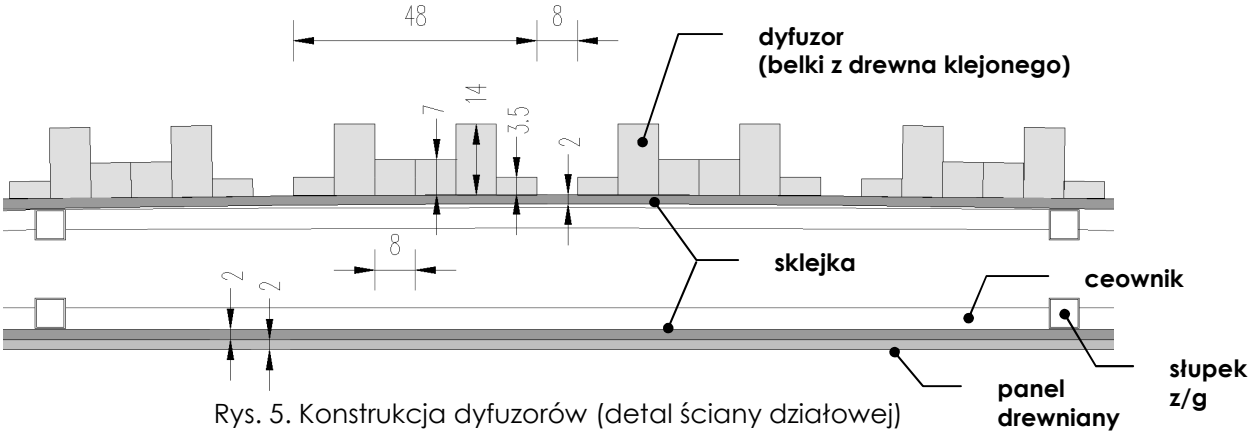


Rys. 4. Lokalizacja paneli na suficie podwieszanym
obszar zakreskowany – panel 1, obszar pusty – panel 2,
obszar niebieski – bez okładziny (pustka powietrzna)

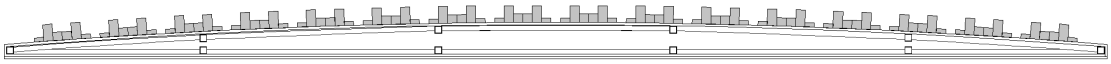
- nad obszarem widowni, na całej powierzchni stropu wykonanego z płyt sprężonych kanałowych, montaż bezpośrednio do stropu wełny mineralnej o grubości 80mm i gęstości 50kg/m$^3$, pokrytej warstwą fizeliny,
- nad obszarem sceny, na całej powierzchni stropu wykonanego z płyt sprężonych kanałowych, montaż bezpośrednio do stropu wełny mineralnej o grubości 50mm i gęstości 50kg/m$^3$, pokrytej warstwą fizeliny,
- nad obszarem kieszeni scenicznej i komunikacji, na całej powierzchni stropu Teriva, montaż sufitu podwieszanego z płyt dźwiękochłonnych wykonanych z wełny szklanej o dużej gęstości. Powierzchnia licowa wykończona welonem szklanym malowanym na czarno. Płyty o grubości 20mm zamocowane w odległości 180mm od stropu, całkowita wysokość konstrukcyjna 200mm. Płyty mocowane w niewidocznej konstrukcji ze stali ocynkowanej. Płyty charakteryzujące się współczynnikiem pochłania dźwięku a w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. Ecophon Sombra Ds - 200mm c.w.k.):

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,55 | 0,85 | 0,90 | 0,85 | 1,00 | 1,00 |

- krótka ściana działowa, znajdująca sie za ostatnim rzędem widowni, wykonana ze sklejki drewnianej o grubości 1,5-2cm, opartej na ceownikach usztywniających przymocowanych do słupków zimno-giętych 60x60x0,3mm. Powierzchnia sklejki, od strony widowni, wygięta w łuk o promieniu ok. 59,50m. Na całej powierzchni ściany działowej montaż:
    - od strony wejścia – panelu drewnianego o grubości 2cm.
    - od strony widowni – dyfuzorów jednowymiarowych typu QRD odpowiedzialnych za rozproszenie dźwięku i eliminację niekorzystnych odbić od ściany tylnej sali. Pojedynczy dyfuzor o wymiarach 48cm x 223cm x 14cm (szer. x wys. x gr.) wykonany z 6 belek drewnianych klejonych. Belki o wymiarach 8cm x 245cm (szer. x wys.) i trzech rodzajach grubości. Belki przylegające do siebie wzdłuż najdłuższego boku, przymocowane do sklejki za pomocą śrub. Wartości grubości poszczególnych belek, oparte na sekwencji residuum kwadratowego dla liczby pierwszej 7, wynoszą kolejno: 3,5cm, 14cm, 7cm, 7cm, 14cm, 3,5cm. Pojedyncze dyfuzory rozmieszczone po łuku w odstępach 8cm od siebie (Rys.5).




Rys. 5. Konstrukcja dyfuzorów (detal ściany działowej)



Rys. 6. Konstrukcja dyfuzorów (cała ściana działowa)

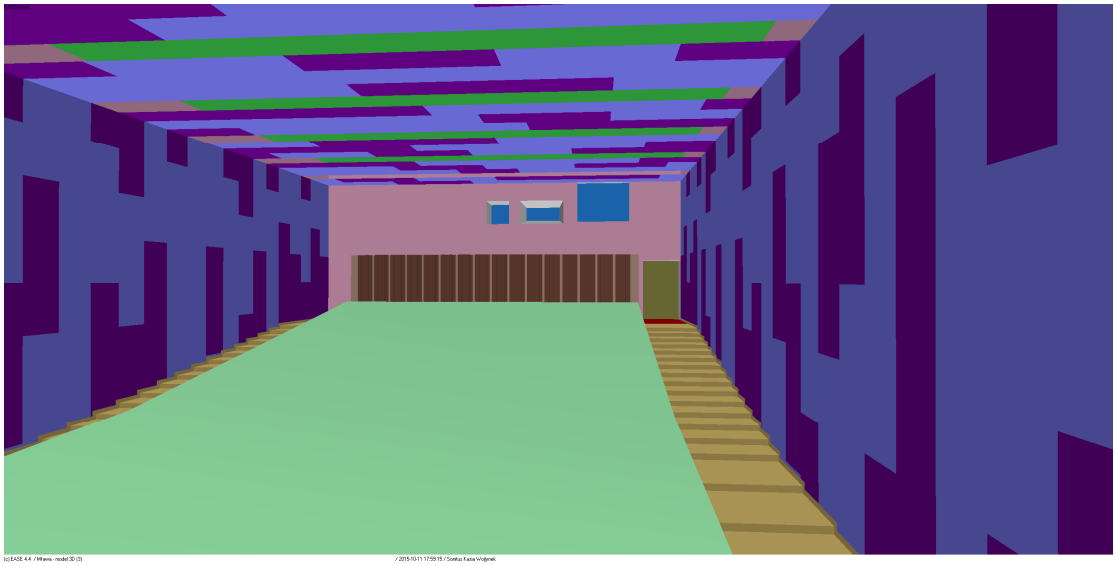
- na powierzchni widowni montaż foteli tapicerowanych. Siedziska i oparcia wykonane z pianki odlewanej, profilowanej o gęstości 60kg/m$^3$, pokrytej tkaniną trudnopalna, 100% poliester. Siedziska składane. Elementy konstrukcji nośnej wykonane z drewna i malowane lakierem. Osłona siedziska i oparcia wykonana ze sklejki pokrytej lakierem. Odstępy między siedziskami ok. 100cm. Fotele tapicerowane charakteryzujące się praktycznym współczynnikiem pochłania dźwięku $a_p$ w pasmach oktawowych nie mniejszym niż podany poniżej (np. *Megan Seating* model *Torino*):
  - bez widzów

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,20 | 0,35 | 0,50 | 0,55 | 0,50 | 0,45 |

  - z widzami

| częstotliwość środkowa pasm oktawowych f [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| współczynnik pochłaniania dźwięku a | 0,35 | 0,50 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,80 |

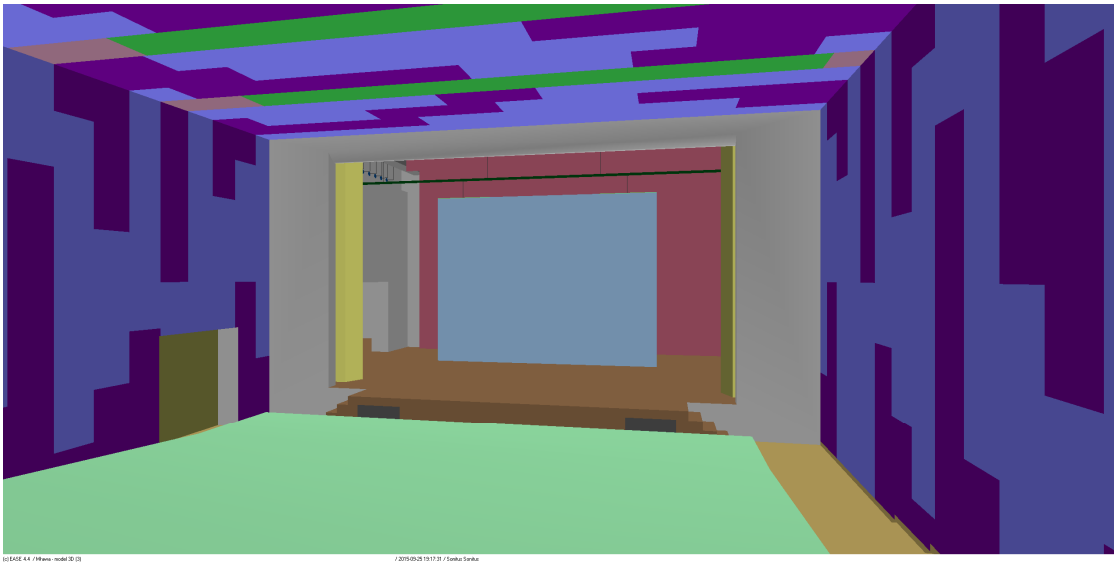
zgodnie z wizualizacjami poniżej:



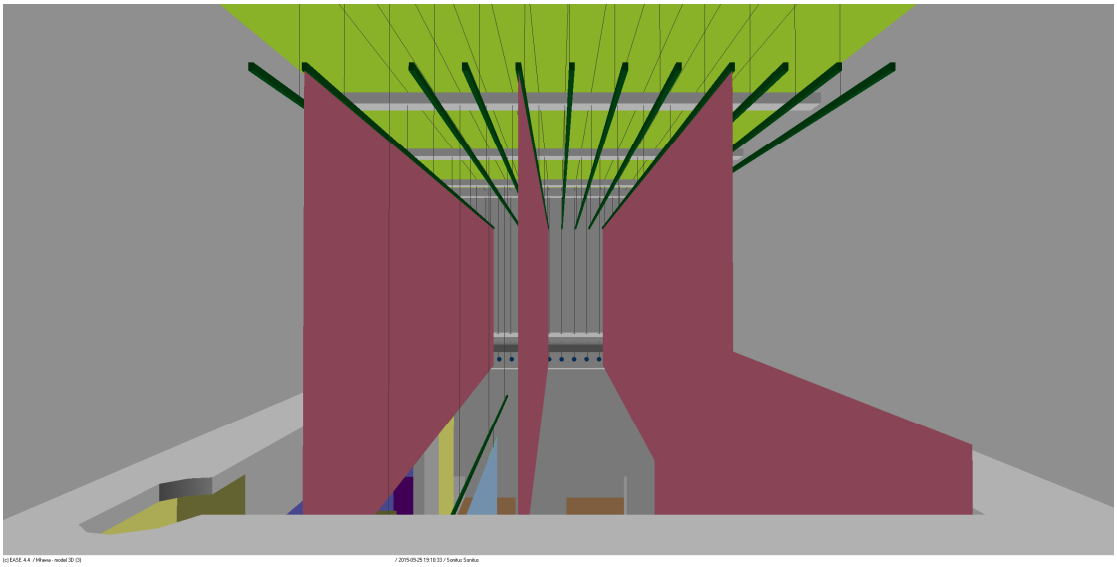
Rys. 7 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na widownię)

Rys. 8 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na ścianę działowa  - od strony dyfuzora)

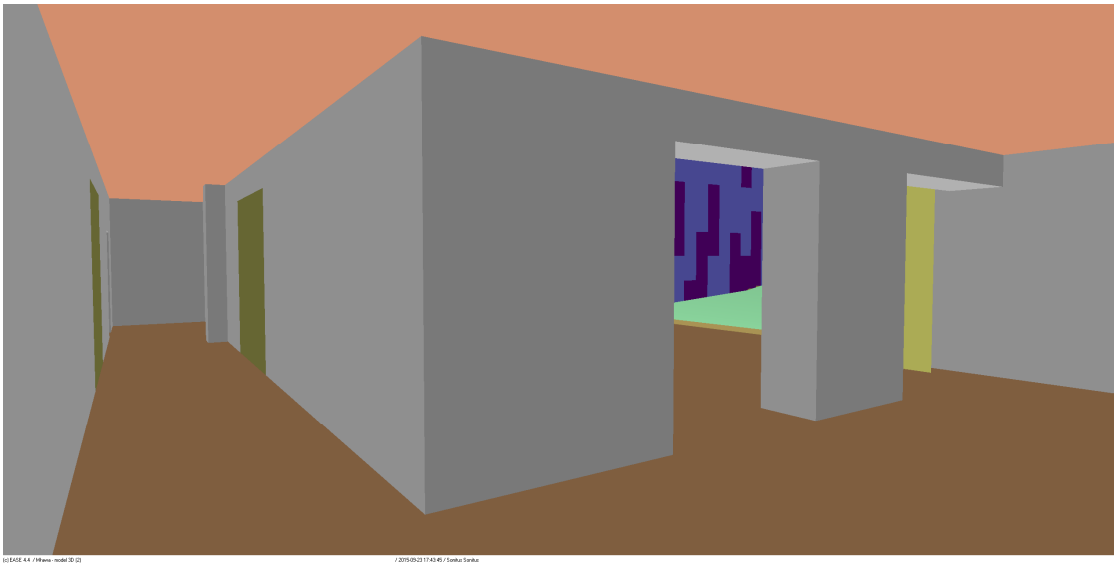
Rys. 9 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na ścianę działową – od strony wejścia)



Rys. 10 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na scenę)



Rys. 11 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na sztankiety)



Rys. 12 Wizualizacja sali po adaptacji (widok na kieszeń sceniczna i komunikację)

Oznaczenia:

| kolor | materiał | lokalizacja |
|---|---|---|
| | panel 1<br>płyta gr. 40mm + wełna mineralna gr.100mm /<br>całk. odl. od ściany 143mm | ściany boczne<br>(poniżej sufitu) |
| | panel 1<br>płyta gr. 40mm / całk. odl. od stropu 85mm | sufit podwieszany (widownia) |
| | panel 2<br>płyta gr. 40mm + wełna mineralna gr.100mm /<br>całk. odl. od ściany 143mm | ściany boczne |
| | panel 2<br>płyta gr. 40mm / całk. odl. od stropu 85mm | sufit podwieszany (widownia) |
| | pojedyncza płyta g-k 12,5mm + wełna mineralna gr. 100mm / stelaż 100mm | ściany boczne<br>(powyżej sufitu) |
| | pojedyncza płyta g-k 12,5mm + wełna mineralna gr. 50mm + tynk granulacyjny / stelaż 50mm | ściana tylna |
| | wełna mineralna gr. 80mm + fizelina | strop (widownia) |
| | wełna mineralna gr. 50mm + fizelina | strop (scena) |
| | sufit akustyczny<br>płyta gr. 20mm / całk. odl. od stropu 200mm | strop<br>(kieszeń scen. + komunikacja) |
| | ściana betonowa/murowana malowana | ściany sceny |
| | sklejka | ściana działowa |
| | belki z drewna klejonego (dyfuzor) | ściana działowa (od widowni) |
| | panel drewniany | ściana działowa (od wejścia) |
| | parkiet | podłoga (widownia) |
| | wykładzina dywanowa | podłoga (wejście) |
| | deski sosnowe na legarach + wełna gr.5cm | podłoga (scena) |
| | okna (szyba zespolona) | kabina projekcyjna |
| | drzwi drewniane, masywne | wszędzie |
| | blacha | scena (wysłona portalowa drabinki technicznej) |
| | subwoofery | scena |
| | otwór (pustka powietrzna) | scena |
| | ekran projekcyjny | scena |
| | kotary | scena (paludamenty i horyzont) |
| | sztankiety | scena |
| | fotele | widownia |

### 4.5 Ocena parametrów akustycznych

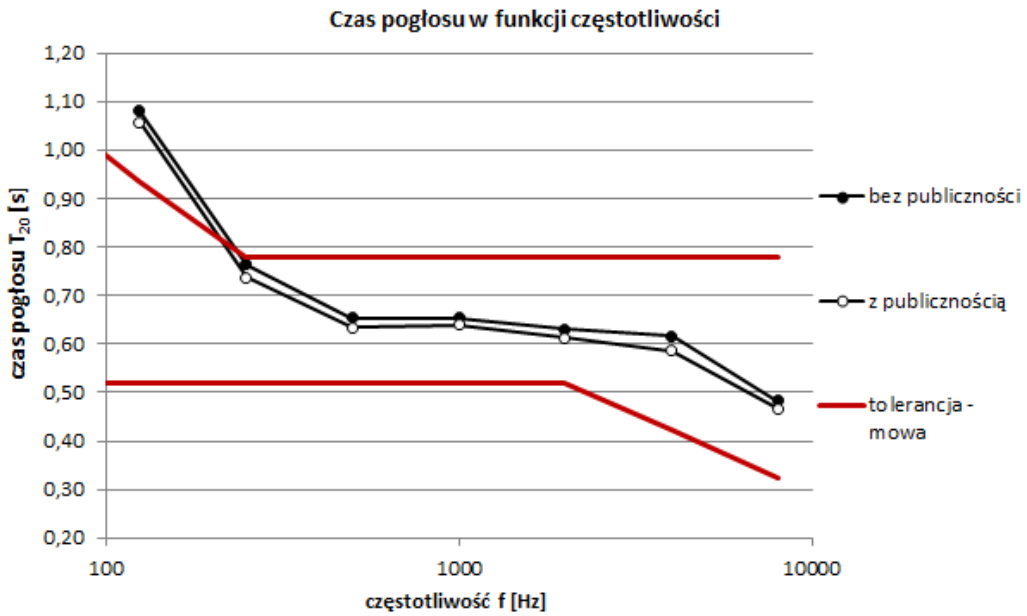
Za źródła dźwięku w modelu obliczeniowym przyjęto dookólne źródła szerokopasmowe zlokalizowane na scenie za ekranem, na ścianach bocznych, ścianie tylnej oraz suficie, zgodnie z ideą nagłośnienia w systemie wielokanałowym.

Powierzchnie pomiarowe, dla której przeprowadzono obliczenia, wyznaczono na widowni w miejscach przebywania słuchaczy na wysokości 1,2m od poziomu podłogi. Obliczenia wykonano dla sali pustej i zapełnione słuchaczami w 100%.

### 4.5.1 Analiza czasu pogłosu $T_{20}$

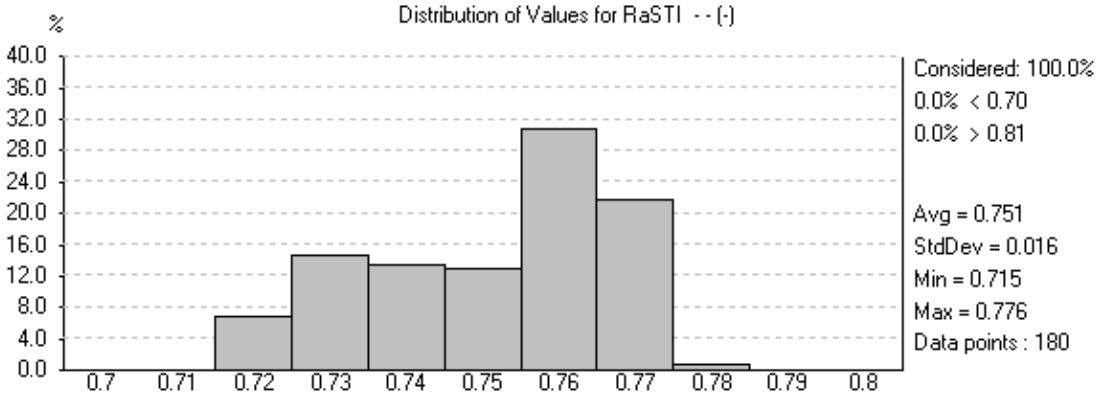
Tabela 1. Wyniki obliczeń czasu pogłosu w sali po adaptacji

| częstotliwość środkowa pasm tercjowych f [Hz] | czas pogłosu $T_{20}$ [s] po adaptacji | | | |
|---|---|---|---|---|
| | z publicznością (100% zapełnienia) | | bez publiczności | |
| 100 | 1,19 | 1,08 | 1,18 | 1,06 |
| **125** | 1,14 | | 1,11 | |
| 160 | 0,91 | | 0,88 | |
| 200 | 0,81 | 0,76 | 0,78 | 0,74 |
| **250** | 0,76 | | 0,75 | |
| 315 | 0,72 | | 0,68 | |
| 400 | 0,66 | 0,65 | 0,65 | 0,63 |
| **500** | 0,65 | | 0,62 | |
| 630 | 0,65 | | 0,63 | |
| 800 | 0,64 | 0,65 | 0,64 | 0,64 |
| **1000** | 0,66 | | 0,64 | |
| 1250 | 0,66 | | 0,64 | |
| 1600 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 |
| **2000** | 0,62 | | 0,61 | |
| 2500 | 0,63 | | 0,61 | |
| 3150 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,59 |
| **4000** | 0,63 | | 0,59 | |
| 5000 | 0,59 | | 0,56 | |
| 6300 | 0,54 | 0,48 | 0,52 | 0,47 |
| **8000** | 0,49 | | 0,47 | |
| 10000 | 0,42 | | 0,41 | |
| średni czas pogłosu 400 - 1250 Hz $T_{20\ śr}$ [s] | **0,65** | | **0,64** | |




Wykres 4. Obliczony czas pogłosu $T_{20}$ w funkcji częstotliwości po adaptacji akustycznej

### 4.5.2 Analiza parametru zrozumiałości mowy RASTI




Wykres 5. Rozkład parametru zrozumiałości mowy RASTI w sali po adaptacji akustycznej (z publicznością)

### 4.6 Wnioski

Zastosowanie proponowanych materiałów wpłynie na znaczną poprawę warunków akustycznych panujących w analizowanej sali kinowo-wielofunkcyjnej. Obliczona średnia wartość czasu pogłosu, z zakresu 400 - 1250 Hz, dla sali pustej i zapełnionej, wynosi odpowiednio **0,65 s** i **0,64s** i mieści się w założonych granicach tolerancji $\mathbf{T_{wym}}$ **=0,65s.** Charakterystyka czasu pogłosu jest odpowiednio rosnąca w zakresie małych częstotliwości oraz odpowiednio malejąca w zakresie dużych częstotliwości. Dla najniższych częstotliwości czas pogłosu jest nieco większy od wymaganego. Identyczne charakterystyki czasu pogłosu, zarówno bez i z publicznością, gwarantują jednakowo dobre warunki akustyczne niezależnie od stopnia zapełnienia widowni. Obliczony parametr zrozumiałości mowy RASTI przyjmuje średnią wartość na poziomie **0,75** co według przyjętej klasyfikacji **>0,75**, odpowiada doskonałej zrozumiałości mowy.

### 4.7 Zalecenia

Ze względu na duże znaczenie jakości wykonywanych prac budowlanych jak również z uwagi na niedoskonałości modelu obliczeniowego zaleca się, by wykonać pomiary czasu pogłosu sali na kilku etapach realizacji:

- w trakcie realizacji obiektu po częściowym zainstalowaniu paneli akustycznych,
- po wykonaniu całości prac związanych z akustyką wnętrza.

Pozwoli to na zweryfikowanie uzyskanych wyników i ewentualne wprowadzenie korekt do wytycznych.

# 5 OCHRONA PRZED HAŁASEM

## 5.1 Pojęcia związane z izolacyjnością akustyczną przegród

Izolacyjność akustyczna przegrody jest to odporność na przenikanie przez nią energii fal dźwiękowych.

Ze względu na różne sposoby generowania dźwięku i drogi jego rozprzestrzeniania w budynku zgodnie z polskimi i międzynarodowymi normami ocenia się izolacyjność stropów od dźwięków powietrznych i uderzeniowych, a ścian tylko od dźwięków powietrznych.

**Izolacyjność od dźwięków powietrznych**

Miarą izolacyjności przegrody od dźwięków powietrznych jest izolacyjność akustyczna właściwa R. Wielkość ta nie zależy od pola powierzchni przegrody i zmienia się z częstotliwością. Na ogół ze wzrostem częstotliwości wartość R wzrasta. Tę wielkość określa się dla danej przegrody w warunkach laboratoryjnych, gdy przenikanie energii akustycznej odbywa się jedynie przez tę przegrodę.

Izolacyjność akustyczna przegrody bardzo często jest określana w postaci jednoliczbowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej $R_w$ i związanych z nim widmowych wskaźników adaptacyjnych C i $C_{tr}$. Wielkości te są wyznaczane w oparciu o charakterystyki częstotliwościowe R. Wskaźniki widmowe zależą od widma hałasu oddziałującego na przegrodę.

Na podstawie $R_w$, C i $C_{tr}$ wyznacza się wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A1}$ i $R_{A2}$ wg zależności:

$$R_{A1} = R_w + C$$

$$R_{A2} = R_w + C_{tr}$$

Wskaźnik $R_{A1}$ stosuje się w przypadku oddziaływania na przegrodę hałasów bytowych, przemysłowych średnio i wysokoczęstotliwościowych, kolejowych i drogowych na trasach z dużymi prędkościami pojazdów oraz dla hałasu lotniczego w pobliżu lotnisk. Wskaźnik $R_{A2}$ stosuje się w przypadku hałasu ruchu drogowego w mieście, hałasu lotniczego w dużych odległościach od lotnisk i dla hałasu przemysłowego niskoczęstotliwościowego.

Przy projektowaniu należy przyjmować projektowe wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A1R}$ i $R_{A2R}$ – są to zmniejszone o 2 dB wartości wskaźników laboratoryjnych.

$$R_{A1R} = R_{A1} - 2$$

$$R_{A2R} = R_{A2} - 2$$

W warunkach rzeczywistych istnieje wiele dróg przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami. Można tu wyróżnić przenoszenie bezpośrednie i pośrednie.

Przenoszenie bezpośrednie – spowodowane jest tylko dźwiękiem padającym na element budowlany rozdzielający pomieszczenia i bezpośrednio z niego promieniowanym, a więc dźwięk jest przenoszony tylko drogą materiałową przez ten element, oraz gdy dźwięk przenoszony jest drogą powietrzną przez niektóre części elementu takie jak przepusty żaluzje, szczeliny itp.

Przenoszenie pośrednie dźwięku z pomieszczenia nadawczego do odbiorczego odbywa się innymi drogami niż bezpośrednie. Może odbywać się drogą powietrzną (np. kanałami wentylacyjnymi, sufitami podwieszonymi, korytarzami) lub materiałową. Przenoszenie drogą materiałową nazywa się przenoszeniem bocznym – głównie przez ściany, stropy i sufity.

Ze względu na boczne przenoszenie dźwięku występujące w budynku określa się przybliżoną izolacyjność akustyczną właściwą ścian wewnętrznych ($R'_w$), która jest mniejsza od izolacyjności określonej w warunkach laboratoryjnych ($R_w$). Wskaźnik przybliżonej izolacyjności akustycznej $R'_W$ oraz wskaźniki przybliżone oceny izolacyjności akustycznej $R'_{A1}$ i $R'_{A2}$, przegrody rozdzielającej dwa pomieszczenia w budynku należy obliczać ze wzorów:

$$R'_w = R_w - K_a$$

$$R'_{A1} = R_{A1} - K_a$$

$$R'_{A2} = R_{A2} - K_a$$

Wartości projektowe tych wskaźników wg zależności:

$$R'_{A1R} = R_{A1R} - K_a = R_{A1} – 2 - K_a$$

$$R'_{A2R} = R_{A2R} - K_a= R_{A2} – 2 - K_a$$

Wartość przenoszenia bocznego $K_a$ może przyjmować wartości od jednego do dwudziestu kilku decybeli w zależności od zastosowanych przegród i rozwiązań konstrukcyjnych. Zatem izolacyjność akustyczna ścian w budynku zależy zarówno od izolacyjności akustycznej przegrody rozdzielającej pomieszczenia jak również od izolacyjności akustycznej przegród bocznych. Mogą zaistnieć przypadki, w których izolacyjność akustyczna będzie zdeterminowana nie izolacyjnością ściany działowej, a izolacyjnością konkretnej drogi bocznej.

**Izolacyjność przegrody od dźwięków uderzeniowych**

Izolacyjność stropów od dźwięków uderzeniowych jest określona jest przez znormalizowany poziom dźwięków uderzeniowych pod stropem $L_n$, tj. średni poziom ciśnienia akustycznego w paśmie tercjowym częstotliwości pod stropem, przy pracującym na stropie znormalizowanym źródle dźwięków uderzeniowych,

odniesiony do chłonności akustycznej pomieszczenia odbiorczego. Mniejsza wartość Ln oznacza lepsze ograniczenie przechodzenia dźwięku przez strop. Dlatego w wymaganiach podaje się maksymalną dopuszczalną wartość tego poziomu.

Podobnie jak w przypadku izolacyjności przegrody od dźwięków powietrznych poziom dźwięków uderzeniowych pod stropem jest funkcją częstotliwości, ale często jest określany przez jednoliczbowy wskaźnik ważony znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,w}$ lub równoważny wskaźnik ważony znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,w,eq}$ dla stropu bez dodatkowych warstw.

$$L_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w$$

gdzie: $\Delta L_w$ – ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego wynikający z zastosowania podłogi na stropie wzorcowym.

Wartości projektowe wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,w,R}$ są o 2 dB większe od $L_{n,w}$.

$$L_{n,w,R} = L_{n,w} + 2 = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + 2$$

W warunkach rzeczywistych przenoszenie dźwięku może się odbywać nie tylko przez dany strop, ale również drogą materiałową, boczną przez ściany. Wówczas poziom uderzeniowy pod stropem jest większy od poziomu uderzeniowego określonego w warunkach laboratoryjnych i określany jest przybliżonym, znormalizowanym poziomem uderzeniowym $L'_{n,w}$.

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + K$$

gdzie: K – poprawka uwzględniająca przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne.

## 5.2 Wymagania w zakresie izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych

Norma określająca izolacyjność akustyczną przegród w budynkach [8] nie obejmuje wymagań dla pomieszczeń specjalnych o akustyce kwalifikowanej. Wartości wskaźników izolacyjności akustycznej ścian wewnętrznych ustala się indywidualnie.

W literaturze zagranicznej, określone są wytyczne bazujące na standardach amerykańskich, które za kryterium oceny przegród od dźwięków powietrznych i uderzeniowych przyjmują wskaźniki STC i IIC. Według wytycznych systemu certyfikacji THX firmy Lukasfilm, podanych w literaturze zagranicznej [4], przegroda rozdzielająca dwie sale kinowe, powinna charakteryzować się minimalnym wskaźnikiem izolacyjności od dźwięków powietrznych STC≥65dB. Brak natomiast informacji o wymaganych wartościach wskaźnika od dźwięków uderzeniowych IIC.

W Polsce do oceny przegród wewnętrznych w budynku stosowane są wskaźniki oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A1}$ oraz przybliżonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L'_{n,w}$, które uwzględniają poprawkę na przenoszenie boczne dźwięku.

Biorąc pod uwagę powyższe informacje oraz w oparciu o zdobytą wiedzę i doświadczenie, przyjęto zalecane minimalne wartości jednoliczbowych wskaźników izolacyjności od dźwięków powierzchnych i uderzeniowych zgodnie z tabelą poniżej.

Tabela 2. Zalecane wartości izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych pomiędzy salą wielofunkcyjną i pomieszczeniami sąsiadującymi

| Funkcja pomieszczeń rozdzielonych przegrodą | | Wskaźnik izolacyjności akustycznej [dB] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | ściana | strop | |
| pom. 1 | pom. 2 | $R'_{A1}$ | $R'_{A1}$ | $L'_{n,w}$ |
| sala wielofunkcyjna (kinowa) | sala taneczna (kinowa) | 65 | 65 | 40 |
| | pom. techniczne | 60 | 60 | 45 |
| | pokój gościnny | 60 | 60 | 45 |
| | pom. sanitarne | 55 | 55 | 45 |
| | hol / korytarz / kl. schodowa | 55 | 55 | 45 |
| | magazyn | 50 | 50 | 53 |

### 5.3 Ocena przyjętych rozwiązań oraz wytyczne konstrukcji stropów

Do oceny izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych korzystano z wytycznych ITB [10], programu komputerowego Insul 8.0, Serial No. 3800 [11] oraz danych producentów.

Poniżej znajduje się opis konstrukcji stropu zastosowanej w sali wielofunkcyjnej. Oznaczenie stropu zostały przyjęte na potrzeby opracowania.

| P1 - strop | gr. |
|---|---|
| deska Barlnecka | |
| podkład korkowy | 8mm |
| płyta OSB | 10mm |
| podkładki elastyczne 50x50x18<br>(wsp. redukcji dźwięków uderzeniowych min. ΔLw=30dB) | 18mm |
| legar górny 50x16mm, rozstaw co 31cm | 16mm |
| legar dolny 50x16mm, rozstaw co 50cm | 16mm |
| podkładki elastyczne 50x50x18<br>(wsp. redukcji dźwięków uderzeniowych min. ΔLw=30dB) | 18mm |
| wylewka betonowa zbrojona siatką 15x15x4mm zgrzewaną | 5cm |
| izolacja z foli budowlanej | |
| wełna mineralna twarda | 15 cm |
| płyta sprężona kanałowa | 40cm |
| wełna mineralna 40-60kg/m$^3$ z welonem | 8 cm |
| pustka powietrza | 73cm |
| sufit podwieszany | 4cm |

Szacowany wskaźnik izolacyjności akustycznej i poziomu uderzeniowego:

$R_W$ = 63 (-3,-7)dB $L_{n,w,eq}$ = 46 dB

$R_{A1} = R_W + C$ = 60dB $L_{n,w,eq,R} = L_{n,w,eq} + 2$ = 48 dB

$R_{A1R} = R_{A1} - 2$ = 58dB $\Delta L_w$= 30 dB

Podłoga na stropie oddzielającym salę wielofunkcyjną i salę baletową musi być wykonana jako podłoga pływająca, oddylatowana na całym obwodzi od ścian konstrukcyjnych oraz odizolowana od stropu w warstwie legarowej i wylewki. W celu polepszenia izolacyjności akustycznej stopu od dźwięków uderzeniowych, pomiędzy deskami i płytą OSB należy zastosować podkład korkowy o grubości 8mm. Dodatkowo między płytą OSB i legarami oraz między legarami i wylewką betonową należy zastosować podkładki elastyczne o grubości 16-17cm, wykonane z różnokomórkowej pianki poliuretanowej, charakteryzujące się współczynnikiem tłumienia dźwięków uderzeniowych min. ΔLw=30 [dB] (np. Regufoam sound 10 lub Getzner CM-ER 0725).

W tabeli poniżej znajdują się obliczone wartości wskaźników $R'_{A1R}$ i $L'_{n,wR}$ dla stropu P1 w odniesieniu do wartości zalecanych.

Tabela 3. Wskaźniki $R'_{A1R}$ stropów pomiędzy salą wielofunkcyjną (widownia, scena, kieszeń sceniczna, komunikacja) a pomieszczeniami sąsiadującymi w odniesieniu do wartości zalecanych

| pomieszczenie 1 | | | pomieszczenie 2 | | | przegroda | Wskaźniki izolacyjności akustycznej przegrody wew. [dB] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| poz. | ozn. | rodzaj pom. | poz. | ozn. | rodzaj pom. | | $R_W$ (C,$C_{tr}$) | $R_{A1}$ | $R_{A1R}$ | $R'_{A1R}$ szacowane | $R'_{A1R}$ zalecane |
| 0-1 | 0.11 | widownia | 2 | 2.10 | sala taneczna | P1 | 71 (-3,-8) | 68 | 66 | **65** | **≥ 65** |
| | | | | 2.10a | magazynek | P1 | 71 (-3,-8) | 68 | 66 | **65** | **≥ 50** |
| | | | | 2.10b | magazynek | P1 | 71 (-3,-8) | 68 | 66 | **65** | **≥ 50** |
| 0 | 0.13 | kieszeń sceniczna | 1 | 1.26 | amplifikatornia | P2 | 71 (-3,-8) | 68 | 66 | **65** | **≥ 65** |

Tabela 4. Wskaźniki $L'_{n,w}$ stropów pomiędzy salą wielofunkcyjną (widownia, scena, kieszeń sceniczna, komunikacja) a pomieszczeniami sąsiadującymi w odniesieniu do wartości zalecanych

| pomieszczenie 1 | | | pomieszczenie 2 | | | przegroda | Wskaźniki izolacyjności akustycznej przegrody wew. [dB] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| poz. | ozn. | rodzaj pom. | poz. | ozn. | rodzaj pom. | | $L_{n,w,eq}$ | $L_{n,w,eq,R}$ | $\Delta L_w$ | $L'_{n,w,R}$ szacowane | $L'_{n,w,R}$ zalecane |
| 0-1 | 0.11 | widownia | 2 | 2.10 | sala taneczna | P1 | 41 | 43 | 30 | **≤ 40** | **≤ 40** |
| | | | | 2.10a | magazynek | P1 | 41 | 43 | 30 | **≤ 40** | **≤ 53** |
| | | | | 2.10b | magazynek | P1 | 41 | 43 | 30 | **≤ 40** | **≤ 53** |
| 0 | 0.13 | kieszeń sceniczna | 1 | 1.26 | amplifikatornia | P2 | 41 | 43 | 30 | **≤ 40** | **≤ 40** |

## 5.4 Wnioski

Przy założeniu, że w konstrukcji stropu zostaną zastosowane warstwy opisane w punkcie 5.3 (konstrukcja P1) Izolacyjność akustyczna analizowanego stropu spełni zalecenia zarówno dla dźwięków powietrznych jak również uderzeniowych.