

ROZBUDOWA I PRZEBUDOWA GMINNEJ BIBLIOTEKI PUBLICZNEJ W URSZULINIE Z DOSTOSOWANIEM CZĘŚCI ROZBUDOWYWANEJ NA POTRZEBY SALI WIDOWISKOWO-KONCERTOWEJ

ul. Lubelska 31, 22-234 Urszulin

Operat akustyczny

INWESTOR:	Gminna Biblioteka Publiczna w Urszulinie ul. Lubelska 31 22-234 Urszulin	
Autor:	mgr inż. Krzysztof Brawata	
Sprawdzający:	mgr inż. Tomasz Topolski	

STYCZEŃ 2019

Spis treści

1	Cel i zakres opracowania	2
2	Definicje.....	2
3	Ochrona przeciwdźwiękowa.....	5
3.1	Wymagania dla przegród budowlanych i elementów stolarki	5
3.2	Tłło akustyczne	6
3.3	Wentylacja.....	6
4	Adaptacja akustyczna.....	7
4.1	Sala widowiskowa	7
4.2	Pozostałe pomieszczenia nie objęte opracowaniem	13
5	Wytyczne międzybranżowe.....	13
5.1	Wytyczne dla branży sanitarnej	13
5.2	Wytyczne konstrukcyjne	14
5.3	Pozostałe instalacje.....	15
6	Zestawienie/specyfikacja materiałów	15
7	Pomiary kontrolne i odbiorowe.....	18
8	Podsumowanie	18
9	Bibliografia.....	19

1 Cel i zakres opracowania

Celem opracowania jest sformułowanie wytycznych do adaptacji akustycznej i ochrony przeciwdźwiękowej dla projektowanej sali widowiskowo-koncertowej w ramach inwestycji: *Rozbudowa i przebudowa Gminnej Biblioteki Publicznej w Urszulinie z dostosowaniem części rozbudowywanej na potrzeby sali widowiskowo-koncertowej przy ul. Lubelskiej 32, 22-234 w Urszulinie.*

Zakres prac obejmował:

- określenie wymagań izolacyjności akustycznych przegród zgodnie z obowiązującymi normami budowlanymi,
- zawarcie obliczeń/kart katalogowych/badań zaprojektowanych przegród, wskazujące poprawność podanych rozwiązań,
- zawarcie wytycznych akustycznych do projektów branżowych,
- określenie zawartych parametrów akustycznych w pomieszczeniu oraz podanie zakładanych wartości wynikające z ich funkcji pomieszczenia,
- przedstawiony układ materiałów ustrojów akustycznych w pomieszczeniu,
- zawarcie zestawu obliczeń/wyników predykcji parametrów akustycznych,
- podanie informacji o parametrach akustycznych proponowanych materiałów i ustrojów akustycznych wskazanie wykonawcy robót budowlanych przykładowych materiałów/ustrojów akustycznych.

2 Definicje

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

Krzywą zaniku dla każdego pasma wyznacza się przez całkowanie w odwróconym czasie kwadratu odpowiedzi impulsowej. Zanik sygnału w funkcji czasu dany jest wzorem:

$$E(t) = \int_t^{\infty} p^2(\tau) d\tau = \int_{\infty}^t p^2(\tau) \cdot d(-\tau)$$

$T_{500-1000 \text{ Hz}}$ – czas pogłosu dla średnich częstotliwości. Średnia wartość czasu pogłosu dla pasm oktaowych o częstotliwościach środkowych 500 Hz oraz 1000 Hz.

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

Tabela 1 Ocena zrozumiałości mowy na podstawie wskaźnika STI

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

Przejrzystość dźwięku (ang. Clarity) oznaczana przez C_t , liczbowo określana jest jako stosunek energii docierającej do słuchacza w ciągu czasu t po dźwięku bezpośrednim, do energii pozostałej części odpowiedzi impulsowej. W przypadku parametru przejrzystości rozważane są dwie wartości czasu t , które zależą od rodzaju odbieranego dźwięku: 50 ms dla mowy oraz 80 ms dla muzyki. Przejrzystość wyznaczana jest na podstawie odpowiedzi impulsowej oraz poniższego równania:

$$C_t = 10 \log \left(\frac{\int_0^t p^2(t) dt}{\int_t^\infty p^2(t) dt} \right) [dB]$$

gdzie:

t - 50 ms lub 80 ms

$p(t)$ - ciśnienie akustyczne odpowiedzi impulsowej w miejscu odbioru dźwięku

Siła dźwięku G (ang. *Strength Index*) – miara przyrostu głośności, z jaką jest słyszane dane źródło dźwięku w pomieszczeniu, w porównaniu z głośnością w polu swobodnym w odległości 10 m od źródła (Kulowski, 2007).

$$G = 10 \log \frac{\int_0^\infty p^2(\tau) d\tau}{\int_t^\infty p_{10}^2(\tau) d\tau} [dB]$$

gdzie:

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

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

Kubatura na osobę – zalecane wartości w zależności od funkcji pomieszczenia podano w tabeli 2:

Tabela 2 Zalecana kubatura sal teatralnych i do muzyki kameralnej (Sadowski, 1971).

	Teatry [m ³ /os.]	Sale do słuchania muzyki i/lub mowy [m ³ /os.]
wg Sadowskiego	4,0 – 7,0	-
wg Templetona	2,5 – 4,0	do 5,0
wg Neuferta	3,0 – 5,0	4,0 – 7,0

Krzywe NR (ang. Noise Rating) – Krzywe wyznaczające dopuszczalne wartości poziomów hałasu. Są określone zgodnie z wymogami normy (PN-ISO 1996-1:2006, 2006) w pasmach oktaowych w zakresie od 63 Hz do 8000 Hz. Wartości dla wybranej krzywej przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3 Wartości dla wybranych krzywych NR

Krzywa NR	Pasma oktaowe [Hz]							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
	Poziom ciśnienia akustycznego [dB]							
NR 25	55	44	35	29	25	22	20	18

Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych – określana wartością wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} obliczona zgodnie ze wzorem (1) oraz R'_{A2} obliczona zgodnie ze wzorem (2) lub określana wskaźnikami izolacyjności akustycznej właściwej R_{A1} oraz R_{A2} obliczanym zgodnie ze wzorami (3) oraz (4):

$$R'_{A1} = R_w + C - 2 - K_a [dB] \quad (1)$$

$$R'_{A2} = R_w + C_{tr} - 2 - K_a [dB] \quad (2)$$

$$R_{A1} = R_w + C [dB] \quad (3)$$

$$R_{A2} = R_w + C_{tr} [dB] \quad (4)$$

gdzie:

R_w – wskaźnik ważony izolacyjności akustycznej właściwej,

C, C_{tr} – widmowe wskaźniki adaptacyjne.

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

R'_{A1} i R'_{A2} – wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R' , uwzględniający widmowy wskaźnik adaptacyjny odpowiednio C lub C_{tr} .

Izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych – określana wartością wskaźnika ważonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$ obliczona zgodnie ze wzorem:

$$L'_{n,w} = L'_{n,w,eq} - \Delta L_w + K [dB]$$

gdzie:

$L'_{n,w,eq}$ – równoważny wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropów jednorodnych,

ΔL_w – ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego,

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

3 Ochrona przeciwdźwiękowa

Przegrody dla pomieszczenia objętego niniejszym opracowaniem powinny mieć izolacyjność akustyczną uwzględniającą różnicę między rzeczywistym poziomem ciśnienia akustycznego (w szczególnych przypadkach poziomem maksymalnego ciśnienia akustycznego) w pomieszczeniu nadawczym – a poziomem ciśnienia akustycznego, określonego dopuszczalną wartością poziomu tła akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym (chronionym). Wymagane wartości obliczono na podstawie założonych poziomów hałasu w pomieszczeniach.

Do obliczeń przyjęto poziom dźwięku w sali koncertowej $L_{A,eq} = 95 \text{ dB}$. Dopuszczalny poziom dźwięku w środowisku zgodnie z (Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2014) wynosi $L_{A,eq} = 50 \text{ dB}$, stąd wymagana wypadkowa izolacyjność akustyczna przegród zewnętrznych $R'_{A2} \geq 45 \text{ dB}$.

3.1 Wymagania dla przegród budowlanych i elementów stolarki

3.1.1 Ściany

Do obliczeń przyjęto poziom dźwięku w sali koncertowej $L_{A,eq} = 95 \text{ dB}$.

Tabela 4 Zestawienie wymaganych wartości izolacyjności akustycznej ścian

Nazwy pomieszczeń rozdzielanych przegrodami		Wymagana izolacyjność akustyczna	Proponowane rozwiązanie
0/8 Sala koncertowa	ściana zewnętrzna	$R'_{A2} \geq 45 \text{ dB}$	Silka E24
	0/7 magazyn	$R'_{A1} \geq 35 \text{ dB}$	
	0/6 WC damskie	$R'_{A1} \geq 45 \text{ dB}$	
	0/4 WC męskie	$R'_{A1} \geq 45 \text{ dB}$	
	0/3 foyer	$R'_{A1} \geq 40 \text{ dB}$	
	1/2 przestrzeń otwarta	$R'_{A1} \geq 45 \text{ dB}$	

Pozostałe przegrody budowlane nie są objęte projektem modernizacji, stąd nie stawia się im dodatkowych wymagań akustycznych.

3.1.2 Strop nad salą

Strop wykonany z płyt kanałowych sprężonych o grubości 32cm charakteryzuje się wskaźnikiem $R_{A2}=49[\text{dB}]$. W przypadku przegród zewnętrznych można przyjąć poprawkę $K_a = 2 [\text{dB}]$ stąd $R'_{A2}=45[\text{dB}]$.

3.1.3 Stolarka drzwiowa

Tabela 5 Zestawienie wymaganych wartości izolacyjności akustycznej drzwi

Nazwy pomieszczeń rozdzielanych drzwiami		Oznaczenie na rys.	Wymagana izolacyjność akustyczna drzwi	Proponowane rozwiązanie
0/8 Sala koncertowa	drzwi zewnętrzne	Dz2, Dz3	$R_w \geq 38 \text{ dB}$	Mercor Alpe
	0/7 Magazyn	D5	$R_w \geq 35 \text{ dB}$	Huet Club 36 (lub Huet Club 39)
	0/3 Foyer	D4	$R_w \geq 40 \text{ dB}$	Huet Chorus 42
0/3 Foyer	0/1 Korytarz	D3	$R_w \geq 40 \text{ dB}$	Huet Chorus 42

3.2 Tła akustyczne

Dopuszczalny poziom tła akustycznego określono krzywymi hałasu NR (PN-ISO 1996-1:2006, 2006). Zabezpieczenia akustyczne wyposażenia technicznego budynku (wentylacja, klimatyzacja, CO, itp.) powinny uwzględniać dopuszczalny poziom tła akustycznego w pomieszczeniach.

Tabela 6 Maksymalne wartości poziomów tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych

Lp.	Nazwa pomieszczenia	Krzywe NR
1	Sala widowiskowa	NR25

3.3 Wentylacja

Dobór prędkości strugi powietrza, tłumików, kanałów i urządzeń należy przeprowadzić tak, aby zachować założone maksymalne dopuszczalne poziomy tła akustycznego w pomieszczeniu chronionym. Obliczenia hałasu od urządzeń systemu HVAC należy przeprowadzić dla każdego z pasm oktaowych oddzielenie.

Projekt branży sanitarnej przed złożeniem powinien być skonsultowany z akustykiem

4 Adaptacja akustyczna

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

Przedstawione rozwiązania materiałowe zostały podane jako przykładowe i dopuszcza się ich zamianę na inne o równoważnych właściwościach akustycznych (wartości praktycznych współczynników pochłaniania dźwięku oraz współczynników rozproszenia dźwięku s), po uprzedniej konsultacji z akustykiem posiadającym wykształcenie wyższe w dziedzinie akustyki i dysponującym co najmniej 10-cio letnim doświadczeniem w zakresie akustyki wnętrz.

4.1 Sala widowiskowa

4.1.1 Ogólna charakterystyka sali

- sala na planie prostokąta o suficie płaskim i rozsuwaną trybuną
- kubatura (wg. modelu akustycznego): 1 700 m³
- liczba miejsc na widowni: 98;
- wymiary gabarytowe (szerokość x długość x wysokość) ok. 12 x 20 x 7,5 m

4.1.2 Wymagania akustyczne

- **Czas pogłosu dla sal teatralnych i audytoryjnych**

Zalecana wartość średnia czasu pogłosu $T_{500-1000Hz}$ dla sali koncertowej dla przyjętej kubatury wynosi:

1. wg (Kulowski, 2007) :

$$T_{500-1000 Hz} = 0,30 \cdot \lg V + 0,46 \approx 1,43 s$$

2. wg L. Conturie:

$$T_{soll} = 0,09 \cdot \sqrt[3]{V} \approx 1,07 s$$

Zalecana wartość średnia czasu pogłosu $T_{500-1000Hz}$ dla sali teatralnej dla przyjętej kubatury wynosi:

1. wg (Kulowski, 2007) :

$$T_{500-1000 Hz} = 0,075 \cdot \sqrt[3]{V} \approx 0,9 s$$

2. wg (DIN 18041, 2015):

$$T_{soll} = 0,32 \cdot \lg V - 0,17 \approx 0,86 s$$

W opracowaniu przyjęto zalecaną wartość średnią czasu pogłosu $T_{500-1000\text{Hz}} = 1,15 \text{ s}$.

Zgodnie z literaturą, zalecana jest płaska charakterystyka czasu pogłosu w funkcji częstotliwości z dopuszczalnym odchyleniem $\pm 20\%$ od wartości średniej. Dla częstotliwości poniżej 250 Hz dopuszczalny jest wzrost o ok. 20% na każdą oktawę. Dla częstotliwości powyżej 2 kHz dopuszczalny jest spadek o ok. 20% na każdą oktawę (ze względu na pochłanianie dźwięku przez powietrze, zwłaszcza w wyższych częstotliwościach).

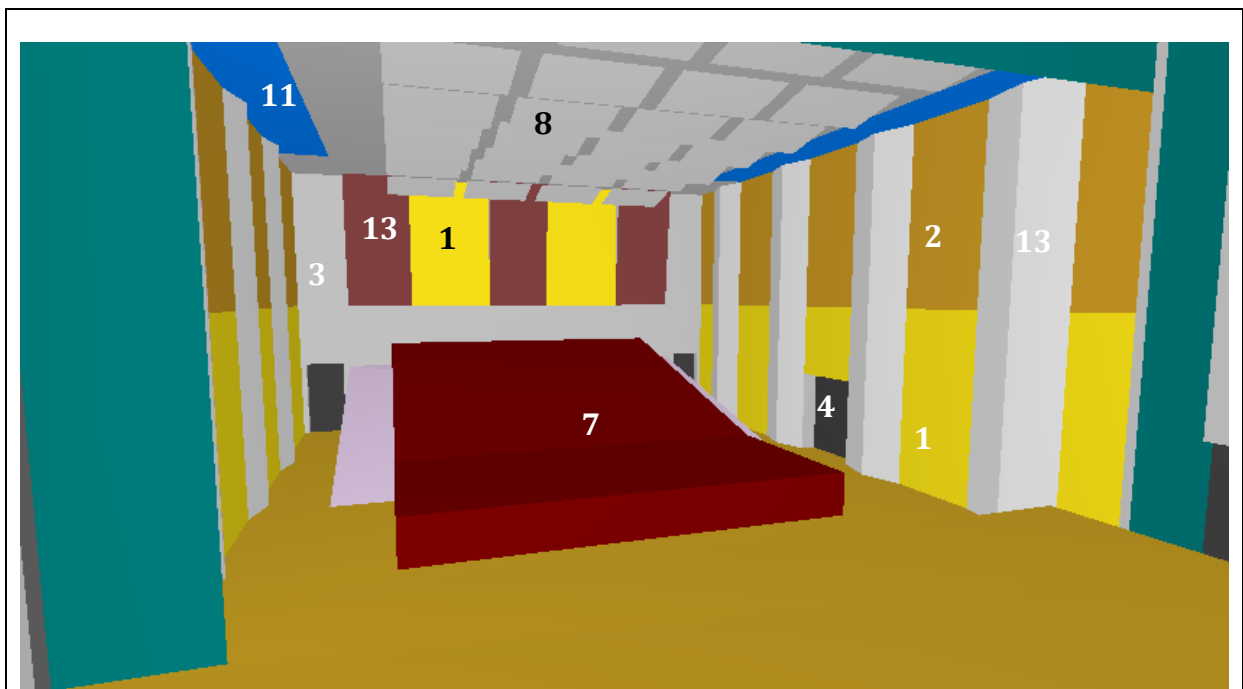
- **Czas pogłosu dla sali widowiskowej z pracującym nagłośnieniem**

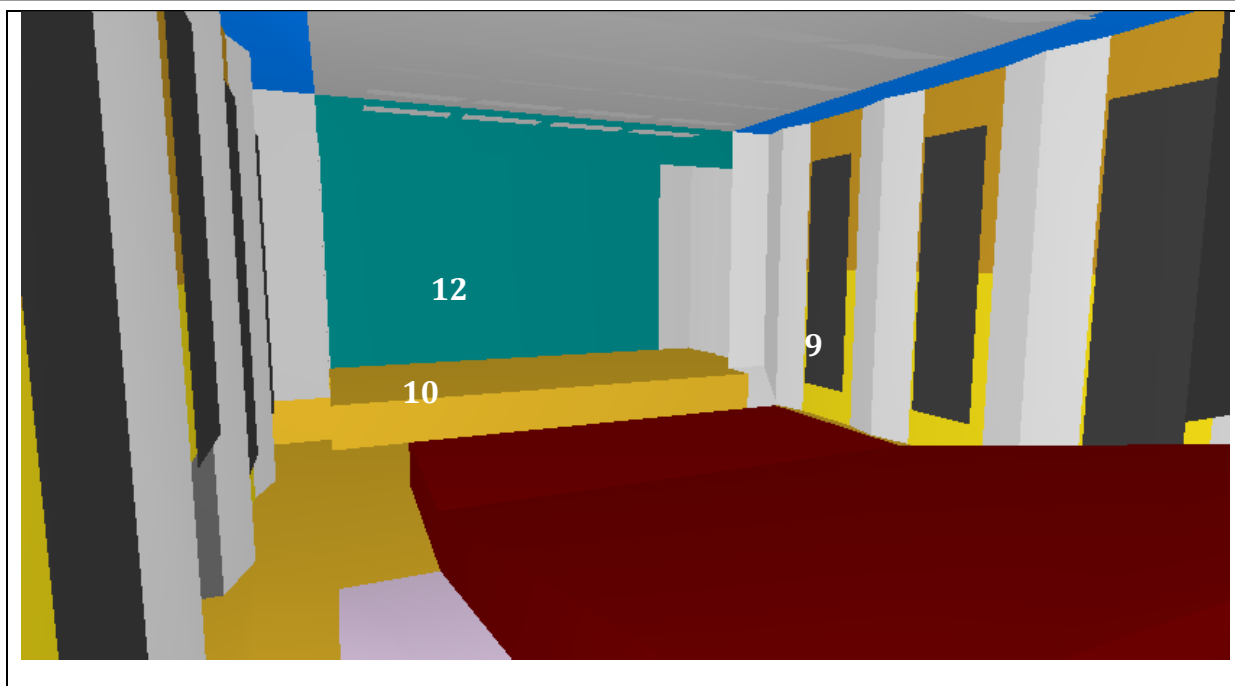
Przyjmuje się, że zalecana wartość średnia czasu pogłosu $T_{500-1000\text{Hz}}$ dla pomieszczenia z funkcjonującym nagłośnieniem jest pomniejszona o 20% w stosunku do wartości bazowej stąd $T_{500-1000 \text{ Hz}} = 0,90 \text{ s}$.

4.1.3 Adaptacja akustyczna

- **Rozmieszczenie materiałów**

Zaproponowano wyposażenie sali w elementy adaptacji akustycznej zaznaczone na rysunku 1, których praktyczne współczynniki pochłaniania dźwięku podano w tabeli 7.





Rysunek 1 Schemat rozmieszczenia proponowanych materiałów adaptacji akustycznej.
(Kolory pokazują rodzaj materiału)

• Parametry ustrojów akustycznych

Tabela 7 Zestawienie materiałów adaptacji akustycznej. Współczynniki pochłaniania dźwięku pochodzą z informacji producentów oraz z literatury przedmiotu.

Lp.	Nazwa	S [m ²]	Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p					
			125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
1	Ustrój rozpraszająco-pochłaniający (URP1)	76	0,70	0,45	0,20	0,15	0,15	0,20
2	Ustrój akustyczny pochłaniający (UP1)	62	0,70	0,45	0,15	0,05	0,05	0,05
3	Ściana tynkowana	259	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
4	Drzwi	10	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
5	Elementy wyposażenia sceny	58	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15
6	Wykładzina na widowni	40	0,00	0,00	0,05	0,10	0,20	0,30
7	Widownia zajęta	116	0,55	0,70	0,80	0,85	0,85	0,85
8	Elementy refleksyjne na suficie	124	0,15	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05
9	System do regulacji akustyki (SDRA)	72	0,05	0,25	0,55	0,80	0,70	0,85
10	Podłoga	164	0,05	0,15	0,10	0,10	0,05	0,05
11	Kanały wentylacyjne	30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
12	Okotowanie sceny	88	0,20	0,35	0,50	0,60	0,60	0,65
13	Elementy refleksyjne ściennie	160	0,20	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05

Materiały akustyczne powinny charakteryzować się praktycznymi współczynnikami pochłaniania dźwięku podanymi w tabeli 7 z tolerancją $\pm 0,05$. Materiały referencyjne podano na końcu opracowania.

Tabela 8 Wymagania dla współczynnika rozproszenia dźwięku s zgodnego z (ISO 17497-1, 2004).

Lp.	Nazwa	Współczynnik rozproszenia dźwięku s zgodny z ISO-17497-1							
		1kHz	1,25kHz	1,6kHz	2kHz	2,5kHz	3,15kHz	4kHz	5kHz
1	Ustrój rozpraszający (URP1)	0,00	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,70	0,80

Wartości współczynnika rozproszenia dźwięku s ustrojów rozpraszająco-pochłaniających i ustrojów rozpraszających nie mogą być mniejsze niż podane w tabeli 8 i potwierdzone kartą z pomiarów przeprowadzonych zgodnie z (ISO 17497-1, 2004).

• Fotele

Zaleca się, aby fotele na sali były średnio tapicerowane tzn.:

- tylna część oparcia nie może być pokryta materiałem tapicerskim,
- dolna część siedziska musi być wykończona materiałem twardym, nieperforowanym,
- nogi i podłokietniki nie mogą być pokryte materiałem tapicerskim.

• System do regulacji akustyki (SDRA)

W celu regulacji czasu pogłosu, którego długość zależna jest od funkcji pomieszczenia oraz ilości widzów przebywających w sali, należy wykorzystać system banerów akustycznych. System jest niezbędny w przypadku wykorzystywania pomieszczenia w funkcji pracy z nagłośnieniem.

System sterowania ustrojów akustycznych musi umożliwiać:

- wyzwalanie zapamiętanych ustawień,
- niezależne adresowanie iysterowanie poszczególnych mechanizmów rozwijających,
- jednoczesne uruchomienie wszystkich mechanizmów rozwijających,
- wysunięcie materiału na zadaną długość,
- zaprogramowanie poszczególnych ustawień regulacji akustyki pomieszczenia,
- opcjonalną integrację z zewnętrznym systemem sterowania obiektu, przykładowo z systemem BMS lub podobnym.

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

• Elementy refleksyjne sufitowe

Elementy wykonane z dwóch warstw płyt g-k o masie powierzchniowej co najmniej 12 kg/m²; górna część zaopatrzona w warstwę materiału pochłaniającego dźwięk.

• Elementy refleksyjne ściennie

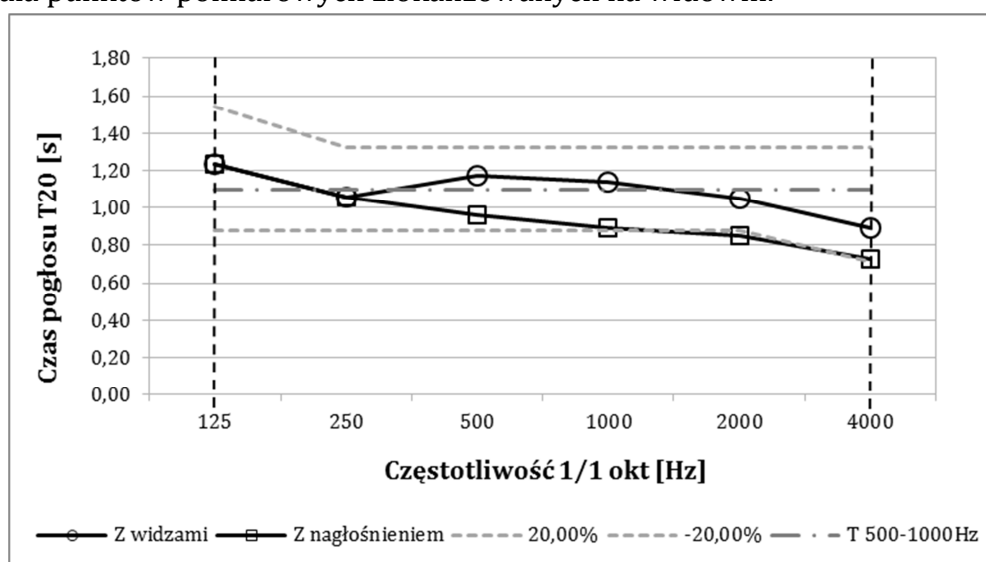
Elementy wykonane z dwóch warstw płyt g-k o masie powierzchniowej co najmniej 12 kg/m²; pustka wypełniona warstwą wełny mineralnej o grubości 50mm i gęstości co najmniej 50 kg/m³.

4.1.4 Wyniki symulacji obliczeniowej

Tabela 9 Parametry symulacji obliczeniowej

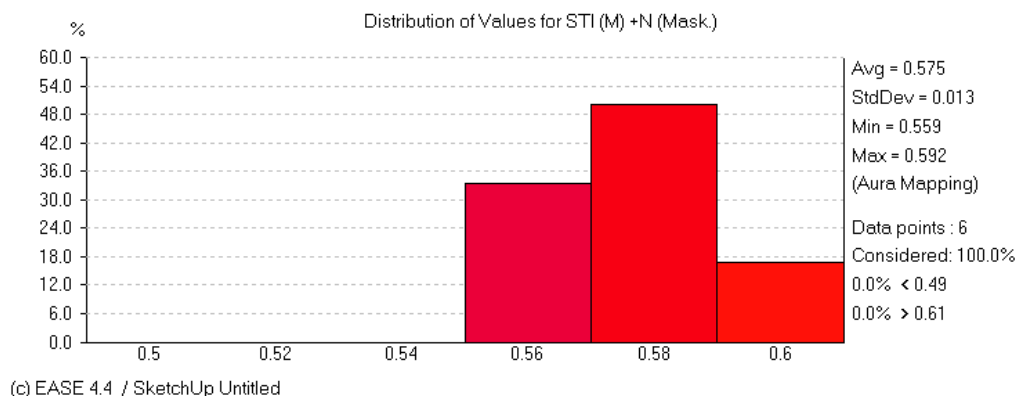
Parametry symulacji komputerowej				
Lp.	Nazwa parametru	Wartość		
1	Widownia	Wypełniona w 100%		
2	Stan pomieszczenia	Sala z projektowaną adaptacją akustyczną		
3	Walidacja modelu	-		
4	Warunki atmosferyczne	wilgotność	50	[%]
		temperatura	20	[°C]
		ciśnienie	1013	[hPa]
5	Parametry symulacji	czas predykcji	900	[ms]
		liczba promieni	30 tys.	-

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



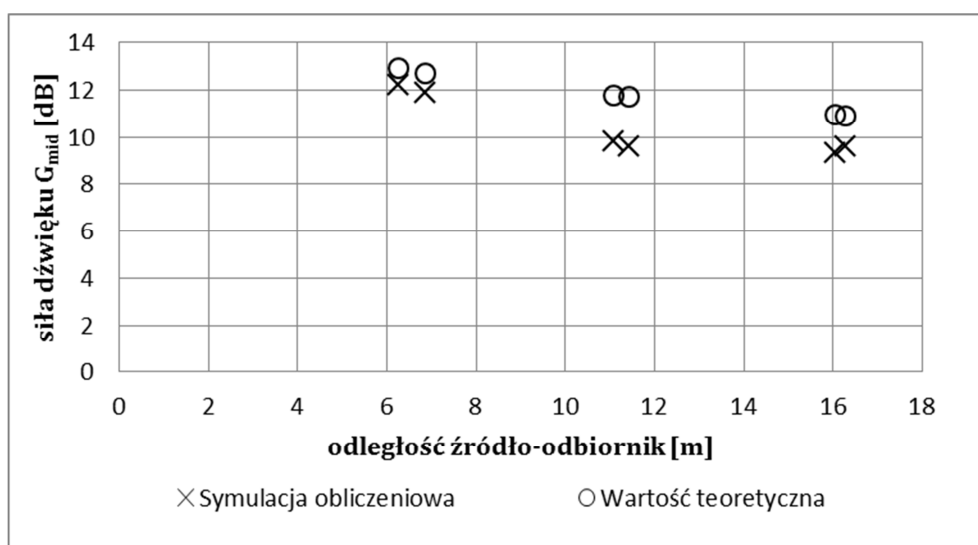
Rysunek 2 Czas pogłosu T_{20} w funkcji częstotliwości uzyskany na drodze symulacji obliczeniowej z zaznaczonym przedziałem dopuszczalnych odchyleń dla funkcji sali z i bez nagłośnienia. Wykresy dla sali z widzami.

Zaprezentowane wyniki symulacji potwierdzają poprawność zaproponowanej adaptacji akustycznej. Założone wartości czasu pogłosu zostały osiągnięte oraz uzyskano korzystny kształt charakterystyki częstotliwościowej.



Rysunek 3 Histogram rozkładu wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) na widowni.

Zaprezentowane wyniki symulacji potwierdzają poprawność zaproponowanej adaptacji akustycznej. Wartości wskaźnika transmisji mowy (STI) wskazują na dobrą zrozumiałość mowy.



Rysunek 4 Wartość siły dźwięku G_{mid} w funkcji odległości.

Na powyższym rysunku przedstawiono porównanie wartości siły dźwięku G_{mid} uzyskanej na drodze symulacji obliczeniowej i wartości teoretycznej zgodnie z teorią Barron'a i Lee (Barron i Lee, 1988). Znaczny spadek wartości dla tylnej części sali wynika z niekorzystnych wymiarów pomieszczenia. Proponowane elementy refleksyjne sufitu podnoszą wartości siły dźwięku G_{mid} w okolice 0dB (zalecanej w literaturze wartości minimalnej).

4.1.5 Pomiary akustyczne w trakcie budowy

Pomiary parametrów akustycznych wnętrza zaleca się wykonać po wykonaniu wszelkich prac budowlanych i wykonaniem części prac wykończeniowych, a przed przystąpieniem do prac wykończeniowych t.j. przed montażem ustrojów akustycznych

UPR1 i UP1. Na podstawie uzyskanych wyników należy podjąć decyzję w sprawie szerokości szczelin ustrojów URP1 i UP1.

Pomiary czasu pogłosu należy wykonać zgodnie z normą (PN-EN ISO 3382-1, 2009).

4.2 Pozostałe pomieszczenia nie objęte opracowaniem

Zgodnie z (PN-B-02151-4, 2015) we foyer o wysokości $h \leq 4\text{ m}$ zalecany czas pogłosu $T \leq 0,6\text{ s}$, chłonność akustyczna A korytarzy powinna spełniać wymagania $A \geq 0,6 \cdot S$, natomiast klatek schodowych $A \geq 0,4 \cdot S$, gdzie S jest rzutem pomieszczenia lub w przypadku klatek schodowych iloczynem rzutu powierzchni klatki schodowej i liczby kondygnacji.

W w/w pomieszczeniach należy zapewnić adaptację akustyczną spełniającą powyższe wymagania.

5 Wytyczne międzybranżowe

5.1 Wytyczne dla branży sanitarnej

1. Projektowane zabezpieczenia akustyczne wyposażenia budynku (w tym m. in. instalacji wentylacji, klimatyzacji) nie mogą przekroczyć podanych w poniższej tabeli poziomów maksymalnego tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych. Obliczenia hałasu generowanego przez urządzenia systemu HVAC należy przeprowadzić dla wszystkich pasm oktaawowych oddzielnie.

Tabela 10 Maksymalne dopuszczalne wartości poziomów tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych

Lp.	Nazwa pomieszczenia	Wymaganie
1	Sala koncertowa	Całkowity poziom dźwięku pochodzący od urządzeń wyposażenia technicznego nie powinien przekraczać krzywej NR25 lub w przybliżeniu $L_{A,eq}=35\text{dB}$

2. Należy zwrócić szczególną uwagę na odpowiednie prowadzenie kanałów wentylacyjnych oraz umiejscowienie krętek wentylacyjnych:
 - kanały wentylacyjne w pomieszczeniach chronionych należy obudować okładziną o warstwach: wełna mineralna gr. 50 mm + 2 x płyta g-k o gęstości co najmniej 12 kg/m²,
 - wszystkie przebicia do pomieszczeń chronionych należy uszczelnić masą trwale elastyczną o gęstości zbliżonej do gęstości przegrody, przez którą wykonywane jest przebicie,
 - kolanka wygięte pod kątem prostym, przepustnice itp. są źródłem hałasu spowodowanego turbulencją powietrza. Zgodnie z literaturą zaleca się

- zachować od nich od kratki wentylacyjnej odległość od 5 do 10 średnic kanału w celu zniwelowania tego negatywnego zjawiska,
- połączenie przewodów z otworami wentylacyjnymi w pomieszczeniach chronionych należy wykonać przy pomocy kanałów zaopatrzonych w tłumiki lub wykonanych z materiału zapewniającego pochłanianie dźwięku. Zarówno zbyt krótkie odległości pomiędzy kratkami wentylacyjnymi w pomieszczeniach jak i brak odpowiedniej chłonności akustycznej wewnątrz kanałów doprowadzi do występowania przesłuchów pomiędzy pomieszczeniami,
 - kanały wentylacyjne w pomieszczeniach chronionych akustycznie oraz w pomieszczeniach przyległych należy montować z wykorzystaniem uchwytów systemowych z przekładką gumową,
 - nie wolno prowadzić kanałów wentylacyjnych tranzytem przez pomieszczenia chronione. Przebicie przegrody pionowej pomieszczenia chronionego w celu poprowadzenia kanałów wentylacyjnych jest dopuszczalne jako przejście kanału nawiewnego lub wywiewnego dla danego pomieszczenia. O ile to możliwe należy wykonać jedno przebicie na kanały nawiewny i wywiewny.
 - prędkość strugi powietrza na kratkach nawiewnych i wywiewnych w sali koncertowej oraz salach prób nie może przekraczać 0,5 m/s,
 - jeżeli w pomieszczeniu jest montowana pompka do skroplin to należy stosować przewody giętkie (również przy niskich temperaturach, samą pompkę należy zamontować z wykorzystaniem przekładki wibroizolacyjnej),
 - projekt branży sanitarnej powinien być skonsultowany z akustykiem.
3. Zaleca się posadowienie central wentylacyjnych oraz innych urządzeń generujących drgania na przekładkach wibroizolacyjnych zalecanych przez producenta urządzenia. Jeżeli urządzenie nie posiada przekładek systemowych, na stropie istniejącym w pomieszczeniach, których znajdują się urządzenia zaleca się wykonanie podłogi pływającej z dylatacją obwodową o warstwach podanych poniżej:
- dodatkowa warstwa wibroizolująca umieszczona pod centralami wentylacyjnymi lub konstrukcjami stalowymi na których zainstalowano urządzenia emitujące drgania – warstwa ta powinna być dostosowana do ciężaru urządzeń na niej posadowionych [REDACTED]
 - wylewka zbrojona o gęstości co najmniej 2200 kg/m³ i grubości 80 mm
 - warstwa wełny mineralnej o sztywności dynamicznej co najwyżej 20MN/m³ i grubości [REDACTED]

5.2 Wytyczne konstrukcyjne

1. Sufitowe panele podwieszane charakteryzują się masą powierzchniową ok. 30 kg/m². Ze względu na znaczne obciążenie należy sprawdzić nośność stropu.

5.3 Pozostałe instalacje

1. Projektowane zabezpieczenia akustyczne wyposażenia budynku nie mogą przekroczyć podanych w poniższej tabeli poziomów maksymalnego tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych.



Tabela 11 Maksymalne wartości poziomów tła akustycznego w pomieszczeniach chronionych

Lp.	Nazwa pomieszczenia	Wymaganie
1	Sala koncertowa	Całkowity poziom dźwięku pochodzący od urządzeń wyposażenia technicznego nie powinien przekraczać krzywej NR25 lub w przybliżeniu $L_{A,eq}=35dB$

2. Do zmniejszenia hałasu emitowanego drogą powietrzną z pomieszczeń technicznych do pomieszczeń przyległych konieczne jest uszczelnienie przepustów instalacyjnych w ścianach i stropach ograniczających pomieszczenia techniczne masą trwale elastyczną o gęstości zbliżonej do gęstości przegrody, przez którą wykonywane jest przebicie.
3. Rury i elementy instalacji należy montować przy użyciu systemowych przekładek wibroizolujących.
4. Wszystkie przebicia do pomieszczeń chronionych należy uszczelnić masą trwale elastyczną o gęstości zbliżonej do gęstości przegrody, przez którą wykonywane jest przebicie.

6 Zestawienie/specyfikacja materiałów

L.p.	Symbol	Opis i wymagania.																		
1	URP1	<p>Ustrój akustyczny rozpraszająco-pochłaniający szczelinowy, montowany na podkonstrukcji drewnianej. Złożony z warstwy materiału rozpraszającego dźwięk o masie powierzchniowej nie mniejszej niż 15 kg/m² i wełny mineralnej o grubości 50 mm. Wełna mineralna zabezpieczona włókniną akustyczna o oporności przepływu nie większej niż 300 kPa·s/m².</p> <p><u>Wykończenie listwami wykończeniowymi.</u></p> <p>Szerokość szczeliny: 1 mm</p> <p>Ustrój akustyczny rozpraszający o współczynniku rozproszenia dźwięku s zgodnie z ISO 17497-1 nie mniejszym niż:</p> <table><tr><td>1/3okt</td><td>1000 Hz</td><td>1250 Hz</td><td>1600 Hz</td><td>2000 Hz</td><td>2500 Hz</td><td>3150 Hz</td><td>4000 Hz</td><td>5000 Hz</td></tr><tr><td>s</td><td>0,00</td><td>0,05</td><td>0,10</td><td>0,25</td><td>0,50</td><td>0,60</td><td>0,70</td><td>0,80</td></tr></table> <p>Całkowita wysokość konstrukcji: 100 mm.</p> <p>Ustrój wykonany z materiałów klasy ogniowej co najmniej D-s1-d0.</p>	1/3okt	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz	s	0,00	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,70	0,80
1/3okt	1000 Hz	1250 Hz	1600 Hz	2000 Hz	2500 Hz	3150 Hz	4000 Hz	5000 Hz												
s	0,00	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,70	0,80												

																
2	UP1	<p>Listwowy ustrój akustyczny pochłaniający szczelinowy, montowany na podkonstrukcji drewnianej. Złożony listew montowanych w specjalnie dobranym układzie szczelinowym i wełny mineralnej o grubości 30 mm. Wełna mineralna zabezpieczona włókniną akustyczna o oporności przepływu nie większej niż 300 kPa·s/m². Szerokość szczeliny: 1 mm</p> <p>Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p nie mniejszy niż:</p> <table><tr><th>1/10kt</th><th>125Hz</th><th>250Hz</th><th>500Hz</th><th>1000Hz</th><th>2000Hz</th><th>4000Hz</th></tr><tr><td>α_p</td><td>0,55</td><td>0,30</td><td>0,15</td><td>0,20</td><td>0,25</td><td>0,20</td></tr></table> <p>Ustrój wykonany z materiałów klasy ogniowej co najmniej D-s1.</p> 	1/10kt	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	α_p	0,55	0,30	0,15	0,20	0,25	0,20
1/10kt	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz										
α_p	0,55	0,30	0,15	0,20	0,25	0,20										
3	SDRA	<p>System ustrojów akustycznych z czynną lub czynno-bierną powierzchnią rozwijalną, służących do automatycznej, programowanej regulacji parametrów akustycznych pomieszczenia.</p> <p>W skład systemu wchodzi:</p> <ul style="list-style-type: none">- jedno lub dwuwarstwowe elektrycznie rozwijane ustroje akustyczne o powierzchni czynnej lub czynnej i biernej, wykonane na bazie włókien szklanych oraz specjalistycznych materiałów tekstylnych,- modułowy, elektroniczny i programowalny system sterowania z możliwością obsługi do 250 ustrojów jednocześnie. <p>System po zamontowaniu wymaga dostrojenia zakresu regulacji akustyki pomieszczenia, zaprogramowania funkcji i zapisania stałych ustawień dla użytkownika.</p> <p>Opis funkcjonalny i techniczny:</p> <ul style="list-style-type: none">- ustrój akustyczny wykonany na bazie materiałów z włókien szklanych oraz specjalistycznych tekstyliów o kalibrowanych własnościach akustycznych,- maksymalna szerokość powierzchni czynnej 2,9 m,- maksymalna wysokość/długość powierzchni czynno-biernej – zgodnie z wymogami adaptowanej przestrzeni,- podstawowa funkcjonalność to redukcja pierwszych odbić oraz regulacja czasu pogłosu														

w pomieszczeniu,

- parametry elektryczne dla 1 elementu wynoszą 230V/50Hz/0,7A, 150W (ustrój jednowarstwowy), 230V/50Hz/1,4A, 300W (ustrój dwuwarstwowy).

System sterowania:

- dla każdego elementu potrzebny jest 0,5 modułu wykonawczego - montaż na szynie DIN 35mm, wymiary 72x88x66 mm

- zasilacz systemowy - montaż na szynie DIN 35mm, wymiary 72x88x66 mm

- bramka ethernet - montaż na szynie DIN 35 mm, wymiary 72 x 88 x 66 mm

- panel sterujący - montaż p/t, wymiary 86 x 86 x 33 mm

Zasilanie systemu sterowania 230V / 50Hz / 24W.

Praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku α_p nie mniejszy niż:

1/1okt	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
α_p	0,05	0,30	0,70	0,70	0,65	0,70



7 Pomiary kontrolne i odbiorowe

Po wykonaniu prac wykonawczych należy przeprowadzić następujące pomiary kontrolne:

1. Pomiary izolacyjności akustycznej zgodnie z (PN-EN ISO 16283-1, 2014) przegród wewnętrznych i zewnętrznych.
2. Pomiar hałasu w sali koncertowej zgodnie z (PN-B-02156, 1987).

Pomiary parametrów akustycznych w sali koncertowej należy wykonać zgodnie z (PN-EN ISO 3382-1, 2009).

8 Podsumowanie

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

Zaleca się, aby na etapie realizacji projektu był pełniony nadzór przez akustyka.

9 Bibliografia

- Barron, M. i Lee, L.-J. (1988). Energy relations in concert auditoriums. I. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(2), strony 618-628.
- DIN 18041. (2015). *Hörsamkeit in Räumen - Vorgaben und Hinweise für die Planung*. -: -.
- Everest, A. (2001). *The master handbook of acoustics*. New York: McGraw-Hill.
- ISO 17497-1. (2004). *Acoustics -- Sound-scattering properties of surfaces -- Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room*.
- ITB. (2009). *Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego*. Warszawa.
- Kulowski, A. (2007). *Akustyka architektoniczna*. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- PN-B-02151-02. (1987). *Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach -- Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*.
- PN-B-02151-2. (2018). *Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach*.
- PN-B-02151-3. (2015). *Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych*.
- PN-B-02151-4. (2015). *Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań*.
- PN-B-02156. (1987). *Akustyka budowlana -- Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach*.
- PN-EN ISO 10052. (2010). *Akustyka -- Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego -- Metoda uproszczona*.
- PN-EN ISO 16283-1. (2014). *Akustyka -- Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*.
- PN-EN ISO 3382-1. (2009). *Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne*.

- PN-EN ISO 3382-2. (2010). *Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.*
- PN-ISO 1996-1:2006. (2006). *Akustyka -- Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego -- Część 1: Wielkości podstawowe i procedury oceny.*
- Rozporządzenie Ministra Środowiska. (2007). Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 lipca 2007 w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska. (2012). Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska. (2014). *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 stycznia 2014r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska.*
- Sadowski, J. (1971). *Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie.* Warszawa: Arkady.