

## **Wykonanie opracowań systemów elektroakustycznych w zakresie niezbędnym do przeprowadzenia inwestycji pn.:**

*Zwiększenie atrakcyjności Opery Śląskiej i ochrona jej dziedzictwa kulturowego*

*poprzez*

*przeprowadzenie prac konserwatorskich, restauratorskich oraz robót budowlanych, związanych z modernizacją sceny*

Opracował: mgr inż. Wojciech Zieliński

Nadzór merytoryczny: prof. dr Diemer de Vries

Gliwice, wrzesień 2017

## Spis treści

1. Przedmiot opracowania .....	4
2. Podstawa opracowania .....	4
3. Zakres opracowania .....	4
4. Ograniczenia architektoniczne .....	5
5. Wymagania generalne .....	5
5.1. Wymogi ogólne .....	5
5.2. Wymogi elektryczne .....	6
5.3. Wymogi mechaniczne .....	8
5.4. Ograniczenia wielkościowe .....	8
6. Symulacja komputerowa systemów głośnikowych Opery Śląskiej .....	9
6.1. Frontowy system głośnikowy .....	11
6.2. Frontowy system głośnikowy, balkon I piętra .....	11
6.3. Frontowy system głośnikowy; balkon II piętra .....	11
6.4. Frontowy system głośnikowy, kanał centralny CC .....	11
6.5. Kanał superniskotonowy .....	12
6.6. Uwagi do frontowego systemu głośnikowego .....	12

7. System wirtualnej akustyki .....	12
7.1. Wprowadzenie .....	12
7.2. Informacje i specyfikacje dotyczące systemu poprawy akustyki, mające na celu optymalizację akustyki obiektu: Opera Śląska. ....	14
a) akustyka i funkcjonalność sali .....	14
b) podstawowe cechy systemu elektroakustycznego: .....	14
c) szczegóły sali, poziomy .....	16
d) ogólna specyfikacja systemu.....	17
e) zespoły głośnikowe .....	17
f) wstępne ustawienia systemu do zaprogramowania .....	17
g) system głośnikowy wirtualnej akustyki .....	18
8. Uwagi końcowe .....	19
8.1. Zakres prac .....	19
8.2. Prace z modelem 3D.....	20
8.3. Sposób prezentacji wyników .....	20

## **1. Przedmiot opracowania**

Przedstawiony dokument stanowi zbiór wytycznych i wymagań niezbędnych dla Oferentów w postępowaniu o zamówienie publiczne. Zakres opracowania dotyczy systemów głośnikowych, których podstawowe cechy zostały ujęte w Programie Funkcjonalno-Użytkowym Opery dla bieżącego zadania inwestycyjnego. Dane zawarte w niniejszym opracowaniu stanowią doprecyzowanie i zaktualizowanie informacji zamieszczonych w programie funkcjonalno-użytkowym – a zatem są obowiązujące dla Oferentów.

## **2. Podstawa opracowania**

- zlecenie prac z dnia 03-08-2017;
- uzgodnienia z Działem Techniki.

## **3. Zakres opracowania**

Systemy głośnikowe są jednym z najważniejszych elementów systemów elektroakustycznych. Czynniki, które decydują o wyborze tych urządzeń nie mogą się więc opierać o wartości deklaratywne, muszą znajdować potwierdzenie w sprawdzalnych faktach oraz wynikach obliczeń prowadzonych uznanymi i otwartymi technikami. Dodatkowo, dokument powstał przy współudziale Działu Techniki Opery Śląskiej, bowiem doświadczenie realizatorów Opery oraz znajomość specyfiki Obiektu mają również wpływ na akceptowalne parametry techniczne urządzeń. Zadaniem niniejszego opracowania jest ustalenie zakresów parametrów technicznych urządzeń wchodzących w skład systemów głośnikowych Opery, dzięki którym będzie możliwe spełnienie wymogów jakościowych i mechanicznych, spełnienie których zaklasyfikuje przedstawiane rozwiązania jako spełniające warunki uczestnictwa w postępowaniu o zamówienie publiczne. W opracowaniu analizie zostaną poddane dwa systemy głośnikowe: system główny (frontowy) oraz system wirtualnej akustyki.

## 4. Ograniczenia architektoniczne

Biorąc pod uwagę funkcję obiektu, oczywistym wymogiem jest lokalizacja urządzeń głośnikowych systemu frontowego poza oknem scenicznym. Jest to cecha charakterystyczna dla obiektów wyższej klasy o tradycyjnym układzie architektonicznym. Biorąc pod uwagę możliwości instalacji stałej (tylko taka jest brana pod uwagę) sam ten warunek ma duży wpływ na zakres akceptowalnych cech technicznych. Należy również zauważyć, że na poziomie parteru dodatkowym utrudnieniem (ograniczeniem) są schody znajdujące się po obu stronach proscenium. Istotnym utrudnieniem wynikającym z architektury wnętrza jest brak typowego miejsca na zlokalizowanie urządzeń superniskotonowych zwłaszcza w kontekście wysokich wymagań jakościowych (równomierność rozkładu SPL w paśmie superniskotonowym na całej szerokości widowni). Na ograniczenia architektoniczne nakładają się również wymagania ze strony konserwatora zabytków i, choć nie są one zbyt restrykcyjne, to mają również wpływ na cechy techniczne urządzeń.

## 5. Wymagania generalne

Poniżej przedstawiono zbiór głównych wymagań dla frontowego systemu głośnikowego.

### 5.1. Wymogi ogólne

Wszystkie urządzenia głośnikowe wraz z zasilającymi wzmacniaczami i procesorami sygnałowymi muszą być zdalnie sterowane, monitorowane i programowalne. Wszelkie zmiany w ustawieniach systemu muszą być słyszalne w czasie rzeczywistym. Transmisja sygnałów między urządzeniami nie może zawierać urządzeń dopasowujących, tzn.: niedopuszczalne jest tworzenie rozwiązań, w których wielokrotnie, poprzez niedopasowanie sprzętowe dochodzi do niepotrzebnej konwersji sygnałów. W przypadku stosowania urządzeń głośnikowych z zabudowanymi urządzeniami aktywnymi (wzmacniaczami mocy, wzmacniaczami z procesorami) Użytkownik musi mieć możliwość zdalnego włączania/wyłączania wszelkich kontrolki świetlnych, jeśli są umieszczone w przedniej części obudowy. Wszystkie urządzenia głośnikowe muszą posiadać wybór fabrycznych akcesoriów montażowych i muszą być fabrycznie dostosowane do stałych instalacji, w rozumieniu konstrukcji mechanicznej obudów. Warunkiem dopuszczenia urządzeń głośnikowych jest również fabryczny wybór koloru urządzenia oraz jego mocowania w dowolnym kolorze z palety RAL lub podobnej – dla tych urządzeń, które po montażu pozostaną widoczne. W zakresie technik montażu

wymagane jest, aby urządzenia głośnikowe kanałów głównych (lewego i prawego) parteru i balkonu I piętra miały fabryczna możliwość montażu trwałego, naściennego jak również fabryczną możliwość podwieszania do wciągarki.

Preferowanym jest zastosowanie urządzeń zasilających główne zespoły głośnikowe w dwa obwody wejściowe o programowanym priorytecie.

## 5.2. Wymogi elektryczne

Użyteczne pasmo przenoszenia (-10 dB): 40 ÷ 20 000 Hz.

Podane poniżej wartości będą musiały być udokumentowane obliczeniami w otwartym programie symulacyjnym EASE 4.4. Podane poniżej dane stanowią ogólne wymagania; szczegółowe są przedstawione w rozdziale **6. Symulacja komputerowa**.

Średni SPL bezpośredni (direct) dla obszaru widowni  $\geq 95$  dB SPL + 10 dB headroom. Wyniki nie mogą być uzyskiwane z ustawieniami mocy, przekraczającymi możliwości urządzeń zasilających.

Nierównomierność SPL dla 95% obszaru widowni, pomiar bezpośredni w otwartym programie symulacyjnym bez korekcji częstotliwościowej (za wyjątkiem filtrów górnoprzepustowych dla kanałów uzupełniających, według uznania Oferentów), dla kanałów lewego i prawego z przednim kanałem uzupełniającym na parterze:

125 Hz ÷ 4 kHz:  $\pm 5$  dB

315 Hz ÷ 1 kHz:  $\pm 5$  dB

1 kHz ÷ 4 kHz:  $\pm 5$  dB

4 kHz ÷ 10 kHz:  $\pm 5$  dB

100 Hz ÷ 10 kHz  $\pm 5$  dB

C<sub>80</sub> max:  $\leq 8$  dB

STI:  $\geq 0,7$  na każdym miejscu, według IEC 60268-16

Obliczenie wartości STI ma uwzględniać domyślny poziom zakłócenia programu EASE, a wyniki dotyczą 100% powierzchni odsłuchowej.

System musi wykazywać nierównomierność w obszarach odsłuchowych SPL@4kHz, mierzone w

szerokości 1/3 oktawy nie większą niż  $\pm 4$  dB.

Odrębne wymagania formuje się dla nierównomierności kanału centralnego;

Dla parteru (obliczenia należy przeprowadzić z włączonym przednim kanałem uzupełniającym):

125 Hz ÷ 4 kHz:  $\pm 6$  dB

315 Hz ÷ 1 kHz:  $\pm 6$  dB

1 kHz ÷ 4 kHz:  $\pm 6$  dB

4 kHz ÷ 10 kHz:  $\pm 6$  dB

100 Hz ÷ 10 kHz  $\pm 6$  dB

$C_{80}$  max:  $\leq 6$  dB

STI:  $\geq 0,70$  nie więcej niż 5% powierzchni  $< 0,68$  według IEC 60268-16

Dla balkonu I piętra:

125 Hz ÷ 4 kHz:  $\pm 5$  dB

315 Hz ÷ 1 kHz:  $\pm 5$  dB

1 kHz ÷ 4 kHz:  $\pm 5$  dB

4 kHz ÷ 10 kHz:  $\pm 5$  dB

100 Hz ÷ 10 kHz  $\pm 5$  dB

$C_{80}$  max:  $\leq 6$  dB

STI:  $\geq 0,67$  nie więcej niż 5% powierzchni  $< 0,66$  według IEC 60268-16

Obliczenie wartości STI ma uwzględniać domyślny poziom zakłócenia programu EASE a wyniki dotyczą 100% powierzchni odsłuchowej.

System musi wykazywać nierównomierność w obszarach odsłuchowych  $SPL@4kHz$ , mierzone w szerokości 1/3 oktawy nie większą niż  $\pm 4$  dB.

### 5.3. Wymogi mechaniczne

- zabudowa urządzeń systemu frontowego – poza oknem scenicznym;
- oddzielne podsystemy dla każdego poziomu, przy czym zasilanie widowni parteru i balkonu I piętra musi być realizowane za pomocą tych samych urządzeń kanałów głównych (lewego i prawego);
- konieczność stosowania kanału front fill;
- możliwość stosowania kanałów in-fill dla widowni parteru o ile zajdzie taka potrzeba;
- konieczność stosowania kanału centralnego dla co najmniej widowni parteru i balkonu I piętra;
- centralny kanał basowy, o sterowanej charakterystyce przestrzennej w jednej osi;
- ograniczona wielkość urządzeń, pod względem wysokości i głębokości zabudowy;
- konieczność dopasowania kolorystycznego urządzeń widocznych.

### 5.4. Ograniczenia wielkościowe

- zespołów superniskotonowych:

istnieje możliwość zabudowy szyku basowego w pasie między obramowaniem okna scenicznego a sztukaterią wieńca sufitu; należy uwzględnić ograniczenie wypromieniowania dźwięku w kierunku proscenium, w tych warunkach wielkość pojedynczego zespołu głośnikowego nie może przekroczyć 250 mm (można tę wysokość uwzględnić z pominięciem nóżek urządzenia); głębokość urządzenia nie może przekroczyć 400 mm z uwzględnieniem przewodów zasilających i wtyczki;

można również planować zabudowę urządzeń głośnikowych szyku basowego w progu sceny, w ramach przebudowy i modernizacji sceny; w takim przypadku głębokość urządzenia z uwzględnieniem przewodów zasilających i wtyczki nie może przekraczać 450 mm; wysokość urządzenia musi uwzględnić wielkość progu sceny oraz miejsce na zespół głośnikowe przedniego kanału uzupełniającego;



- zespołów głośnikowych przedniego kanału uzupełniającego:  
ich głębokość zabudowy wraz z przewodem zasilającym i wtyczką nie może przekraczać 140 mm. Szerokość i wysokość muszą pozwolić na właściwy montaż urządzenia w pozostałej przestrzeni;
- zespołów głośnikowych kanałów głównych:  
ze względu na lokalizację urządzenia tych kanałów muszą mieć konstrukcję źródeł liniowych, maksymalna długość zespołu urządzeń nie może przekroczyć 1,8 metra, ale nie mniej niż 1,7 metra, co odpowiada dwukrotnej długości fali o częstotliwości 400 Hz; tolerancja wymiaru, jaką można uwzględnić, to  $\pm 5\%$ ; urządzenia głośnikowe kanału centralnego muszą być identyczne jak dla kanałów lewego, prawego parteru i I piętra. Maksymalna głębokość zabudowy, z uwzględnieniem fabrycznych elementów montażowych i okablowaniem w właściwych wtyczkach nie może przekroczyć 400 mm.

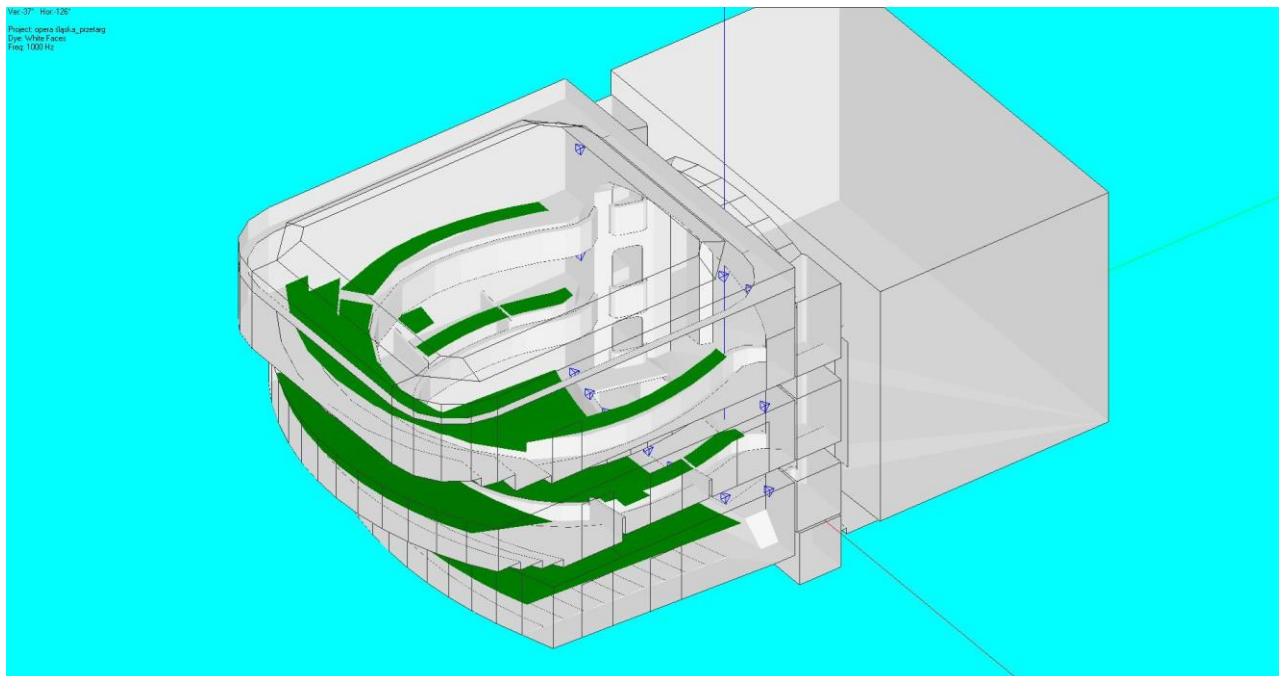
## **6. Symulacja komputerowa systemów głośnikowych Opery Śląskiej**

Oferenci otrzymają model obiektu, w którym należy przeprowadzić opisane dalej obliczenia ze wszystkimi ustawieniami zastosowanymi do tych obliczeń. Otrzymane wyniki będzie należało zaprezentować w sposób omówiony poniżej. Dodatkowo, każdy z uczestników postępowania musi przekazać swój model, w postaci spakowanej, dla weryfikacji.

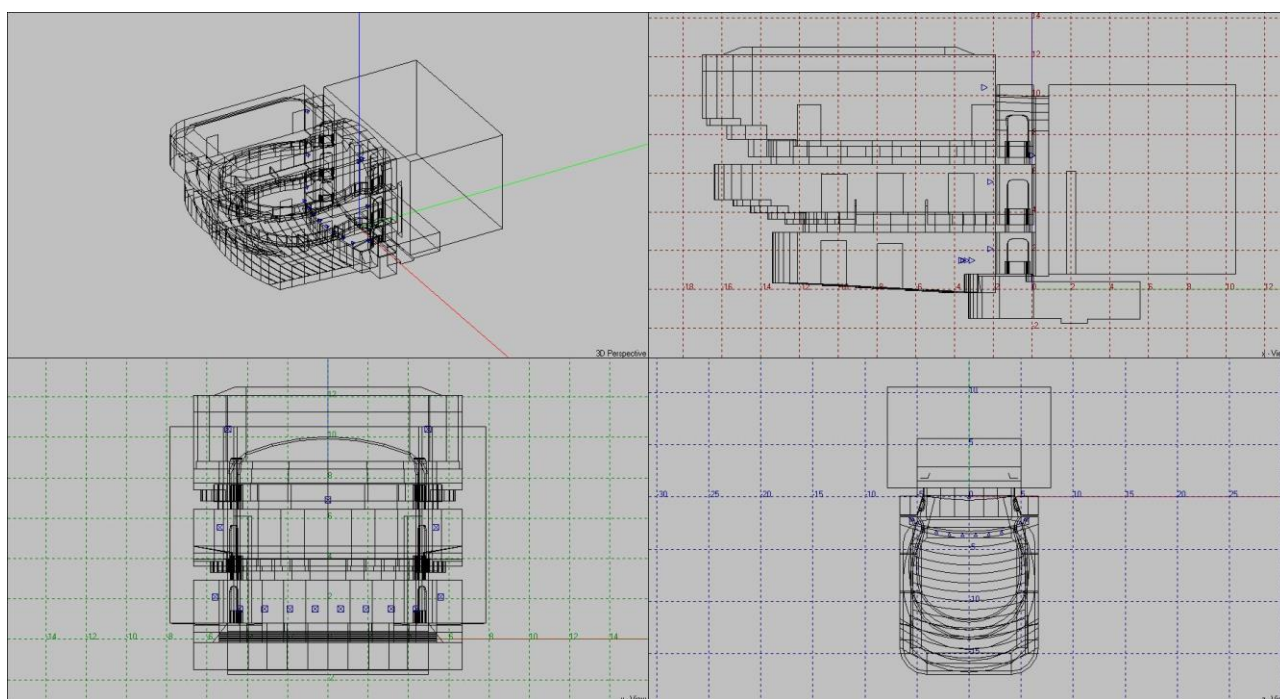
Celem opisanej procedury jest sprawne i jednoznaczne porównanie rozwiązań, przedstawianych do postępowania o zamówienie publiczne a przedstawione wyniki, po weryfikacji posłużą do klasyfikacji ofert w trakcie postępowania o zamówienie publiczne, w trybie spełnia – nie spełnia.

### **Uwaga**

Autorzy dołożyli wszelkich starań, by stworzony model 3D był najwierniejszym obrazem obiektu. Niemniej jednak, ze względu na posiadane do prac nad modelem materiały istnieje możliwość niewielkich rozbieżności między prezentowanym modelem 3D do obliczeń a rzeczywistym obiektem. Prosimy pamiętać jednak, że model oraz wykonane w nim obliczenia służą jedynie do porównywania przyjmowanych rozwiązań. Wynika z tego, że podstawowym parametrem jest zapewnienie wszystkim identycznych warunków przestrzeni obliczeniowej.



**Rysunek 1 Widok obiektu w perspektywie**



**Rysunek 2 Kompletny widok obiektu**

### **6.1. Frontowy system głośnikowy**

Frontowy system głośnikowy obejmuje trzy zestawy sprzętu, niezależne dla każdego poziomu: parteru, balkonu I piętra i balkonu II piętra. Na parterze w skład urządzeń głośnikowych wchodzi zespoły główne kanałów lewego i prawego, zespoły dogłaśniające pierwsze rzędy, tzw.: front fille. Prosimy zwracać uwagę na planowaną zabudowę zespołów głośnikowych. Dotyczy to zarówno zespołów głównych ML, MR oraz front filli FF1 ÷ FF8 (wszystkie używane oznaczenia głośników odpowiadają ściśle oznaczeniom zastosowanym w modelu obliczeniowym).

### **6.2. Frontowy system głośnikowy, balkon I piętra**

Ze względów praktycznych, przy obliczeniach dla tego poziomu widowni pominięto kilka płaszczyzn odsłuchowych. Są to płaszczyzny oznaczone w modelu symbolami: A25, A25\*, A26, A26\*, A27, A27\*, A28, A28\* oraz A29, A29\*. W miejscach tych znajduje się zaledwie 10 miejsc siedzących, a ze względu na ograniczenia montażowe (czy też możliwe miejsca do instalacji urządzeń głośnikowych) analiza z uwzględnieniem tych płaszczyzn będzie zaburzała wyniki dla znaczącej większości widzów.

### **6.3. Frontowy system głośnikowy; balkon II piętra**

Z podobnych przyczyn, jak w przypadku balkonu I piętra, do obliczeń wyłączyliśmy płaszczyzny odsłuchowe o symbolach: A52, A52\*, A53, A53\*, A54, A54\*, A55, A55\*, A56, A56\*. Są to miejsca stojące i ze względu na możliwości montażowe ich uwzględnianie odbije się niekorzystnie dla pozostałej, znacząco większej widowni balkonu II piętra.

### **6.4. Frontowy system głośnikowy, kanał centralny CC**

Dla zapewnienia właściwego obrazowania sceny dla widowni parteru będącej poza zasięgiem działania kanału front fill oraz dla widowni balkonu I piętra przewidzieliśmy zespół głośnikowy do pracy w układzie kanału centralnego. Może być on wykorzystywany również do retransmisji, jeśli jest ona wsparta dźwiękiem w formacie przestrzennym. Zespół głośnikowy musi być zgodny konstrukcyjnie z zespołami kanałów głównych parteru i balkonu (ML,R i BL, R) oraz musi mieć fabryczną możliwość podwieszenia do wciągarki lub trawersu. Ze względu na specyficzny charakter tego kanału jego obliczenia są wykonane jako oddzielne. Przestrzeń do podwieszenia jest ograniczona zasłoną mostu oświetleniowego. Zespół nagłośnieniowy kanału centralnego nie

może mieć wysokości większej niż 1,8 metra.

### **6.5. Kanał superniskotonowy**

Nie dopuszczamy możliwości instalacji zespołów superniskotonowych w trybie stereofonicznym (lewy i prawy). Kanał superniskotonowy musi być skonstruowany jako centralny szyk basowy o sterowanej w płaszczyźnie złożenia kierunkowości. Wydajność szyku musi być skorelowana z kanałami głównymi lewym i prawym. Obliczenie szyku basowego wykracza poza możliwości programu EASE, niemniej jednak uczestnicy postępowania muszą złożyć obliczenia, wykonane np.: w oprogramowaniu Producenta zastosowanych urządzeń lub innym, w którym takie obliczenie daje przewidywalne wyniki z zastrzeżeniem udzielenia dostępu do procedury obliczeń w etapie weryfikacji ofert.

### **6.6. Uwagi do frontowego systemu głośnikowego**

Zwracamy uwagę, że fakt pominięcia w obliczeniach parametrów widowni balkonów I i II piętra nie oznacza w żadnym wypadku iż są to miejsca nienagłośnione. W tych miejscach widzowie mają, oczywiście słyszeć dźwięk pochodzący bezpośrednio z systemu nagłośnienia. Niestety, wydaje się to niemal pewne, że poziomy SPL w tych miejscach będą wysokie oraz będą podlegać silnym fluktuacjom. Stąd prosimy nie brać w obliczeniach tych miejsc pod uwagę.

## **7. System wirtualnej akustyki**

Jednym z elementów zwiększania atrakcyjności Opery Śląskiej ma być wprowadzenie systemu wirtualnej akustyki, przeznaczonej do koniecznej korekty akustyki wewnątrz Opery: widowni, orkiestronu oraz sceny.

### **7.1. Wprowadzenie**

W czerwcu 2017 r. holenderska firma konsultingowa "Het Geluidburo" przeprowadziła szczegółowe pomiary akustyczne w Operze Śląskiej. Wyniki zostały udokumentowane w raporcie (w języku niderlandzkim) "Akoestisch Onderzoek" autorstwa Jana Brila, z dnia 14 czerwca 2017 r. Celem badania akustycznego było określenie, jakie akustyczne środki muszą zostać podjęte, aby zapewnić Operze optymalną akustykę po planowanym remoncie - nie tylko dla spektakli operowych, ale także dla innych rodzajów koncertów, takich jak recitale wokalne i instrumentalne,

sesje kameralne, koncerty symfoniczne i występy chóralne. Pomiary wykazały, że w obecnie teatr ma istotne wady akustyczne zarówno w strefie widowni, na scenie i w orkiestronie. W szczególności czas pogłosu jest zdecydowanie za krótki we wszystkich tych obszarach. Zalecane jest więc aby podczas renowacji warunki akustyczne na obszarze sceny i w orkiestronie zostały poprawione za pomocą środków architektonicznych. Ponieważ zmiany architektoniczne w obszarze widowni są niedozwolone, tutaj należy znaleźć inne rozwiązanie.

Preferowane jest zastosowanie aktywnej wirtualnej akustyki (tj. systemu elektroakustycznego), aby parametry akustyczne można było zoptymalizować do wartości docelowych na scenie i w orkiestronie, ale także aby uzyskać w obszarze widowni znaczące polepszenie warunków akustycznych. Pozwoli to nie tylko na uzyskanie optymalnej akustyki dla spektakli operowych, ale także na korzystanie z hali w sposób wielofunkcyjny, z odpowiednią akustyką dla każdego zastosowania.

Zgodnie z tym zaleceniem, kolejnym krokiem jest zdefiniowanie i zaprojektowanie optymalnego systemu wirtualnej akustyki. Pierwszym wymogiem jest, aby system brzmiał w pełni naturalnie; słuchacz nie powinien odczuwać jakiegokolwiek ingerencji urządzeń w naturalny dźwięk. Oznacza to nie tylko, że należy stosować wysokiej jakości elementy systemu (mikrofony, głośniki, wzmacniacze), ale także, że system powinien tworzyć - w sensie czasowym, ale także przestrzennym - akustyczne pole falowe, które optymalnie pasuje do pola w "idealnym pomieszczeniu" dla danej aplikacji.

Jak wyjaśnił Jan Bril w rozdziale 5 swojego raportu, taki system powinien opierać się na zasadzie syntezy pola falowego (WFS); koncepcji reprodukcji pola falowego 3D, opracowanej na Uniwersytecie Technicznym w Delft. W WFS fizyczne właściwości pola fal akustycznych są w pełni brane pod uwagę, o ile są one istotne dla naturalnego postrzegania przez słuchacza. Aby odtworzyć pole pogłosowe, należy pamiętać, że w omawianym tutaj systemie elektroakustycznym dźwięk bezpośredni powinien pozostać nienaruszony - podstawową koncepcję WFS można znacznie uprościć bez utraty jakości percepcyjnej, co upraszcza rozwiązanie (mniej mikrofonów i głośników). Ale zasady WFS zawsze powinny być brane pod uwagę. Taki system elektroakustyczny oparty na WFS umożliwia zwiększenie czasu pogłosu (RT) sali w szerokim zakresie, z wysoką dokładnością. Ponieważ w proponowanym systemie wartości czasu pogłosu powinny być regulowane w oddzielnych pasmach częstotliwościowych (oktawowych), system powinien również być w stanie odpowiednio sterować współczynnikiem basów (BR). Na ostatniej

stronie prezentowane są ustawienia systemu z określonymi wartościami RT i BR w zależności od typu muzyki. W swoim raporcie Jan Bril wskazuje, że wartości parametru siły G w obszarach widowni spełniają wartość docelową i nie należy ich zwiększać. Ponieważ proponowany system umożliwia kontrolowanie poziomu, na którym utworzone pole pogłosu jest generowane w sali, wymaganie to może być łatwo spełnione we wszystkich ustawieniach. Zmierzone wartości wskaźnika klarowności C80 są znacznie wyższe niż wartość docelowa. Ze względu na dodane pole pogłosu proponowany system powinien mieć możliwość zmniejszenia tych wartości.

## **7.2. Informacje i specyfikacje dotyczące systemu poprawy akustyki, mające na celu optymalizację akustyki obiektu: Opera Śląska.**

### **a) akustyka i funkcjonalność sali**

Opera Śląska będzie wykorzystywana głównie do spektakli operowych wymagających własnego specyficznego środowiska akustycznego. Wdrożenie systemu poprawiania akustyki, jak również innych urządzeń technicznych, zapewni jednak możliwość obsługi szerszego zakresu przedstawień.

W połączeniu z naturalną akustyką, system elektroakustyczny powinien być w stanie wygenerować szerszy zakres dedykowanej i zoptymalizowanej akustyki między innymi dla: muzyki kameralnej, operetkowej, operowej i orkiestry symfonicznej. W pomieszczeniu znajdują się różne obszary, które powinny być zasilane przez system elektroakustyczny, to znaczy cały obszar widowni, obszar sceny i orkiestronu.

### **b) podstawowe cechy systemu elektroakustycznego:**

- każdy pojedynczy mikrofon i zespół głośnikowy, mają stanowić jeden, oddzielny, indywidualnie okablowany kanał;
- każdy kanał ma przesyłać swój własny (dyskretny) sygnał;
- dla Opery Śląskiej należy przewidzieć 18 kanałów mikrofonowych i 72 kanały głośnikowe;
- z wyłączeniem głośników w orkiestronie, każdy głośnik ma być zasilany przez oddzielny kanał wzmacniacza mocy i procesora sygnałowego;
- system musi zapewnić oddzielne ustawienia dla wczesnych i późnych odbić (pogłos), poziomów sygnałów, widm częstotliwości i taktowania;



- system musi zapewnić płynne, swobodnie regulowane przejście między wczesną a późną energią. System musi mieć zdolność do dodawania pogłosu do sumy wygenerowanej i naturalnej energii. Krzywe RT 60 dla częstotliwości: 500 Hz i 1 kHz muszą pokazywać płynne przejście między wczesną a późną energią; pogłos nie może wskazywać podwójnego spadku nachylenia, chyba że okaże się pożądane dla ogólnego postrzegania głośności.
- propagacja wczesnych i późnych odbić ma być równomierna we wszystkich obszarach, wliczając w to strefy pod balkonami;
- system ma reprodukować czyste, naturalnie brzmiące, dźwięki, bez koloryzacji;
- system ma tworzyć prawidłowe charakterystyki przestrzenne przy zachowaniu dokładnej percepcji lokalizacji źródeł dźwięku;
- system nie może powodować wrażenia nienaturalnego powiększenia obrazu dźwiękowego źródła;
- mikrofony pomiarowe muszą być umieszczone w linii lub liniach, nad krawędzią sceny i widowni, zapewniając nasłuch źródeł dźwięku. W razie potrzeby, na przykład ze względu na układ scenografii, część mikrofonów musi być zwieszona bardziej ku środkowi sceny; nasłuch z orkiestronu wymaga oddzielnej linii mikrofonów nad tym obszarem;
- oddzielna funkcja muszli koncertowej dla obszaru sceny; funkcje akustyczne mają być typowe dla muszli: poprawa warunków gry dużych zespołów orkiestrowych, ujednolicenie akustyki widowni i sceny, poprawa transmisji dźwięku ze sceny na widownię;
- minimum 12 kanałów głośnikowych, przeznaczonych do tworzenia pogłosu w orkiestronie;
- minimum 18 kanałów dla sceny dla przetwarzania sygnałów dla wczesnych i późnych odbić;
- rozmieszczenie zespołów głośnikowych musi zapewnić równomierne pokrycie dźwiękiem obszarów: widowni, sceny i orkiestronu;
- późne odbicia muszą wspierać pełnię wybrzmienia i zapewniać widowni uczucie otoczenia przez akustykę Sali; dla realizacji tego celu, każdy z zespołów głośnikowych,

instalowany w obszarze widowni musi mieć regulowany poziom i otrzymywać dyskretny sygnał ze złożeniem sygnałów odbić dźwięku o prawidłowym przesunięciu czasowym (programowalnym);

- sterowanie systemem musi zapewniać przełączanie zaprogramowanych ustawień bez żadnych szkodliwych dźwięków;
- system musi posiadać tryb testowy, umożliwiający personelowi technicznemu Opery kontrolę prawidłowości działania mikrofonów, zespołów głośnikowych, modułów DSP oraz wzmacniaczy mocy.

### **c) Szczegóły sali, poziomy**

System ma mieć zdolność do podniesienia poziomu wczesnych odbić w każdym z pasm oktaawowych od 125Hz do 8 kHz o 1,5 dB.

### **Weryfikacja tych wielkości odbywa się na podstawie pomiarów:**

#### **Na scenie**

źródło: wszechkierunkowy zespół głośnikowy w środku sceny; mikrofon pomiarowy (wszechkierunkowy) umieszczony wewnątrz „muszli koncertowej”, po prawej stronie.

#### **Na widowni**

źródło: wszechkierunkowy zespół głośnikowy, ustawiony na lewo od środka sceny; mikrofon pomiarowy (wszechkierunkowy), ustawiony na prawo od środka sceny. W trakcie pomiarów wskazuje się precyzyjnie umiejscowienie mikrofonu, z dokładnością do pojedynczego miejsca.

#### **SPL direct obliczeniowy**

Obliczeniowo, system ma mieć zdolność do wytworzenia średniej wartości SPL bezpośredniego nie mniej niż 95 dB (Z) przy zasilaniu szumem różowym i ustawieniami mocy zespołów głośnikowych zgodnych z zastosowanymi wzmacniaczami mocy; wynik musi być uzyskany bez angażowania elementów systemu frontowego.



#### d) ogólna specyfikacja systemu

- stosunek sygnału do szumu dowolnego z kanałów systemu (od przedwzmacniacza mikrofonowego do wzmacniacza mocy):  $\geq 105$  dB (A)
- konwersja AD: 24-bitowa lub lepsza; 48/96 kHz
- przetwarzanie wewnętrzne, minimalnie: 32/40-bitowy zmiennoprzecinkowy
- pasmo przenoszenia: 20 Hz - 20 kHz ( $\pm 0,5$  dB)

System musi być wyposażony w pilota zdalnego sterowania, który musi zawierać wyświetlacz informujący o aktywnych i zaprogramowanych ustawieniach akustycznych.

System musi mieć interfejs użytkownika w szafie teletechnicznej, w której będzie zabudowany.

System umożliwi zdalny (sieciowy) dostęp do sprawdzania stanu, aktualizacji oprogramowania i strojenia.

#### e) zespoły głośnikowe

Urządzenia muszą mieć charakterystykę pełnopasmową, w miarę możliwości należy unikać stosowania zespołów głośnikowych, superniskotonowych dla emisji najniższych częstotliwości.

Wybór pełnopasmowych zespołów głośnikowych poprawia naturalną, otaczającą akustykę dla całego spektrum częstotliwości.

#### f) wstępne ustawienia systemu do zaprogramowania

L.p.	Gatunek muzyki	RT	BR	G	C <sub>80</sub>
1	akustyka naturalna: pop/teatr	1.0	1.1	0 ÷ 3	3.3
2	muzyka kameralna (1)	1.1	1.0 ÷ 1.1	0 ÷ 3	0 ÷ 3
3	muzyka kameralna (2)	1.2	1.0 ÷ 1.3	0 ÷ 3	-1 ÷ 2
4	operetka	1.3	1.1 ÷ 1.3	0 ÷ 3	-1,5 ÷ 2
5	opera (1)	1.5	1.1 ÷ 1.3	0 ÷ 3	-2 ÷ 2
6	opera (2)	1.7	1.1 ÷ 1.3	0 ÷ 3	-2.5 ÷ 2
7	balet	1.5	1.1 ÷ 1.3	0 ÷ 3	-1,5 ÷ 2
8	orkiestra symfoniczna (1)	1,7	1.0 ÷ 1.2	0 ÷ 3	-2 ÷ 1
9	orkiestra symfoniczna (2)	2	1.0 ÷ 1.2	0 ÷ 4	-3 ÷ 0
10	orkiestra symfoniczna (3)	2,2	1.0 ÷ 1.2	0 ÷ 5	-3,5 ÷ 0
11*	Chór (1)	2,7	0.9 ÷ 1.1	0 ÷ 4	-4 ÷ 0
12*	Chór (2)	3,5	0.9 ÷ 1.2	0 ÷ 5	-5 ÷ 0

**Uwagi:**

- Proponowane wartości parametrów są dedykowane dla obszarów widowni i mogą być również stosowane w obszarze sceny. Dla orkiestry można zdefiniować różne warunki, we współpracy z orkiestrą.
- W przypadku sytuacji "naturalnej" (system wyłączony) wartości parametrów w nawiasach są wartościami mierzonymi przez "Het Geluidburo", które, ponieważ zmiany architektoniczne w obszarach widowni nie są przewidziane, mają również obowiązywać po renowacji i stanowią punkt początkowy dla ustawień systemu.
- Wartość parametru głośności  $G$  jest już stosunkowo wysoka (spełniająca wymagania dla opery) w obecnej sytuacji. Dlatego wydaje się, że nie należy dążyć do znacznego zwiększenia głośności podczas stosowania systemu. Osiąga się to poprzez odpowiednie kontrolowanie poziomu wygenerowanego pola pogłosu. Jeśli pożądaný jest wzrost głośności, system może to osiągnąć, bez utraty jakości dźwięku, przy zwiększeniu poziomu o 3 dB.
- W obecnej sytuacji wskaźnik klarowności  $C_{80}$  jest zbyt wysoki dla przypadku opery i większości innych wykonń muzycznych. Poprzez generowanie pogłosu (to znaczy odbić z opóźnieniem większym niż 80 ms), system jest w stanie zmniejszyć  $C_{80}$  do bardziej odpowiednich wartości dla różnych stylów muzycznych, jak pokazano w tabeli
- \*) ustawienie opcjonalne, ze względu na czas pogłosu mogą okazać się znacząco nie pasujące do Sali koncertowej Opery, ze względu na jej wielkość, dając słuchaczom nienaturalne odczucia. Ustawienia nr 9 i 10 mogą z powodzeniem służyć występom chórów.

**g) system głośnikowy wirtualnej akustyki**

System głośnikowy wirtualnej akustyki przy zachowaniu podstawowych reguł może z powodzeniem pełnić również funkcję typowego efektowego systemu głośnikowego. Taki system pozwala na znaczące wzbogacenie form przekazu dźwiękowego – od retransmisji programów z przestrzennymi formatami dźwięku, poprzez produkcje operowe i teatralne po pracę w trybie korygowania akustyki wnętrza. Mając na uwadze jednak główne przeznaczenie systemu głośnikowego instalowanego w obrębie widowni, system nie będzie pełnił rzeczywistej funkcji kanałów surround, stereofonicznych (jak dla np.: Dolby Digital 5.1). Ze względu na wymagania fizyczne, związane wprost z rozchodzeniem się fal, utrudnieniem jest również zabytkowy charakter

obiektu i związane z tym wymagania co do estetyki urządzeń głośnikowych, które muszą być zainstalowane w obszarze widowni. Biorąc pod uwagę wielkość obiektu oraz wymagania sprzętowe (pasmo przenoszenia i skuteczność) dodatkowym wymogiem jest rozmiar urządzeń głośnikowych. Maksymalny rozmiar głośnika (w widoku od przodu, z uwzględnieniem elementów montażowych) to rząd 400 x 215 [mm] (szer. x wys.). Wymiar wysokości nie uwzględnia ewentualnego pochylenia zespołu głośnikowego. Wymagany jest poziomy montaż urządzeń (z fabrycznym dostosowaniem urządzenia do takiego montażu). Należy zwrócić uwagę na instalację zespołów głośnikowych tak, aby uzyskiwać maksymalne rozproszenie wiązki dźwięku przed osiągnięciem poziomu powierzchni odsłuchowych.

Wymagania akustyczne dla kanałów efektowych są prezentowane w postaci obliczeń tych kanałów w programie EASE. Generalne założenia dla urządzeń głośnikowych tych kanałów to:

- użyteczne pasmo przenoszenia, określone w półprzestrzeni, dla spadków -10 dB na krańcach pasma: nie gorsze niż  $65 \div 20\,000$  Hz.
- średni SPL direct:  $\geq 97$  dB (Z)  $\pm 5$  dB dla 90% widowni parteru i obu balkonów;
- średni SPL direct:  $\geq 94$  dB (Z)  $\pm 5$  dB dla 60% widowni łóż I i II piętra

Parametry podane dla zakresu 100 Hz  $\div$  10 000 Hz.

## 8. Uwagi końcowe

### 8.1. Zakres prac

Zakres obliczeń jest ograniczony jedynie do stref widowni. Obszar sceny oraz orkiestronu jest przeznaczony do poważnego remontu, a zatem prosimy jedynie przewidzieć w architekturze systemów niezbędne kanały głośnikowe dla tych obszarów wraz z urządzeniami głośnikowymi. Zwracamy uwagę na bardzo ograniczoną przestrzeń w orkiestronie. Prawdopodobnie nie ulegnie ona znaczącemu powiększeniu, stąd należy zwracać uwagę na proponowane rozwiązanie urządzeń głośnikowych dla tego obszaru.

## 8.2. Prace z modelem 3D

W modelu są wskazane miejsca montażu zespołów głośnikowych frontowego systemu nagłośnienia. Ze względu na strukturę oprogramowania położenie zespołów głośnikowych przedniego kanału uzupełniającego zostało dla obliczeń zmienione (podwyższone) tak, aby program mógł policzyć wartości w powierzchniach odsłuchowych parteru. Prosimy pamiętać, że jest zabieg tylko i wyłącznie przyjęty do obliczeń, w praktyce urządzenia głośnikowe tego kanału mają być zabudowane w progu sceny.

Dla wygody osób pracujących z modelem zespoły głośnikowe i powierzchnie odsłuchowe zostały odpowiednio pogrupowane. Proszę zwrócić uwagę na różnice w powierzchniach odsłuchowych łóż balkonów I i II piętra, w zależności od tego jaki system liczymy: frontowy czy wirtualnej akustyki. Umieszczenie głośników w obszarze widowni dla systemu wirtualnej akustyki zależy od wyboru urządzeń głośnikowych. Prosimy pamiętać o wymiarach i konieczności stosowania urządzeń o fabrycznej możliwości malowania na kolor z palet RAL lub podobnej (NCS). Liczba tych głośników musi zapewniać właściwe pokrycie, wysoką dyfuzyjność wiązki dźwięku i właściwy SPL. Ilość winna być również skorelowana z ilością kanałów sterowania w danym obszarze.

## 8.3. Sposób prezentacji wyników

Prosimy Oferentów o wydrukowanie map oraz wykresów rozkładu SPL, STI i  $C_{80}$  dla każdego obszaru widowni oddzielnie. Wyniki SPL prosimy przygotować z podziałem na analizowane pasma częstotliwości oraz szerokopasmowo.

Dla potrzeb analiz przyjmujemy zaokrąglanie wyników do pełnych liczb, dla wartości SPL, i nierównomierności oraz wskaźnika  $C_{80}$ . Wartości współczynnika STI zaokrąglamy do drugiego miejsca po przecinku. Sposób zaokrąglania musi być zgodny z zasadami matematyki.