



- TYTUŁ:** WYTYCZNE ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ POMIESZCZENIA WIDOWNI
DUŻEJ SCENY WRAZ Z KOMINEM SCENICZNYM Z WYNIKAMI
POMIARÓW AKUSTYCZNYCH PRZED ADAPTACJĄ W TEATRZE IM..
JERZEGO SZANIAWSKIEGO W WAŁBRZYCHU
- OBIEKT:** Teatr Dramatyczny im. Jerzego Szaniawskiego w Wałbrzychu, Plac Teatralny
1, dz. nr 413; obr. nr 27 Śródmieście
- INWESTYCJA:** Remont i przebudowa widowni Dużej Sceny wraz z balkonem Teatru
Dramatycznego im. Jerzego Szaniawskiego zlokalizowanego przy Placu
Teatralnym 1 w Wałbrzychu,
- ZAMAWIAJĄCY:** Instal-tech Marcin Marzec, Nowohucka 92a, 30-728 Kraków
- WYKONAWCA:** Akustyka-Pro Krzysztof Leo, ul. Techniczna 9, 81-528 Gdynia

AKUSTYKA-PRO
dr Krzysztof Leo
Techniczna 9, 81-528 Gdynia
tel.: 530 850 300, mail: krzysztof.leo@gmail.com



Specjalista akustyki dr Krzysztof Leo: projektant branży akustycznej w zakresie akustyki budowlanej, architektonicznej, instalacyjnej, środowiska oraz przemysłowej. Realizuje pomiary akustyczne i drgań w budynkach i środowisku. Wykonuje zabezpieczenia przeciwhałasowe w przemyśle i środowisku.

Gdynia, maj 2020

SPIS TREŚCI

	str.
1. Podstawa opracowania	3
2. Cel i zakres opracowania	4
3. Wymagania akustyczne, wyniki pomiarów akustycznych	5
4. Rodzaje i rozmieszczenie materiałów akustycznych	8
5. Pomiary akustyczne w trakcie prac i pomiary akustyczne odbiorowe	8

1. Podstawa opracowania

Za podstawę przyjmuje się:

- zlecenie wykonania opracowania z dn. 15.04.2020,
- inwentaryzację obiektu,
- przedwykonawcze pomiary akustyczne wykonane w dn. 27.04.2020

publikacje i norma obowiązująca:

- Jacek Nurzyński "Ochrona przed hałasem w zrównoważonym budownictwie", ITB 2013,
- J. Sadowski, "Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie", Arkady, Warszawa 1971,
- A. Kulowski: „Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów”, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011,
- J.S. Bradley, "Acoustical Design of Rooms for Speech", Construction Technology Update 51, National Research Council of Canada, 2002,
- H. V. Fuchs, Applied Acoustics: Concepts, Absorbers and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control, Springer Verlag 2013,
- norma PN-B-02151-2 Ochrona pomieszczeń przed hałasem w budynkach. Część 2: Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach,
- norma PN-B-02151-3 Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 3: Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych, Wymagania,
- norma PN-B-02151-4 Akustyka budowlana ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań,
- norma AS/NZS 2107:2016 Acoustics – Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors,
- Norma DIN 18041:2004, Acoustical Quality in Small to Medium - Sized Rooms.

2. Cel i zakres opracowania

Celem opracowania jest podanie wytycznych do adaptacji akustycznej pomieszczenia widowni i kolumna scenicznego w celu poprawy warunków akustycznych tych wnętrz przy przebudowie widowni. Zakresem opracowania objęto podanie wyników pomiarów akustycznych i inwentaryzacji akustycznej w stanie istniejącym oraz obliczenia ilości, rodzaju i miejsca zamontowania materiałów dźwiękochłonnych. Zakres opracowania obejmuje:

1. określenie wymaganego czasu pogłosu w pomieszczeniu,
2. podanie wyników pomiarów czasu pogłosu w wnętrz w stanie istniejącym,
3. obliczenia z wykorzystaniem modeli akustycznych wnętrz ilości i rodzajów materiałów dźwiękochłonnych w celu spełnienia wymagań czasu pogłosu,
4. podanie wymagań prowadzenia pomiarów w trakcie prac i pomiarów powykonawczych.

W zakresie funkcjonalności sali planuje się funkcję pierwszoplanową i funkcje drugoplanowe:

1. mowa nagłośniona i bez nagłośnienia: 95 % wykorzystania
2. muzyka lekka i kameralna nagłośniona i bez nagłośnienia : 5 % wykorzystania.

Planuje się w obiekcie przebudowę widowni w kierunku dwóch układów widowni: płaskiego z wyodrębnionym parterem i balkonem oraz ze zwiększonym kątem widowni przy zintegrowaniu parteru i balkonu. Wariant drugi będzie funkcjonował w formie mobilnej. W wariantcie pierwszym nastąpi poprawa widoczności i słyszalności dla tylnych rzędów parteru, w wariantcie drugim natomiast poprawie ulegnie widoczność sceny oraz słyszalność dla wszystkich rzędów. W związku z tą przebudową możliwa jest korekta akustyki wnętrza widowni. Wiele doskonałych akustycznie obiektów zawdzięcza swoją pozycję stopniowym korektom wprowadzanym do wnętrza na przestrzeni lat. Jest to uzasadnione faktem, że przy każdej kolejnej przebudowie możliwe jest wykonanie pomiarów akustycznych wnętrza w stanie istniejącym i przy ograniczonym zakresie prac wykończeniowych przewidywalność obliczeniowa akustycznej korekty jest wysoka. W teatrze im. Jerzego Szaniawskiego w Wałbrzychu, którego widownia powstała w miejscu dawnej restauracji a przebudowana scena otrzymała kolumna sceniczny, panują dobre warunki akustyczne. Na podstawie oględzin i wyników pomiarów akustycznych stwierdzono, że poprawa akustyki nakierowana powinna zostać na następujące cele:

1. korekta czasu pogłosu widowni, zmierzony czas pogłosu jest zbyt długi,

2. uzupełnienie ustrojów pochłaniających na tylnych ścianach i tylnych częściach ścian bocznych widowni parteru i balkonu, co wiąże się częściowo z p. 1
3. poprawę rozproszenia dźwięku, stwierdzono echo trzepoczące w tylnych rzędach widowni parteru, co wiąże się częściowo z p. 1 i p. 2
4. korekta czasu pogłosu sceny i kominu scenicznego, zmierzony czas pogłosu jest zbyt długi,
5. charakterystyka częstotliwościowa współczynnika pochłaniania dźwięku proponowanych ustrojów powinna uwzględniać istniejące warunki akustyczne.

3. Wymagania akustyczne, wyniki pomiarów akustycznych

Widownia jest w przybliżeniu pomieszczeniem prostopadłościennym o wymiarach 21 m długość x ok. 11 m szerokość x 7.4 m wysokość parteru, (3.6 m wysokość balkonu), kubatura wynosi 1550 m³. Scena i połączony z nią komin sceniczny są w przybliżeniu pomieszczeniem prostopadłościennym o wymiarach 13.3 m długość x ok. 11 m szerokość x 13.7 m wysokość, kubatura wynosi 1949 m³. Widownia i scena z kominem scenicznym połączone są otworem scenicznym o wymiarach 4.8 m wys. x 6.5 m szer. $S = 31 \text{ m}^2$, co powoduje, że połączenie akustyczne sceny z widownią jest dobre. Dlatego należy unikać zróżnicowanej chłonności akustycznej w kominie scenicznym i na widowni, tak aby czasy pogłosu kominu scenicznego i widowni były zbliżone.

Wszystkie materiały we wnętrzu widowni oraz sceny z kominem scenicznym są w większym stopniu odbijające dźwięk: tynki na suficie i ścianach, drewniana podłoga sceny, oprócz pochłaniających dźwięk tekstyliów: dekoracji, horyzontów, kurtyny, wykładziny na balkonie. W sali przed adaptacją stwierdzono nieco nadmierny czas pogłosu dla małych częstotliwości w zakresie 250 Hz - 500 Hz. objawiający się subiektywnie dźwiękiem nieco huczącym. Taka charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu nieco obniża zrozumiałość mowy, ponieważ maskowane są w układzie słuchowym zakresy częstotliwości dźwięku leżące powyżej podanych pasm. Jakkolwiek użytkownicy nie mają większych zastrzeżeń do akustyki wewnątrz. W tabeli 1 pokazano wyniki pomiarów akustycznych, wymagania akustyczne oraz wyniki obliczeń w skalibrowanym modelu obliczeniowym oraz wyniki pomiarów powykonawczych.

W projektowanym wariantcie widowni na parterze, zbliżonym w swej formie do istniejącej widowni, na parterze znajdować się będzie ok. 66 m² foteli. W wariantcie widowni na parterze połączonym z balkonem fotele nad widownią parteru zajmą ok. 40 m² ze względu na utworzenie

przejścia ewakuacyjnego. Nie jest to akustycznie duża różnica, jednak uwzględniono ten fakt w obliczeniach wykonując obliczenia dla każdego wariantu odrębnie.

Pomiary akustyczne wykonano w 12 punktach wewnątrz widowni i sceny z kominem scenicznym stosując pobudzenie impulsowe. Na widowni parteru zastano zasłonięto fotele, które przykryte były podestami ze sklejki. W dalszych obliczeniach uwzględniono docelowy układ widowni z fotelami. Czas pogłosu RT_{30} wyznaczano na podstawie prędkości zaniku poziomego dźwięku w danym pomieszczeniu. Wymagania określono na podstawie literatury jak dla sal do mowy o odpowiedniej kubaturze. Do obliczeń czasu pogłosu zastosowano oprogramowanie SABINE ACOUSTIC ENGINEERING i wzór Eyring'a mający zastosowanie do pomieszczeń o krótszym czasie pogłosu, w których średni współczynnik pochłaniania dźwięku jest większy niż 0,2. W obliczeniach uwzględniono typową wilgotność względną oraz temperaturę panującą w pomieszczeniu. Wyznaczono optymalną adaptację akustyczną.

Tab. 1 Wyniki pomiarów akustycznych wnętrza widowni, wymagania akustyczne dla wnętrza, wyniki obliczeń czasu pogłosu w stanie projektowanym.

Parametr	Częstotliwość środkowa pasma oktawowego, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Stan przedwykonawczy (pomiary)						
Zmierzony, średni w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.46	1.63	1.63	1.47	1.23	0.91
Wymagania						
Podany na podstawie literatury średni w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.00	0.95	0.85	0.85	0.75	0.68
Stan projektowany (obliczenia z uwzględnieniem projektowanej widowni w wariancie widownia na parterze i balkonie łącznie)						
Obliczony w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.06	1.02	0.94	0.91	0.84	0.68
Stan projektowany (obliczenia z uwzględnieniem projektowanej widowni w wariancie widownia na parterze i balkonie odrębnie)						
Obliczony średni, w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.00	0.94	0.85	0.81	0.76	0.63

Tab. 2 Wyniki pomiarów akustycznych wnętrza sceny i komina scenicznego, wymagania akustyczne dla wnętrza, wyniki obliczeń czasu pogłosu w stanie projektowanym.

Parametr	Częstotliwość środkowa pasma oktawowego, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Stan przedwykonawczy (pomiary)						
Zmierzony, średni w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.69	1.74	1.74	1.57	1.34	0.99
Wymagania						
Podany na podstawie literatury średni w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.05	1.05	0.95	0.85	0.75	0.70
Stan projektowany (obliczenia)						
Obliczony średni, w pomieszczeniu czas pogłosu RT30(f), s	1.22	1.02	1.02	1.01	0.99	0.80

4. Rodzaje i rozmieszczenie materiałów akustycznych

USTROJE TYPU A

Płyta perforowana, gipsowo - kartonowa gr. 12.5 mm o otworach o średnicy 8 mm, odstępach pomiędzy średnicami otworów 18 mm, zamontowana pod blachą trapezową będącą dachem sceny. Płytę należy zamontować na podkonstrukcji z pustką 300 mm, w pustce, leżąca na płycie wełna mineralna gr. 100 mm, 40 - 60 kg/m³, montaż w układzie podłużnych pasów o szer. 1.2 m: Masa powierzchniowa: do 12 kg/m², powierzchnia tych ustrojów to 102 m² +- 10 %.

USTROJE TYPU B

Płyta perforowana, gipsowo - kartonowa gr. 12.5 mm o otworach o średnicy 6 mm, odstępach pomiędzy średnicami otworów 18 mm należy zamontować z pustką 100 mm, z wypełnieniem wełną mineralną gr. 50 mm, 40 - 60 kg/m³ na tylnej ścianie widowni, zarówno na balkonie i na parterze, na parterze od stropu balkonu w pasie o wys.1.2 m, na balkonie od stropu w pasie o wys. 2 m, razem parter i balkon ok. 36 m² +- 5%,

Płyta perforowana, gipsowo - kartonowa gr. 12.5 mm o otworach o średnicy 6 mm, odstępach pomiędzy średnicami otworów 18 mm należy zamontować z pustką 100 mm, z wypełnieniem wełną mineralną gr. 50 mm, 40 - 60 kg/m³ na bocznych ścianach widowni w układzie poziomych, rozsuniętych na odl. min. 20 cm pasów o wys. 30 cm, w większej powierzchni pod balkonem i na balkonie, nieco mniej na ścianach z przodu, łączna powierzchnia tej płyty to 9 m² +- 10%.

Na podłodze montować zaleca się parkiet lub wykładzinę winylową.

Planowana i wykonana adaptacja akustyczna spełnia swoją rolę. Wyniki pomiarów wskazują, że spełniono postawione wymagania. Nadmierny czas pogłosu został skrócony, a jego charakterystyka częstotliwościowa została wyrównana.

Uwagi dodatkowe

Drzwi ze sceny na zewnątrz wymieniać należy na drzwi o izolacyjności akustycznej min. $R_w > 42$ dB. Pozostałe drzwi projektowane z wnętrza sceny lub widowni na zewnątrz muszą spełniać warunek $R_w > 42$ dB.

Materiał dźwiękochłonny na ścianach bocznych korzystnie jest zlokalizować w pewnej części za zestawami głośnikowymi.

5. Pomiary akustyczne w trakcie prac i pomiary akustyczne odbiorowe

W sali w trakcie prac: po montażu ustrojów na suficie sceny i komina scenicznego i na tylnej ścianie parteru widowni i balkonu, przed montażem ustrojów na ścianach, przed montażem foteli wymagane są pomiary parametrów akustyki wnętrza. Należy przewidzieć, że po tych pomiarach mogą wystąpić korekty usytuowania i ilości materiałów.

Należy również na kolejnych etapach badać poziom hałasu od pracującej i wyregulowanej instalacji wentylacyjno - klimatyzacyjnej. Na etapie montażu zmienionej instalacji należy przeprowadzić pomiary prędkości powietrza w kanałach.

Ponadto w sali wykończonej wymagane są akustyczne pomiary odbiorowe w zakresie akustyki wnętrza oraz poziomu hałasu. Wymagania poziomu hałasu należy określić w opracowaniu pomiarowym.

Opracowanie:

spec. akustyki dr Krzysztof Leo

