



# PRACOWNIA AKUSTYCZNA

Główny projektant	dr inż. Piotr Z. Kozłowski
Projektant prowadzący	mgr inż. Bartosz Zawieja
Zespół projektowy	inż. Piotr J. Nowak
Sprawdzenie	dr inż. Romuald Bolejko
Zadanie	<b>Wykonanie dokumentacji projektowej sali głównej Domu Kultury "Słowianin"</b>
Temat	<b>Projekt ochrony przeciwdźwiękowej, akustyki wewnątrz i elektroakustyki</b>
Nazwa obiektu	Dom Kultury "Słowianin"
Adres obiektu	ul. Józefa Korzeniowskiego 7, 70-211 Szczecin
Inwestor	Zarząd Budynków i Lokali Komunalnych
Adres inwestora	ul. Mariacka 25, 70-546 Szczecin
Stadium	Projekt wykonawczy
Tom	Opis Techniczny
Edycja	Ostateczna v.01
Branża	Ochrona przeciwdźwiękowa, akustyka wewnątrz, elektroakustyka

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

© Copyright by Pracownia Akustyczna Kozłowski sp. j., Wrocław, 2019



## **Adres jednostki projektowania:**

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

NIP: 899-261-33-93

REGON: 020574694

KRS: 0000286159

tel. +48 71 794 93 31

web: [www.akustyczna.pl](http://www.akustyczna.pl)

email: [pracownia@akustyczna.pl](mailto:pracownia@akustyczna.pl)



## Spis zawartości projektu

1. Część opisowa (Zawartość wedle spisu treści na str. 7)
2. Część rysunkowa:
  - 1) AQ\_01 Wytyczne do sposobu montażu puszki elektrycznej w przegrodzie budowlanej.
  - 2) AQ\_02 Wytyczne do sposobu tworzenia przejść oraz przelotów przez przegrody budowlane.
  - 3) AP01 Oznaczenia przegród budowlanych.
  - 4) AW01 Rozmieszczenie adaptacji akustycznej na ścianach bocznych sali głównej Domu Kultury "Słowianin".
  - 5) AW02 Rozmieszczenie adaptacji akustycznej na suficie sali głównej Domu Kultury "Słowianin".
  - 6) AU01 Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF01.
  - 7) AU02 Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF02.
  - 8) AU03 Detal konstrukcji ustroju akustycznego UW01.
  - 9) AU04 Detal konstrukcji ustroju akustycznego US01.
  - 10) EP01 Rzut sali głównej z rozmieszczeniem urządzeń głośnikowych subniskotonowych.
  - 11) EW01 Widok frontu sceny z rozmieszczeniem urządzeń głośnikowych subniskotonowych.
  - 12) EW02 Przekrój wzdłużny sceny sali głównej z rozmieszczeniem urządzeń głośnikowych subniskotonowych.
  - 13) ES01 Schemat blokowy proponowanego toru fonicznego do nagłaśniania za pomocą urządzeń głośnikowych subniskotonowych.



## Spis treści

Adres jednostki projektowania:	3
Spis zawartości projektu	5
Spis treści	7
Spis tabel w części opisowej	9
1. Podstawa opracowania	11
1.1. Podstawa formalna	11
1.2. Podstawa merytoryczna	11
2. Przeznaczenie i program użytkowy obiektu	13
2.1. Opis obiektu	13
2.2. Sposób użytkowania	13
3. Ochrona przeciwdźwiękowa	14
3.1. Ochrona środowiska przed hałasem	14
3.2. Dopuszczalny poziom tła akustycznego w pomieszczeniu	14
3.3. Wymagana izolacyjność akustyczna przegród budowlanych	15
3.4. Struktura przegród budowlanych	16
3.5. Ogólne wytyczne dla instalacji wentylacji dotyczące ochrony środowiska przed hałasem	18
3.6. Ogólne wytyczne dla instalacji wentylacji dotyczące ochrony przeciwdźwiękowej pomieszczenia	18
3.7. Ogólne wytyczne dla instalacji elektrycznych i oświetleniowych dotyczących ochrony przeciwdźwiękowej	19
3.8. Ogólne wytyczne dla pozostałych instalacji technicznych budynku	19
3.9. Otwory na instalacje w przegrodach budowlanych	19
4. Akustyka wewnątrz	21
4.1.1. Założenia projektowe	21
4.1.2. Komputerowy model akustyczny	22
4.1.3. Obliczenia	24
4.1.4. Rozwiązania projektowe	26
5. Procedury strojenia akustycznego	31
5.1. Pierwszy pomiar	31
5.2. Pomiar drugi	31
5.3. Pomiar trzeci - końcowy	32
6. Elektroakustyka	33
6.1. Obliczenia i symulacje komputerowe	33

6.2. Rozmieszczenie urządzeń głośnikowych subniskotonowych .....	36
6.3. Ustawienia procesora głośnikowego .....	37
7. Podsumowanie .....	39



## Spis tabel w części opisowej

Tab. 3.1. Dopuszczalny poziom tła akustycznego wyrażony za pomocą krzywych oceny hałasu NR oraz równoważnego poziomu dźwięku A .....	15
Tab. 3.2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywych oceny hałasu NR .....	15
Tab. 3.3. Wymagana izolacyjność przegród budowlanych .....	15
Tab. 3.4. Specyfikacja techniczna przegrody P1 .....	16
Tab. 3.5. Specyfikacja techniczna przegrody P2 .....	16
Tab. 3.6. Specyfikacja techniczna przegrody P3 .....	16
Tab. 3.7. Specyfikacja techniczna przegrody P4 .....	16
Tab. 3.8. Specyfikacja techniczna przegrody P5 .....	17
Tab. 3.9. Specyfikacja techniczna dachu S1 .....	17
Tab. 3.10. Specyfikacja techniczna stropu S2 .....	17
Tab. 4.1. Podsumowanie powierzchni ustrojów akustycznych .....	26
Tab. 4.2. Specyfikacja wymagań dla perforowanego ustroju rezonansowego UPRF01 .....	27
Tab. 4.3. Specyfikacja wymagań dla perforowanego ustroju rezonansowego UPRF02 .....	27
Tab. 4.4. Specyfikacja wymagań dla szczelinowego ustroju rezonansowego US01 .....	28
Tab. 4.5. Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW01 .....	28
Tab. 4.6. Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW02 .....	28
Tab. 4.7. Specyfikacja wymagań dla banerów akustycznych .....	29
Tab. 4.8. Specyfikacja wymagań dla kurtyn .....	29
Tab. 6.1. Wymagane parametry wibroizolatora .....	36
Tab. 6.2. Zestawienie parametrów sygnału, doprowadzonego do urządzeń głośnikowych .....	37



## 1. Podstawa opracowania

### 1.1. Podstawa formalna

- [1] Zlecenie na wykonanie prac projektowych dla sali głównej Domu Kultury "Słowianin" w zakresie: koncepcja akustyki wnętrza, projekt akustyki wnętrza, wytyczne ogólne w zakresie ochrony przeciwdźwiękowej. Numer wewnętrzny: PA20418.

### 1.2. Podstawa merytoryczna

- [2] Dz. U. 2014, poz. 112 Obwieszczenie ministra środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.
- [3] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [4] PN-EN ISO 12354-3:2017-10 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 3: Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.
- [5] PN-EN ISO 12354-4:2017-10 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 4: Przenikanie hałasu z budynku do środowiska.
- [6] PN-B-02151-2:2018-01 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [7] PN-B-02151-4:2015-06 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.
- [8] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 1: Pomieszczenia specjalne.
- [9] Kulowski A., Akustyka sal, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2007.
- [10] Long M., Architectural Acoustics, Elsevier Inc., 2006.
- [11] The Audio System Designer Technical References, Klark-Teknik Plc., England.
- [12] Kozłowski P., Dziechciński P., Grządziel W., New Trends in Sound Reinforcement Systems Based on Digital Technology, Audio Engineering Society, New York 2007.
- [13] Cox T. J., D'Antonio P., Acoustic absorbers and diffusers, Theory, design and application, Spon Press, London, 2004.
- [14] Mehta M., Johnson J., Architectural Acoustics Principles and Design, Prentice Hall 1998.
- [15] Obowiązujące przepisy i normy oraz dyrektywy UE.
- [16] Wytyczne projektowe dostarczone przez Inwestora.



## 2. Przeznaczenie i program użytkowy obiektu

### 2.1. *Opis obiektu*

Sala główna Domu Kultury "Słowianin" w Szczecinie jest pomieszczeniem istniejącym zbudowanym na planie prostokąta o powierzchni podłogi  $\sim 440 \text{ m}^2$  i objętości  $\sim 2\,720 \text{ m}^3$ .

### 2.2. *Sposób użytkowania*

Sala główna Domu Kultury "Słowianin" w Szczecinie będzie przeznaczona do pracy z nagłośnieniem.

Sala będzie wykorzystywana do:

- występów wokalnoinstrumentalnych,
- amatorskich przedstawień teatralnych, wyłącznie dogłaśnianych,
- prezentacji,
- konferencji.

### 3. Ochrona przeciwdźwiękowa

W niniejszym rozdziale opisano zagadnienia dotyczące ochrony przeciwdźwiękowej sali głównej Domu Kultury "Słowianin" - podano wymagania dotyczące dopuszczalnych poziomów tła akustycznego oraz wymagania dotyczące minimalnej izolacyjności akustycznej, jaką powinny spełniać przegrody oraz stolarka okienna i drzwiowa sali głównej.

Z uwagi na zagadnienia ochrony przeciwdźwiękowej, sala główna będzie chroniona ze względu na:

- hałas pochodzący z zewnątrz budynku,
- hałas wewnętrzny powstający w wyniku użytkowania pomieszczeń zgodnie z ich przeznaczeniem,
- hałas pochodzący od instalacji wewnętrznych budynku.

Należy pamiętać, że prace projektowe dotyczą budynku istniejącego. W związku z powyższym, prace projektowe dotyczące ochrony przeciwdźwiękowej będą realizowane w zakresie możliwym do ingerencji na obecnym etapie modernizacji.

Z informacji otrzymanych od Zamawiającego wynika, że do tej pory nie było żadnych skarg odnośnie hałasu emitowanego do środowiska na skutek użytkowania sali. W związku z powyższym, celem nadrzędnym ochrony przeciwdźwiękowej jest nie pogorszenie obecnej izolacyjności przegród.

#### 3.1. Ochrona środowiska przed hałasem

Emisja hałasu do środowiska na skutek użytkowania budynku nie może być większa, niż określona w obwieszczeniu Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [2]. Miejsce, na którym mieści się obiekt, znajduje się na terenie strefy śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców. Oznacza to, że dopuszczalny poziom emitowanego hałasu mierzony na granicy działki obiektu, wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A w dB, nie może być większy niż  $L_{Aeq D} = 55$  dB w porze dnia ( $6^{00} - 22^{00}$ ) oraz  $L_{Aeq N} = 45$  dB w porze nocy ( $22^{00} - 6^{00}$ ).

Należy dążyć do tego, aby emisja hałasu do środowiska na skutek użytkowania sali nie podwyższała obecnego poziomu. Dotyczy to w szczególności emisji hałasu, którego źródłem jest klimatyzacja, wentylacja i wyposażenie techniczne sali.

Modelowanie komputerowe jak również projektowanie w zakresie emisji hałasu do środowiska nie jest objęte zleceniem a tym samym zakresem niniejszego opracowania.

#### 3.2. Dopuszczalny poziom tła akustycznego w pomieszczeniu

Dopuszczalny poziom hałasu przenikającego do sali głównej od wszystkich źródeł hałasu łącznie oraz dopuszczalny poziom hałasu przenikającego do sali od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem, nie powinien przekraczać wartości wyrażonych za pomocą krzywych oceny hałasu NR dla pomieszczeń o akustyce kwalifikowanej, wyspecyfikowanych w Tab. 3.1.

Jako kryterium uzupełniające podano w nawiasach wartości dopuszczalne wyrażone poprzez równoważny poziom dźwięku A. Kryterium uzupełniające należy stosować w przypadku, w którym dostępne są jedynie jednoliczbowe wartości hałasu generowanego przez elementy wyposażenia technicznego i nie jest możliwe ich bezpośrednie porównanie z wartościami określonymi przez krzywe oceny hałasu NR. W przypadku, w którym określone są oba kryteria, krzywe oceny hałasu NR oraz wartości jednoliczbowe, jako kryterium priorytetowe należy traktować to określone przez krzywe oceny hałasu NR.

Wartości zastosowanych krzywych oceny hałasu przedstawiono w Tab. 3.2. Wymagane wartości dopuszczalnego poziomu tła akustycznego odnoszą się do typowych źródeł hałasu, których widmo ma charakter szerokopasmowy. W pomieszczeniu nie może być słyszalny hałas tonalny.

**Tab. 3.1. Dopuszczalny poziom tła akustycznego wyrażony za pomocą krzywych oceny hałasu NR oraz równoważnego poziomu dźwięku A**

Pomieszczenie	Dopuszczalne całkowite tło akustyczne	Dopuszczalny łączny hałas od klimatyzacji, wentylacji i wyposażenia technicznego
Sala główna	NR30 (40 dB A)	NR25 (35 dB A)

**Tab. 3.2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywych oceny hałasu NR**

f [Hz]→	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
NR25 [dB]	55	44	35	29	25	22	20	18
NR30 [dB]	59	48	40	34	30	27	25	23

### 3.3. Wymagana izolacyjność akustyczna przegród budowlanych

W niniejszym rozdziale podano wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych na podstawie normy PN-B-20151-3:2015-10 [3].

W Tab. 3.3 podano wymagane wartości izolacyjności akustycznej przegród budowlanych i elementów budowlanych dla sali głównej. Wymaganą izolacyjność akustyczną wyznaczono na podstawie funkcji sali oraz rodzaju zakłóceń występujących w pomieszczeniach sąsiadujących.

Zaproponowane przegrody pozwolą na spełnienie wymagań dotyczących dopuszczalnych wartości tła akustycznego zdefiniowanych w rozdziale 3.2.

Izolacyjność akustyczna przegród, z wyjątkiem drzwi, wyrażona jest poprzez jednolicebrowy wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_{A1}$  lub  $R'_{A2}$ , tj. wskaźnik izolacyjności uwzględniającej wpływ pośredniego, w tym bocznego przenoszenia dźwięku [3]. Izolacyjność akustyczna drzwi wyrażona jest poprzez projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej  $R_{A,1,R}$  tj. wskaźnik izolacyjności od dźwięków powietrznych określonej na podstawie badań laboratoryjnych, zmniejszonego o 2 dB [3].

**Tab. 3.3. Wymagana izolacyjność przegród budowlanych**

Pomieszczenie	Pomieszczenie sąsiadujące	Przegroda	Wskaźnik izolacyjności akustycznej dla przegród budowlanych		Wskaźnik izolacyjności akustycznej dla stolarki okiennej i drzwiowej		Ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego	Przykładowa konstrukcja
			$R'_{A1}$ [dB]	$R'_{A2}$ [dB]	$R_{A,1,R}$ [dB]	$R'_{A2}$ [dB]		
Sala główna	Otoczenie obiektu	ściana	-	$\geq 55$	-	-	-	P1, P2, P3, P4
		okno	-	-	-	$\geq 42$	-	-
		dach	-	$\geq 55$	-	-	-	S1
	Komunikacja	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5
		drzwi	-	-	$\geq 35$	-	-	-
	WC	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5
	Pomieszczenie porządkowe kuchni i zapl.	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5
	Zaplecze barek	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5
		drzwi	-	-	$\geq 30$	-	-	-
	Pomieszczenie	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5

	techniczne							
	Archiwum	ściana	$\geq 55$	-	-	-	-	P5
	II Piętro	strop	$\geq 55$	-	-	-	-	S2

#### 3.4. Struktura przegród budowlanych

W poniższych tabelach przedstawiono specyfikacje techniczne przegród budowlanych dobranych pod kątem wymaganej i optymalnej izolacyjności akustycznej.

**Tab. 3.4. Specyfikacja techniczna przegrody P1**

Warstwa	Grubość/parametry
bloczki z betonu komórkowego	16 cm
cegła pełna	36 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 64 (-2, -6)$	

**Tab. 3.5. Specyfikacja techniczna przegrody P2**

Warstwa	Grubość/parametry
bloczki z betonu komórkowego	16 cm
żelbet	40 cm
cegła pełna	12 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 72 (-2, -6)$	

**Tab. 3.6. Specyfikacja techniczna przegrody P3**

Warstwa	Grubość/parametry
żelbet	40 cm
włna mineralna	grubość wełny 12 cm, gęstość wełny 30 – 50 kg/m <sup>3</sup>
pustka powietrzna	$\geq 3$ cm
okładzina z płyt włóknisto-cementowych	1,2 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 78 (-1, -6)$	

**Tab. 3.7. Specyfikacja techniczna przegrody P4**

Warstwa	Grubość/parametry
bloczki silikatowe	$\geq 24$ cm, gęstość bloczków $\geq 1\,400$ kg/m <sup>3</sup>
włna mineralna	grubość wełny 12 cm, gęstość wełny 30 – 50 kg/m <sup>3</sup>
pustka powietrzna	$\geq 3$ cm
okładzina z płyt włóknisto-cementowych	1,2 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 66 (-1, -5)$	



Tab. 3.8. Specyfikacja techniczna przegrody P5

Warstwa	Grubość/parametry
błocki z gazobetonu	24 cm
wełna mineralna	grubość wełny 3 cm, gęstość wełny 40 – 60 kg/m <sup>3</sup>
plyty gipsowo - włóknowe	1,0 + 1,5 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 61 (-3, -9)$	

Tab. 3.9. Specyfikacja techniczna dachu S1

Warstwa	Grubość/parametry
papa	8 mm
plyty z wełny mineralnej twardej	grubość wełny 22 cm, gęstość wełny 90 – 110 kg/m <sup>3</sup>
paraizolacja z papy	-
plyta żelbetowa	8 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 63 (-2, -6)$	

Tab. 3.10. Specyfikacja techniczna stropu S2

Warstwa	Grubość/parametry
warstwa wykończeniowa	-
plyta posadzkowa zbrojona	5 cm
keramzyt	5 cm
istniejący strop ceglany typu Kleina	~42 cm
<b>Uwagi:</b> - Obliczona wartość izolacyjności akustycznej $R_w (C, C_{tr}) = 62 (-1, -6)$ dla grubości warstwy cegieł wynoszącej 28 cm	

### **3.5. *Ogólne wytyczne dla instalacji wentylacji dotyczące ochrony środowiska przed hałasem***

1. Wszystkie urządzenia generujące drgania należy posadowić na wibroizolowanych ramach.
2. Przestrzeń techniczna powinna zostać odgradzona przegrodą pełną (np. przegrodą murowaną lub wykonaną w konstrukcji lekkiej warstwowej) o wysokości min. 3 m.
3. Należy dążyć do maksymalnego możliwego zadaszenia przestrzeni technicznej centrali i agregatu.
4. Wewnętrzne powierzchnie przegród (od strony urządzeń) należy wyłożyć materiałem o klasie A lub B pochłaniania dźwięku. Można zastosować systemowe panele akustyczne cechujące się odpowiednią izolacyjnością oraz posiadające wbudowane elementy pochłaniające dźwięk.

### **3.6. *Ogólne wytyczne dla instalacji wentylacji dotyczące ochrony przeciwdźwiękowej pomieszczenia***

1. Należy zapewnić wydzielony, niezależny systemy wentylacji dla sali głównej.
2. Hałas z instalacji wentylacyjnej nie może przekraczać wartości dopuszczalnych wyspecyfikowanych w Tab. 3.1.
3. Przejścia przewodów i kanałów przez ściany i stropy należy zaopatrzyć w uszczelnione akustycznie przepusty, zapewniające zachowanie izolacyjności akustycznej przegrody i eliminujące sztywne połączenia przewodu z przegrodą (patrz rysunek wielkoformatowy AQ\_02).
4. W miejscu podłączenia przewodów i kanałów do urządzeń, stanowiących źródło drgań, należy stosować łączniki przeciwdziałające przenoszeniu się drgań w strukturze przewodów i kanałów.
5. Należy stosować wyłącznie elastyczne podparcia i podwieszenia przewodów i kanałów, najlepiej rozwiązania systemowe.
6. Niedopuszczalne jest prowadzenie kanałów wentylacyjnych tranzytem przez przegrody dźwiękoizolacyjne. Przez przegrodę dźwiękoizolacyjną dopuszczalne jest tylko przejście kanału wlotowego/wylotowego z danego pomieszczenia. Przejście należy rozwiązać z zachowaniem wymaganej izolacyjności przegrody.
7. Urządzenia generujące drgania należy umieszczać na odpowiednio dobranych wibroizolatorach.
8. W celu unikania generacji hałasu aerodynamicznego w kanałach, należy stosować łagodne zmiany kierunku i przekroju kanałów, unikać przepustnic, kryz oraz innych przewężeń wewnątrz kanałów.
9. Zaleca się wyłożenie końcowych odcinków kanałów wentylacyjnych materiałem dźwiękochłonnym.
10. W przypadku wentylacyjnych kanałów blaszanych, w miarę możliwości należy stosować kanały o przekroju zbliżonym do kwadratu lub okrągłe.
11. W przypadku wentylacyjnych kanałów miękkich należy pamiętać, że przy bardzo dobrych właściwościach dźwiękochłonnych, kanały te charakteryzują się niską izolacyjnością akustyczną, dlatego nie nadają się do wszystkich zastosowań. Należy dokładnie przeanalizować lokalizację, w których stosowanie takich kanałów przyniesie rzeczywistą korzyść w postaci zmniejszenia poziomu hałasu od elementów instalacji wentylacyjnej.

### **3.7. Ogólne wytyczne dla instalacji elektrycznych i oświetleniowych dotyczących ochrony przeciwdźwiękowej**

1. Przewody elektryczne i osprzęt instalacyjny nie mogą obniżać izolacyjności przegród budowlanych.
2. Zaleca się prowadzić przewody instalacji elektrycznej natynkowo. W przypadku prowadzenia instalacji pod tykiem w przegrodach ciężkich bruzda pod instalację nie może być głębsza od 1/10 grubości przegrody.
3. W przypadku montowania gniazdek i wyłączników w ścianach warstwowych pomiędzy pomieszczeniami, należy stosować gniazodka natynkowe. Ewentualnie można stosować osprzęt podtynkowy, przy zagwarantowaniu ciągłości ochrony przeciwdźwiękowej otworowanych warstw przegród np. w sposób pokazany na rysunku wielkoformatowym AQ\_01.

### **3.8. Ogólne wytyczne dla pozostałych instalacji technicznych budynku**

1. W całym budynku zaleca się stosowanie system kanalizacji niskosumowej.
2. Rury i elementy instalacji wod/kan mocować przy użyciu uchwyty z przekładkami wibroizolującymi / gumowymi.
3. Tradycyjną instalację CO wykonać z wykorzystaniem systemów o dużych stratach wewnętrznych (tworzyw sztucznych). Instalację CO prowadzić w otulinach z twardej wełny mineralnej o grubości co najmniej 20 mm. Zaleca się prowadzenie instalacji CO w posadzkach.
4. Stosować szczelne i miękkie (np. w otulinie z wełny) przejścia instalacji wod/kan i CO przez przegrody budowlane. Przejścia takie powinny być dokładnie uszczelnione zaprawą lub innym materiałem o dużej gęstości.
5. Należy stosować systemowe uchwyty do kanalizacji niskosumowej, zawierające elementy elastyczne, przeciwdziałające przenoszeniu drgań i hałasu na ścianę. W przypadku pozostałych instalacji również konieczne jest, aby pomiędzy przewodem a wewnętrzną powierzchnią uchwytu znajdowała się przekładka elastyczna, najlepiej systemowa.
6. Rury przechodzące przez pomieszczenia chronione należy szczelnie obudować. Szczegóły dotyczące konstrukcji obudowy należy ustalić z projektantem akustyki.
7. Ograniczenia dotyczące prowadzenia rur dotyczą także rur spustowych.
8. W przypadku prowadzenia instalacji pod tynkiem w przegrodach ciężkich bruzda pod instalację nie może być głębsza od 1/10 grubości przegrody.

### **3.9. Otwory na instalacje w przegrodach budowlanych**

Przejścia kanałów wentylacyjnych oraz wszelkich przelotów kablowych przez ściany (zarówno wykonane w technice lekkiej jak i ciężkiej) muszą być dokładnie uszczelnione – kanał lub koryto należy owinać twardą wełną mineralną w taki sposób, aby wełna wypełniła szczelnie całą przestrzeń pomiędzy kanałem/przelotem a otworem w ścianie. Po obydwu stronach ściany przejście uszczelnić opaskami z płyty g/k o grubości 20–24 mm (szczegóły na rysunku wielkoformatowym AQ\_02), lub uszczelnić masą o dużej gęstości i trwale elastyczną.

Technologie montażu elementów, które naruszają konstrukcję przegród, należy konsultować z projektantem akustyki architektonicznej.



### 4. Akustyka wewnątrz

W niniejszym rozdziale przedstawione są założenia do akustyki wewnątrz sali głównej Domu Kultury "Słowianin" oraz opis proponowanych do wprowadzenia zmian w istniejącą już strukturę budynku.

Projektowane pomieszczenie charakteryzuje się zestawem parametrów akustycznych, które będą decydować zarówno o walorach akustycznych, jak i użytkowych wnętrza. Zakładane wartości parametrów akustycznych są w głównej mierze określone przez funkcję akustyczną i kubaturę projektowanego wnętrza.

W projekcie akustyki wewnątrz zostały wykorzystane:

- teoria statystyczna,
- elementy akustyki geometrycznej.

**Teoria statystyczna** została wykorzystana do określenia rodzaju i potrzebnej ilości materiałów i ustrojów dźwiękochłonnych w celu uzyskania zakładanych warunków pogłosowych.

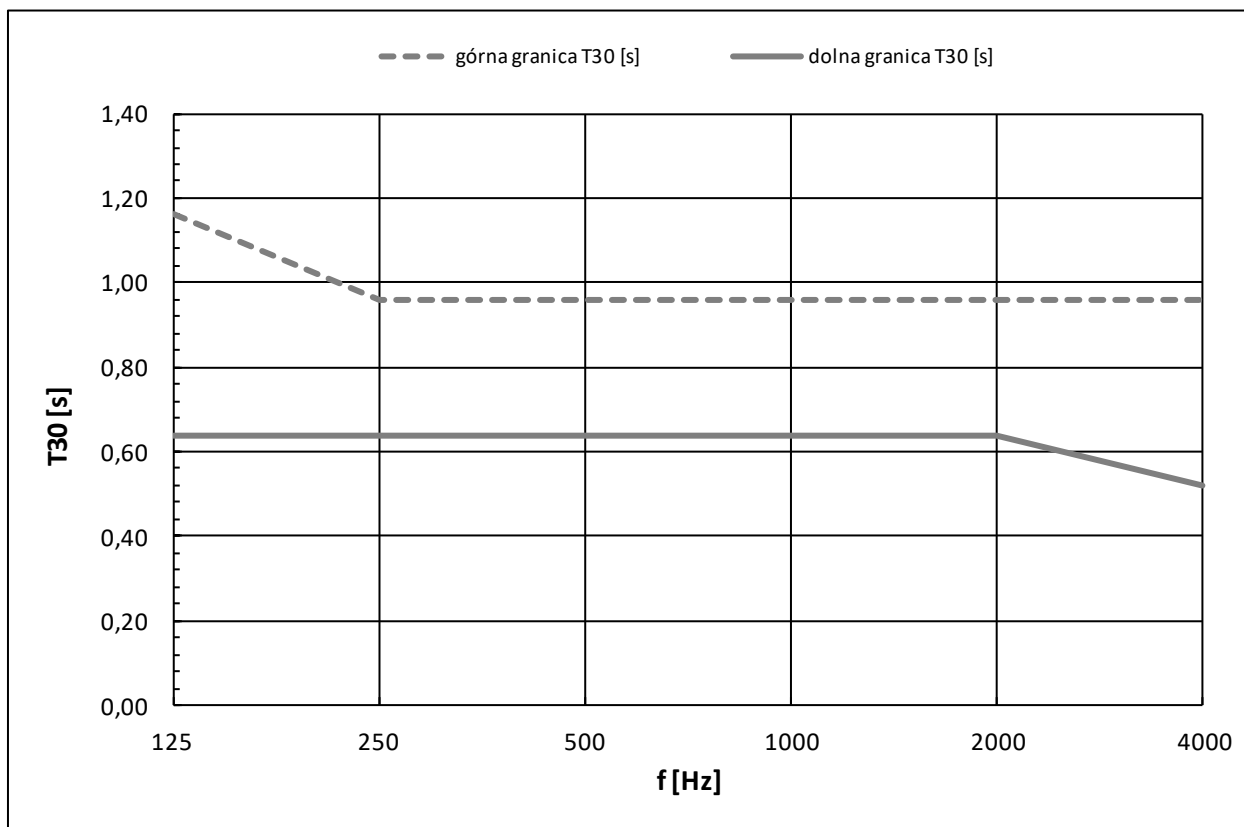
**Teoria geometryczna** została użyta do analizy echogramów, a także do nadania odpowiedniego kształtu powierzchniom wewnętrznym oraz określenia miejsc pokrycia ich odpowiednim materiałem, np. dźwiękochłonnym, rozpraszającym lub odbijającym dźwięk.

#### 4.1.1. Założenia projektowe

Z uwagi na rodzaj odbywających się w sali wydarzeń (głównie koncerty muzyki rozrywkowej z wykorzystaniem nagłośnienia) jako jednoczłobową wartość czasu pogłosu przyjęto wartość  $T_m = 0,8$  s dla sali pustej z opuszczonymi banerami. Nierównomierność częstotliwościowej charakterystyki T60 względem wartości zalecanej nie powinna być większa niż (Rys. 4.1):

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

W trakcie projektowania dążono do tego, aby charakterystyka T60 mieściła się w granicach założonej tolerancji oraz była możliwie wyrównana.



Rys. 4.1. Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla sali głównej

### 4.1.2. Komputerowy model akustyczny

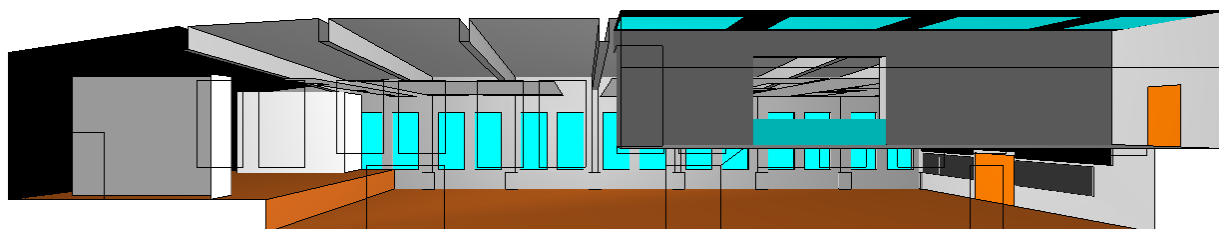
Modelowanie akustyki sali przeprowadzono wykorzystując teorię statystyczną oraz teorię akustyki geometrycznej.

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

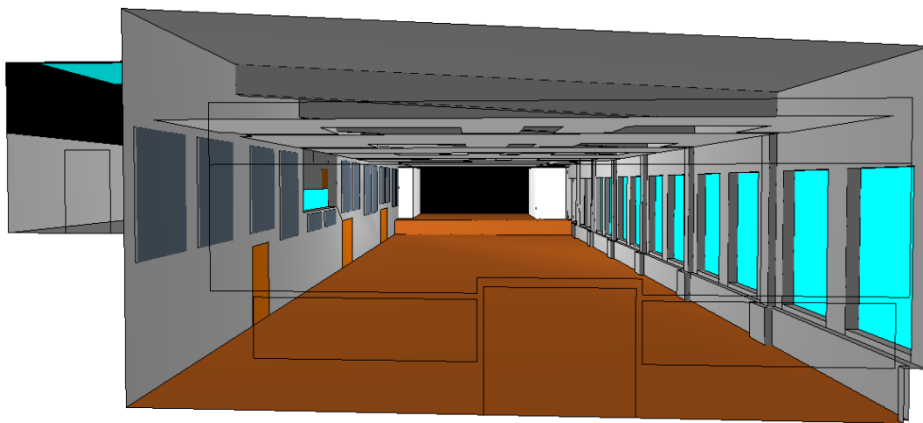
Geometrię sali zbudowano w oparciu o przekazane przez architekta rysunki w formacie .dwg.

Wyjściowe parametry akustyczne poszczególnych materiałów, takie jak współczynniki pochłaniania i rozpraszania dźwięku, dobrano w oparciu o dane literaturowe [9], [10], [13] oraz karty katalogowe zastosowanych lub podobnych materiałów.

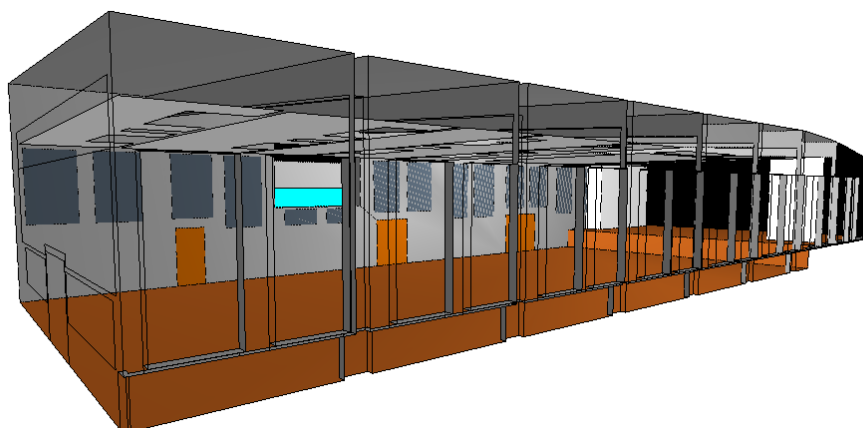
Na rysunkach Rys. 4.2 - Rys. 4.4 przedstawiono widoki sali zamodelowanej w programie CATT Acoustics.



Rys. 4.2. Widok podłużny sali głównej



**Rys. 4.3. Widok poprzeczny sali głównej**



**Rys. 4.4. Widok aksonometryczny sali głównej**

Obliczenia przeprowadzono dla 2 ustawień Źródła dźwieku. Na obszarze widowni umieszczono 13 punktów obserwacji.

Na Rys. 4.5 pokazano rozmieszczenie Źródł dźwieku na estradzie (A1 - A2) oraz punktów obliczeniowych na obszarze widowni (01 - 13).



Rys. 4.5. Rozkład lokalizacji źródeł oraz punktów obliczeniowych

### 4.1.3. Obliczenia

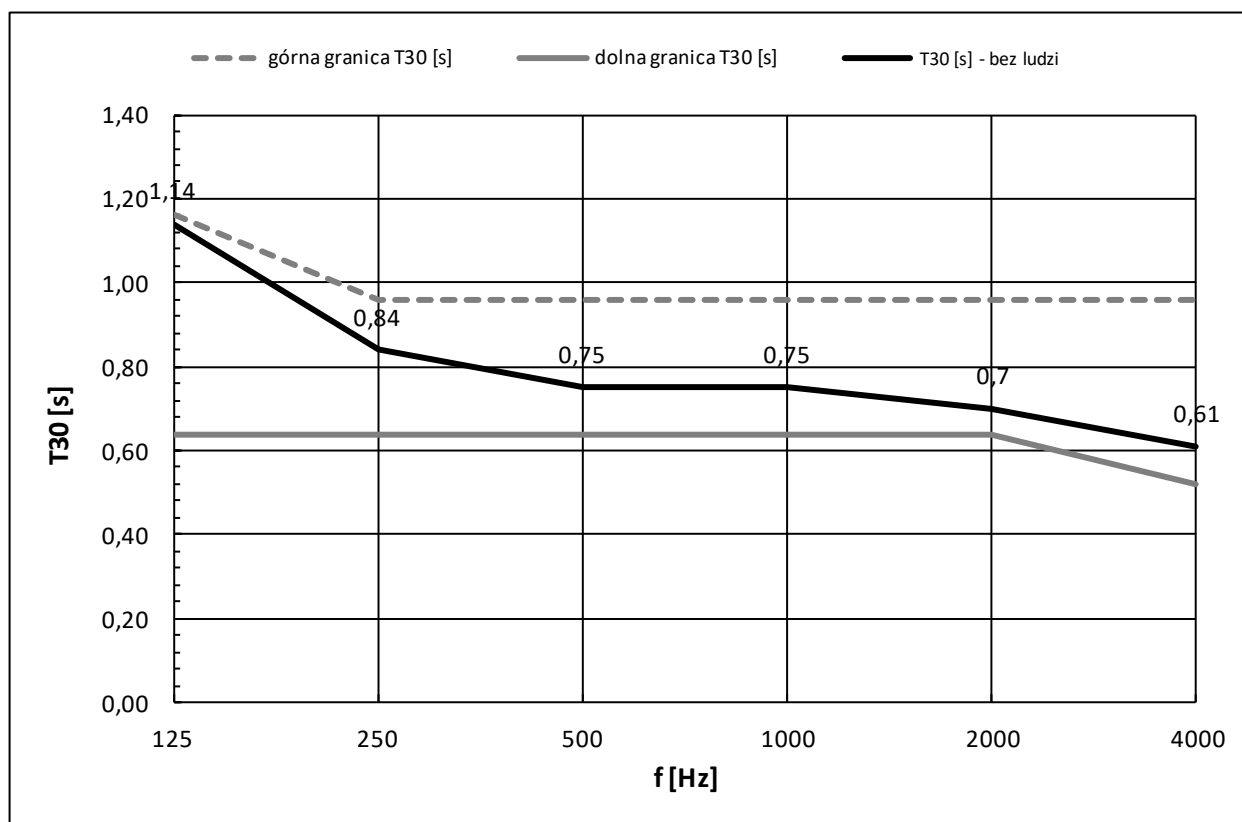
Na rysunkach poniżej podano wyniki obliczeń czasu pogłosu T30 sali.

Rys. 4.6 i Rys. 4.7 pokazują wykresy czasu pogłosu w pasmach oktaowych o częstotliwościach środkowych od 125 Hz - 4 000 Hz. Na wykresie pokazano wartości czasu pogłosu dla dwóch wariantów pustej sali. W wariantcie I banery akustyczne były maksymalnie opuszczone. Odpowiada to sytuacji głównego wykorzystania sali: koncerty wokalne - instrumentalne oraz wykłady i konferencje z wykorzystaniem nagłośnienia. W drugim wariantcie banery akustyczne były schowane.

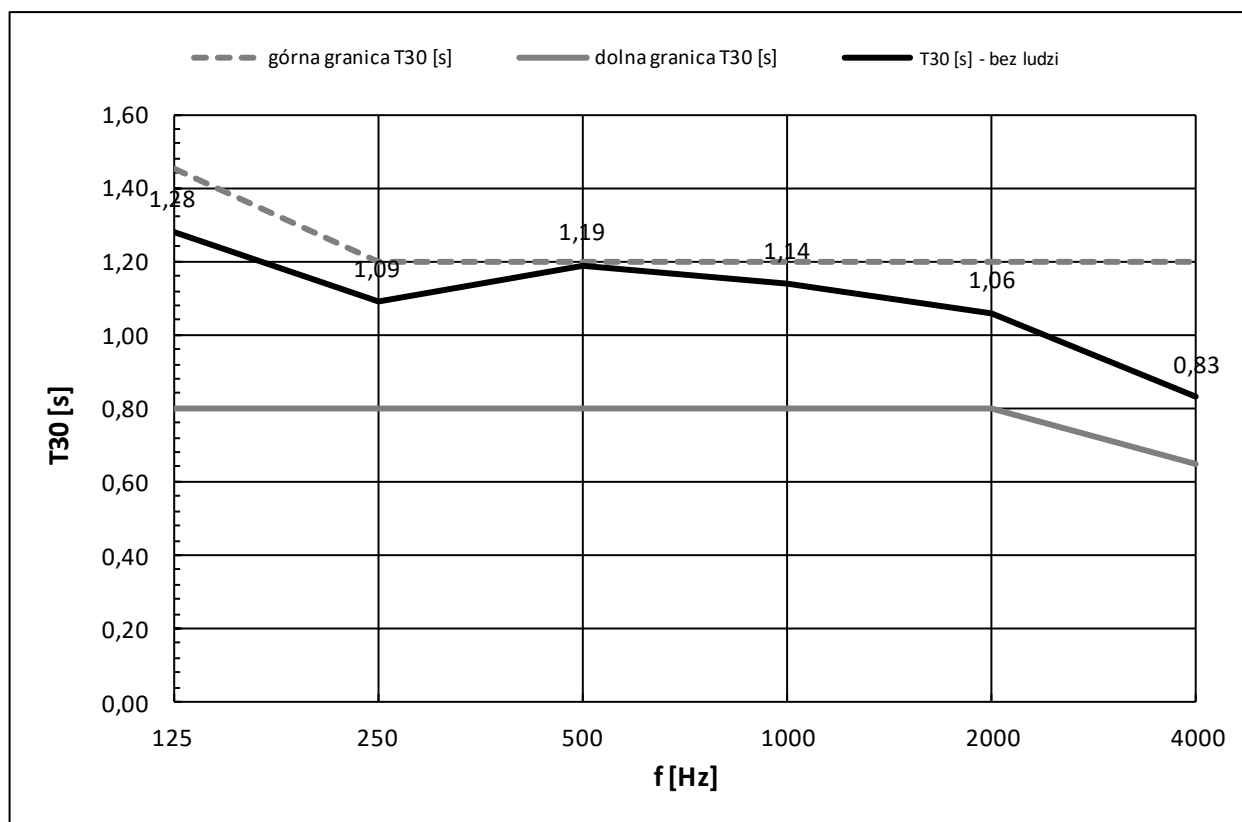
Wartość czasu pogłosu została uzyskana poprzez uśrednienie po wszystkich źródłach oraz punktach odbioru.

Po analizie wyników symulacji można stwierdzić, że przy zastosowaniu zaproponowanej adaptacji akustycznej zostaną spełnione wartości założonych parametrów akustycznych w pomieszczeniu.





Rys. 4.6. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu sali głównej - wariant I



Rys. 4.7. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu sali głównej - wariant II

#### 4.1.4. Rozwiązania projektowe

W sali będą odbywały się wyłącznie wydarzenia wspierane systemem elektroakustycznym, dlatego podstawowym wymaganiem dla akustyki sali jest stworzenie warunków zapewniających dokładne przekazanie obrazu dźwiękowego generowanego przez urządzenia głośnikowe.

Założony czas pogłosu został osiągnięty poprzez dobór okładzin i ustrojów dźwiękochłonnych umieszczonych na suficie i na ścianach bocznych sali. Dobór okładzin akustycznych został zrealizowany w oparciu o obliczenia z wykorzystaniem teorii statystycznej oraz geometrycznej. Szczegółowe rozmieszczenie adaptacji akustycznej zawarte jest na rysunkach wielkoformatowych dołączonych do dokumentacji projektowej oraz na rysunkach architektury.

Podłoga sali została zaprojektowana jako materiał twardy odbijający dźwięk. Będzie to parkiet klejony do podłoża. W przypadku estrady parkiet będzie klejony do podestów.

W celu zminimalizowania możliwości powrotu dźwięku na estradę, tylna ściana sali została zaadaptowana głównie materiałem pochłaniającym dźwięk w szerokim zakresie częstotliwości - ustroje akustyczne na bazie wełny mineralnej. W jej górnej części zamontowane ustroje perforowane mające na celu wyrównanie charakterystyki czasu pogłosu dla małych częstotliwości.

**Na ścianie z oknami zamontowano banery akustyczne. Pozwalają one na regulację czasu pogłosu w zależności od potrzeb (wydłużenie lub skrócenie czasu pogłosu). Pożądana wartość czasu pogłosu dla koncertów wokально-instrumentalnych i konferencji została osiągnięta przy rozwiniętych banerach. Materiał, z którego zostaną wykonane banery powinien być w kolorze ciemnym (czerni, ciemny grafit), aby aby nie odbijał światła pochodzącego od oświetlenia estradowego. Kolorystyka tkaniny i obudowy banerów powinna być przede wszystkim zgodna z wymaganiami projektu architektury wnętrz. Regulacja powierzchni czynnej banera będzie odbywać się za pomocą napędu elektrycznego i systemu sterowania napędów. W**

Tab. 4.7 przedstawiono specyfikację banerów akustycznych.

Ścianę frontową sali pod podestem scenicznym zaadaptowano ustrojem perforowanym strojonym na częstotliwość ok. 60 Hz. Ma on na celu zminimalizowanie powstania niepożądanych interferencji falowych, mogących powstać podczas pracy urządzeń niskotonowych zlokalizowanych pod estradą.

Sufit sali zostanie zaadaptowany akustycznie ustrojami na bazie wełny mineralnej, pochłaniającymi dźwięk w szerokim zakresie częstotliwości. W części nad widownią będą to ustroje wolnowiszące, natomiast nad estradą - montowane bezpośrednio do sufitu.

Warstwą wykończeniową podłogi antresoli jest również parkiet klejony do podłoża. Natomiast cała dostępna powierzchnia sufitu oraz część ścian bocznych zaadaptowana jest ustrojami akustycznymi na bazie wełny mineralnej. Szczegółowe rozmieszczenie adaptacji akustycznej antresoli pokazane jest na rysunkach architektury.

Ze względu na możliwość wystawiania amatorskich spektakli teatralnych w obrębie estrady będą znajdowały się kotary. Powinny one być wykonane z tkaniny pochłaniającej dźwięk np. serży wełnianej, oraz powinny być w kolorze ciemnym, aby nie odbijały światła pochodzącego od oświetlenia scenicznego. Tkanina powinna spełniać wymagania odpowiednich przepisów dotyczących odporności ogniowej. Specyfikację akustyczną kotar przedstawiono w Tab. 4.8

**Tab. 4.1. Podsumowanie powierzchni ustrojów akustycznych**

	UPRF01	UPRF02	US01	UW01	UW02
Sala Główna	12,7 m <sup>2</sup>	14,6 m <sup>2</sup>	43,3 m <sup>2</sup>	198,0 m <sup>2</sup>	193,0 m <sup>2</sup>

#### 4. Akustyka wewnątrz

Poniżej przedstawiono wymaganą dokładność wykonania poszczególnych wymiarów ustrojów perforowanych:

- szerokość i wysokość pojedynczego panelu +/- 1,0 mm
- średnica pojedynczego otworu dla perforacji +/- 0,1 mm
- grubość płyty licowej +/- 0,2 mm

**Tab. 4.2. Specyfikacja wymagań dla perforowanego ustroju rezonansowego UPRF01**

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo. Grubość płyty: 15 mm.						
Konstrukcja	<ul style="list-style-type: none"><li>• Płyta licowa perforowana, perforacja 0,5%</li><li>• Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem</li><li>• Wełna kamienna lub szklana o grubości 200 mm i gęstości: kamienna 50 - 70 kg/m³, szklana 30 - 50 kg/m³</li><li>• Przegroda</li></ul>						
Lokalizacja	Ściana frontowa pod estradą						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku							
f [Hz]	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,76	0,58	0,17	0,10	0,10	0,10	0,10

**Tab. 4.3. Specyfikacja wymagań dla perforowanego ustroju rezonansowego UPRF02**

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo. Grubość płyty: 15 mm.					
Konstrukcja	<ul style="list-style-type: none"><li>• Płyta licowa perforowana, perforacja 0,94%</li><li>• Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem</li><li>• Wełna kamienna lub szklana o grubości 100 mm i gęstości: kamienna 70 - 90 kg/m³, szklana 50 - 70 kg/m³</li><li>• Przegroda</li></ul>					
Lokalizacja	Tylna ściana widowni					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,79	0,45	0,10	0,10	0,10	0,10

Poniżej przedstawiono wymaganą dokładność wykonania poszczególnych wymiarów ustroju szczelinowego:

- szerokość i wysokość pojedynczego panelu +/- 1,0 mm
- szerokość pojedynczej szczeliny +/- 0,1 mm
- grubość płyty licowej +/- 0,2 mm

**Tab. 4.4. Specyfikacja wymagań dla szczelinowego ustroju rezonansowego US01**

Przykładowy materiał	Płyta licowa w postaci dyfuzora akustycznego. Grubość płyty: 37 mm.					
Konstrukcja	<ul style="list-style-type: none"><li>• Płyta licowa o szerokości 200 mm, pomiędzy kolejnymi płytami pozostawiona szczelina o szerokości 10 mm</li><li>• Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem</li><li>• Między dyfuzorem a ścianą wełna kamienna lub szklana o grubości 100 mm i gęstości: kamienna 50 - 70 kg/m<sup>3</sup>, szklana 30 - 50 kg/m<sup>3</sup></li><li>• Przegroda</li></ul>					
Lokalizacja	Ściana boczna bez okien					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,81	0,62	0,18	0,10	0,10	0,10
Wymagane wartości współczynników rozpraszania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
s (±10%)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,25	0,58

**Tab. 4.5. Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW01**

Przykładowy materiał	Płyta z wełny mineralnej pokryta tkaniną zabezpieczającą przed pyleniem					
Konstrukcja	<ul style="list-style-type: none"><li>Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem</li><li>Wełna kamienna o grubości 100 mm i gęstości kamienna 70 - 90 kg/m³</li><li>Przegroda</li></ul>					
Lokalizacja	Ściana tylna i sufit estrady, ściana tylna widowni, sufit i ściany antresoli					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,70	0,99	0,99	0,95	0,90	0,90

**Tab. 4.6. Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW02**

Przykładowy materiał	Dźwiękochłonny podwieszany sufit akustyczny z wełny szklanej					
Konstrukcja	<ul style="list-style-type: none"><li>• Front, tył i boki pokryte flizeliną zabezpieczająca przed pyleniem</li><li>• Płyta z wełny szklanej o grubości 40 mm</li><li>• Pustka powietrzna</li><li>• Sufit</li></ul>					
Lokalizacja	Sufit sali nad widownią, szczegóły na rysunkach architektury					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,25	0,45	0,60	0,90	0,90	0,90

**Tab. 4.7. Specyfikacja wymagań dla banerów akustycznych**

Przykładowy materiał	Trudnopalna tkanina z Treviry CS					
Gramatura	400 - 500 g/m <sup>2</sup>					
Ilość banerów	7					
Długość kasety	Ok. 3,5 - 4,0 m					
Ilość warstw materiału w kasecie	2					
Szerokość materiału	~ 3,5 m					
Wysokość rozwijania	~ 4,0 m					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,28	0,55	0,85	0,99	0,99	0,99

**Tab. 4.8. Specyfikacja wymagań dla kurtyn**

Przykładowy materiał	Serża wełniana					
Gramatura	500 - 600 g/m <sup>2</sup>					
Lokalizacja	Estrada, szczegóły na rysunkach architektury					
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku						
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000
α (±10%)	0,20	0,60	0,70	0,75	0,80	0,80



## 5. Procedury strojenia akustycznego

Za każdym razem pomiary w pomieszczeniu objętym procedurą strojenia akustycznego należy wykonać w posprzątanym wnętrzu, co oznacza że w pomieszczeniu nie znajdują się żadne elementy nie związane z funkcjonowaniem danej sali (takie jak rusztowania, odeskowania, skład materiałów i narzędzi budowlanych, itp.).

Projektant akustyki przeprowadzi w ramach wykonywania procedury strojenia pomiary akustyczne. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów i porównaniu ich z założeniami projektowymi projektant akustyki będzie po każdej sesji wydawał informacje dotyczące sposobu wykonania pozostałej części adaptacji akustycznej. W przypadku jeśli zmierzone parametry akustyczne dotychczas wykonanych wykończeń będą odbiegały od założeń, możliwe będzie wprowadzenie ewentualnych zmian w pozostałej niewykonanej do danego momentu części adaptacji akustycznej. Zmiany będą dotyczyć drobnych modyfikacji okładzin, np. stopnia perforacji płyt. Nie przewiduje się zmian dot. wprowadzenia do zastosowania okładzin nie występujących w projekcie sali.

### 5.1. *Pierwszy pomiar*

Pomiar należy wykonać po wykonaniu następujących elementów:

- zamontowane drzwi oraz okna w pomieszczeniu,
- wykończony sufit estrady i widowni,
- wykończone podłogi estrady i widowni,
- UPRF01 - ustrój perforowany pod estradą,
- UW01 - ustrój akustyczny na bazie wełny mineralnej, na ścianie tylnej widowni,
- UW01 - ustrój akustyczny na bazie wełny mineralnej na tylnej ścianie estrady.

W ramach pomiaru należy mierzyć:

1. Czas pogłosu T30 w pasmach 1/3 oktaawowych w zakresie częstotliwości 100 - 5 000 Hz. Punkty nadawcze i odbiorcze dobrać zgodnie z normą [8].
2. Krzywe ETC (Energy Time Curve). Zaleca się przyjęcie, jako położenia źródeł dźwięku, typowych lokalizacji mówcy. Punkty pomiarowe powinny być odsunięte 1 metr od osi symetrii i umieszczone w przedniej, środkowej i tylnej części widowni.

Na podstawie uzyskanych wyników zostanie podjęta decyzja przez głównego projektanta akustyki dotycząca ewentualnych zmian w pozostałej części adaptacji.

### 5.2. *Pomiar drugi*

Pomiar drugi należy wykonać po zamontowaniu następujących elementów w ich finalnej postaci:

- UW01 - ustrój akustyczny na bazie wełny mineralnej, na ścianach i suficie antresoli,
- US01 - ustroje szczelinowe w tylnej części ściany bocznej (8 ustrojów licząc od końca sali),
- zamontowane i rozwinięte banery akustyczne.

Pomiary należy wykonać według schematu przedstawionego dla pomiaru pierwszego. Na podstawie uzyskanych wyników zostanie podjęta decyzja przez głównego projektanta akustyki dotycząca ewentualnych zmian w pozostałej części adaptacji akustycznej.

### 5.3. ***Pomiar trzeci - końcowy***

Po wykonaniu pozostałych elementów adaptacji zgodnie z wprowadzonymi zmianami projektowymi i docelowym wyposażenia pomieszczenia, należy wykonać pomiar trzeci końcowy według schematu przedstawionego dla pomiaru pierwszego.



## 6. Elektroakustyka

Projektowanie w zakresie elektroakustyki sprowadza się do zaproponowania rozmieszczenia i konfiguracji urządzeń głośnikowych subniskotonowych, będących w posiadaniu użytkownika. Dom Kultury Słowianin posiada 4 sztuki urządzeń głośnikowych subniskotonowych RCF SUB 8006-AS i planuje po modernizacji sali głównej używać ich jako elementy systemu nagłaśniania.

Wybór lokalizacji i konfiguracji urządzeń głośnikowych subniskotonowych należy zrealizować w oparciu o:

- wymagania użytkownika sali głównej,
- dostosowanie do specyfikacji nagłaśniania wykonan "na żywo" polskich artystów muzyki rock,
- optymalne wykorzystanie obszaru przyległego do sceny oraz pola widzenia osób, znajdujących się w obszarze widowni,
- rozkład rezonansów akustycznych w pomieszczeniu,
- optymalny rozkład poziomu ciśnienia akustycznego w tym pomieszczeniu,
- ochrona wykonawców, znajdujących się na scenie, przed dużym poziomem głośności.

Zasadniczym wymaganiem po stronie użytkownika sali głównej jest umieszczenie urządzeń subniskotonowych pod podestem scenicznym.

Koncepcję rozmieszczenia urządzeń głośnikowych oraz rozkłady poziomu ciśnienia akustycznego zaprezentowano w podrozdziale 6.1. Natomiast wytyczne do instalacji proponowanych rozwiązań znajdują się w podrozdziale 6.2.

### 6.1. *Obliczenia i symulacje komputerowe*

Przeprowadzono symulacje komputerowe w programie EASE Focus 3. Zbadano rozkład poziomu ciśnienia akustycznego, zdefiniowanego wzorem:

**Równanie 6.1.**

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 [dB SPL];$$

gdzie:

$p$  – ciśnienie akustyczne,

$p_0$  – ciśnienie akustyczne odniesienia,  $p_0 = 2 \times 10^{-5} [Pa]$ .

Poziom ciśnienia akustycznego wyznaczono dla pola swobodnego, zgodnie z zależnością:

**Równanie 6.2.**

$$L_{m\alpha} = E + 10 \log P_E - 10 \log (D_m)^2 - \Delta L_r(\alpha);$$

gdzie:

$L_{m\alpha}$  – poziom ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji  $m$  pod kątem  $\alpha$  od osi,

$E$  – efektywność urządzenia,

$P_E$  – moc zasilająca urządzenie,

$D_m$  – odległość od źródła do punktu obserwacji,

$\Delta L_r(\alpha)$  – zmiana poziomu ciśnienia akustycznego na skutek odsunięcia punktu obserwacji o kąt  $\alpha$  od osi. Dla  $\alpha$  równego połowie kąta pokrycia  $\Delta L_r(\alpha) = 6 [dB]$ , dla pozostałych kątów wartość ta wynika z charakterystyki kierunkowości urządzenia.

Do obliczeń wykorzystano charakterystyki kierunkowości, podawane przez producenta urządzeń głośnikowych subniskotonowych.

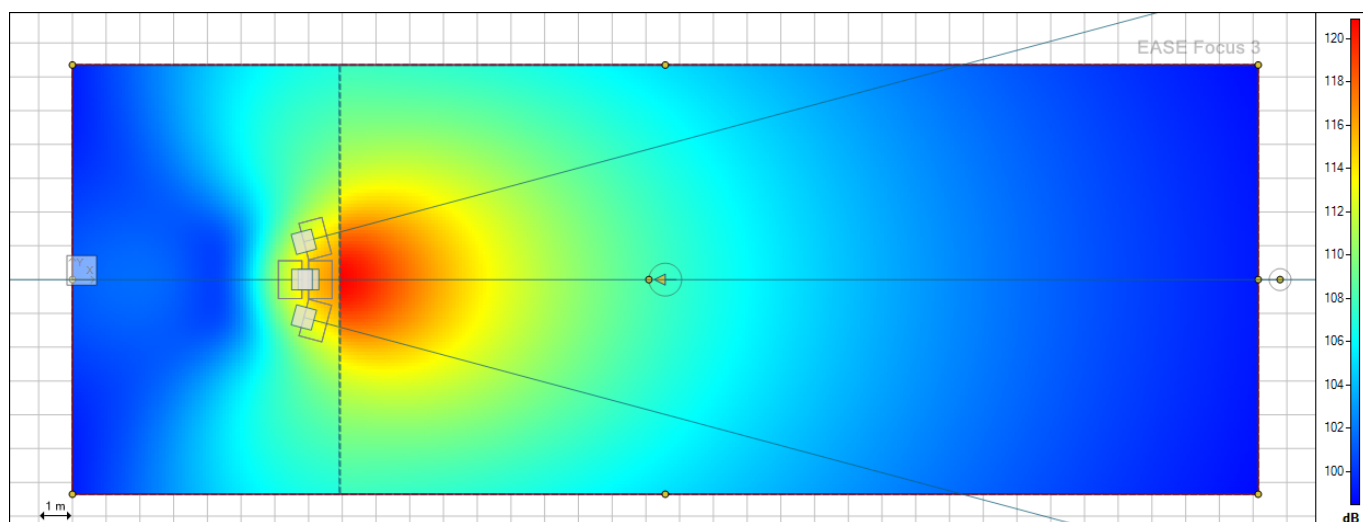
Wymagane uśrednienia przestrzenne poziomu ciśnienia akustycznego zostały wykonane na sumach koherentnych wartości zespolonych (z uwzględnieniem polaryzacji cząstki akustycznej). Równanie 6.3. przedstawia sumę koherentną poziomów.

**Równanie 6.3.**

$$L_1 i L_2 i \dots i L_n = 10 \log \left( 10^{\frac{L_1}{20}} + 10^{\frac{L_2}{20}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{20}} \right)^2 [dB]$$

Symulacje przeprowadzono z zastosowaniem sygnału typu szum różowy szerokopasmowy. W symulacjach wykorzystano model komputerowy urządzenia głośnikowego, dostarczony przez producenta. Poziom wzmocnienia sygnału ustawiono w sposób umożliwiający uzyskanie poziomu ciśnienia akustycznego nie przekraczającego wartości 120 dB (tzw. „progu bólu”) zarówno w obszarze widowni, jak i sceny.

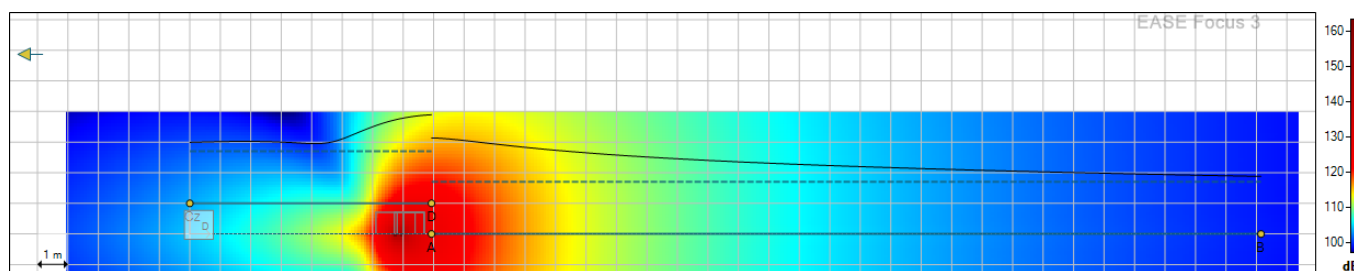
Proponowane rozmieszczenie urządzeń oraz rozkład poziomu ciśnienia akustycznego zaprezentowano na Rys. 6.1.



**Rys. 6.1. Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego – urządzenia subniskotonowe pod podestem scenicznym**

Linia przerywania stanowi krawędź sceny. Proponowana konfiguracja „gradient” umożliwia ustawienie większego kąta promieniowania, zwróconego w stronę widowni z jednoczesnym obniżeniem poziomu ciśnienia akustycznego w obszarze sceny. W celu zrealizowania tej konfiguracji, niezbędne będzie wprowadzenie indywidualnych ustawień polaryzacji i opóźnienia sygnału, przetwarzanego przez każde urządzenie głośnikowe.

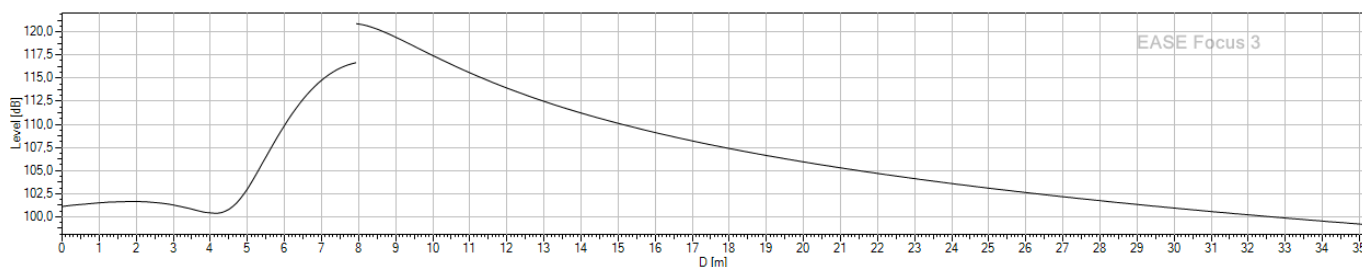
System subniskotonowy jest ukryty pod podestem scenicznym. Zaprezentowane rozmieszczenie wymaga zabezpieczenia obszaru pod podestem scenicznym o wysokości równej co najmniej 90 cm. Na Rys. 6.2. przedstawiono przekrój poprzeczny, pokazujący rozmieszczenie urządzeń oraz rozkład poziomu ciśnienia akustycznego.



**Rys. 6.2. Przekrój poprzeczny pokazujący poziom ciśnienia akustycznego – urządzenia subniskotonowe pod podestem scenicznym**

Linie przerywane stanowią średnią wysokość uszu osoby stojącej, równą  $1,6\text{ m}$ . Aby uniknąć niepożądanych interferencji falowych, należy pod podestem scenicznym, przy ścianie frontowej, zamontować ustrój akustyczny, powodujący wytracanie energii w zakresie częstotliwości  $(50 - 80)\text{ Hz}$  (4.1.4).

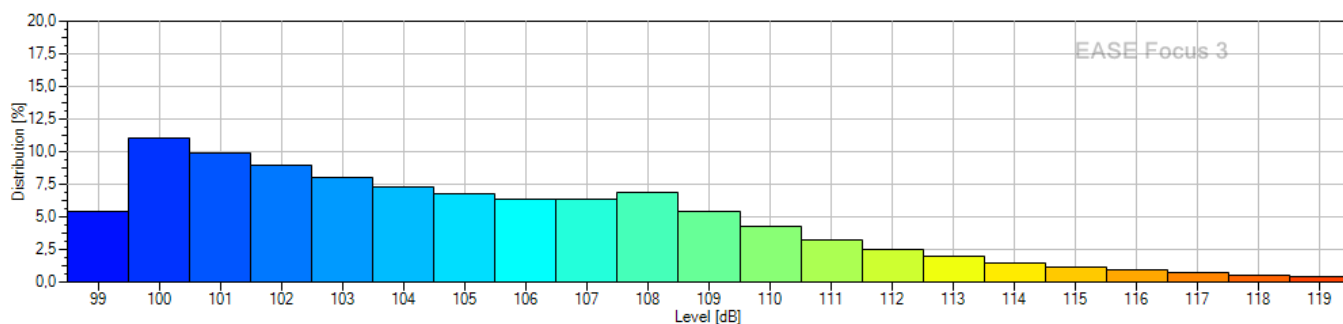
Na Rys. 6.3. zaprezentowano rozkład poziomu ciśnienia akustycznego wzdłuż pomieszczenia sali głównej na wysokości uszu osoby stojącej.



**Rys. 6.3. Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego sumy koherentnej fal bezpośrednich wzdłuż sali głównej**

Odległość  $D$  od ściany frontowej, równa  $7,9\text{ m}$ , wskazuje na miejsce przebiegania krawędzi sceny. Zmiana skokowa poziomu ciśnienia akustycznego w tym miejscu wynika z faktu, że podest sceniczny będzie miał wysokość  $1\text{ m}$ . Zatem uszy osoby stojącej na podeście scenicznym będą znajdowały się o  $1\text{ m}$  wyżej względem urządzeń głośnikowych subniskotonowych. W odległości  $3\text{ m}$  od krawędzi w głąb sceny obserwuje się drastyczny spadek poziomu ciśnienia akustycznego. To wynika z proponowanej konfiguracji „gradient”. Można zauważyć, że najbardziej komfortowe warunki akustyczne dla wykonawcy pod względem maksymalnego, możliwego dla danej konfiguracji, obniżenia poziomu głośności małych częstotliwości, znajdują się w obszarze ograniczonym zakresem odległości od ściany frontowej do  $5\text{ m}$  w stronę widowni.

Natomiast istotne jest uzyskanie optymalnego rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego w obszarze widowni i jego równomiernego spadku wraz z wzrostem odległości od urządzeń głośnikowych subniskotonowych. Rys. 6.4. przedstawia rozkład dyskretny wartości poziomu ciśnienia akustycznego w obszarze widowni na wysokości uszu osoby stojącej.



**Rys. 6.4. Udział procentowy poziomu ciśnienia akustycznego sumy koherentnej fal bezpośrednich w obszarze widowni**

## 6.2. Rozmieszczenie urządzeń głośnikowych subniskotonowych

Rozmieszczenie urządzeń zaprezentowano na rysunku rzutu EP01. Widok układu urządzeń głośnikowych pod podestem scenicznym znajduje się na załączonym rysunku EW01. Przekrój sceny wzdłuż pomieszczenia pokazano na rysunku EW02. Trzy urządzenia należy rozmieścić przodem do widowni na linii łuku o określonym promieniu z przesunięciem o określony kąt względem siebie, zgodnie z opisem geometrycznym, zawartym na rysunku EP01. Czwarte urządzenie należy umieścić tyłem do widowni w określonej odległości. Środek okręgu, którego zaprezentowany łuk jest fragmentem, znajduje się na osi symetrii szerokości pomieszczenia, w określonej odległości od krawędzi sceny.

Urządzenia głośnikowe należy umieścić na wibroizolatorach w celu znacznego stłumienia małowartościowych wibracji, przenoszonych drogą materiałową na dalsze części budynku. W przypadku tych urządzeń, umieszczonych na podłodze, istotne jest ograniczenie przenoszenia dźwięku przez strop do pomieszczeń, znajdujących się pod salą koncertową, na poziomie II. Pod salą koncertową będą znajdowały się pomieszczenia siłowni. Zgodnie z normą [6], najwyższy dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A w salach ćwiczeń w obiektach sportowych jest równy 50 dB.

Rozmieszczenie wibroizolatorów jest punktowe, w ilości 4 sztuk na każde urządzenie głośnikowe, w miejscach przewidzianych na nóżki, rozstawionych symetrycznie na spodzie obudowy. Osadzenie urządzeń głośnikowych na wibroizolatorach zaprezentowano na EW01 i EW02. Wymagane parametry wibroizolatora znajdują się w Tab. 6.1. Wymagania ustalono w oparciu o założenie, że poziom ciśnienia akustycznego, generowanego przez urządzenia głośnikowe subniskotonowe, nie przekroczy wartości 120 dB w obszarze widowni.

**Tab. 6.1. Wymagane parametry wibroizolatora**

Parametr	Wartość
typ wibroizolatora	sprężynowy
opis konstrukcyjny	sprężyna pomiędzy dwiema płytkami z elastomeru
montaż	punktowy
wysokość wibroizolatora	$\leq 10 \text{ cm}$
wymiary podstawy / wierzchołka wibroizolatora	$\geq (8 \times 8) \text{ cm}$
tłumienie	$\geq 30 \text{ dB}$
zakres częstotliwości wibracji	$\geq (30 - 120) \text{ Hz}$
masa obudowy drgającej	$\geq 100 \text{ kg}$
wymiary powierzchni drgającej (spód obudowy)	$(1,1 \times 0,7) \text{ m}$

### 6.3. Ustawienia procesora głośnikowego

W celu uzyskania charakterystyki kierunkowości dla całego układu urządzeń głośnikowych, zaprezentowanej na Rys. 6.1., niezbędne będzie wyposażenie systemu nagłaśniania w procesor głośnikowy. Schemat proponowanego toru fonicznego z zastosowaniem procesora głośnikowego znajduje się na załączonym rysunku ES01. W procesorze głośnikowym należy wprowadzić indywidualne ustawienia polaryzacji i opóźnienia sygnału, przetwarzanego przez każde urządzenie głośnikowe. Zestawienie zalecanych parametrów sygnału fonii zaprezentowano w Tab. 6.2.

**Tab. 6.2. Zestawienie parametrów sygnału, doprowadzonego do urządzeń głośnikowych**

Urządzenie głośnikowe subniskotonowe		Parametry sygnału	
Umiejscowienie	Horyzontalny kąt obrotu [°]	Polaryzacja	Opóźnienie [ms]
front	0	pierwotna	6,54
lewy	-15	pierwotna	brak
prawy	15	pierwotna	brak
tył	180	odwrócona	brak

Ponadto, sygnał fonii doprowadzony do wszystkich urządzeń subniskotonowych należy dodatkowo opóźnić o wartość czasu, właściwą do zniwelowania różnicy odległości między czołem układu urządzeń subniskotonowych, a czołem projektowanego grona centralnego urządzeń głośnikowych szerokopasmowych.

Autor opracowania przypomina, że niniejsze opracowanie, zgodnie z zapisami w podstawie formalnej [1], w zakresie elektroakustyki sprowadza się do zaproponowania rozmieszczenia i konfiguracji urządzeń głośnikowych subniskotonowych. Zatem projekt systemu elektroakustycznego, w tym systemu nagłaśniania głównego z zastosowaniem gron głośnikowych szerokopasmowych, jak i innych systemów nagłaśniania, przewidywanych dla sali głównej, nie są w zakresie tego opracowania.



## 7. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu zostały pokazane rozwiązania projektowe dotyczące akustyki wnętrz oraz rozmieszczenia urządzeń głośnikowych subniskotonowych dla sali głównej Domu Kultury "Słowianin" w Szczecinie.

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

Opracowanie jest przeznaczone do użytku wewnętrznego Zamawiającego.

Opracowanie jest kompletne z uwagi na cel, jakiemu służy.