

**CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH SALI
KONCERTOWEJ
ORAZ SALI KAMERALNEJ FILHARMONII POMORSKIEJ
RAPORT OPRACOWANY NA PODSTAWIE SŁUCHOWYCH OCEN
DŹWIĘKU ORAZ BADAŃ AKUSTYCZNYCH SAL W STANIE
AKTUALNYM**

JEDNOSTKA PROJEKTOWA

Manufaktura Technologiczna
ul. Puławska 38, 05-500 Piaseczno

OBIEKT:

Filharmonia Pomorska
ul. Andrzeja Szwalbego 6, Bydgoszcz

INWESTOR:

Filharmonia Pomorska
ul. Andrzeja Szwalbego 6, Bydgoszcz

KIEROWNIK PROJEKTU:

dr inż. Tadeusz Fidecki

ZESPÓŁ PROJEKTOWY:**SŁUCHOWA OCENA DŹWIĘKU:**

dr hab. Barbara Okoń-Makowska
dr hab. Andrzej Miśkiewicz
dr Tomira Rogala
mgr Teresa Rościszewska
mgr inż. Urszula Brzozowska
mgr inż. Małgorzata Srebrzyńska
mgr Małgorzata Szymańska
mgr Igor Szymański

POMIARY AKUSTYKI I MODELOWANIE:

prof. dr hab. inż. Jan Żera
dr inż. Tadeusz Fidecki
mgr inż. Artur Kozak
mgr inż. Jakub Szot
inż. Maciej Jasiński

INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA I MODELOWANIE:

mgr inż. Ewa Więckowska-Kosmala
inż. Magdalena Czechowska
mgr inż. Radosław Ciszewski
mgr inż. arch. Aleksander Bobynko

WYKONAWCA:

mgr inż. Maciej Łukaszewicz

.....
Podpis

Opracowanie stanowi własność intelektualną Manufaktury Technologicznej sp. z o.o. i objęte jest ochroną zgodnie z Ustawą z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych [Dz. U. 1994 Nr 24 poz. 83]. POWIELANIE I ZMIANA CAŁOŚCI LUB FRAGMENTÓW OPRACOWANIA, A TAKŻE WYKORZYSTYWANIE W INNYM CELU NIŻ JEGO REALIZACJA BEZ PISEMNEJ ZGODY AUTORA I WŁAŚCICIELA JEST NARUSZENIEM TYCH PRAW

SPIS TREŚCI

CZĘŚĆ I – OCENA SŁUCHOWA DŹWIĘKU	7
1. ZAKRES BADAŃ	7
2. BADANIA ANKIETOWE DOTYCZĄCE JAKOŚCI DŹWIĘKU	8
2.1. ZAŁOŻENIA I PROCEDURA BADAŃ	8
2.2. WYNIKI BADAŃ	8
2.3. OMÓWIENIE WYNIKÓW	16
3. OPINIE DYRYGENTÓW ORKIESTRY, DYRYGENTA CHÓRU ORAZ SOLISTKI	19
3.1. SPOSÓB ZBIERANIA I OPRACOWANIA OPINII	19
3.2. BRZMIENIE DŹWIĘKU NA ESTRADZIE ORAZ KOMFORT SŁYSZENIA DŹWIĘKU PODCZAS WYKONYWANIA UTWORU	19
3.3. CZYTELNOŚĆ OBRAZU DŹWIĘKOWEGO, BARWA DŹWIĘKU I POGŁOS	20
3.4. ROZMIARY SALI I ESTRADY A WIELKOŚĆ ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	20
3.5. OPINIE O CHARAKTERZE OGÓLNYM	21
3.6. PODSUMOWANIE OPINII	21
4. OPINIE REŻYSERÓW DŹWIĘKU	22
4.1. SPOSÓB OPRACOWANIA OPINII	22
4.2. PRZYDATNOŚĆ SALI JAKO STUDIA NAGRANIOWEGO	22
4.3. PREFEROWANA WIELKOŚĆ I CHARAKTER ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	22

4.4.	INTYMNOŚĆ BRZMIENIA, POCZUCIE OBECNOŚCI I CZYTELNOŚĆ ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU	23
4.5.	BARWA DŹWIĘKU W SALI	23
4.6.	CECHY PRZESTRZENNE UJAWNIAJĄCE SIĘ W TRAKCIE NAGRAŃ	23
4.7.	POGŁÓŚ	24
4.8.	ZAKŁÓCENIA, ZNIEKSZTAŁCENIA I INNE WADY DŹWIĘKU	24
4.9.	PORÓWNANIE Z INNYMI SALAMI	25
4.10.	INNE UWAGI	25
4.11.	PODSUMOWANIE OPINII	25
5.	OPINIE CZŁONKÓW ZESPOŁU BADAWCZEGO, O JAKOŚCI DŹWIĘKU W SALI	26
5.1.	PROGRAMY KONCERTÓW, NA KTÓRYCH PRZEPROWADZONO OCENY	26
5.2.	INTYMNOŚĆ, POCZUCIE OBECNOŚCI ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU, CZYTELNOŚĆ BRZMIENIA	27
5.3.	BARWA DŹWIĘKU	27
5.4.	DYNAMIKA MUZYCZNA	28
5.5.	POGŁÓŚ	29
5.6.	WIELKOŚĆ ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	29
5.7.	LOKALIZACJA ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU	30
5.8.	SŁYSZALNOŚĆ I BRZMIENIE DŹWIĘKU SOLISTÓW	31
5.9.	PRZESTRZENNOŚĆ I GŁĘBIA OBRAZU DŹWIĘKOWEGO	32

5.10.	ZAKŁÓCENIA I INNE WADY DŹWIĘKU	32
5.11.	PORÓWNANIE Z INNYMI SALAMI KONCERTOWYMI	33
5.12.	PODSUMOWANIE OPINII	33
6.	NAGRANIA PRÓB I KONCERTÓW	35
CZĘŚĆ II – POMIARY AKUSTYKI SAL		37
1.	CEL POMIARÓW	37
2.	MIERZONE PARAMETRY I WSKAŹNIKI AKUSTYCZNE	37
3.	METODYKA POMIARÓW	38
3.1.	DOKUMENTY NORMALIZACYJNE	38
3.2.	PROCEDURA POMIARU PARAMETRÓW I WSKAŹNIKÓW AKUSTYCZNYCH	38
3.3.	PUNKTY POMIAROWE	38
3.4.	POMIARY BINAURALNE	39
3.5.	POMIAR WSKAŹNIKÓW WSPOMAGANIA AKUSTYCZNEGO ESTRADY	40
3.6.	POMIARY IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ POMIĘDZY POMIESZCZENIAMI	40
3.7.	APARATURA POMIAROWA	40
4.	WYNIKI POMIARÓW	41
4.1.	POMIARY AKUSTYCZNE SALI KONCERTOWEJ ZAPEŁNIONEJ PRZEZ PUBLICZNOŚĆ I ORKIESTRĘ	41
4.2.	POMIARY AKUSTYCZNE SALI KONCERTOWEJ PRZY PUSTEJ ESTRADZIE I WIDOWNI	52

4.3. WYNIKI POMIARÓW SALI KAMERALNEJ	90
4.4. CHARAKTERYSTYKI IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ MIĘDZY SALAMI KONCERTOWYMI I STREFAMI KORYTARZY	97
4.5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW AKUSTYCZNYCH SALI KAMERALNEJ I SALI KONCERTOWEJ	103
CZĘŚĆ III– INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA SAL	107
1. SALA KONCERTOWA	107
1.1. DANE ARCHITEKTONICZNE	107
1.2. ELEMENTY ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ	108
2. SALA KAMERALNA	118
2.1. DANE ARCHITEKTONICZNE	118
2.2. ELEMENTY ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ	119
3. SKANING KOMPUTEROWY	127
3.1. CEL OPRACOWANIA	127
3.2. ZAKRES PRAC POMIAROWYCH	127
4. WYNIKI POMIARÓW IN-SITU	132
4.1. METODA POMIAROWA I APARATURA BADAWCZA	132
4.2. POMIARY SALI KONCERTOWEJ	133
4.3. POMIARY SALI KAMERALNEJ	144

4.4. KOREKCJA ENERGETYCZNYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW ZMIERZONYCH IN SITU	150
4.5. PODSUMOWANIE	162
CZĘŚĆ IV – MODELOWANIE AKUSTYKI SALI	164
1. ZAŁOŻENIA DO WYKONANIA MODELI AKUSTYCZNYCH SAL	164
2. SALA KONCERTOWA	164
2.1. MODEL SALI KONCERTOWEJ	164
2.2. WYNIKI OBLICZEŃ PARAMETRÓW AKUSTYCZNYCH Z MODELU SALI KONCERTOWEJ	166
2.3. ANALIZA GRAFICZNA TRAS PROMIENI W SALI KONCERTOWEJ	171
3. SALA KAMERALNA	174
3.1 MODEL SALI KAMERALNEJ	174
3.2. WYNIKI OBLICZEŃ PARAMETRÓW AKUSTYCZNYCH Z MODELU SALI KAMERALNEJ	176
4. OCENA WYNIKÓW MODELOWANIA	182
CZĘŚĆ V – KLASYFIKACJA JAKOŚCI SALI KONCERTOWEJ	183
CZĘŚĆ VI – WYTYCZNE DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA I WYKONANIA PRAC RENOWACYJNYCH	186

CZĘŚĆ I – OCENA SŁUCHOWA DŹWIĘKU

1. ZAKRES BADAŃ

Badania polegające na słuchowej ocenie jakości dźwięku, stanowiące część prac przeprowadzonych w celu opracowania raportu o właściwościach akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy, obejmowały następujące zadania:

- przeprowadzenie wśród członków orkiestry i chóru ankiet dotyczących jakości dźwięku w badanej sali oraz problemów wykonawczych związanych z jej akustyką,
- przeprowadzenie wywiadów z dyrygentami chóru i orkiestry w celu identyfikacji cech wrażeniowych dźwięku odbieranego w sali wpływających na pracę z zespołem,
- przeprowadzenie z wokalistką – solistką koncertu, wywiadu na temat właściwości akustycznych sali wpływających na sposób wykonania utworu,
- zebranie opinii, w formie swobodnych wypowiedzi, od członków zespołu badawczego oraz od doświadczonych słuchaczy koncertów, na temat jakości brzmienia dźwięku w sali,
- przeprowadzenie wywiadów z reżyserami dźwięku mającymi w dorobku znaczące nagrania dokonane w badanej sali, na temat jej właściwości akustycznych wpływających na kreację obrazu fonograficznego,
- sformułowanie wielowymiarowej oceny brzmienia dźwięku przez członków zespołu badawczego podczas prób i koncertów,
- nagranie prób oraz koncertów w celu uzyskania dokumentacji dźwiękowej akustyki sali oraz materiału do dalszych prac studialnych.

Słuchowa ocena jakości dźwięku oraz realizacja nagrań dokumentalnych stanowiły istotną część szerszego programu badań akustyki sali, w skład którego weszły również różnorodne pomiary akustyczne opisane w dalszych częściach niniejszego sprawozdania. Wyniki ocen słuchowych oraz wyniki pomiarów akustycznych były podstawą sformułowania opisu aktualnych właściwości akustycznych sali, stanowiącego temat niniejszego opracowania.

2. BADANIA ANKIETOWE DOTYCZĄCE JAKOŚCI DŹWIĘKU

2.1. Założenia i procedura badań

Badania ankietowe miały na celu uzyskanie od członków orkiestry oraz członków chóru informacji dotyczących jakości dźwięku wykonywanego w sali, słyszalności i jakości brzmienia dźwięków wykonywanych przez innych muzyków na estradzie oraz komfortu pracy podczas prób i koncertów. Ze względu na istotne różnice w praktyce wykonawczej przygotowano oddzielne formularze ankietowe dla orkiestry i chóru. Formularze użyte do badań przedstawiono na rys. I.2.1–I.2.4.

Badanie ankietowe przeprowadzono dwukrotnie: w dniu 6 października 2017 roku w przerwie między próbą a koncertem, oraz 26 października 2017 roku, po koncercie. W pierwszym badaniu muzycy – członkowie orkiestry oraz chórzysci formułowali odpowiedzi w oparciu o całokształt doświadczeń zdobytych w trakcie pracy w badanej sali, zaś w badaniu drugim przedstawili opinię dotyczącą jakości dźwięku, odnoszącą się wyłącznie do koncertu, w którym wzięli udział w dniu badania ankietowego. Przed rozpoczęciem każdego z badań muzycy zostali poinformowani o założeniach i celu przeprowadzenia ankiet oraz o sposobie wypełniania formularzy.

2.2. Wyniki badań

Na rys. I.2.5 i I.2.6 przedstawiono wyniki badań ankietowych dotyczących jakości dźwięku w sali, przeprowadzonych wśród członków Orkiestry Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego oraz członków dwóch chórów: Chóru Filharmonii Łódzkiej im. Artura Rubinsteina oraz Chóru Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Odpowiedzi na poszczególne pytania przedstawione są na oddzielnych wykresach. Na osi rzędnych wykresów oznaczony jest odsetek odpowiedzi, należących do poszczególnych kategorii, oznaczonych na osi odciętych wykresów.

W obu ankietach część pytań była identyczna – odpowiedzi na te pytania umieszczono wspólnie na odpowiednich wykresach; kolumny granatowe przedstawiają wyniki badania w dniu 6 października, a bordowe – 26 października. Trzy pytania ankietowe były w tych dwóch badaniach różne, stąd wykresy zawierają dane tylko z jednego badania kolumny jednego – odpowiedniego – koloru.

Na rys. I.2.7 zestawiono wyniki oceny ogólnej jakości akustyki sali, uzyskane w obu badaniach, od członków orkiestry oraz chórzystów. Wykresy przedstawiają rozkład

uzyskanych ocen na skali od 1 do 5. Symbole połączone liniami odnoszą się do ocen warunków akustycznych na estradzie. Słupkami przedstawiono rozkłady ocen akustyki sali, uzyskane w dniach 6 i 26 października 2017 roku.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków orkiestry

- instrument
- pulpit vno, vla, vc – strona: **lewa / prawa**

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie. W pytaniach zamkniętych prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**

2. Czytelność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**

3. Barwa dźwięku własnego instrumentu **niezadawalająca / bez zastrzeżeń**

Jeśli barwę ocenia Pani/Pan jako niezadawalającą, to dlaczego

4. Słyszalność innych instrumentów swojej sekcji **zła / wystarczająca / dobra**

5. Słyszalność instrumentów innych sekcji **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których instrumentów:

6. Czytelność instrumentów innych sekcji: **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których instrumentów:

7. Słyszalność / zrozumiałość słów dyrygenta: **zła / wystarczająca / dobra**

8. Poczucie komfortu gry zespołowej w skali od 1 do 5:

1	2	3	4	5
(b. zła)				(b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym na estradzie:

.....

10. Ogólna ocena sali w skali od 1 do 5:

1	2	3	4	5
(b. zła)				(b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

Rys. I.2.1. Formularz ankietowy w wersji dla członków orkiestry, użyty w badaniach przeprowadzonych w dniu 6 października 2017 roku, po próbie do koncertu.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków chóru

- **głos**
- **miejsce w grupie: rząd..... strona: lewa / środek / prawa**

*Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie.
W pytaniach zamkniętych prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.*

1. Słyszalność własnego głosu **zła / wystarczająca / dobra**

2. Wyrazistość własnego głosu **zła / wystarczająca / dobra**

3. Słyszalność innych śpiewaków swojej sekcji **zła / wystarczająca / dobra**

4. Słyszalność innych sekcji chóru **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których sekcji:

5. Poczucie spójności brzmienia chóru **złe / wystarczające / dobre**

6. Słyszalność orkiestry: **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których instrumentów / grup instrumentów

7. Słyszalność / zrozumiałość słów dyrygenta: **zła / wystarczająca / dobra**

8. Poczucie komfortu śpiewu i gry zespołowej w skali od 1 do 5: **1 2 3 4 5**
(b. złe) (b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym na estradzie:

.....
.....

10. Ogólna ocena sali w skali od 1 do 5: **1 2 3 4 5**
(b. zła) (b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

Rys. I.2.2. Formularz ankietowy w wersji dla członków chóru, użyty w badaniach przeprowadzonych w dniu 6 października 2017 roku, po próbie do koncertu.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków orkiestry

Prosimy o dokładne określenie miejsca na estradzie na koncercie (np. vno 2, pulpit 3, strona lewa)

- instrument
- pulpit vno, vla, vc – strona: **lewa / prawa**

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie podczas tego wykonania. Prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**
2. Czytelność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**
3. Barwa dźwięku własnego instrumentu w sali,
podczas tego wykonania **niezadawalająca / bez zastrzeżeń**
4. Słyszalność innych instrumentów swojej sekcji **zła / wystarczająca / dobra**
5. Słyszalność instrumentów innych sekcji **zła / wystarczająca / dobra**
Jeżeli zła, to których instrumentów/sekcji?
6. Jakie jest Pani/Pana poczucie nośności dźwięku
własnego instrumentu w sali **złe / wystarczające / dobre**
7. Słyszalność/zrozumiałość słów dyrygenta: **zła / wystarczająca / dobra**
8. Poczucie komfortu gry zespołowej w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. złe) (b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie:

.....

10. Ogólna ocena akustyki estrady w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)
11. Ogólna ocena brzmienia sali w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

Rys. I.2.3. Formularz do badań ankietowych, w wersji dla członków orkiestry, użyty w badaniach przeprowadzonych po koncercie w dniu 26 października 2017 roku.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków chóru

Prosimy o dokładne określenie miejsca na estradzie na tym koncercie (np. sopran, rząd1, strona lewa)

- głos
- miejsce w grupie: rząd..... strona: lewa / środek / prawa (patrzac z widowni)

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie podczas tego wykonania. Prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność własnego głosu zła / wystarczająca / dobra

2. Wyrazistość własnego głosu zła / wystarczająca / dobra

3. Słyszalność innych śpiewaków swojej grupy zła / wystarczająca / dobra

4. Słyszalność innych grup (głosów) chóru zła / wystarczająca / dobra

Jeżeli zła, to których grup (głosów)?

5. Poczucie spójności brzmienia chóru złe / wystarczające / dobre

6. Łatwość emisji głosu (wygoda śpiewu) w sali niska / średnia / wysoka

6. Słyszalność orkiestry zła / wystarczająca / dobra

Jeżeli zła, to których instrumentów/grup instrumentów:

7. Słyszalność/zrozumiałość słów dyrygenta: zła / wystarczająca / dobra

8. Poczucie komfortu śpiewu z orkiestrą w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. złe) (b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie:

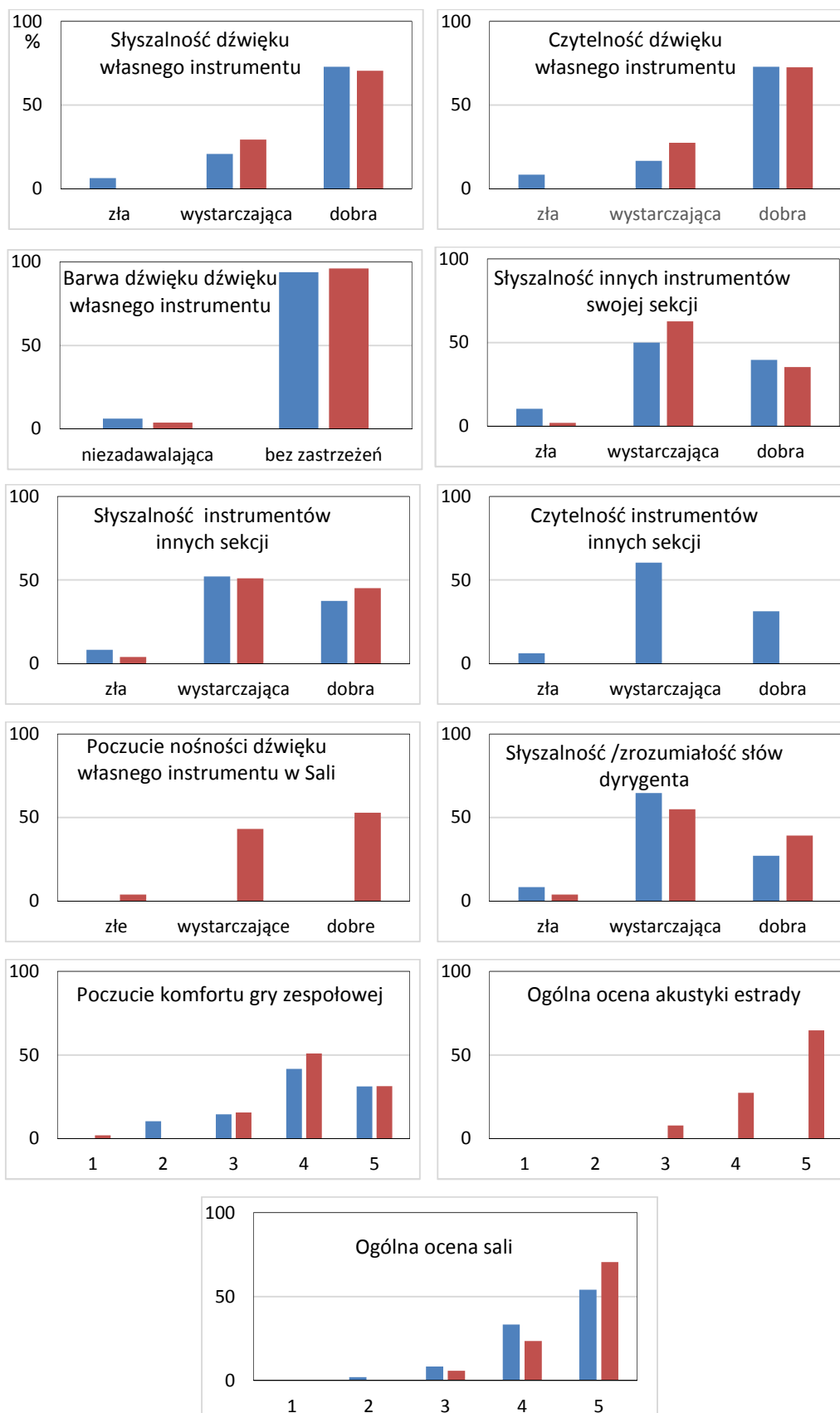
.....

10. Ogólna ocena akustyki estrady w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)

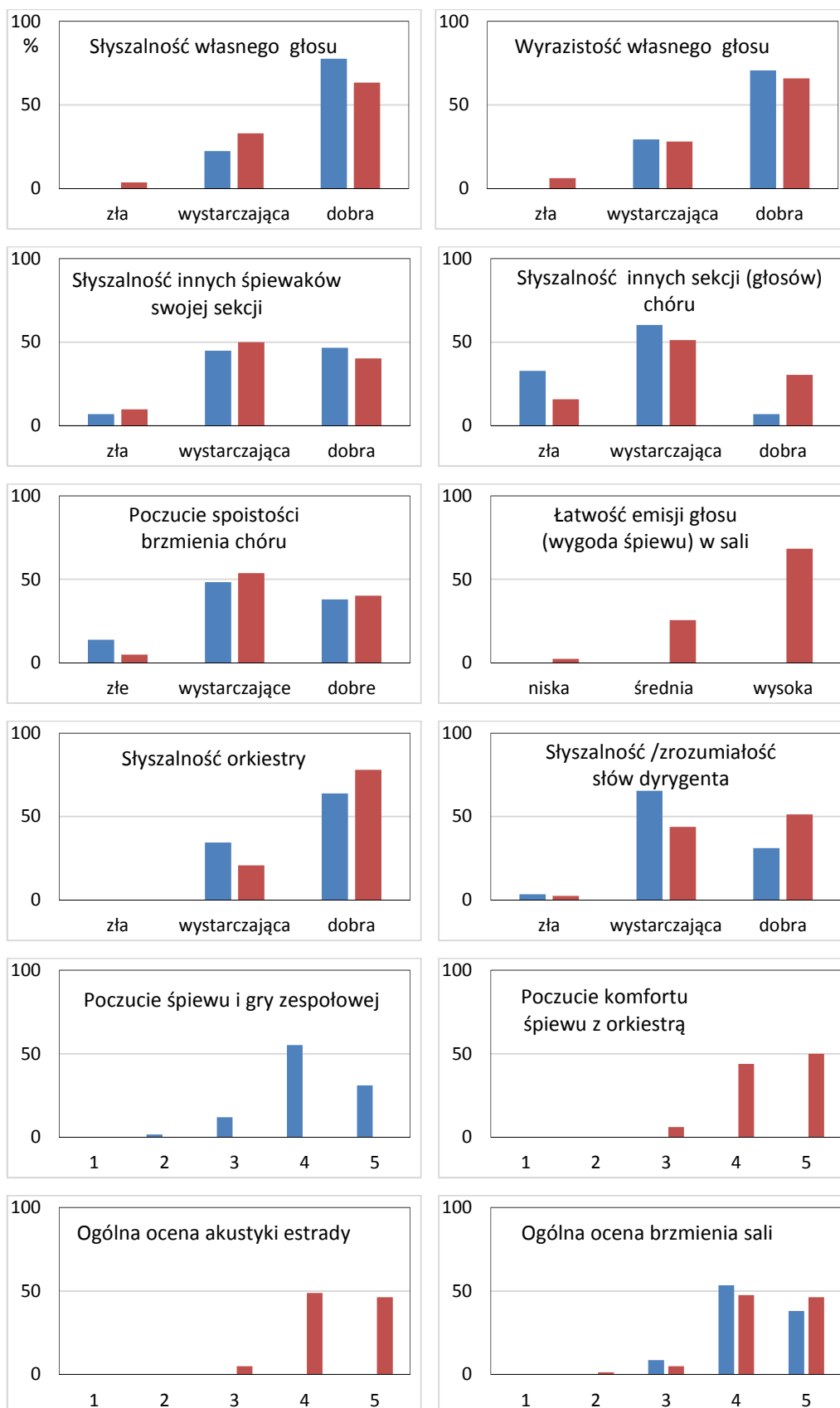
11. Ogólna ocena brzmienia sali w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

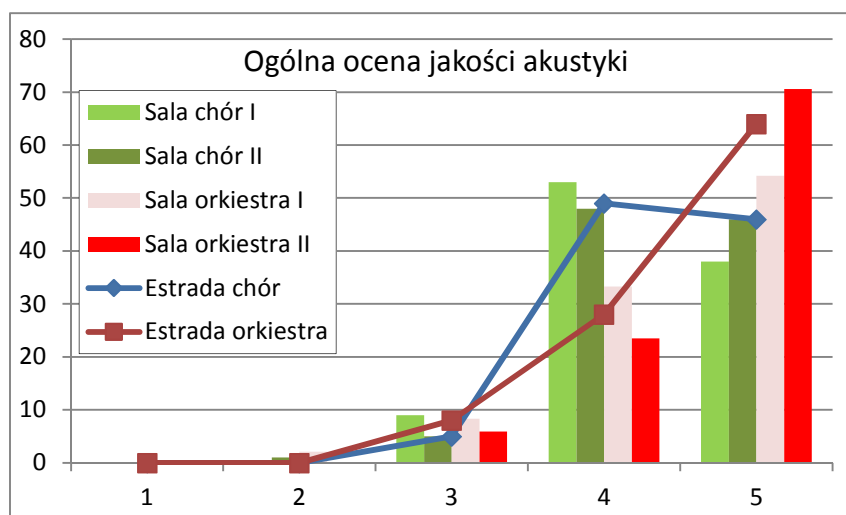
Rys. I.2.4. Formularz do badań ankietowych, w wersji dla członków chóru, użyty w badaniach przeprowadzonych po koncercie w dniu 26 października 2017 roku.



Rys. I.2.5. Wyniki ankiet przeprowadzonych wśród muzyków orkiestry Filharmonii Pomorskiej. Na poszczególnych wykresach przedstawiony jest procentowy rozkład odpowiedzi na pytania zawarte w ankietach. Dwie kolumny w każdej kategorii przedstawiają kolejno wyniki uzyskane w badaniach przeprowadzonych w dniach 6 i 26 października 2017 roku.



Rys. 1.2.6. Wyniki ankiet przeprowadzonych wśród członków dwóch chórów. Na poszczególnych wykresach przedstawiony jest procentowy rozkład odpowiedzi na pytania zawarte w ankietach. Dwie kolumny w każdej kategorii przedstawiają kolejno wyniki uzyskane w badaniach przeprowadzonych w dniach 6 i 26 października 2017 roku.



Rys.1.2.7. Rozkłady na skali ocen od 1 do 5 odpowiedzi odnoszących się do jakości warunków akustycznych na estradzie (punkty połączone liniami) oraz jakości akustyki całej sali (słupki). Na wykresie zestawiono wyniki badań przeprowadzonych w dniach 6 (chór I, orkiestra I) i 26 października 2017 roku (chór II, orkiestra II).

2.3. Omówienie wyników

Analizując uzyskane wyniki ankiet należy wziąć pod uwagę, że w obu badaniach uczestniczyli muzycy tej samej orkiestry, natomiast zespół choralny był inny – na pierwszym koncercie – w dniu 6 października, był to Chór Filharmonii Łódzkiej im. Artura Rubinsteina, zaś na koncercie drugim – w dniu 26 października – Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Muzycy z orkiestry Filharmonii Pomorskiej grają w badanej sali na co dzień, dzięki czemu bardzo dobrze znają istniejące w niej warunki akustyczne i są do nich przyzwyczajeni. Podobnie, Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego zna salę Filharmonii bardzo dobrze, ponieważ często w niej występuje. Chór Filharmonii Łódzkiej wielokrotnie występował w sali Filharmonii Pomorskiej, ale ma z tą salą mniej doświadczeń niż miejscowa orkiestra i Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego.

Na wykresach odnoszących się do ocen uzyskanych od członków orkiestry (rys. 1.2.5) widoczne jest, że różnice w rozkładach odpowiedzi między pierwszą a drugą ankietą są bardzo niewielkie. Maksymalna różnica w pytaniu o słyszalność innych instrumentów swojej sekcji, wskazuje na niewielkie pogorszenie słyszalności na koncercie, w stosunku do opinii wyrażonej w pierwszym badaniu, sformułowanej na podstawie całokształtu posiadanych doświadczeń odnoszących się do badanej sali. W drugiej ankiecie jest znacznie mniej odpowiedzi oceniających słyszalność innych instrumentów i sekcji, jako złą.

We wszystkich pytaniach dotyczących brzmienia własnego instrumentu większość muzyków zaznaczyła najwyższą ocenę – nie mając zastrzeżeń do barwy dźwięku (ponad 70% odpowiedzi). Muzycy ocenili jako bardzo dobrą również słyszalność i czytelność dźwięku instrumentu (ponad 70%), zaś nośność dźwięku uważają za co najmniej wystarczającą (ponad 40% odpowiedzi „wystarczająca” i >50% – „dobra”).

Słyszalność i czytelność dźwięków instrumentów innych muzyków, zarówno w swojej jak i w innych sekcjach, została oceniona jako nieco gorsza, w przeważającej większości jako „wystarczająca”. Odpowiedź „zła słyszalność/czytelność innych instrumentów” wybrało w ankiecie mniej niż 10% osób.

Podobne wyniki uzyskano w odniesieniu do oceny słyszalności i zrozumiałości słów dyrygenta podczas prób: najwięcej osób uznało je za wystarczające, niewiele mniej za dobre (razem ponad 90% osób). Poczucie komfortu gry oraz ogólną jakość akustyki sali i estrady muzycy oceniali w skali 5-stopniowej. Na podstawie wykresu można wywnioskować, że muzycy mają pewne zastrzeżenia do komfortu gry zespołowej (najwięcej osób zaznaczyło odpowiedź 4), najprawdopodobniej ze względu na niedostatki w słyszeniu gry innych muzyków. Niemniej jednak, 70-80% osób, w zależności od koncertu, oceniło komfort jako dobry (ocena 4) i bardzo dobry (ocena 5). Mimo tych drobnych mankamentów, muzycy bardzo dobrze ocenili jakość akustyki na estradzie (>60% ocen 5, a >90% oceny 4 lub 5) oraz w sali (>50% ocen 5, a >80% oceny 4 lub 5) i w żadnym przypadku nie przyznana została najniższa ocena. W odniesieniu do estrady również nikt nie przypisał oceny 1 ani 2, w przypadku oceny sali liczba tych ocen jest nieznacząca.

Sposób przedstawienia wyników ankiety przeprowadzonej wśród członków chórów, zamieszczonych na rys. I.2.6, jest identyczny z rys. I.2.5. Istotną różnicą w procedurze badania ankietowego, w stosunku do badań z udziałem członków orkiestry, było to, że w obu badaniach ankietowych uczestniczyli inni śpiewacy, co zapewne spowodowało, że różnica odpowiedzi uzyskanych w dwóch badaniach jest nieco większa niż w przypadku muzyków orkiestry. Znaczna różnica wystąpiła w ocenach słyszalności innych głosów chóru w porównaniu z pierwszą ankietą, w ankiecie przeprowadzonej po koncercie nastąpił wzrost o 25 punktów procentowych odpowiedzi „dobra” przy spadku blisko o 20 punktów procentowych oceny „zła” i <10 punktów procentowych oceny „wystarczająca”. Niżej natomiast oceniono

w drugiej ankiecie słyszalność własnego głosu (mniej o 15 p. p. ocen „dobra” przy około 10 p. p. większej liczbie ocen „wystarczająca”). Ocena słyszalności i wyrazistości własnego głosu, podobnie jak w przypadku oceny odnoszącej się do dźwięku instrumentów muzycznych, jest bardzo wysoka, natomiast słyszalność innych głosów – tylko wystarczająca. Z uwagi na kształt i rozmiary estrady chór ustawiony był stosunkowo szeroko, stąd przypuszczalnie wystąpiły trudności ze słyszeniem innych głosów i słów dyrygenta. Zapewne z tego powodu przeważały odpowiedzi „wystarczającego” poczucia spójności brzmienia chóru. Nie mieli natomiast chórzyci trudności ze słyszeniem orkiestry i ocenili jej słyszalność bardzo wysoko, zwłaszcza w drugiej ankiecie. Stąd też wynikała wysoka ocena (4 lub 5 od ponad 90% osób) poczucia komfortu śpiewu z orkiestrą. Nieco niżej ocenili chórzyci słyszalność i zrozumiałość słów dyrygenta podczas prób, przy czym ocena ta w drugiej ankiecie była wyższa.

Problemy ze słyszeniem innych głosów chóru, a także dyrygenta, są zapewne przyczyną pojawienia się gorszych ocen akustyki estrady oraz akustyki całej sali, jednakże ocenę 4 lub 5 wystawiło ponad 90% chórzystów w każdym z koncertów.

Podsumowując można stwierdzić, że oceny dokonane przez muzyków z orkiestry oraz śpiewaków z obu chórów bardzo dobrze ze sobą korespondują. Wszyscy oceniający wskazują na znakomitą słyszalność i bardzo dobrze oceniają brzmienie własnego instrumentu/głosu, mają natomiast nieco zastrzeżeń do słyszalności innych instrumentów/głosów. Z tego powodu odczuwają niepełny komfort gry zespołowej. Muzycy-instrumentaliści oraz chórzyci mają natomiast wszyscy poczucie bardzo dobrej „współpracy” akustyki pomieszczenia, dźwięk instrumentów jest nośny, chórzyci odczuwają łatwość emisji głosu. Akustyka estrady i sali, mimo zauważanych drobnych mankamentów, została oceniona jako bardzo dobra.

Trzeba przy tym pamiętać, że w obu koncertach wystąpiły bardzo duże zespoły wykonawcze – wielka orkiestra symfoniczna (50 osób), chór (58 osób na pierwszym koncercie i 82 osoby na koncercie drugim) oraz soliści. W opinii dyrygentów, reżyserów dźwięku, a także muzyków i słuchaczy koncertów były to zespoły na tę salę zbyt duże, co mogło mieć wpływ na oceny sali dokonane przez wykonawców koncertów.

3. OPINIE DYRYGENTÓW ORKIESTRY, DYRYGENTA CHÓRU ORAZ SOLISTKI

3.1. Sposób zbierania i opracowania opinii

Poniżej przedstawiono opinie dotyczące jakości dźwięku w Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego uzyskane od trzech dyrygentów orkiestry, dwóch dyrygentów chórów oraz solistki (mezzosopran), która wystąpiła gościnnie w wykonaniu *Requiem* Mozarta (koncert 26.10.2017). Wszyscy rozmówcy koncertowali już kilkakrotnie w tej sali oraz mają rozległe doświadczenie w wykonywaniu muzyki w innych obiektach. Opinie na temat wpływu akustyki sali Filharmonii Pomorskiej na wykonanie utworów zostały wyrażone przez wyżej wymienione osoby w formie swobodnych wypowiedzi przedstawionych osobie prowadzącej wywiad. W odniesieniu do zakresu i formułowania ocen nie były wcześniej przyjęte żadne założenia. Uwagi pogrupowano pod względem właściwości akustycznych, do których się odnoszą i przedstawiono poniżej w kolejnych podpunktach.

3.2. Brzmienie dźwięku na estradzie oraz komfort słyszenia dźwięku podczas wykonywania utworu

- Ogólna jakość brzmienia w miejscu dyrygenta nie jest zadowalająca. Słychać wszystkie instrumenty osobno, brak scalenia, wymieszania brzmienia w ramach grup i całego zespołu.
- Nie ma problemów z porozumiewaniem się z zespołem, osiągnięciem właściwych proporcji w orkiestrze.
- Łatwa współpraca z solistą.
- Łatwo uzyskać pożądane proporcje brzmienia chóru i orkiestry.
- Muzycy niektórych grup mają trudności we wzajemnym słyszeniu swoich instrumentów i trudno jest im zachować synchroniczność gry. Największe trudności są między muzykami grającymi na instrumentach dętych, zwłaszcza na waltorniach, oraz między kontrabasistami. Muzycy grający na instrumentach dętych muszą często grać z niewielkim wyprzedzeniem, żeby wejścia były synchroniczne.
- Na koncertach o wielkiej obsadzie występują trudności we wzajemnym słyszeniu grup głosów chóru daleko rozstawionych na estradzie, śpiewakom brakuje „wspólnego oddechu”.

- Sala wymaga kontroli własnego głosu, właściwej techniki i świadomości śpiewaczej.
- W śpiewie a cappella, w ustawieniu centralnym, bliżej brzegu estrady chór ma znacznie większy komfort śpiewania. Jest dobre odczucie odpowiedzi sali oraz doskonały powrót dźwięku.
- Brzmienie sali ma pozytywny wpływ na sposób śpiewania chóru, można śpiewać swobodnie.
- Głos solisty dobrze brzmi na sali, ale na estradzie śpiewak tego nie odczuwa i musi polegać na swojej technice wokalne i doświadczeniu śpiewaczym. Sala ładnie brzmiąca od strony słuchacza, jest niełatwa i wymagająca dla śpiewaka.
- Słyszalność orkiestry i innych solistów jest na ogół dobra, choć zależy od usytuowania względem reszty wykonawców.
- Przy pustej sali słychać dźwięk niosący się w kierunku publiczności, a sama scena jest bardzo głucha, tak jakby dźwięk z miejsca pulpitu dyrygenckiego nie rozchodził się w ogóle w stronę orkiestry (*stwierdzono przy słuchaniu osoby mówiącej do orkiestry z dyrygenckiego podium*).

3.3. Czytelność obrazu dźwiękowego, barwa dźwięku i pogłos

- Dźwięk jest precyzyjny, nie zlewa się.
- Sala jest wymagająca – obnaża niedostatki wykonawcze. Brakuje scalenia, „zaokrąglenia” „uszlachetnienia” „uprzestrzennienia” oraz „powiększenia” brzmienia zespołu.
- Sala nie upiększa brzmienia.
- Pogłos dobry, bez zabarwień, od razu słychać przestrzeń w dźwięku.
- Na widowni brzmienie zespołów jest dobre; szczególnie dobrze słychać artykulację dźwięku, tekst partii chóralnych jest wyrazisty.
- Bardzo ważną zaletą sali Filharmonii Pomorskiej jest to, że brzmienie dźwięku jest podobne w pustej sali i w sali wypełnionej publicznością.
- W tej sali brzmi dobrze muzyka różnych gatunków i epok.
- Jako słuchacz koncertów uważam, że sala brzmi fantastycznie.

3.4. Rozmiary sali i estrady a wielkość zespołu wykonawczego

- Sala jest za mała dla muzyki wymagającej powiększonego składu orkiestry i wielkiego chóru.

- Estrada jest zbyt płytka w stosunku do szerokości i trudno jest znaleźć odpowiednie miejsce dla niektórych instrumentów – zwłaszcza perkusji i instrumentów dętych.
- Bardzo szerokie rozstawienie chóru w utworach z orkiestrą ze względu na brak miejsca.
- Sala nie ma odpowiedniego zaplecza (garderoby, sale do ćwiczeń).

3.5. Opinie o charakterze ogólnym

- Lepszą akustykę ma tylko sala Wiener Musikverein. Sala Musikverein przewyższa salę Filharmonii Pomorskiej swoim brzmieniem w głębokim pianissimo.
- Najlepsza sala koncertowa w Polsce. [...] trzeba tę akustykę zachować, ponieważ jest ona wspaniała i pod żadnym pozorem nie należy w niej cokolwiek zmieniać ani poprawiać.

3.6. Podsumowanie opinii

Wszyscy rozmówcy oceniali pozytywnie akustyczne walory części audytoryjnej sali, brzmienie muzyki w obszarze zajmowanym przez publiczność. Zwracali uwagę na klarowność i precyzję brzmienia, która wymusza szczególną dbałość o jakość gry i śpiewu. Opinii, że „sala nie jest łatwa”, „nie upiększa brzmienia” nie należy interpretować w przypadku tych wypowiedzi jako zarzutów, gdyż w większości towarzyszyło im stwierdzenie o zadowalającym brzmieniu dobrych, profesjonalnych wykonawczych. W jednym przypadku zastrzeżenia do charakteru brzmienia sali, która „nie powiększa i nie uprzedzienia” były powiązane z wielkimi rozmiarami aparatu wykonawczego i rodzajem muzyki prezentowanej na koncercie.

Ocena szeroko rozumianego komfortu wykonywania muzyki nie jest tak dobra jak ocena jej walorów akustycznych. Muzycy zwracają uwagę na niedogodności związane przede wszystkim z geometrią estrady, wymuszającą zbyt szerokie ustawienie zespołów wykonawczych. Rodzi to kłopoty we wzajemnym kontakcie skrajnie rozmieszczonych grup instrumentalnych i chóralskich i wymaga szczególnej uwagi dyrygenta. Podnoszone w niektórych wypowiedziach nadmiernie selektywne brzmienie orkiestry w miejscu dyrygenta jest przyjmowane ze zrozumieniem i równoważone przekonaniem, że wykreowana w tym miejscu równowaga i precyzja

wykonania jest bez zniekształceń przenoszona na widownię, gdzie obraz dźwiękowy zostaje scalony przez „dobry pogłos, bez zabarwień”.

4. OPINIE REŻYSERÓW DŹWIĘKU

4.1. Sposób opracowania opinii

Zebrano opinie 11 reżyserów dźwięku mających doświadczenie w nagrywaniu muzyki w Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej. Przeprowadzone wywiady odnoszą się do właściwości akustycznych sali wpływających na walory fonograficzne nagrań. Przedstawione poniżej wypowiedzi pogrupowane zostały według problemów poruszanych w trakcie wypowiedzi.

4.2. Przydatność sali jako studia nagraniowego

- Sala bardzo dobra [...] do nagrań. [...] można używać mikrofonów o charakterystyce kołowej nawet z dużego dystansu. Nawet na mikrofonach ustawionych w końcu sali (gdzie lepszy pogłos) bardzo wyraźnie obecny jest dźwięk bezpośredni. Obecność publiczności nie psuje tych właściwości sali, ujawniających się przy każdym składzie.
- Sala bardzo dobra do nagrań, jedna z najlepszych w Polsce.
- Generalnie – sala bardzo dobra.
- Łatwo ustawić dobre ujęcie mikrofonowe, ma duży zakres tolerancji ustawienia mikrofonów.
- Sala bardzo dobra, łatwo się w niej pracuje.
- Sala specyficzna, bardzo trudno osiągnąć w niej właściwą przestrzenność nagrania.
- Do nagrań instrumentów o małym wolumenie brzmienia sala trudna.

4.3. Preferowana wielkość i charakter zespołu wykonawczego

- Sala bardzo dobra dla małych składów, dla fortepianu jedyna, wybitna, za mała na duże składy.
- Sala raczej na małe składy.
- Nie wydaje się być dobra dla dużych składów. Orkiestra symfoniczna – może do beethovenowskiej; na pewno nie mahlerowska.
- Najlepsza dla składów kameralnych, fortepianu; orkiestrze symfonicznej przydałaby się większa przestrzeń.

- Sala znakomita dla nagrań fortepianu oraz fortepianu z orkiestrą. Łatwo uzyskać doskonałą stopliwość brzmienia fortepianu i orkiestry, co jest trudne do osiągnięcia w innych salach.
- Przy zastosowaniu dodatkowej powierzchni odbijającej za instrumentem w nagraniu fortepianu możliwe jest do osiągnięcia idealne, pełne i wyrównane brzmienie.
- Sala dobra dla dobrych pianistów (znakomite nagrania Jozsefa Örmény'ego).
- Dobry kontakt między sobą wykonawców na estradzie, dobrze się gra (dotyczy składów kameralnych).

4.4. Intymność brzmienia, poczucie obecności i czytelność źródeł dźwięku

- Dobra czytelność dźwięku, duży udział dźwięku bezpośredniego w całej sali.
- Przy orkiestrze – sala selektywna, [...] charakteryzuje ją czystość, selektywność i stabilność brzmienia. [...]

4.5. Barwa dźwięku w sali

- Można osiągnąć aksamitny, miękki dźwięk przy dobrych wykonawcach.
- Sala jest w brzmieniu „zdrowa i klarowna”.
- Ładnie brzmi.
- Raczej nie rozjaśnia brzmienia.
- Nie ma formantowości, brzmienie jest naturalne.

4.6. Cechy przestrzenne ujawniające się w trakcie nagrań

- Gładkie, płynne przejścia od bliższych do dalszych planów, co tę salę wyróżnia spośród innych. Nie ma zbyt wielu bliskich odbić, korzystnie w niej brzmią dalsze plany dźwiękowe, z ustawionych wyżej mikrofonów
- Bliskie ujęcia (mikrofonowe) brzmią troszkę płasko. Gdy się ustawi mikrofony dalej to sala bardzo dobrze współgra z wykonawcami – składami kameralnymi. Przy nagrywaniu orkiestry trzeba ustawić mikrofony znacznie wyżej żeby "wyzwolić" dźwięk.
- Na widowni, szczególnie przy obecności publiczności, przewaga dźwięku bezpośredniego.
- Słychać, że sala nie jest duża, przy nagrywaniu większych składów może to stanowić problem, szczególnie jeśli chce się osiągnąć zadowalającą przestrzenność brzmienia.

- Sala specyficzna, bardzo trudno jest w niej uzyskać odpowiednią przestrzenność brzmienia. Nie daje żywej odpowiedzi na dźwięk, bardzo trudno jest w niej zbudować głębię obrazu dźwiękowego. Występują problemy z osiągnięciem żywej przestrzeni, dystansu, zadowalającego planu ogólnego w nagraniu.
- Brakuje „powietrza”, „oddechu”, mało bliskich odbić. Trudno ją pobudzić – na przykład podczas nagrywania gitary klasycznej solo występują trudności z uzyskaniem właściwej przestrzenności obrazu dźwiękowego.

4.7. Pogłos

- Pierwsze wrażenie przy testowaniu klaskaniem jest przeciętne, ale sala pięknieje na muzyce. Pogłos niezbyt długi, nie koloryzuje, nie zamula, ograniczony częstotliwościowo od dołu i wyższej góry pasma, nie buczy i nie syczy, nie ma negatywnego wpływu na brzmienie muzyki [...] Nie ma miejsca na sali, w którym pogłos przeważałby nad dźwiękiem bezpośrednim.
- Pogłos nie za krótki, przyjemny.
- Ciepła, przyjemna przestrzeń (pogłos).
- Góra i dół (pasma częstotliwości) w pogłosie wytłumione.
- Przy mocniejszym pobudzeniu nagle pojawiają się opóźnione wydłużone wybrzmienia mocniejszych dźwięków, co paradoksalnie czasem polepsza ogólne wrażenie przestrzenności.

4.8. Zakłócenia, zniekształcenia i inne wady dźwięku

- Słaba izolacja od hałasów otoczenia; słychać np. sygnały karetek pogoń, przy dużym deszczu – szum kropel uderzających w dach.
- Przesłuchy z innych pomieszczeń; budynek prawdopodobnie osiadł – spore szczeliny w drzwiach, słabo izolowane pomieszczenia w otoczeniu sali.
- Słaba izolacja akustyczna od otoczenia.
- Skrzypiąca estrada.
- Flutter echo, ale nie przeszkadzające w nagraniach.
- Przy głośnych, wysokich dźwiękach sopranu słyszalne zniekształcenia powstające już w powietrzu na niektórych, określonych wysokościach dźwięku.
- Brak zaplecza (pomieszczenia) do nagrań.

4.9. Porównanie z innymi salami

- Rozmówczyni nie lubi zbyt krótkiego pogłosu; jakkolwiek w sali Filharmonii Pomorskiej pogłos uznaje za dobry. Do większych składów woli większy pogłos; taki odnajduje w Gorzowie Wielkopolskim, Kielcach oraz nowej Sali Koncertowej Akademii Muzycznej w Łodzi.
- Orkiestrze symfonicznej przydałaby się większa przestrzeń, taka jak na przykład w sali Filharmonii Narodowej.

4.10. Inne uwagi

- Dźwięk amplifikowany jest w tej sali bardzo plastyczny, zachowuje swoją wyraźną lokalizację, połączoną z ciekawym wrażeniem dyfuzyjności we wszystkich wymiarach. W zasadzie chyba najważniejsze jest spostrzeżenie, że wrażenie dobrej lokalizacji projekcji kwadrofonicznej dotyczy bardzo dużego obszaru widowni.
- Warto salę zachować w jej dotychczasowej formie.
- Koniecznie należy zachować walory akustyczne sali!

4.11. Podsumowanie opinii

Przeważająca większość opinii reżyserów dźwięku na temat brzmienia sali w nagraniach muzycznych jest pozytywna. Dostrzegana i doceniana jest łatwość uzyskania klarownego obrazu fonograficznego, szlachetna barwa pogłosu, dobra selektywność brzmienia instrumentów z jednoczesną stopliwością ich barwy. Wielu reżyserów podkreśla możliwość uzyskania w nagraniach znakomitego brzmienia fortepianu, szczególnie w przypadku wybitnych wykonawców. Wszyscy reżyserzy dźwięku wyrazili opinię, że pod względem fonograficznym rozmiary i akustyka sali najlepiej służą muzyce kameralnej. Z ich punktu widzenia sala jest za mała do nagrań wielkich składów symfonicznych. Sygnalizowane były przez część reżyserów trudności z uzyskaniem zadowalającej przestrzenności, oddalenia planów dźwiękowych nagrania, wiążące się zapewne z tą właściwością sali, która przejawia się w występującym na całym obszarze poczuciem bliskości instrumentów. W przypadku szczególnych dźwięków – głośniejszych dźwięków wysokiego sopranu oraz fletu w wysokim rejestrze – zauważano sporadyczne występowanie zniekształceń brzmienia już w sali, być może powodowanych flutter echem. Z innych niedogodności zwracano uwagę na niedostateczną izolację akustyczną sali od

zewnętrznych zakłóceń, pochodzących zarówno z innych pomieszczeń Filharmonii jak i z ulicy. W sali brakuje również zaplecza do nagrań fonograficznych.

Mimo tych krytycznych uwag, wszyscy reżyserzy dźwięku, którzy przedstawili swoje opinie, uważają, że ze względu na unikatowe właściwości akustyki sali, sprzyjające znakomitym nagraniom, zwłaszcza muzyki kameralnej i fortepianowej, należy ze szczególną troską zadbać o zachowanie jej walorów.

5. OPINIE CZŁONKÓW ZESPOŁU BADAWCZEGO, O JAKOŚCI DŹWIĘKU W SALI

5.1. Programy koncertów, na których przeprowadzono oceny

Siedmioro członków zespołu badawczego uczestniczyło w próbach oraz oceniało słuchowo obraz dźwiękowy w trakcie trzech koncertów symfonicznych o różnorodnym składzie wykonawczym. Na dwóch koncertach wykonywane były dzieła wokально-instrumentalne z dużą obsadą – wielka orkiestra symfoniczna, chór, soliści, organy, na jednym – koncert fortepianowy z orkiestrą. Na dwóch koncertach zaprezentowane zostały utwory na klasyczny skład orkiestry symfonicznej.

Wszyscy członkowie zespołu badawczego mieli wieloletnie doświadczenie, jako uczestnicy grup ocen słuchowych. O opinie poproszono również czworo nauczycieli akademickich Akademii Muzycznej im. Feliksa Nowowiejskiego w Bydgoszczy oraz jednego studenta tej uczelni, od wielu lat regularnie słuchających koncertów w sali Filharmonii Pomorskiej. Opinie zostały pogrupowane zgodnie z omawianymi przez słuchaczy właściwościami akustyki sali. W niektórych przypadkach podzielono je dodatkowo na spostrzeżenia związane z danym koncertem i na stwierdzenia ogólne.

Daty i programy koncertów, na których prowadzono oceny:

6 października 2017

- Franz Schubert *VIII Symfonia h-moll* (D759),
- Olexandr Rodin *Siedem słów Chrystusa na krzyżu*,
- Siergiej Rachmaninow *Dzwony* op. 35

skład orkiestry: 3 fl+fl piccolo; 3 ob +cor ing; 4 cl, 3 fg+cfg; 6 cor; 3 tr; 3 trb; 1 tb; timp; perc+camp; 1 harp; 1 cel; 1 pf; organy; 14 vno I; 12 vno II; 9 vla; 9 cello; 5 cb;

chór: 18 S; 15 T; 18 A; 17 B;

soliści: sopran; tenor; baryton;

26 października 2017

- Wolfgang Amadeus Mozart *Requiem d-moll* (KV 626)

skład orkiestry: 2 cl; 2 fg; 2 tb; 3 tbn; timp; organy; 11 vno I; 10 vno II; 9 vla;
9 cello; 5 cb;

chór: 26 S; 24 A; 13 T; 25 B.

solści: sopran; mezzosopran; tenor; bas;

17 listopada 2017

- Wolfgang Amadeus Mozart: Uwertura do opery *Czarodziejski flet*
- Joseph Haydn: *Symfonia Es-dur* nr 99,
- Johannes Brahms: I *Koncert fortepianowy d-moll* op. 15

skład orkiestry: 2 fl; 2 ob; 2 cl, 2 fg; 2 (4) cor; 2 tr; timp; 10 (12) vno I; 8 (10) vno II; 7 (9) vla; 5 (9) cello; 4 (5) cb; (w nawiasach – powiększony skład do koncertu Brahmsa);

instrument solowy – fortepian

5.2. Intymność, poczucie obecności źródeł dźwięku, czytelność brzmienia

- Sala daje wrażenie intymnego kontaktu z wykonawcą.
- Sala ma intymny charakter oraz zapewnia dużą czytelność dźwięku.
- Bardzo dobra czytelność, selektywność i wyrazistość artykulacji dźwięku.
- Dźwięk selektywny, czytelny.
- Wrażenie bliskości źródeł dźwięku, nawet w najdalszych rzędach widowni.
- Duża precyzja i selektywność brzmienia. Ładna stopliwość smyczków.
- Dźwięk ciepły, bliski, bardzo przyjemnie rozproszony w sposób, który nie pozbawia go czytelności i wrażenia bezpośredniego kontaktu.
- Sala daje wrażenie intymnego kontaktu z wykonawcą a jednocześnie, gdzieś za słuchającym, uruchamia się bardzo subtelna przestrzeń.
- Sala pomaga zatrzeć ewentualne braki wykonawcze, zwłaszcza w utworach współczesnych.

5.3. Barwa dźwięku

Opinie ogólne

- Zachowana jest równomierność pasm częstotliwości dźwięku przy mniejszych i większych składach muzycznych, od solistów po orkiestrę symfoniczną.

Nie ma dominującego pasma, za wyjątkiem sporadycznego wzbudzania się dźwięku w paśmie najwyższych częstotliwości, na przykład w wysokich partiach fletu.

- Wyrównana barwa dźwięku na całej widowni.
- Wszędzie słyszeć bardzo podobnie. Dźwięk wszędzie dochodzi, żadna grupa instrumentów nie niknie.
- Dźwięk jasny i klarowny (to co inni nazwali brakiem dołów)[...] nie nazwałabym go „ciepłym”.
- W każdym miejscu sali skład brzmi podobnie, może czasami giną basy.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Słyszeć pełne pasmo. [...] W utworze Rachmaninowa [...] zdarzyło się, że w najgłośniejszych fragmentach tutti dźwięk kumulował się w środkowym paśmie, a całość zagłuszała nawet organy.
- W odniesieniu do wszystkich utworów momentami spadał odbiór wiolonczeli, w zasadzie całej sekcji, słuchanej z miejsca po prawej stronie na widowni, do którego cała sekcja ustawiona jest bokiem. Kontrabasy słyszalne były w optymalnej proporcji, praktycznie we wszystkich stopniach muzycznej skali dynamiki.

Koncert w dniu 26.10.2017

- W miejscu słuchania (kilka rzędów od tylnej ściany, w środku lewej połowy centralnej części widowni) dominujące, nieprzyjemne brzmienie sopranów, niedostatek głosów niższych, szczególnie dotkliwy brak basów (po wykonaniu *Requiem* Mozarta, w dniu 26.10.2017 r.).

5.4. Dynamika muzyczna

- Obszerna dynamika – od przejrzystego i czytelnego pianissimo po fortissimo, które jedynie momentami wydaje się być ograniczone, "zbyt małe".
- Przy małych zespołach i solistach możemy bez problemu słyszeć partii piano oraz liczyć na dużą rozpiętość dynamiczną, nie tracąc na czytelności.
- Dobrze brzmiące różnice dynamiczne w orkiestrze o klasycznym składzie, piękne piano, przy forte, choć mieszczącym się w sali, można odczuć

niedobór przestrzenności, objętości dźwięku, szczególnie przy sali wypełnionej publicznością.

- Czytelne były piana. Nigdzie też dźwięku nie było za dużo, nie był za głośny, męczący czy przytłaczający (opinia po próbie 6.10.2017, słuchanej z wielu miejsc na widowni).
- Sala bardzo dobrze brzmi w dynamice piano, myślę, że to jej najmocniejsza strona (równomierne piano w całej sali).

5.5. Pogłos

- Instrumenty orkiestry wybrzmiewają z pięknym, naturalnym pogłosem.
- Czasem słyszeć rezonans – wybrzmienie akordu forte.
- Wybrzmienie sali bardzo dobre, dźwięk się nie urywa.
- Pogłos sali sprzyja klarowności, nie odczuwa się jej odbić w sposób impulsowy. Jest on miękki i pełni rolę podobną do fortepianowego pedału sostenuto, wydłużając dźwięk przy nieznacznej zmianie ataku dźwięku.
- Sala o ładnej, dość jasnej, łagodnej barwie niezbyt długiego pogłosu. Przy mocniejszym pobudzeniu (duży skład, *ff*) w pauzach generalnych pojawia się zaskakująco długi „ogon” wybrzmienia.
- Czasami chciałoby się, by dźwięk dłużej wybrzmiewał.
- Przeszkadza mi "ogon" uciekający pod sufitem, zwłaszcza, że słabo łączy się z dźwiękiem bezpośrednim – ma w sobie coś metalowego, jest na tyle później po dźwięku, że nie można go traktować jak wybrzmienia.
- Słyszeć wyraźny, długo brzmiący ogon pogłosowy rozchodzący się po bokach. Selektywna i jasna przestrzeń pogłosowa.

5.6. Wielkość zespołu wykonawczego

Opinie ogólne

- Sala bardzo dobrze mieszcząca dźwięk dużego zespołu, forte nie przytłacza, nie męczy.
- Sala brzmi bardzo dobrze przy zespołach o różnej wielkości.
- Osobiście najbardziej lubię koncerty kameralne, typu kwartet smyczkowy i lokalizację w piątym-szóstym rzędzie na środku.
- Zawsze brzmi bardzo dobrze, również podczas recitali.

- Przy największych zespołach, jak orkiestry z chórem, można odczuć niedosyt potężnego brzmienia dużej Sali Koncertowej.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Ładne brzmienie orkiestry kameralnej. Większy skład symfoniczny zatyka salę.
- Wykonanie na próbie orkiestry w niewielkim składzie brzmi jak dobre nagranie.
- Niewystarczająca moc chóru – może to być wina liczby muzyków na scenie.
- W utworze Rachmaninowa praktycznie cały aparat wykonawczy zmieścił się w sali, niewiele było fragmentów forte, które „krzyczały”.

Koncert w dniu 26.10.2017

- Sala robiła na tym koncercie wrażenie bardzo przeciętnej. Brzmienie dużego zespołu wykonawczego płaskie.
- Skład z *Requiem* na pewno był za duży na tę salę, w muzyce kameralnej sala brzmi o wiele lepiej.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Siedziałem na osi sali w siódmym rzędzie. Do brzmienia dźwięku w uwerturze Mozarta i Symfonii Haydna nie mam żadnych zastrzeżeń. W koncercie Brahmsa orkiestra również brzmiała bardzo dobrze, dźwięk był czytelny i nasycony.

5.7. Lokalizacja źródeł dźwięku

Opinie ogólne

- Dobra lokalizacja poszczególnych instrumentów w panoramie, czytelne plany dźwiękowe (odległości), a jednocześnie spójna całość.
- Położenie źródła dźwięku jest stosunkowo łatwe do rozpoznania dla słuchacza. Również przy dużych zespołach orkiestrowych poszczególne instrumenty są wyraźnie usytuowane w panoramie.
- Bardzo dobra lokalizacja źródeł (instrumentów) na estradzie, praktycznie z każdego miejsca na widowni.
- Bardzo dobra lokalizacja instrumentów.

- Odbiór muzyki jest bardzo dobry, właściwie z każdego miejsca widowni.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Kłopoty z lokalizowaniem dźwięków fortepianu; słyszalna szerokość fortepianu monstrualnie przerastała rzeczywiste i estetycznie uzasadnione rozmiary tego instrumentu.

5.8. Słyszalność i brzmienie dźwięku solistów

Opinie ogólne

- W koncertach fortepianowych zdarzało się, że fortepian nie przebijał się przez orkiestrę.
- Dobrze postawiony głos, na przykład Aleksandry Kurzak, porusza całą salę. Dźwięk w sali ma znakomitą nośność.
- Przy problemach wykonawczych zdarza się gorsza słyszalność nawet około 10. rzędu. Problemy ze słyszalnością na widowni dotyczą nawet pianistów.
- Doświadczenie słuchania fortepianu solo ze środka sali, miejsca, gdzie siedzi jury (konkursu Rubinsteina), miałem negatywne. Przede wszystkim przeszkadzało mi wielkie nieuporządkowanie, przypadkowe wymieszanie i brak wyrównania zarówno barwowego jak i przestrzennego rejestrów instrumentu.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Problem ze śpiewakami, przede wszystkim z tenorem – dźwięk ginął w orkiestrze. [...]sopranistka jakoś się broniła, najlepsze wrażenie robił bas.
- Nierówna słyszalność solistów-wokalistów.
- Z głosów solowych sopran najbardziej transparenty. Partia harfy, oboju bardzo dobrze słyszalna, czytelna.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Niedobre brzmienie fortepianu, brak lokalizacji, czytelności i wyrównania rejestrów, zbyt wielkie rozmiary słyszalnego źródła, generalny „bałagan” w obrazie dźwiękowym solowego instrumentu (rzqd 18, miejsce 18).

- Mam zastrzeżenia w odniesieniu do brzmienia fortepianu – dźwięk był cienki, za mało nasycony, zwłaszcza w I części *Koncertu*. Trudno jest jednoznacznie stwierdzić, w jakim stopniu przyczyniła się do tego sala, a w jakim stopniu była to wina pianistki [...] nie miałem kłopotu z lokalizacją (fortepianu), fortepian był dość szeroki, co w koncercie Brahmsa może być zaletą, ale zdecydowanie brakowało nasycenia dźwięku i mocniejszego oparcia (rzęd 7, miejsce 18).
- Fortepian brzmi w tej sali źle gdy jest ustawiony przy krawędzi estrady, tak jak ma to miejsce w koncertach fortepianowych. [...] kłopoty z lokalizowaniem dźwięków fortepianu (rzęd 14, miejsce 8).

5.9. Przestrzenność i głębia obrazu dźwiękowego

Koncert w dniu 6.10.2017

- Chór był bardzo czytelny, wszystkie głosy znakomicie słyszalne, a jednocześnie wiadomo było, że stoi za orkiestrą.[...] plany orkiestry (ustawienie instrumentów w głębi estrady) też były czytelne.
- Instrumenty dęte wyraźnie słyszalne w bliskim planie.
- Sala sprawia wrażenie bardzo otwartej, pełnej brzmieniowo.

Koncert w dniu 26.10.2017

- Rozczarowanie płaskością i brakiem przestrzenności brzmienia zespołów.
- Niedostatek głębi i perspektywy obrazu dźwiękowego,

5.10. Zakłócenia i inne wady dźwięku

- Intymność sali niesie ze sobą zbyt dobrą słyszalność publiczności, co w przypadku niezachowywania ciszy przez słuchaczy potęguje rozproszenie innych.
- Bardzo duże przesłuchy z innych pomieszczeń Filharmonii, w tym z garderób i Sali Kameralnej.
- Słyszalne dźwięki z zewnątrz – absolutne kuriozum.
- Przesłuchy z innych sal.

5.11. Porównanie z innymi salami koncertowymi

Sala Filharmonii Pomorskiej jest na pewno lepsza niż w Gdańsku, nie gorsza od sali NOSPR, a nawet sali Gewandhaus w Lipsku, może nie tak dobra jak Barbican w Londynie.

5.12. Podsumowanie opinii

Opinie słuchaczy dzielą się wyraźnie na dwie grupy. Pierwsza z nich zawiera stwierdzenia natury ogólnej, odnoszące się do całokształtu doświadczeń słuchowych w sali. Są one pozytywne, często podkreślające cechy wyróżniające Salę Koncertową Filharmonii Pomorskiej: dobrą czytelność, selektywność i wyrazistość artykulacji dźwięku, intymność brzmienia, precyzyjną lokalizację instrumentów na estradzie i ich wyrównaną barwę odbierane z każdego miejsca na widowni, dobrze brzmiące różnice dynamiczne w zespołach o nie za dużym składzie.

Druga grupa wypowiedzi odnosi się do wrażeń z poszczególnych koncertów i tu opinie są bardziej podzielone. Powszechnie, jako dobrze brzmiące ocenione zostały utwory wykonywane przez klasyczną orkiestrę symfoniczną w umiarkowanej obsadzie (symfonie Schuberta i Haydna, uwertura Mozarta). Zastrzeżenia, choć niejednogłośne, dotyczyły wielkiego składu w *Dzwonach* Rachmaninowa. Dla jednych słuchaczy sala była zbyt mała dla tego utworu, dostrzegali niedostatek potęgi brzmienia i kłopoty ze słyszalnością solistów. Dla innych generalna czytelność i zachowanie proporcji brzmienia równoważyły poczucie niedopasowania aparatu wykonawczego do rozmiarów sali. Niewątpliwie miał na to wpływ wysoki poziom profesjonalny wykonania dzieła. Wykonanie *Requiem* Mozarta, bardziej spontaniczne, z udziałem chóru amatorskiego, wzbudziło więcej uwag krytycznych, ujawniło bowiem zarówno niedostatki wykonania, jak i brak przestrzennego wsparcia ze strony sali, tendencje do spłaszczania obrazu dźwiękowego i uwypuklania nierównomierności czasowych i barwowych, na przykład niezadowalającą słyszalność głosów basowych.

Opinie na temat słyszalności solistów sformułowane po koncertach wskazują, że sala nie jest dla nich łatwa. Od śpiewaków wymaga nie tylko nośnego głosu, ale i dużych umiejętności, gdyż sala nie maskuje niedoskonałości wykonania.

Szczególnie dużo krytycznych opinii odnosi się do brzmienia fortepianu, zarówno w wypowiedziach ogólnych, jak i dotyczących koncertu Brahmsa. Część z tych

zastrzeżeń, odnoszących się do barwy i wolumenu brzmienia można łączyć z cechami konkretnego egzemplarza instrumentu oraz charakterem dźwięku pianistki, inne zaś dotyczące czytelności, przestrzenności i adekwatnej wielkości słyszalnego źródła dźwięku, niewątpliwie zależą od akustyki sali. Jak wynika z przytoczonych wypowiedzi, jest ona zdecydowanie niekorzystna dla instrumentu ustawionego blisko brzegu estrady. Być może ogólnie jasny pogłos, niewspierający dźwięku w paśmie niższych częstotliwości, ma również wpływ na odbiór utworów wymagających pełni i potęgi brzmienia fortepianu, zaś rozkład odbić powoduje niekorzystne rozmycie przestrzenne dźwięku.

W opiniach natury ogólnej większość wypowiedzających się dobrze ocenia brzmienie pogłosu. Niektórych niepokoi dodatkowe, długie wybrzmienie wyraziście pojawiające się po głośnych dźwiękach, inni uznają to za zaletę. Członkowie grupy badawczej uważają to zjawisko za element, który należy potraktować bardzo uważnie, gdyż zapewne jego przyczyną jest nieszczelność akustyczna sali, która może mieć wpływ na całokształt obrazu dźwiękowego. Brak właściwej izolacji akustycznej dostrzegany jest także w wypowiedziach na temat licznych zakłóceń akustycznych, pochodzących z zewnątrz sali, słyszanych również w trakcie koncertów.

Na zakończenie należy podkreślić, że mimo zgłaszanych szczegółowych zastrzeżeń, wszyscy eksperci, którzy dokonywali oceny ogólnej są zgodni, że Sala Koncertowa Filharmonii Pomorskiej ma bardzo wyraziste i charakterystyczne brzmienie, którego walory powinno się zachować. Tym bardziej, że są one doceniane w środowisku muzycznym.

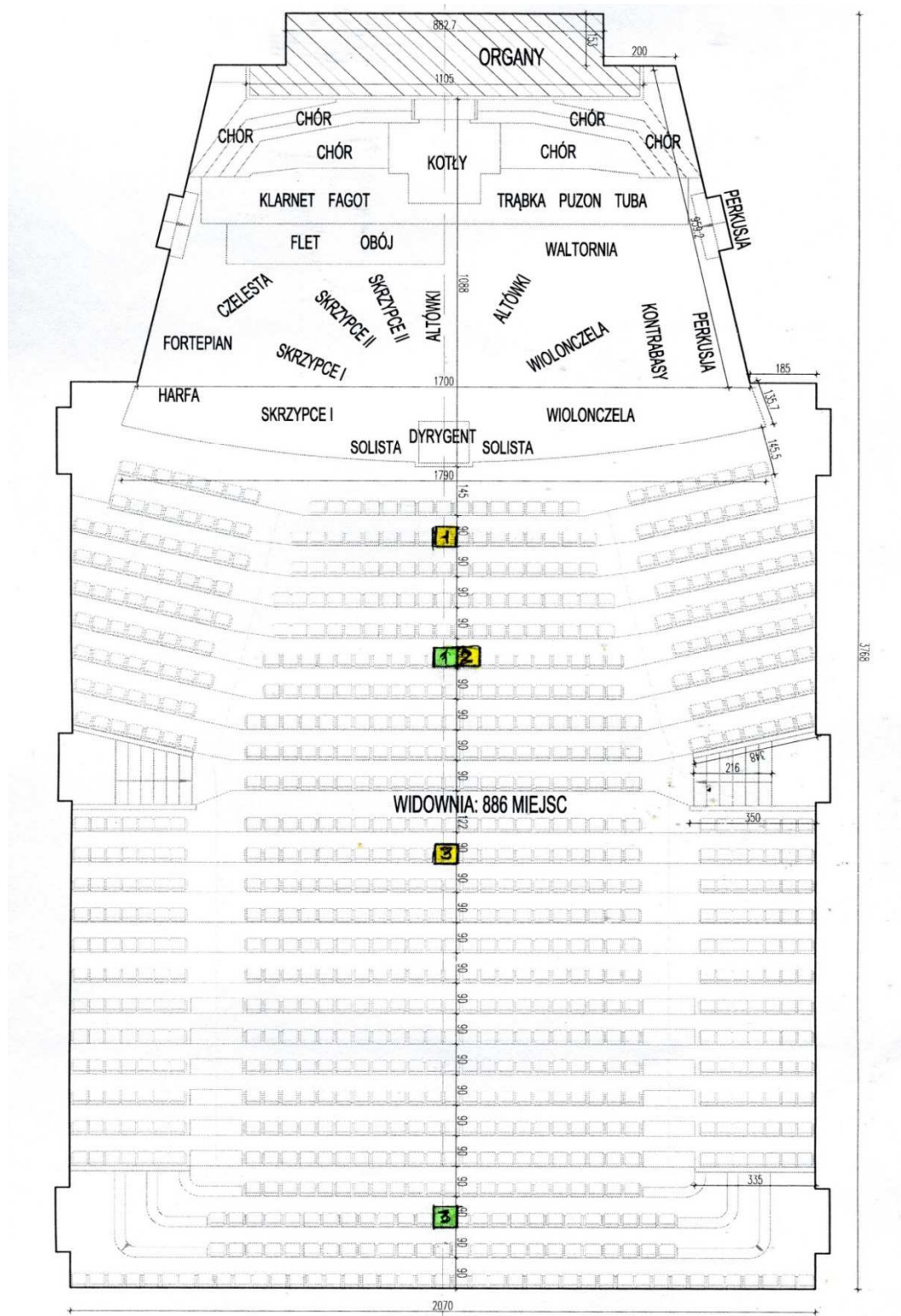
6. Nagrania prób i koncertów

W celu udokumentowania brzmienia utworów muzycznych w badanej sali dokonano nagrań prób i koncertów w dniach 6 i 26 października 2017 r. oraz koncertu 17 listopada 2017 roku. Repertuar i skład zespołów wykonawczych podano w punkcie 5 niniejszego opracowania. Nagrań dokonywano techniką sztucznej głowy, z wykorzystaniem dwóch różnych systemów nagraniowych: systemu mikrofonowego Neumann KU100 oraz pomiarowego symulatora głowy i tułowia Brüel & Kjaer 4100-D. Taki sposób ujęcia mikrofonowego jest najbliższy mechanizmom ludzkiego słyszenia, zaś umieszczenie mikrofonów w stabilnej obudowie, odwzorowującej kształt ludzkiej głowy ułatwia kontrolę i powtarzalność warunków nagrania. Dokonywane w trakcie nagrań porównania dźwięku słyszanego bezpośrednio w sali oraz dźwięku rejestrowanego za pomocą opisanych urządzeń potwierdziły słuszność obranej metody. Należy zatem uznać, że odsłuchiwane we właściwy sposób, za pomocą słuchawek, nagrania wiernie oddają wrażeniowe cechy obrazu dźwiękowego produkcji muzycznych w badanej sali.

Sygnały foniczne uzyskane ze sztucznej głowy firmy Neumann były zapisywane cyfrowo na rejestratorze Sound Devices 744T, przy użyciu jego wewnętrznych przedwzmacniaczy oraz wewnętrznego dysku twardego. Zastosowano zapis bez kompresji danych w formacie PCM, z rozdzielczością 24 bitów, z częstotliwością próbkowania 48 kHz (na koncercie 6 października) oraz 96 kHz (17 listopada).

System Brüel & Kjaer rejestrował dźwięk we własnym formacie PFI zawierającym również informacje o typie zastosowanych mikrofonów oraz ich kalibracji. Sztuczne głowy umieszczane były na wybranych miejscach widowni, wśród publiczności. Na załączonym planie sali zaznaczono te miejsca.

Dołączony do niniejszego opracowania nośnik pamięci zawiera cyfrowe kopie nagrań wszystkich koncertów w oryginalnych formatach zapisu. Rejestrują one obecne brzmienie sali, stanowiąc materiał dopełniający dokumentację akustyczną. Zawarte w nich dane mogą posłużyć w przyszłości do porównania i oceny słuchowej ewentualnych zmian akustyki, jakie mogą zaistnieć po przeprowadzeniu prac remontowo-modernizacyjnych.



Rys. I.2.8. Szkic Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej z zaznaczonymi miejscami, w których ustawiono sztuczne głowy podczas nagrań koncertów.

06.10.2017 **1.** B&K 4100-D – rzqd 1 m. 16P; **1.** Neumann KU100 – rzqd 5 m. 18L

26.10.2017 **2.** B&K 4100-D – rzqd 5 m. 18P

17.11.2017 **3.** B&K 4100-D – rzqd 11 m. 18L; **3.** Neumann KU100 – rzqd 23 m.

CZĘŚĆ II – POMIARY AKUSTYKI SAL

1. Cel pomiarów

Celem pomiarów było uzyskanie szczegółowych danych o parametrach akustycznych Sali Koncertowej, przy dwóch aranżacjach widowni i estrady:

- w sali zapelnionej przez publiczność i orkiestrę,
- przy pustej estradzie i widowni.

Pomiary Sali Koncertowej z publicznością przeprowadzono dwukrotnie, w obecności pełnego składu orkiestry (80 muzyków i 60 osobowy chór) i pełnej widowni (900 słuchaczy).

Pomiary pustej Sali Koncertowej przeprowadzono czterokrotnie, w różnych terminach w październiku i listopadzie 2017 r. Pomiary akustyczne Sali Kameralnej wykonano przy pustej estradzie i widowni.

2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne

W zakres pomiarów wchodziło wyznaczenie następujących parametrów i wskaźników akustycznych sal:

a. Sala Koncertowa:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- siła dźwięku G,
- czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- wskaźniki wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late},
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- współczynnik korelacji międzyuszej IACC,
- wskaźniki przestrzenności dźwięku: LEV (Listener Envelopment) i DSB (Degree of Source Broadening),
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer i w Sali Kameralnej.

b. Sala Kameralna:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer Sali Kameralnej.

W czasie pomiarów bez publiczności w salach utrzymywała się temperatura 23° i wilgotność względna powietrza 40%.

3. Metodyka pomiarów

3.1. Dokumenty normalizacyjne

Pomiary właściwości akustycznych wykonano zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 3382-1:2009 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: pomieszczenia specjalne”. Wybór procedury pomiarowej - według wytycznych normy PN-EN ISO 18233: 2006 „Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń”. Przy pomiarach izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami zastosowano wytyczne normy PN-EN ISO 717-1:2013 „Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych”.

3.2. Procedura pomiaru parametrów i wskaźników akustycznych

Procedura pomiarów polegała na cyfrowej rejestracji odpowiedzi impulsowych a następnie obliczeniu wartości poszczególnych parametrów i wskaźników akustycznych sali. Odpowiedzi impulsowe uzyskiwano przez przetworzenie pomiarowego sygnału sinusoidalnego o zmiennej częstotliwości (sine sweep), który był odtwarzany w sali przez dwunastościenny zestaw głośnikowy dużej mocy, jak to opisano w PN-EN ISO 18233: 2006.

3.3. Punkty pomiarowe

Pomiary akustyczne sali z orkiestrą i publicznością wykonano w dwóch punktach na estradzie oraz w ośmiu równomiernie rozmieszczonych punktach na widowni, przy jednej pozycji źródła dźwięku w centralnej części estrady.

Przy pomiarach w sali pustej, źródło dźwięku ustawiano w kilku pozycjach na estradzie. Do każdej pozycji źródła dźwięku mikrofony pomiarowe ustawiano w 10 punktach na widowni i w 4 – 6 punktach na estradzie.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz źródła dźwięku pokazano na rzutach sali.

3.4. Pomiary binauralne

Zastosowana metodyka pomiarów binauralnych jest rozwinięciem metody opisanej w PN-EN ISO 3382-1. Celem tych pomiarów było wyznaczenie wskaźników akustycznych LEV i DSB, które są miarą wrażenia przestrzenności dźwięku odbieranego przez słuchaczy i mają zastosowanie do porównawczej oceny jakości akustycznej sal koncertowych (L. Beranek, JASA 2011).

Do pomiarów binauralnych zastosowano sztuczną głowę KU100 Neumann, z mikrofonami umieszczonymi na wejściach do kanału usznego ucha lewego i prawego. Za pomocą tych mikrofonów rejestrowano odpowiedzi impulsowe, jednocześnie w obu kanałach usznych, w 10 kolejnych pozycjach na widowni.

Mierzonymi binauralnymi parametrami były współczynniki korelacji międzyuszej $IACC_{Early [0,80]}$ (okienko czasowe odpowiedzi impulsowej 0-80 ms) i $IACC_{Late [80,+]}$ ($IACC$ obliczone z przebiegu odpowiedzi impulsowej po 80 ms) oraz siła dźwięku G , dB, charakteryzująca wrażenie głośności muzyki docierającej do słuchaczy. Podobnie jak w odniesieniu do $IACC$, siła dźwięku G obliczana była w dwóch przedziałach czasu trwania odpowiedzi impulsowej, w celu oszacowania wczesnej siły dźwięku $G_{Early [0,80]}$ i późnej $G_{Late [80,+]}$.

Wskaźniki przestrzenności dźwięku LEV i DSB obliczane były z poniższych wzorów:

- miara wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment):

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{mid} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{mid})$$

oraz

- ocena stopnia zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening):

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

3.5. Pomiar wskaźników wspomagania akustycznego estrady

Zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 3382, pomiary wskaźników wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late} należy wykonywać w pustej sali. Przyjęto trzy ustawienia źródła dźwięku testowego na estradzie i 3 x 2 punkty mikrofonowe, usytuowane w odległości 1 m od źródła dźwięku. Dane wyjściowe zawierają charakterystyki parametrów akustycznych ST_{early} i ST_{late} w 4 pasmach oktaowych 250 – 2000 Hz.

3.6. Pomiary izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami

Sygnałem testowym podczas pomiarów izolacyjności akustycznej był szum różowy. Źródło dźwięku ustawiano w trzech kolejnych pozycjach w pomieszczeniu nadawczym – w foyer i w Sali Kameralnej. Pomiar polegał na rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych, z zakresu częstotliwości 50 – 5000 Hz, w trzech punktach w pomieszczeniu nadawczym i w pięciu punktach w pomieszczeniu odbiorczym. Izolacyjność określono według wytycznych PN-EN ISO 717-1:2013, za pomocą jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $D_{nT,w}$, dB. Do pomiaru poziomów ciśnienia akustycznego zastosowano precyzyjny miernik poziomu dźwięku Brüel and Kjaer 2250 umożliwiający m. in. pomiar poziomu dźwięku A oraz analizę widmową ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych i oktaowych.

3.7. Aparatura pomiarowa

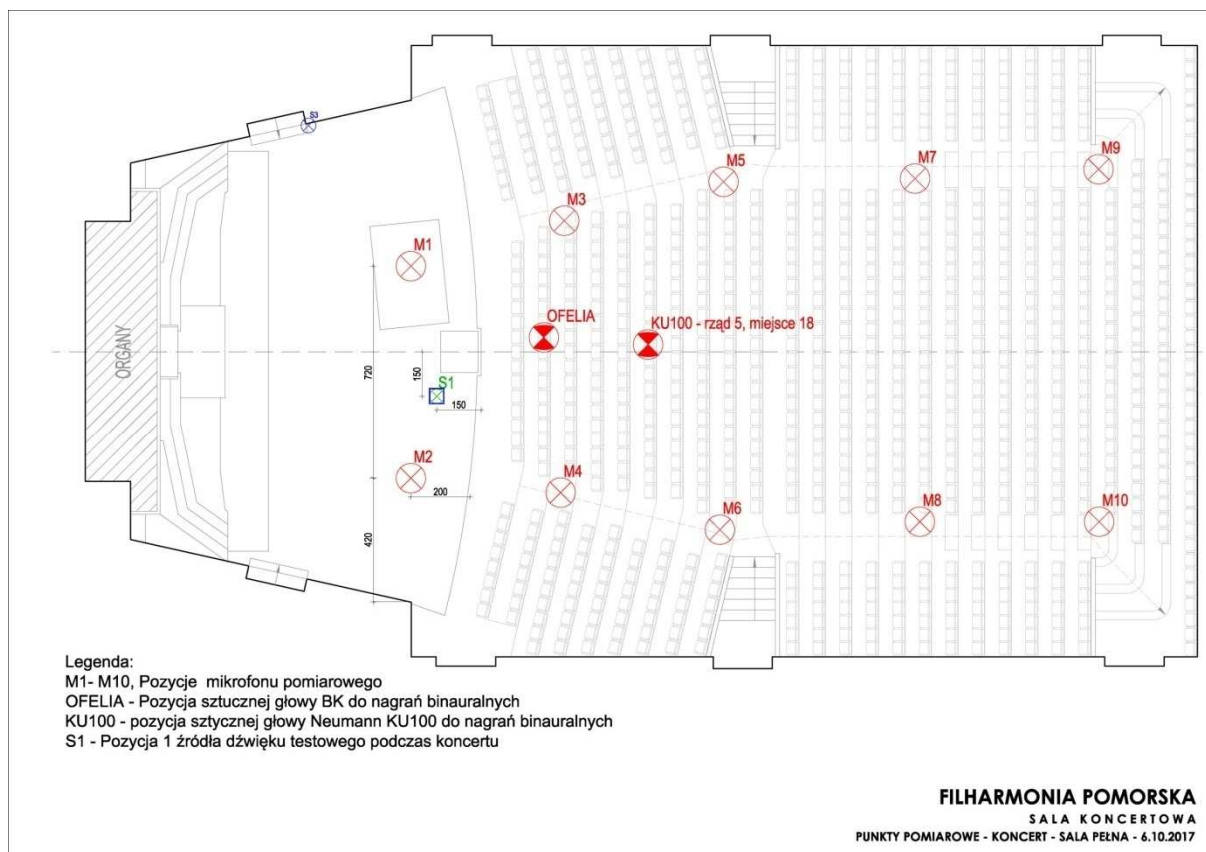
Zestaw pomiarowy zawierał następujące urządzenia:

- źródło dźwięku dodecahedron Brüel and Kjaer 4292-L,
- wzmacniacz mocy Brüel and Kjaer 2734_A,
- komputer notebook Dell XPS M1330,
- interfejs komputerowy z przedwzmacniaczem mikrofonowym RME Fireface UC,
- para pojemnościowych mikrofonów pomiarowych Microtech Gefell MK250,
- program do pomiarów akustycznych DIRAC - Room Acoustic Software 7841, v 6,
- precyzyjny miernik poziomu dźwięku Brüel and Kjaer 2250.

4. Wyniki pomiarów

4.1. Pomiary akustyczne Sali Koncertowej wypełnionej przez publiczność i orkiestrę

4.1.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



Rys. II.4.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych podczas pomiarów akustycznych Sali Koncertowej z orkiestrą i publicznością

4.1.2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

- Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- Czas wczesnego zaniku EDT,
- Czas pogłosu T30,
- Wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- Wskaźnik czytelności dźwięku C80,
- Wskaźnik zrozumiałości mowy STI.

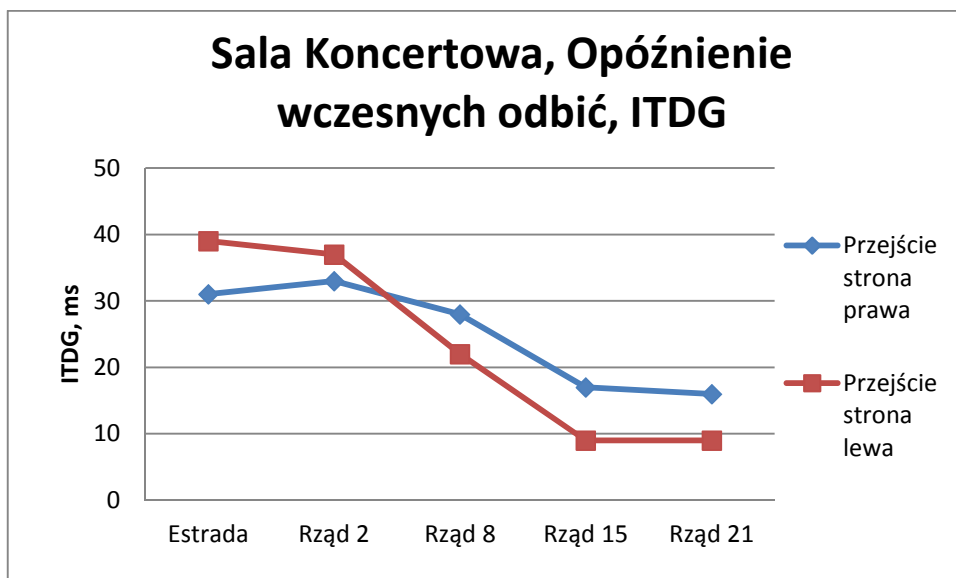
4.1.3. Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

Rysunki echogramów Sali Koncertowej zestawione są w załączniku nr 1. Z przebiegu echogramów oszacowano czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG, których amplituda przewyższała poziom -15 dB względem składowej bezpośredniej.

Wynik oszacowania czasu ITDG podano w tabeli II.4.1. oraz zilustrowano na wykresie, rys. II 4.2.

Tabela II 4.1. Czas opóźnienia wczesnych odbić dźwięku ITDG na estradzie i widowni

P. Pomiaru	ITDG Strona prawa	ITDG, strona lewa
Estrada	31	39
Rząd 2	33	37
Rząd 8	28	22
Rząd 15	17	9
Rząd 21	16	9



Rys. II.4.2. Zależność opóźnień wczesnych odbić dźwięku ITDG od odległości między źródłem dźwięku na estradzie i miejscem pomiaru na estradzie i widowni. Wykres pokazuje, że opóźnienie dźwięku stosunkowo szybciej zmniejsza się pomiędzy drugim i ósmym rzędem siedzisk

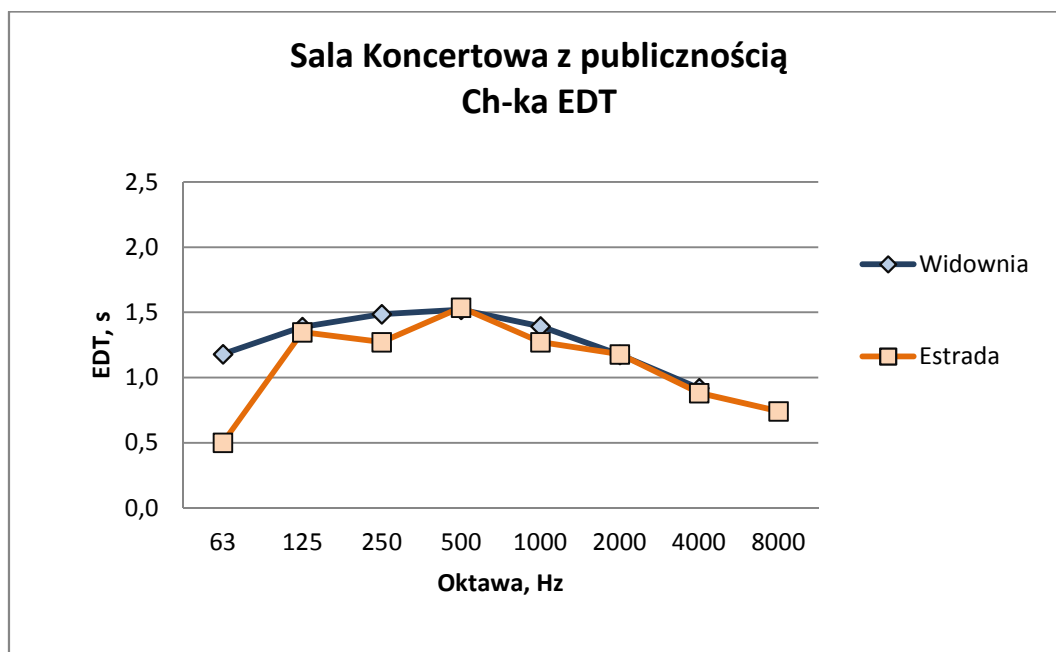
4.1.4. . Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II 4.2. podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II 4.2. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni, w Sali Koncertowej wypełnionej publicznością i orkiestrą

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT, estrada, s	0.50	1.35	1.27	1.54	1.27	1.18	0.88	0.74
EDT widownia, s	1.01	1.18	1.39	1.49	1.52	1.39	1.17	0.92

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT - rys. II. 4.3.

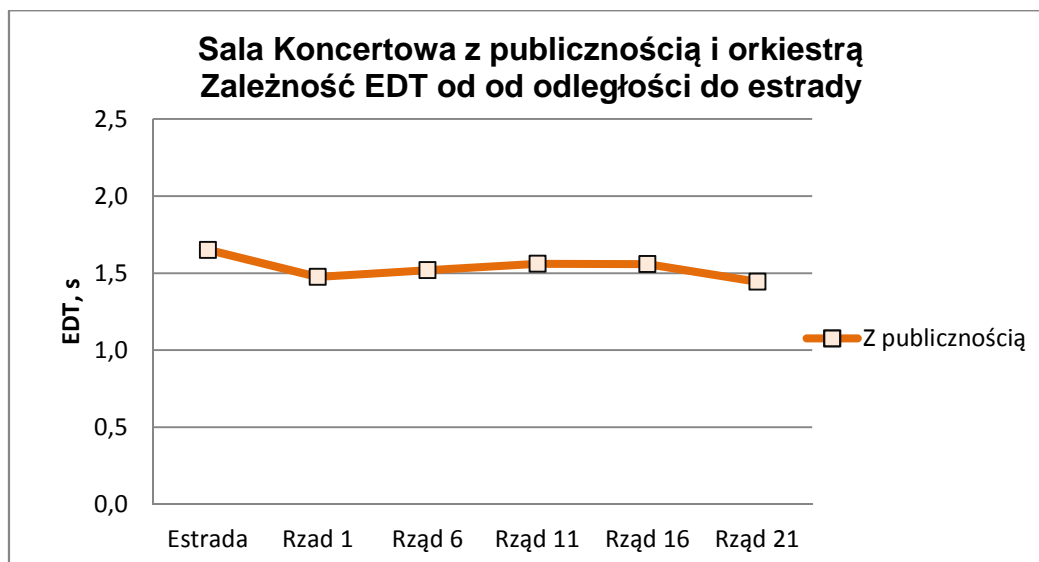


Rys. II.4.3. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT na widowni i estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 1.5 s i na estradzie 1.4 s (średnia z okta 500 – 1000 Hz).

Tabela II.4.3 i rys. II.4.4 przedstawiają zmiany wartości czasu wczesnego zaniku EDT na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość EDT jest średnią z pasm oktaowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.3. Zależność czasu wczesnego zaniku dźwięku $EDT_{500-1000}$ od odległości do estrady w sali publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
EDT, s, z publ.	1.65	1.48	1.52	1.56	1.56	1.44



Rys. II.4.4. Zmiany czasu wczesnego zaniku $EDT_{500-1000}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian EDT na widowni wynosi około 8%. Próg spostrzegania zmian czasu EDT wynosi 5%.

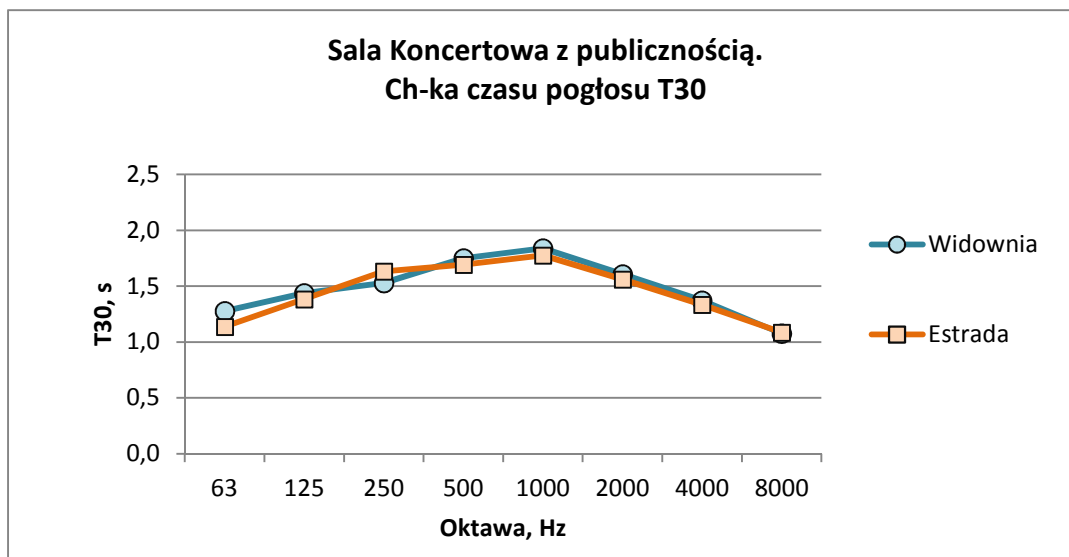
4.1.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T_{30} w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.4 podano średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla widowni i estrady obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.4. Średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{30} , estrada, s	1.14	1.38	1.63	1.69	1.78	1.56	1.34	1.08
T_{30} widownia, s	1.28	1.44	1.53	1.75	1.84	1.61	1.37	1.08

Wykres charakterystyk częstotliwościowych T_{30} - rys. II. 4.5.



Rys. II.4.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie w oktawach 63 Hz – 8 kHz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Czas pogłosu na widowni wynosi 1.80 s i na estradzie 1.74 s (średnia z oktafów 500 – 1000 Hz).

Z charakterystyki częstotliwościowej czasu pogłosu można obliczyć wartość wskaźnika określanego jako ciepło brzmienia BR (Bass Ratio).

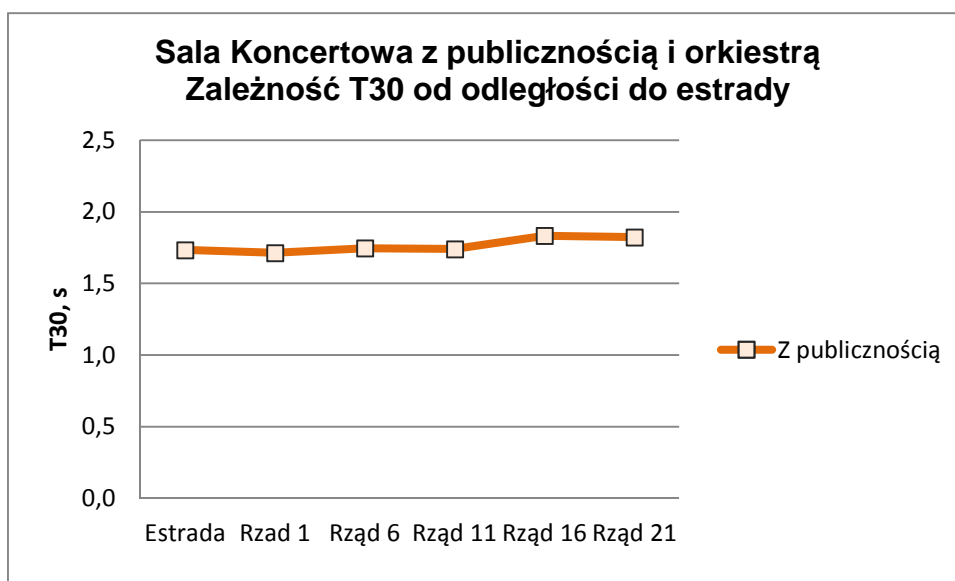
$$BR = (T_{125} + T_{250}) / (T_{500} + T_{1000});$$

Po podstawieniu danych z pomiarów, wskaźnik ciepła brzmienia Sali Koncertowej $BR = 0.83$ dla widowni i $BR = 0.87$ dla estrady. Na ogół, wskaźnik BR w salach koncertowych z publicznością przyjmuje wartość większą od 1. Zalecana wartość BR to 1.2 – 1.3.

Tabela II.4.5 i rys. II.4.6 przedstawiają zmiany wartości czasu pogłosu T30 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość T30 jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.5. Zależność czasu pogłosu T30₅₀₀₋₁₀₀₀ od odległości do estrady w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
T30, s, z publiczn.	1.73	1.71	1.75	1.74	1.83	1.82



Rys. II.4.6. Zmiany czasu pogłosu $T_{30_{500-1000}}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian T_{30} na widowni wynosi około 6%. Próg spostrzegania zmian czasu pogłosu wynosi 5%.

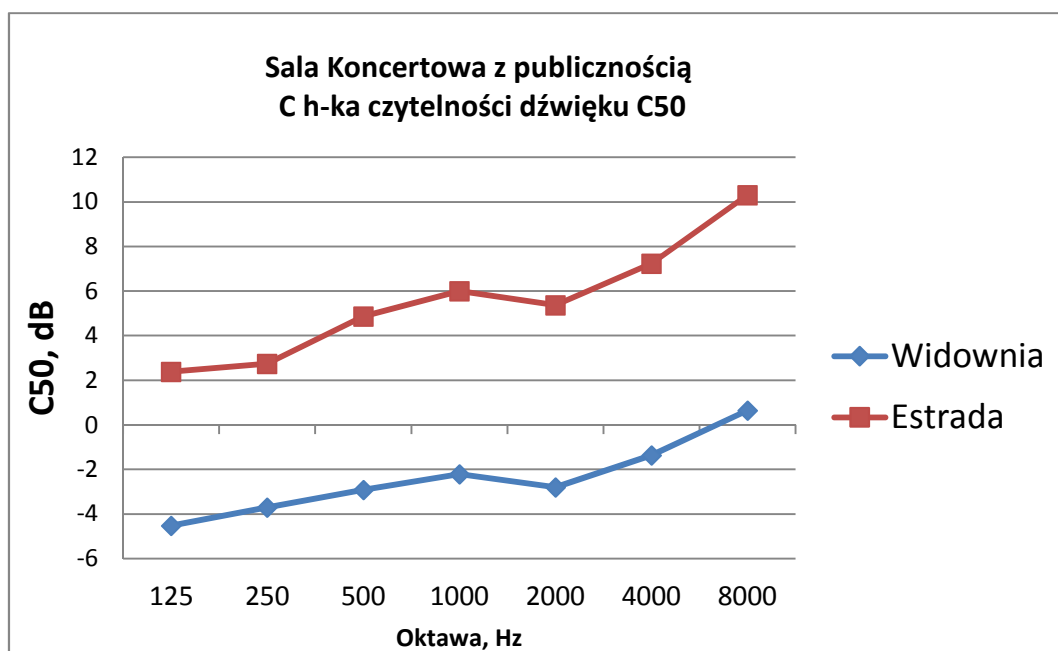
4.1.6. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.6. podano średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.6 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50, estrada, dB	2.4	2.7	4.9	6.0	5.4	7.2	10.3
C50 widownia, dB	-4.5	-3.7	-2.9	-2.2	-2.8	-1.4	0.6

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.7.

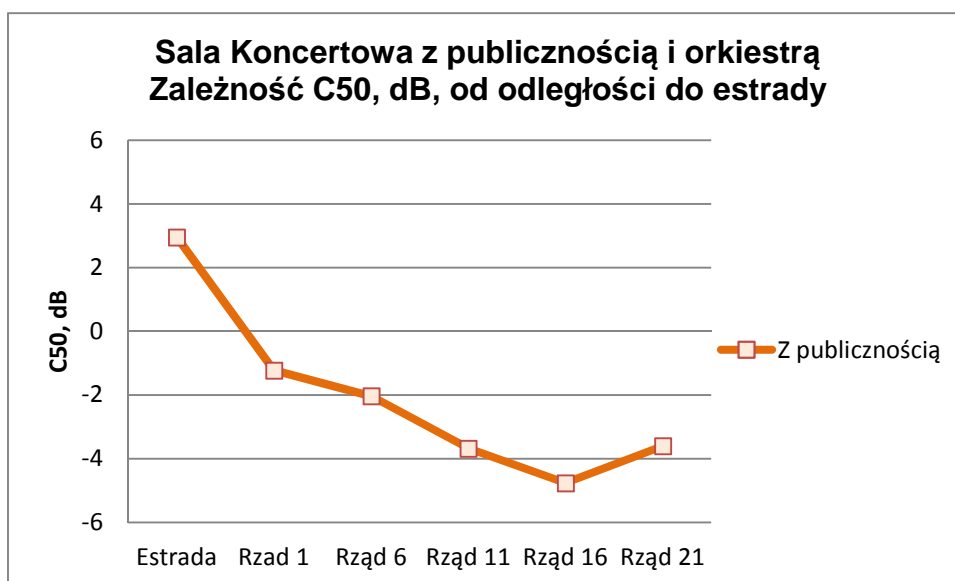


Rys. II.4.7. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni Sali Koncertowej wynosi -2.6 dB i na estradzie 5.5 dB.

Tabela II.4.7 i rys. II.4.8 przedstawiają zmiany wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość C50 jest średnią z pasm oktawowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.7. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
C50, dB, z publ.	2.96	-1.23	-2.04	-3.68	-4.76	-3.60



Rys. II.4.8. Zmiany wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian C50 na widowni wynosi około 3.5 dB. Próg spostrzegania zmian czytelności dźwięku wynosi 1 dB.

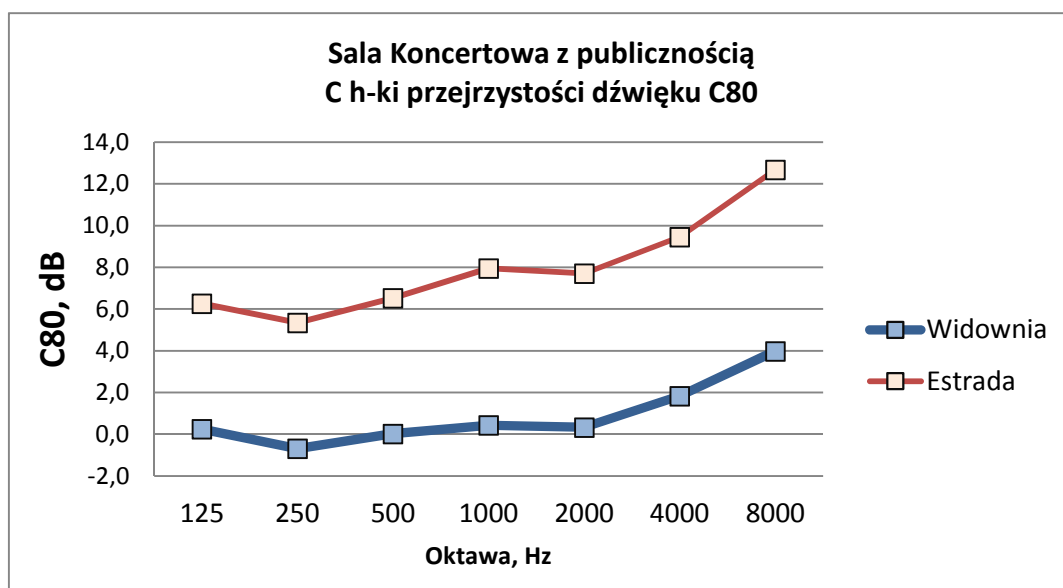
4.1.7. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.8. podano średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.8 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80, estrada, dB	6.3	5.3	6.5	8.0	7.7	9.5	12.7
C80 widownia, dB	0.3	-0.7	0.0	0.4	0.3	1.8	4.0

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.9.

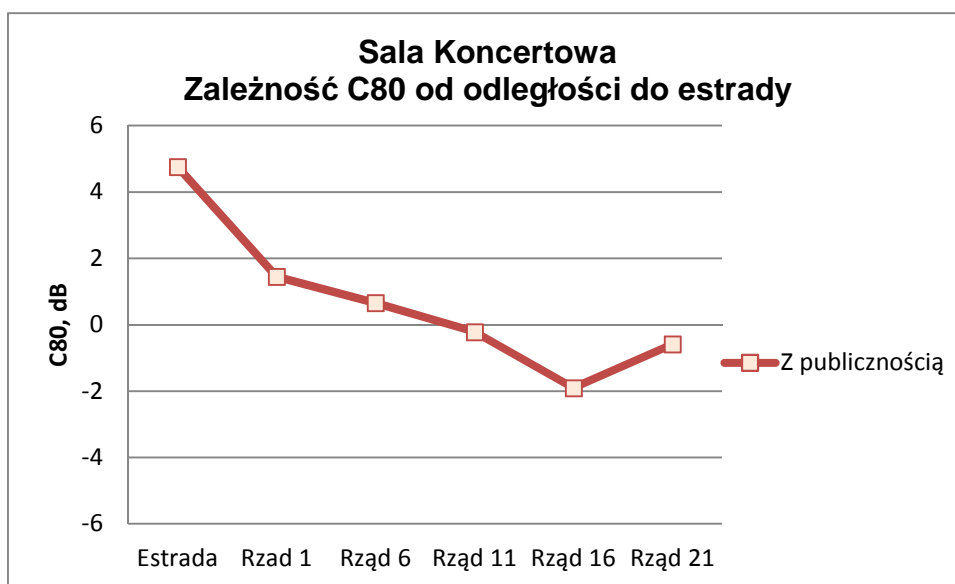


Rys. II.4.9. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wskaźnik przejrzystości dźwięku C80 na widowni Sali Koncertowej wynosi 0.2 dB, na estradzie 7.3 dB

W tabeli II.4.9 i rys. II.4.10 podano wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 w miejscach na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość C80 jest średnią z pasm oktawowych 500 i 1000 Hz w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.9. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
C80, dB, z publ.	4.76	1.45	0.66	-0.22	-1.90	-0.59



Rys. II.4.10. Zmiany wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian C80 na widowni wynosi podobnie jak zmiany C50, około 3.4 dB. Próg spostrzegania zmian przejrzystości dźwięku wynosi 1 dB

4.1.8. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.10 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

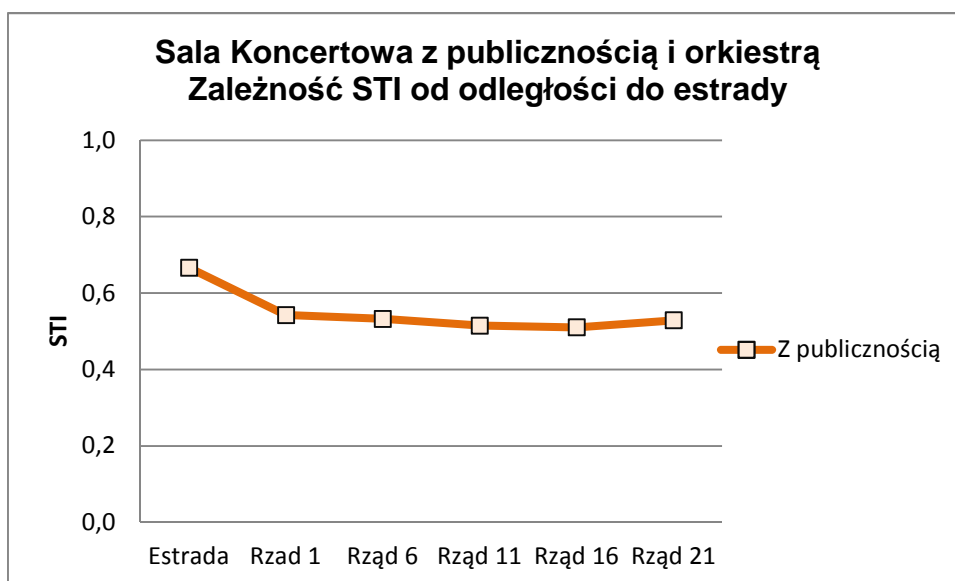
Tabela II.4.10 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni

L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Koncertowa z publicznością	0.53	0.75

W tabeli II.4.11 i rys. II.4.11 podano wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.11. Zależność wskaźnika zrozumiałości mowy STI od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

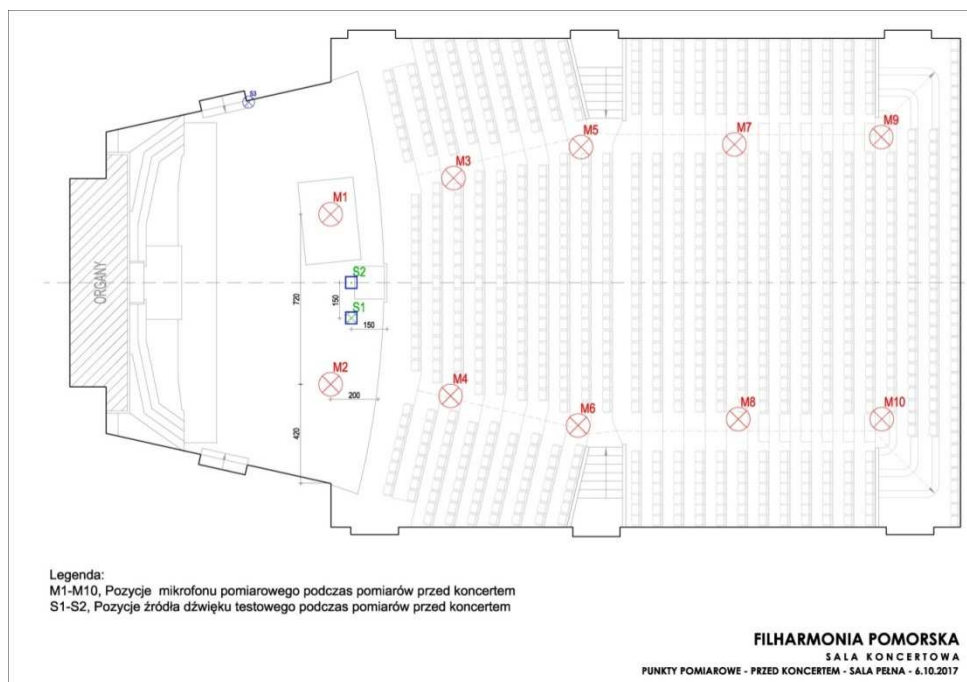
Miejsce pomiaru	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
STI, z publ.	0.67	0.54	0.53	0.52	0.51	0.53



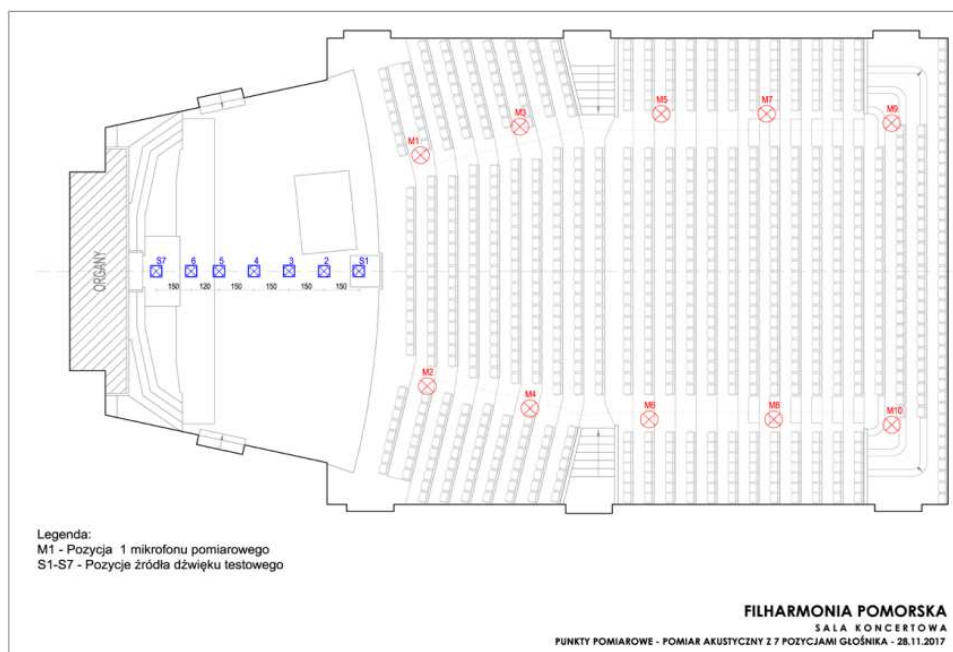
Rys. II.4.11. Zmiany wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian STI na widowni wynosi, około 0.03. Jest to wartość mniejsza niż próg spostrzegania takiej zmiany.

4.2. Pomiary akustyczne Sali Koncertowej przy pustej estradzie i widowni

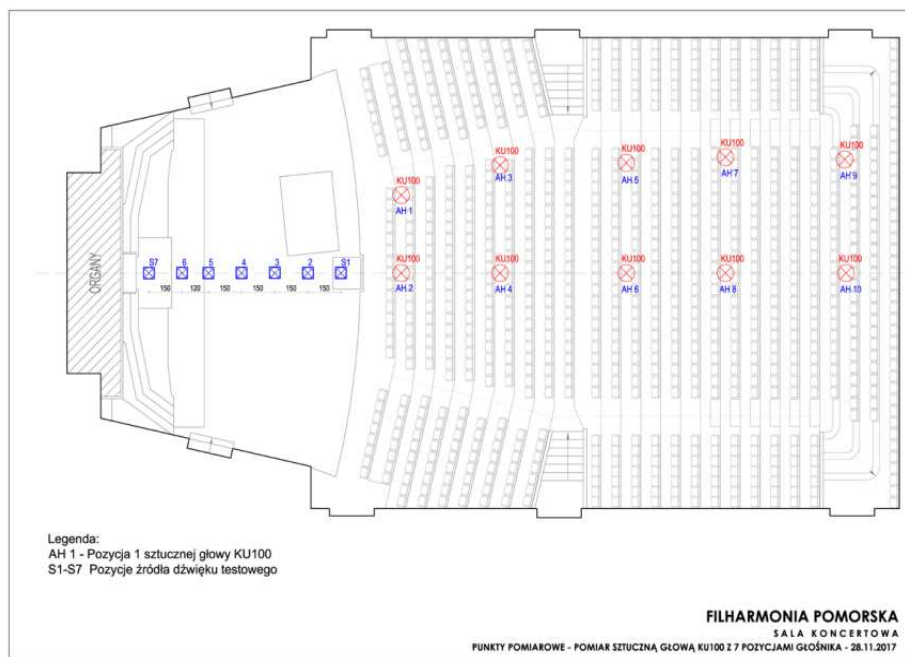
4.2.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



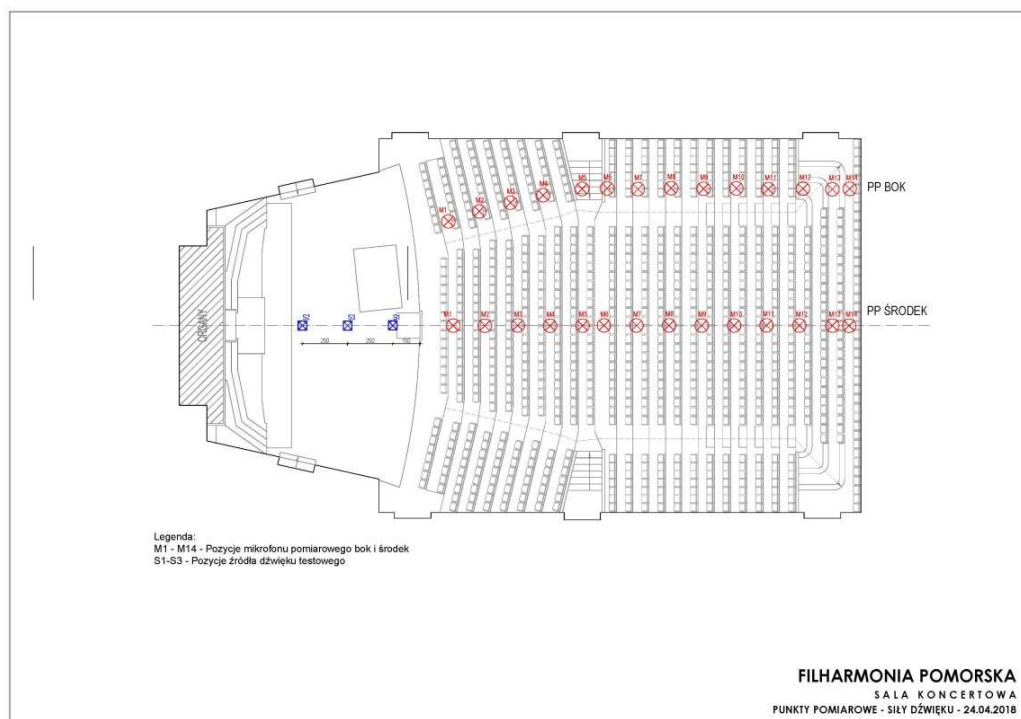
Rys. II.4.12. Punkty pomiarowe w pustej Sali Koncertowej. Dwie pozycje źródła dźwięku S1-S2 na estradzie, dwie pozycje mikrofonów pomiarowych M1- M2 na estradzie i 8 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M8 na widowni. Usytuowanie punktów pomiarowych jak w pomiarach akustycznych Sali z orkiestrą i publicznością



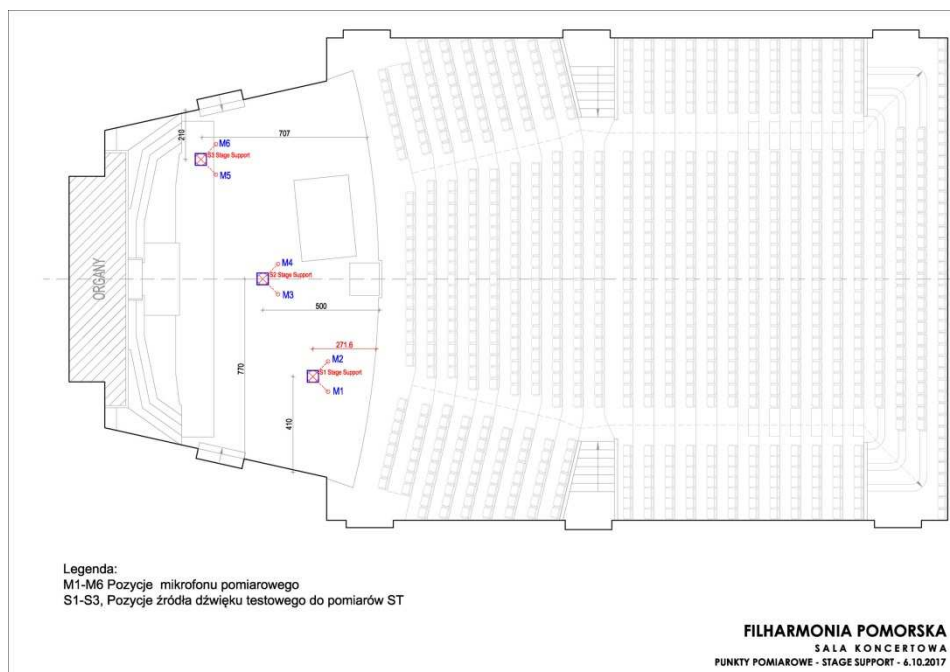
Rys. II.4.13. Punkty pomiarowe w pustej Sali Koncertowej. Badania wpływu usytuowania źródeł dźwięku na estradzie na właściwości akustyczne sali. Siedem pozycji źródła dźwięku S1-S7 na estradzie i 10 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M10 na widowni



Rys. II.4.14. Usytuowanie mikrofonów sztucznej głowy przy wyznaczaniu parametrów przestrzenności dźwięku. Siedem pozycji źródła dźwięku S1-S7 na estradzie i 10 pozycji sztucznej głowy AH1 – AH10 na widowni. Pomiary w pustej Sali Koncertowej



Rys. II.4.15. Punkty pomiarowe podczas badania wpływu odległości od estrady na siłę dźwięku G. Trzy pozycje źródła dźwięku S1-S3 na estradzie i 28 pozycji mikrofonów pomiarowych, na środku i z boku widowni



Rys. II.4.16. Punkty pomiarowe przy pomiarach wspomagania akustycznego ST estrady. Trzy pozycje źródła dźwięku S1-S3 i 6 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M6 na estradzie. Mikrofony pomiarowe w odległości 1 m od środka 12-ściennego zestawu głośników pomiarowych

4.2.2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne w pustej Sali Koncertowej

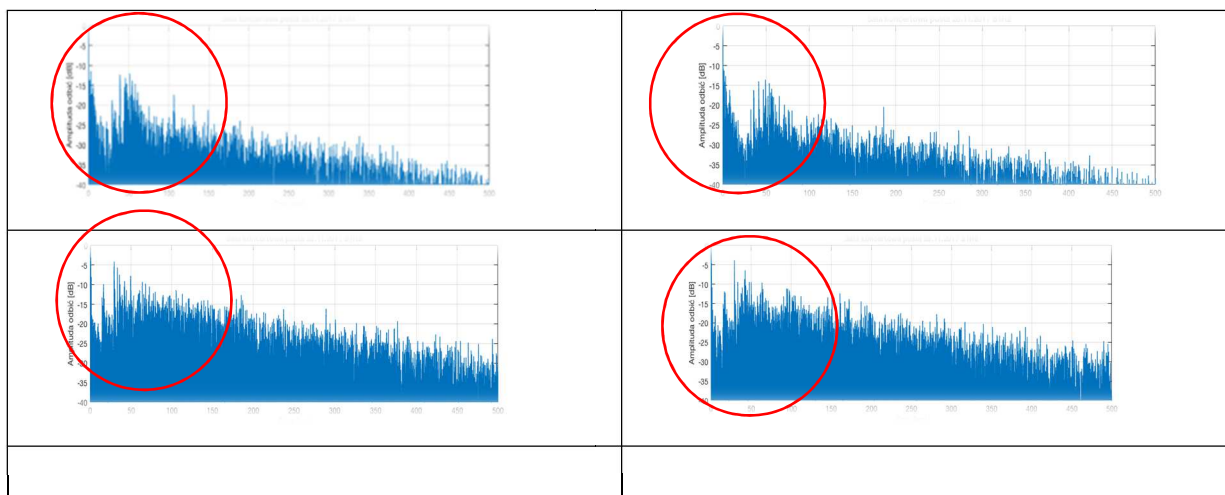
- czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- siła dźwięku G,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- wskaźniki wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late} ,
- współczynnik korelacji międzyuszej IACC,
- wskaźniki przestrzenności dźwięku: LEV (Listener Envelopment) i DSB (Degree of Source Broadening),
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer i w Sali Kameralnej.

4.2.3. Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić w pustej Sali Koncertowej

Jedną z właściwości akustycznych sali jest czas opóźnienia wczesnych odbić, ITDG, po dojściu dźwięku bezpośredniego do słuchacza, do czasu pojawienia się

pierwszego odbicia dźwięku. Odpowiednia wartość ITDG kształtuje wrażenie intymności (bliskości) dźwięku orkiestry.

Na rysunku II.4.17 pokazano 4 przykładowe echogramy z odbiciami dźwięku, które docierały do mikrofonu po kilkunasto-milisekundowej przerwie.



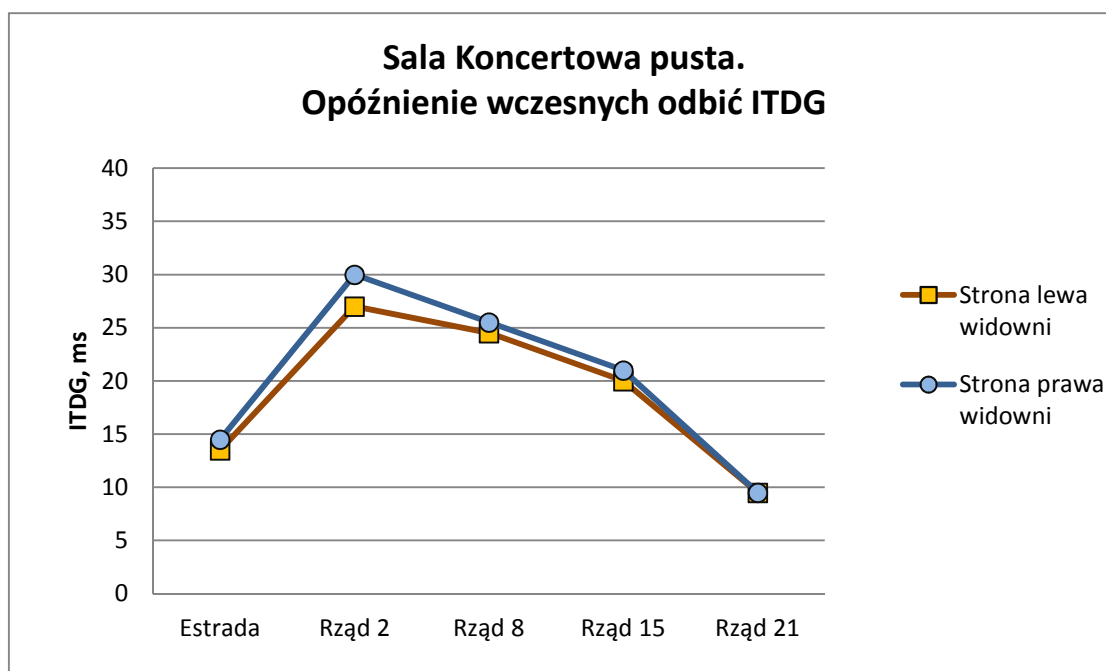
Rys. II.4.17. Przykłady echogramów z kilkunasto-milisekundową przerwą ITDG w dotarciu wczesnych odbić dźwięku

W tabeli II.4.12 podano średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, w różnych odległościach od estrady, z prawej i lewej strony widowni.

Tabela II.4.12 Średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, przy zwiększaniu odległości punktów pomiarowych od źródła dźwięku, z prawej i lewej strony widowni

P. pomiaru	ITDG, ms, strona prawa	ITDG, ms, strona lewa
Estrada	15	14
Rzqd 2	30	27
Rzqd 8	26	25
Rzqd 15	21	20
Rzqd 21	10	10

Wykres zależności ITDG na widowni od odległości do źródła dźwięku - rys. II.4.18.



Rys. II.4.18. Wpływ odległości od źródła dźwięku na wartość przerwy czasowej ITDG. Sala koncertowa pusta. Wartość średnia ITDG w Sali Koncertowej bez publiczności i z publicznością wynosi 21 ms. Zapełnienie sali nie powoduje zmian wartości ITDG.

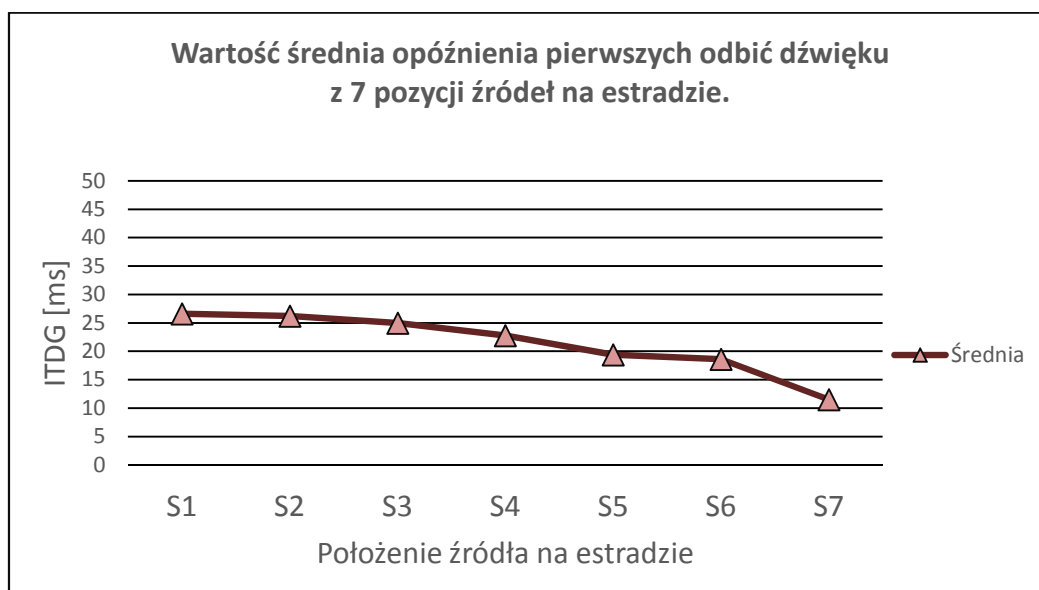
Optymalna wartość ITDG w stosunkowo małych salach o kubaturze nie większej od 10 tys. m³ to 15 – 20 ms.

W tabeli II.4.13 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie na wartość ITDG. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległościami od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m, jak to pokazano na rys. II.4.13 w rozdz. II.4.2.1 Zamieszczone w tabeli dane są średnimi wartościami ITDG z wszystkich punktów pomiarowych na widowni.

Tabela II.4.13. Średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie.

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Rzqd 1	40	36	31	27	25	18	13
Rzqd 5	40	28	29	28	23	28	10
Rzqd 11	29	28	27	23	19	22	14
Rzqd 17	12	21	20	22	19	15	11
Rzqd 23	13	19	19	15	12	11	10
Średnia	27	26	25	23	19	19	12

Wykres zależności ITDG od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.19



Rys. II.4.19. Zależność ITDG od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) ITDG równomiernie zwiększa się od 12 do 27 ms

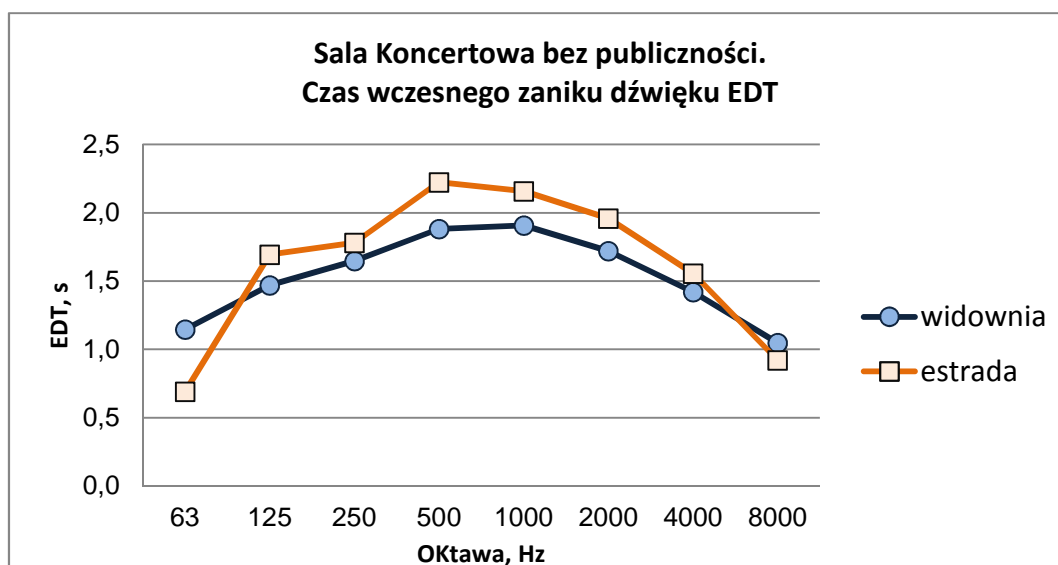
4.2.4. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.14 podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pustej Sali Koncertowej, na estradzie i na widowni, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II 4.14. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni, w pustej Sali.

EDT	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT widownia, s	1.15	1.47	1.65	1.88	1.91	1.72	1.42	1.05
EDT estrada, s	0.69	1.69	1.78	2.23	2.16	1.96	1.56	0.92

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT - rys. II. 4.20.

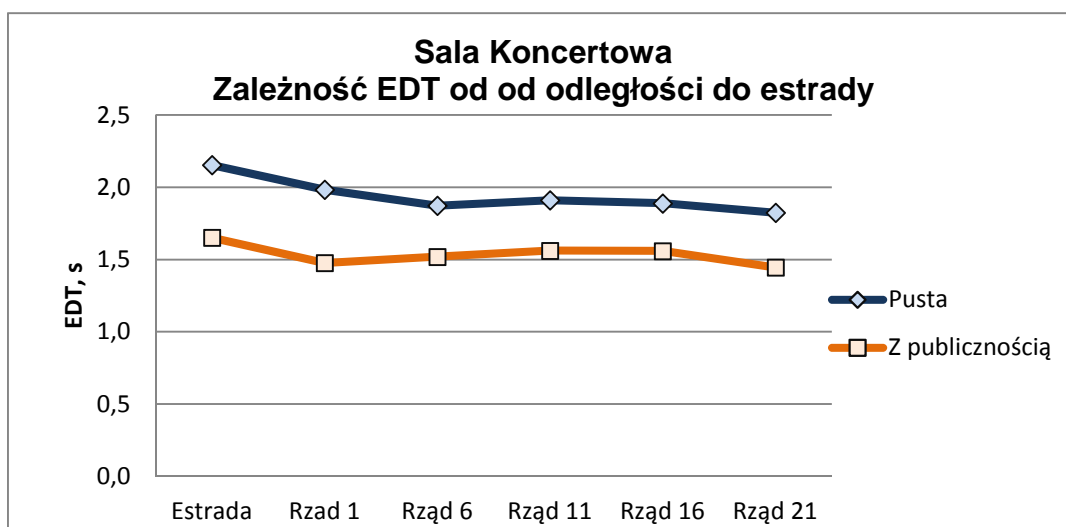


Rys. II.4.20. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT na widowni i estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 1.9 s i na estradzie 2.2 s (średnia z oktaf 500 – 1000 Hz).

Tabela II.4.15 i rys. II.4.20 przedstawiają zmiany wartości czasu wczesnego zaniku EDT na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Dane dotyczą sali pustej. Dla porównania podano wyniki pomiarów tej właściwości sali z publicznością i orkiestrą. Podana wartość EDT jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz.

Tab. II.4.15. Zależność czasu wczesnego zaniku dźwięku $EDT_{500-1000}$ od odległości do estrady w Sali pustej i zapelnionej publicznością i orkiestrą.

EDT, s, /miejsce	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	2.15	1.98	1.87	1.91	1.89	1.82
Z publ.	1.65	1.48	1.52	1.56	1.56	1.44
ΔEDT , s	0.50	0.51	0.35	0.35	0.33	0.38
%	23	26	19	18	17	21



Rys. II.4.21. Zmiany czasu wczesnego zaniku $EDT_{500-1000}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali pustej i wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wartość EDT po wejściu publiczności zmniejsza się o 18 – 26% zależnie od miejsca na Sali

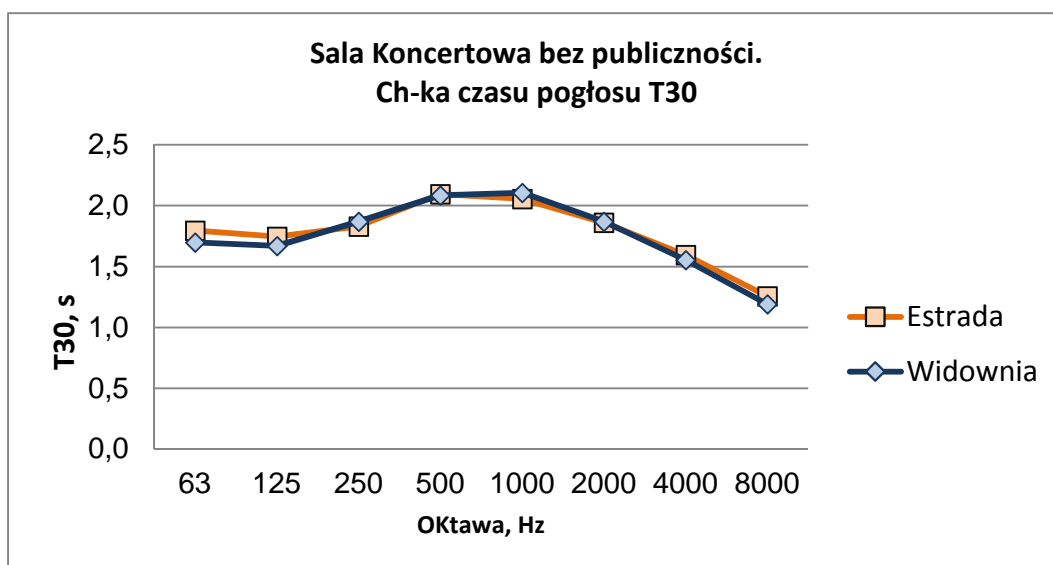
4.2.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T_{30} w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.10 podano średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w Sali pustej, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla widowni i estrady obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.16. Średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{30} , estrada, s	1.70	1.67	1.87	2.09	2.11	1.87	1.55	1.19
T_{30} widownia, s	1.80	1.75	1.83	2.10	2.06	1.86	1.60	1.26

Wykres charakterystyk częstotliwościowych T_{30} - rys. II.4.22.

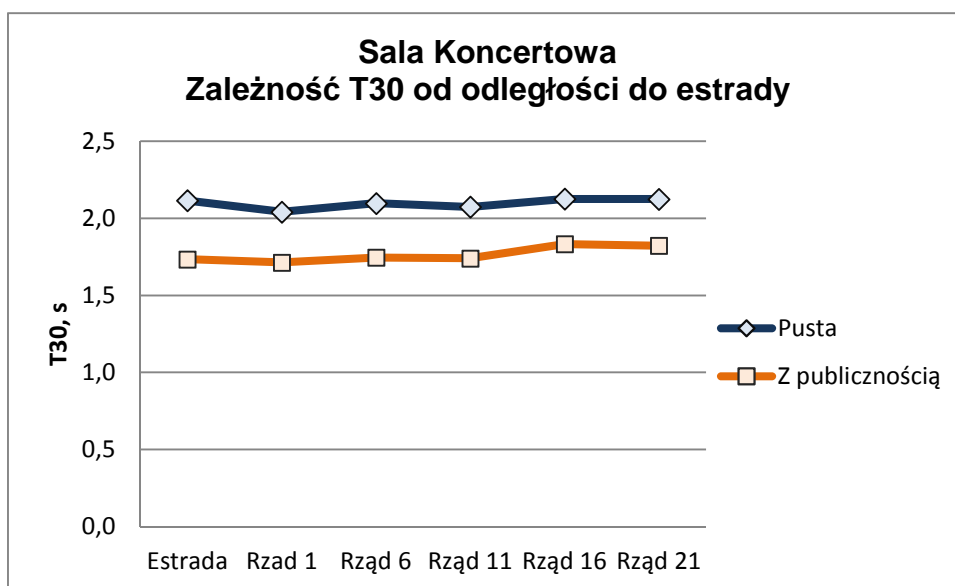


Rys. II.4.22. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie w oktawach 63 Hz – 8 kHz w Sali pustej. Czas pogłosu na widowni wynosi 2.1 s i na estradzie 2.1 s (średnia z oktaf 500 – 1000 Hz)

Tabela II.4.17 i rys. II.4.23 przedstawiają zmiany wartości czasu pogłosu T30 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Dane dotyczą sali pustej. Dla porównania podano również wyniki pomiarów tej właściwości sali z publicznością i orkiestrą. Podana wartość T30 jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz.

Tab. II.4.17. Zależność czasu pogłosu T30 od odległości do estrady w Sali pustej i zapelnionej publicznością i orkiestrą.

T30, s, / miejsce	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
Sala pusta	2.12	2.04	2.10	2.07	2.13	2.13
Sal z publ.	1.73	1.71	1.75	1.74	1.83	1.82
ΔT , s	0.38	0.33	0.35	0.33	0.29	0.30
%	18	16	17	16	14	14



Rys. II.4.23. Zmiany czasu wczesnego zaniku T30, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali pustej i wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wartość T30 po wejściu publiczności zmniejsza się o 14 – 18 % zależnie od miejsca na Sali

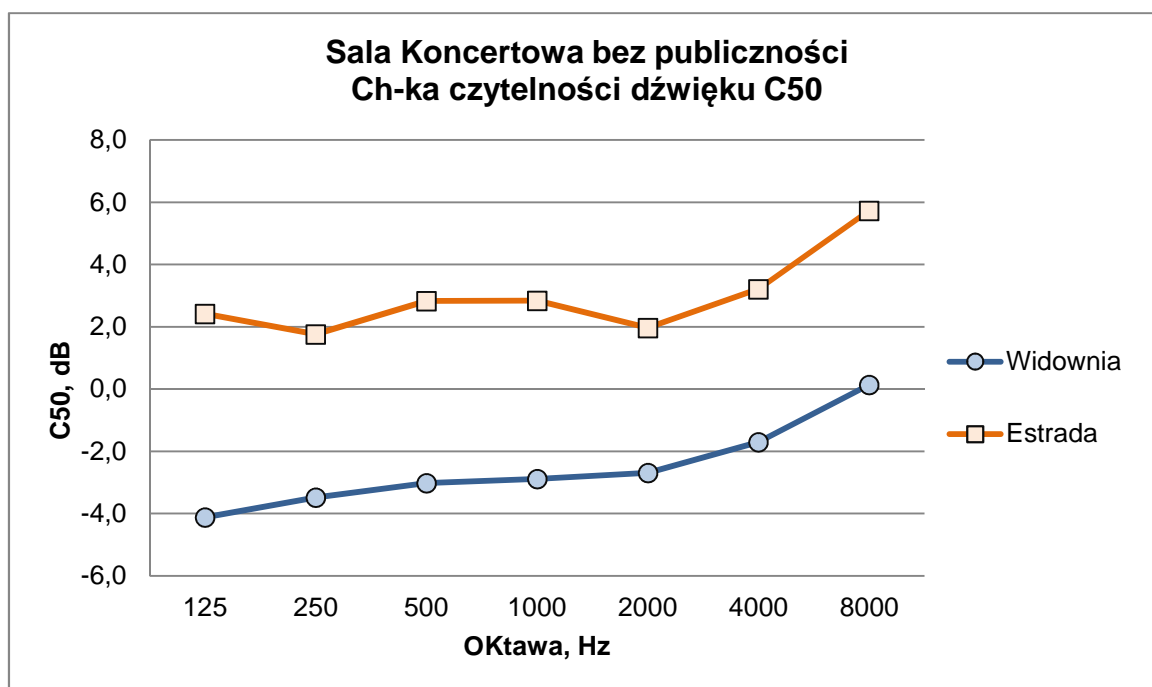
4.2.6. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.18. podano charakterystykę średnich wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.18 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50, estrada, dB	2.4	1.8	2.8	2.8	2.0	3.2	5.7
C50 widownia, dB	-4.1	-3.5	-3.0	-2.9	-2.7	-1.7	0.1

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.23.



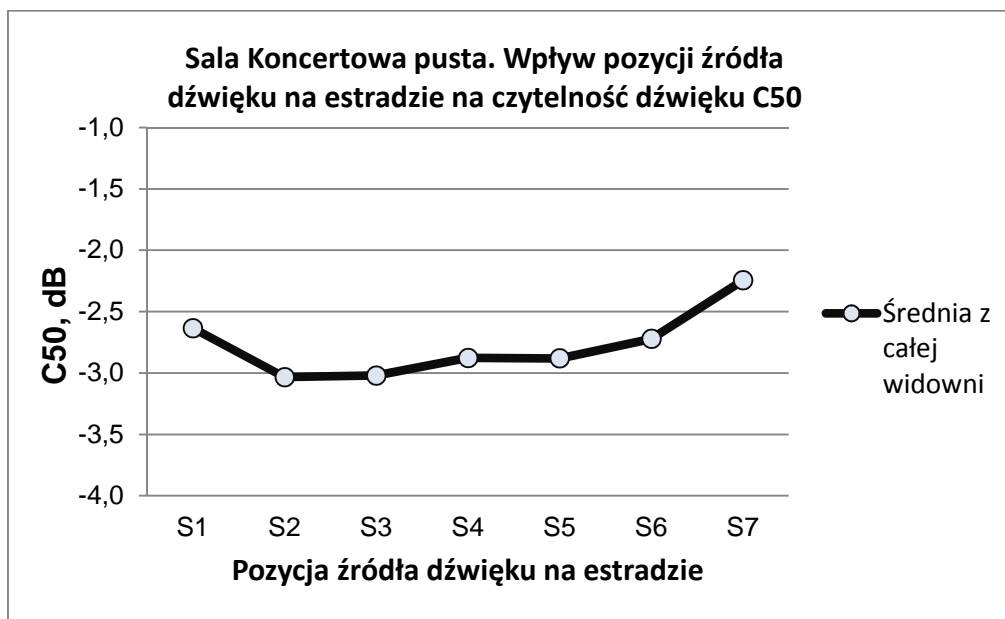
Rys. II.4.24. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni Sali Koncertowej wynosi -2.8 dB i na estradzie 3.0 dB. Zaleca wartość wskaźnika C50 dla widowni sal koncertowych $C50 = -1 - +3$ dB

W tabeli II.4.19 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i na widowni na czytelność dźwięku C50. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległościami od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m (rys. II.4.13). Wpływ lokalizacji źródła na wskaźnik C50 określono na podstawie średnich wartości C50 z wszystkich miejsc na widowni. Wpływ usytuowania słuchacza na widowni reprezentują średnie z 7 pozycji źródeł dźwięku w 5 rzędach siedzisk - 1, 5, 12, 17 i 23.

Tabela II.4.19. Średnie wartości wskaźnika czytelności C50, dB, w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i siedzisk w pięciu rzędach na widowni

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.3	0.2	-0.8	-1.5	-1.1	-0.3	-0.6	-0.5
Rzqd 5	-2.3	-2.1	-2.0	-1.3	-2.8	-2.5	-1.8	-2.1
Rzqd 11	-3.4	-4.6	-4.4	-3.4	-2.9	-4.2	-3.5	-3.8
Rzqd 17	-4.0	-4.5	-4.4	-4.7	-3.6	-2.6	-2.9	-3.8
Rzqd 23	-3.8	-4.2	-3.4	-3.6	-4.1	-4.0	-2.5	-3.6
Średnia	-2.6	-3.0	-3.0	-2.9	-2.9	-2.7	-2.2	-2.8

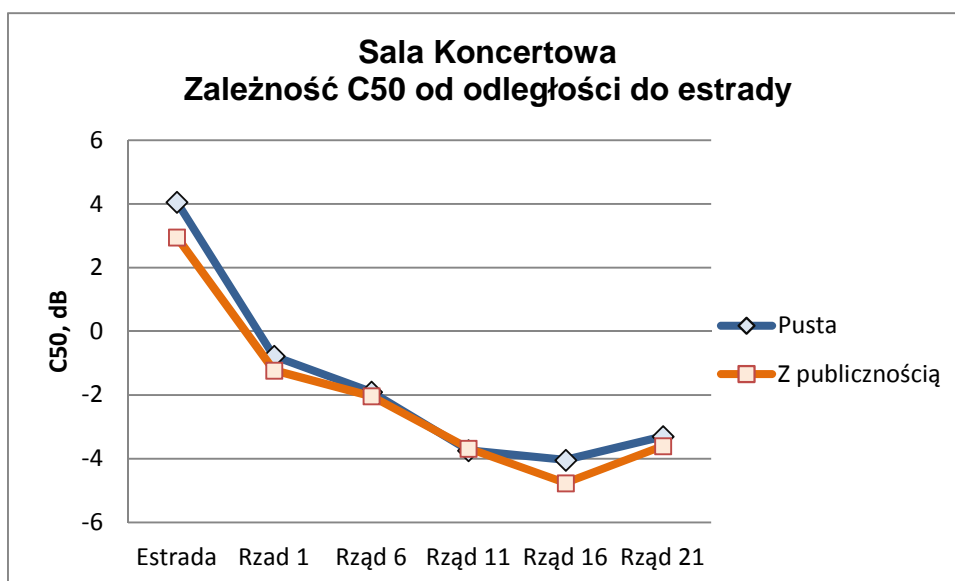
Zależność wskaźnika C50 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.25. Tabela i wykres zależności wskaźnika C50 od miejsca na widowni – tab. II.4.20. i rys. II.4.26.



Rys. II.4.25. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) C50 monotonicznie maleje się od -2,2 dB do -3 dB

Tabela II.4.20. Zależność wskaźnika C50 od miejsca na widowni

C50, dB	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
Pusta	4.06	-0.78	-1.90	-3.74	-4.04	-3.30
Z publicznością	2.96	-1.23	-2.04	-3.68	-4.76	-3.60
$\Delta C50$, dB	1.1	0.4	0.1	-0.1	0.7	0.3



Rys. II.4.26. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od miejsca na widowni. Przy oddalaniu się od estrady C50 maleje od -0.8 do -4.0 dB. Czytelność dźwięku pogarsza się przy oddalaniu się od I do 16 rzędu.

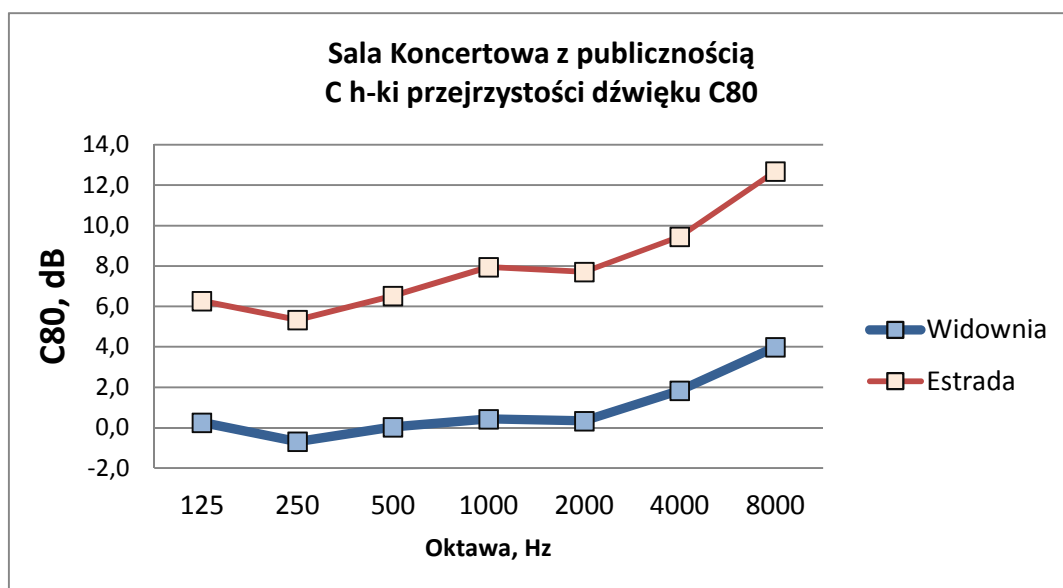
4.2.7. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.21 podano charakterystykę średnich wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz, z pomiarów w Sali pustej. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.21 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz. Pusta Sala Koncertowa.

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80, estrada, dB	6.3	5.3	6.5	8.0	7.7	9.5	12.7
C80 widownia, dB	0.3	-0.7	0.0	0.4	0.3	1.8	4.0

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.27.



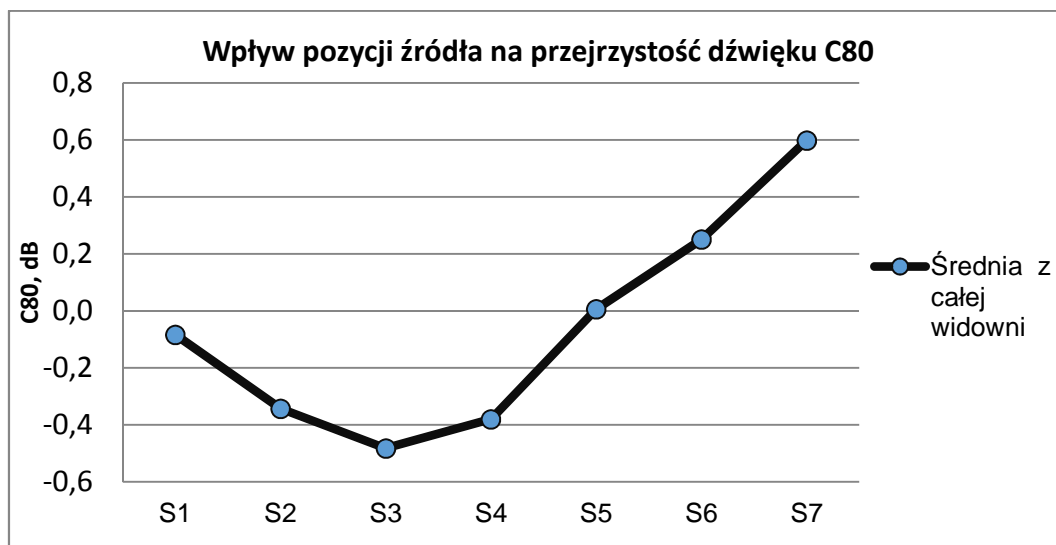
Rys. II.4.27. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Wskaźnik przejrzystości C80 na widowni Sali Koncertowej wynosi 0.2 dB, na estradzie 7.3 dB. Zalecana wartość wskaźnika C80 dla widowni sal koncertowych C80 = -3 - +3 dB

W tabeli II.4.22 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i na widowni na przejrzystość dźwięku C80. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległością od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m (rys. II.4.13). Wpływ lokalizacji źródła na wskaźnik C80 określono na podstawie średnich wartości C80 z wszystkich miejsc na widowni. Wpływ usytuowania słuchacza na widowni reprezentują średnie z 7 pozycji źródeł dźwięku w 5 rzędach siedzisk - 1, 5, 121, 17 i 23.

Tabela II.4.22. Średnie wartości wskaźnika przejrzystości C80, dB, w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i siedzisk w pięciu rzędach na widowni

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	3.5	3.1	1.4	0.7	1.0	1.2	1.0	1.7
Rzqd 5	0.0	0.1	0.2	0.6	-0.3	0.3	0.3	0.2
Rzqd 11	-1.5	-2.4	-1.7	-1.2	-0.5	-1.2	0.1	-1.2
Rzqd 17	-1.3	-1.2	-1.4	-1.0	0.5	0.9	0.5	-0.4
Rzqd 23	-1.1	-1.3	-1.0	-1.0	-0.7	0.0	1.1	-0.6
Średnia	-0.1	-0.3	-0.5	-0.4	0.0	0.3	0.6	-0.1

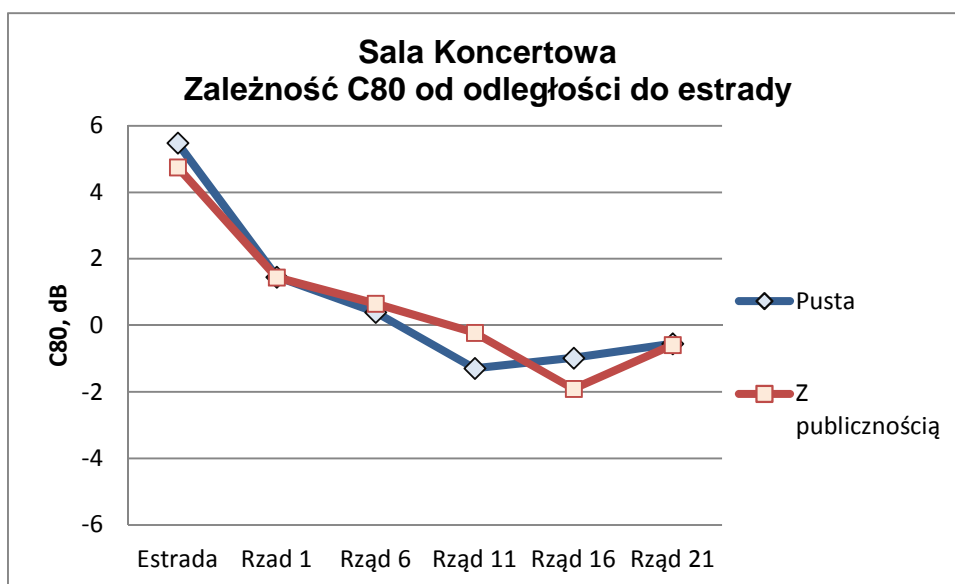
Wykres zależności wskaźnika C80 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.28. Wykres zależności wskaźnika C80 od miejsca na widowni - rys. II.4.29.



Rys. II.4.28. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) C80 stopniowo obniża się od 0.6 dB do - 0.5 dB, gdy źródło znajduje się w połowie odległości od krawędzi estrady i następnie nieco wzrasta do - 0.1 dB przy źródle dźwięku w przedniej części estrady.

Tabela II.4.23. Zależność wskaźnika C80 od miejsca na widowni

C80, dB	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	5.48	1.46	0.39	-1.29	-0.98	-0.55
Sal z publ.	4.76	1.45	0.66	-0.22	-1.90	-0.59
$\Delta C80$, dB	0.73	0.01	-0.26	-1.07	0.93	0.04



Rys. II.4.29. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od miejsca na widowni. Przy oddalaniu się od estrady C80 w sali pustej maleje od 1.5 dB do -1.5 dB. Przejrzystość dźwięku zmniejsza się przy oddalaniu się od I do 16 rzędu.

4.2.8. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.24 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni w Sali pustej. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.24 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni w Sali pustej

L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Koncertowa z publicznością	0.51	0.62

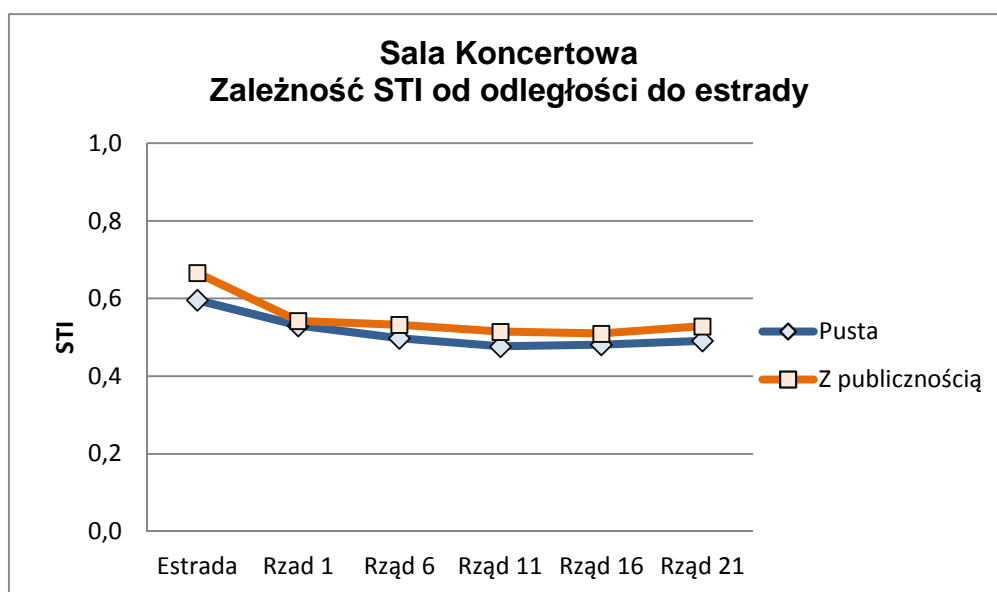
Zalecana wartość wskaźnika zrozumiałości wynosi $STI \geq 0.5$.

W tabeli II.4.25. podano wyniki pomiaru zmian wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady.

Właściwość tą zilustrowano na wykresie II.4.30.

Tabela II.4.25. Zmiany wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady

STI, dB	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	0.60	0.53	0.50	0.48	0.48	0.49
Sal z publ.	0.67	0.54	0.53	0.52	0.51	0.53
Δ STI	0.07	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04



Rys. II.4.30. Zmiany wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady. Na rysunku pokazano dla porównania zależność STI od odległości od estrady dla przypadku Sali z publicznością. Wskaźnik STI nie zmienia się znacząco przy oddalaniu się od źródeł dźwięku na estradzie.

4.2.9. Charakterystyki wsparcia akustycznego estrady w pustej Sali Koncertowej

Pomiar wskaźników wsparcia akustycznego estrady wykonuje się przy pustej widowni i estradzie. W tabeli II.4.26 podano wartości wskaźnika wsparcia akustycznego Stage Support estrady Sali Koncertowej. Wskaźniki te umożliwiają ocenę warunków akustycznych na estradzie odnoszących się do dwóch właściwości akustycznych estrady: wzajemnej słyszalności muzyków na estradzie (ST_{Early}) oraz do oceny odpowiedzi pogłosowej widowni na emisję własnego dźwięku przez muzyków (ST_{Late}).

Tabela II.4.26. Wskaźniki wsparcia akustycznego Stage Support estrady Sali Koncertowej

Wskaźnik wspomagania akustycznego estrady (Stage Support), dB					
Częstotliwość, Hz	250	500	1000	2000	Wartości średnie
ST Early	-13.5	-13.6	-11.9	-12.6	-12.9
ST Late	-15.49	-13.96	-12.98	-14.66	-14.3

Sugerowane wartości wsparcia akustycznego estrady wynoszą:

$ST_{Early} > -10$ (sale kameralne) do -14 dB (sale symfoniczne). Estrada Sali Koncertowej spełnia kryterium wsparcia akustycznego muzyków.

4.2.10. Wskaźnik korelacji międzyuszej IACC w pustej Sali Koncertowej

Pomiar współczynnika korelacji międzyuszej IACC ma zastosowanie do oceny wrażenia przestrzenności dźwięku docierającego do słuchacza na widowni.

Muzyka docierająca do słuchacza w salach koncertowych zawiera składowe dźwięku bezpośredniego, składowe wczesnych odbić dźwięku w okresie 80 ms po dotarciu składowej bezpośredniej i składowe dźwięku ukształtowane przez wielokrotne odbicia, docierające do słuchacza po upływie 80 ms.

Istotny wpływ na pozytywną ocenę wrażenia przestrzenności mają odbicia dźwięku, które docierają do słuchacza z kierunków bocznych, w czasie pierwszych 80 ms. Wrażenia te polegają na pozornym zwiększeniu szerokości źródeł dźwięków na estradzie w porównaniu do ich rzeczywistych rozmiarów. Dźwięki docierających do słuchacza w późniejszym przedziale czasu są pozytywnie odbierane, jako wrażenie otoczenia dźwiękami wybrzmiewającego pogłosu sali. Dźwięki te powinny przychodzić ze wszystkich kierunków, z przodu, z tyłu, z góry i z kierunków bocznych.

Z uwagi na opisane zjawiska fizyczne i psychoakustyczne, mierzone wielkości fizyczne odnoszą się do przedziałów czasu związanego z wczesnymi odbiciami dźwięku od 0 do 80 ms (early reflections) i od 80 ms do czasu wygaśnięcia energii odbić dźwięku (late sound).

Do pomiarów odpowiedzi impulsowych i oceny podobieństwa między sygnałami docierającymi do uszu słuchaczy stosuje się sztuczną głowę z zamocowanymi na wejściach do kanału słuchowego mikrofonami pomiarowymi. Mierzoną

właściwością jest funkcja korelacji międzysusznej IACF między odbieranymi przez mikrofony przebiegami odpowiedzi impulsowych badanego pomieszczenia. Z funkcji IACF wyznaczane są wartości współczynnika korelacji międzysusznej dla przedziałów czasu 0-80 ms (early), 80-+ (late) oraz pełny przebieg funkcji $IACC_{total}$ z czasu trwania odpowiedzi impulsowej pomieszczenia. Z tak uzyskanych danych możliwe jest obliczenie wskaźników przestrzenności dźwięku zdefiniowanych w p-cie 3.

Sale koncertowe uzyskują wyższe oceny jakości akustycznej, jeśli współczynnik korelacji IACC przyjmie małe wartości, poniżej 0,4. L. Beranek zaproponował odwrócenie tej relacji i wprowadził wskaźnik jakości akustycznej sal Binaural Quality Index $BQI = 1 - IACC$.

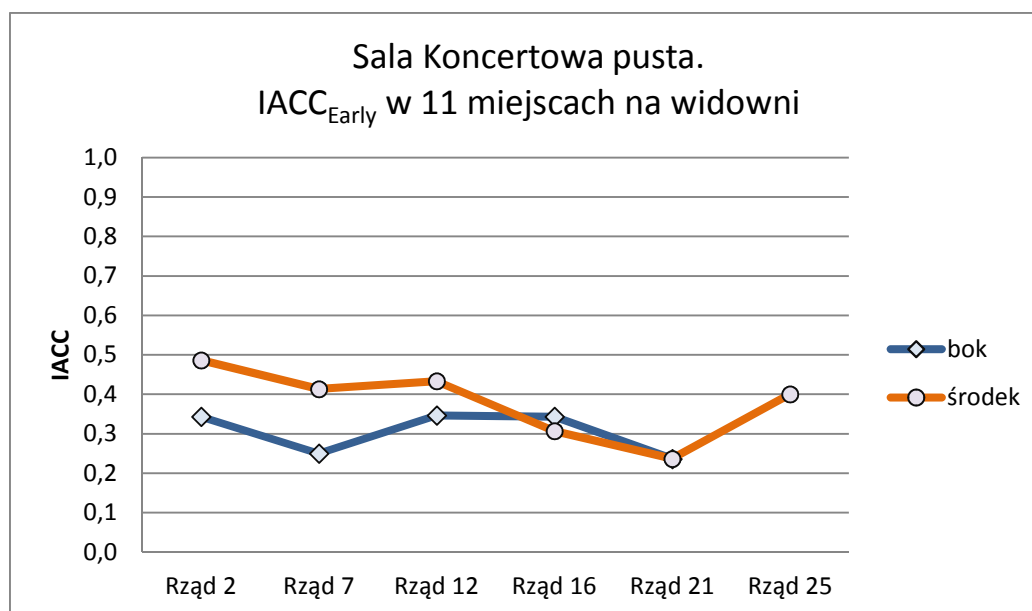
W tabeli II.4.27 podano wyniki pomiaru wskaźników IACC w 11 punktach na widowni, w rzędzie 2, 7, 12, 16 i 25.

Tabela II.4.27. Wartości współczynnika międzysusznej korelacji dźwięku $IACC_{Early}$ z przedziału [0, 80] ms oraz $IACC_{Late}$ dla przedziału od 80 ms, [80, +]. Zgodnie z wytycznymi normy pomiarowej w tabeli podano wartości średnie z pomiarów w trzech pasmach oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz

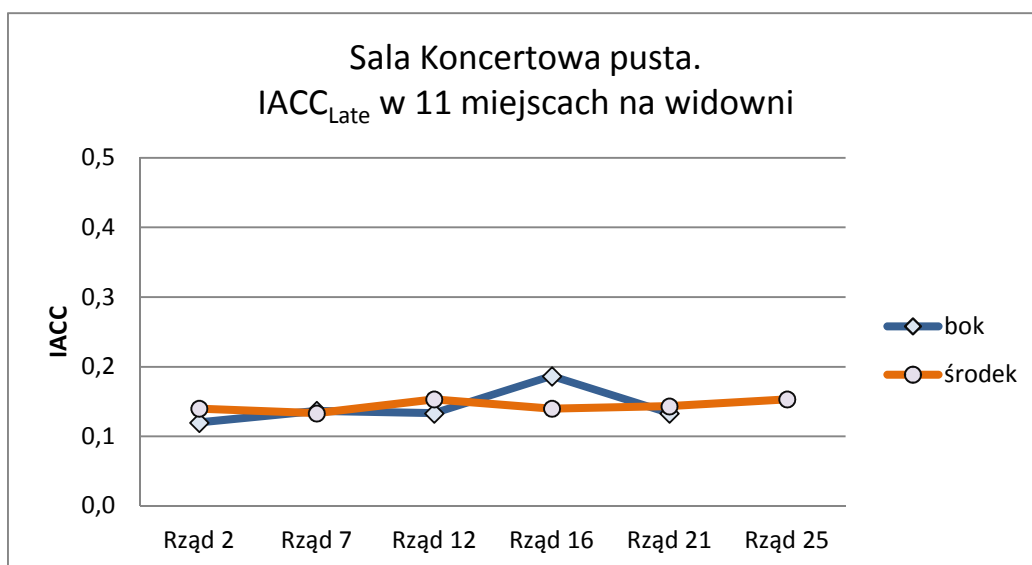
Miejsce pomiaru	$IACC_{Early} \text{ } t = [0, 80] \text{ ms (wczesne odbicia)}$	
	Miejsca środkowe	Bok, strona prawa
Rząd 2	0.49	0.34
Rząd 7	0.41	0.25
Rząd 12	0.43	0.35
Rząd 16	0.31	0.34
Rząd 21	0.24	0.24
Rząd 25	0.40	-
Średnia	0.38	0.30

Miejsce pomiaru	IACC _{Late} t= [80+] ms (dźwięk pogłosowy)	
	Miejsca środkowe	Bok, strona prawa
Rząd 2	0.14	0.12
Rząd 7	0.13	0.14
Rząd 12	0.15	0.13
Rząd 16	0.14	0.19
Rząd 21	0.14	0.13
Rząd 25	0.15	-
Średnia	0.14	0.14

Wykres współczynnika IACC_{Early} w zależności od miejsca pomiaru na widowni - rys. II.4.31. Wykres współczynnika IACC_{Late} w zależności od miejsca pomiaru na widowni - rys. II.4.32.

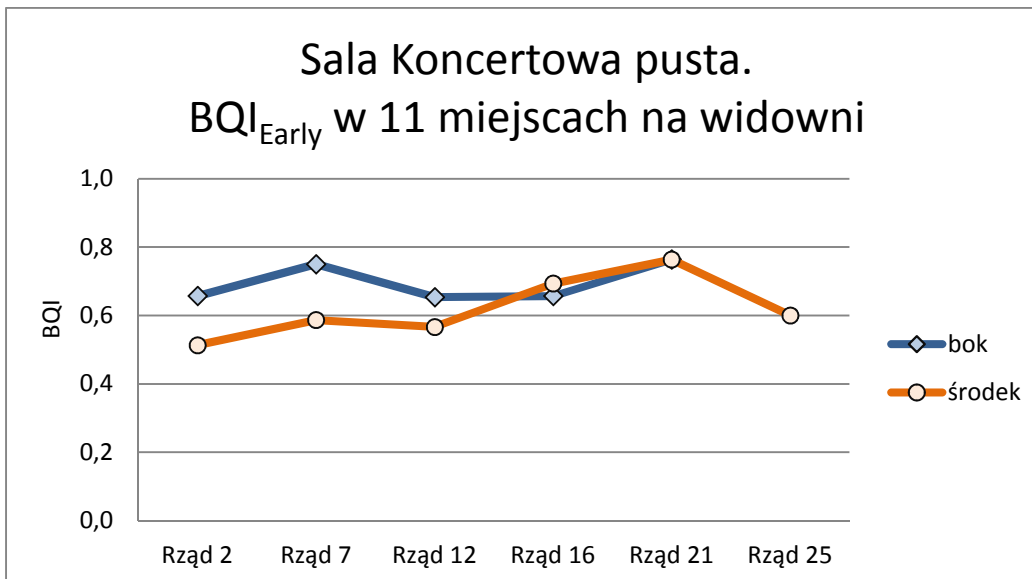


Rys. II.4.31. Współczynnik korelacji międzysusznej IACC_{Early} w zależności od odległości i miejsca pomiaru na widowni. Środkowe miejsca charakteryzuje większa wartość współczynnika IACC_{Early} niż boczne miejsca na widowni i jest to zjawisko typowe. Przy oddalaniu się od estrady IACC_{Early} zmniejsza się od 0.5 w rzędzie 2 do 0.24 w rzędzie 21. W bocznej części widowni IACC_{Early} utrzymuje wartość około 0.3. Średnia wartość IACC_{Early} = 0.35

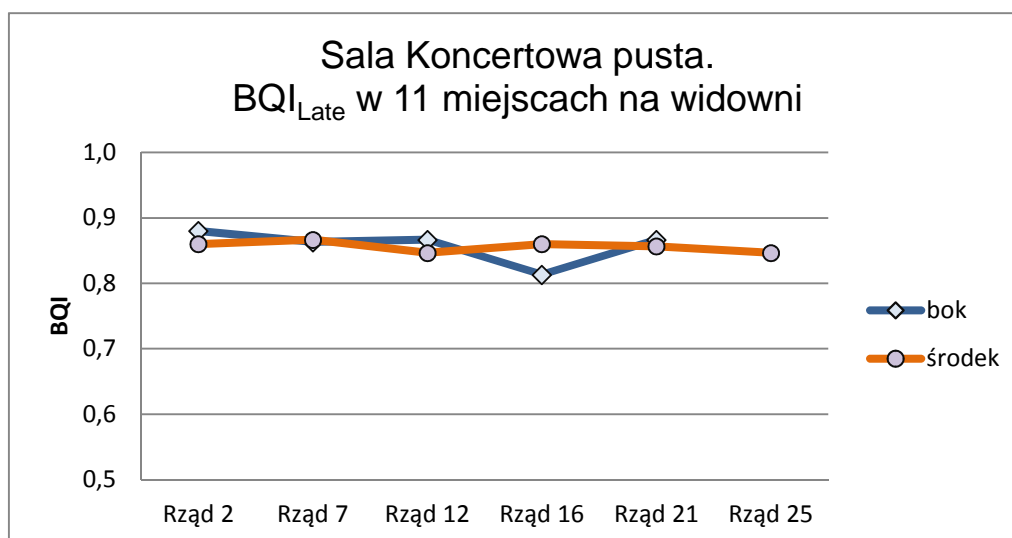


Rys. II.4.32. Współczynnik korelacji międzysusznej $IACC_{Late}$ zachowuje prawie jednakową wartość na całej widowni. Jest to korzystna cecha Sali, która świadczy o dużej dyfuzyjności dźwięku. Średnia wartość $IACC_{Late}$ wynosi 0.13

Na rys. II.4.33 i II.4.34 zamieszczono wykresy rozkładu wartości wskaźnika BQI w Sali Koncertowej, dla fazy wczesnych i późnych odbić i dźwięku, BQI_{Early} i BQI_{Late} .



Rys. II.4.33. Wskaźnik jakości binauralnej BQI_{Early} , dla miejsc w środkowej i bocznej części sali. Wartość średnia $BQI_{Early} = 0.66$ wskazuje na wysoką ocenę przestrzenności dźwięku w Sali Koncertowej.



Rys. II.4.34. Wskaźnik jakości binauralnej BQI_{Late} dla miejsc w środkowej i bocznej części Sali. BQI utrzymuje wartość około 0.84 w prawie wszystkich miejscach na widowni

W tabeli II.4.28 i II.4.29 umieszczono wyniki pomiarów wpływu usytuowania źródeł dźwięku na estradzie na parametry przestrzenności IACC i BQI na widowni. Rozmieszczenie źródeł dźwięku na estradzie i punktów pomiarowych na widowni pokazano na rys. II.4.14. Badane właściwości IACC i BQI uzyskano z odpowiedzi impulsowych, które były rejestrowane za pomocą sztucznej głowy w 10-ciu równomiernie rozmieszczonych punktach na widowni. Każda seria 10 pomiarów była 7-krotnie powtarzana, po przemieszczeniu wszechkierunkowego źródła dźwięku z pozycji na skraju estrady w stronę organów, w odstępach co 1.5 m. Zmierzone odpowiedzi dotyczą 7 pozycji źródła dźwięku i 10 pozycji sztucznej głowy na widowni.

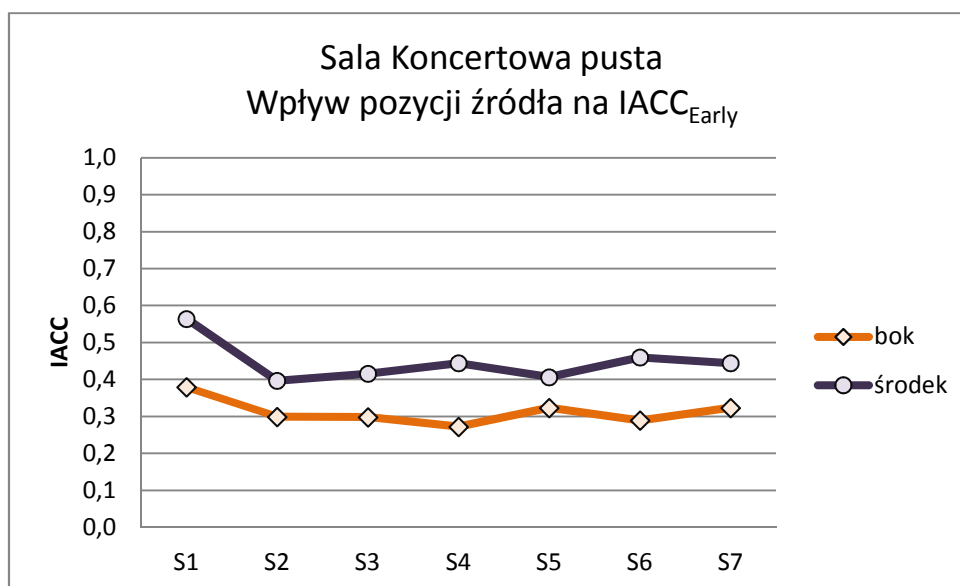
Tabela II.4.28 dotyczy obliczeń IACC i BQI z pierwszych 80 ms odpowiedzi impulsowych. Tabela II.4.29 zawiera dane z obliczeń tych parametrów z części „późnej” odpowiedzi impulsowych, po 80 ms.

Tabela II.4.28. Wartości współczynnika międzyusznej korelacji dźwięku $IACC_{Early}$ i BQI z przedziału $[0, 80]$ ms. Dane dotyczą wartości średnich z pomiarów w trzech pasmach oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz

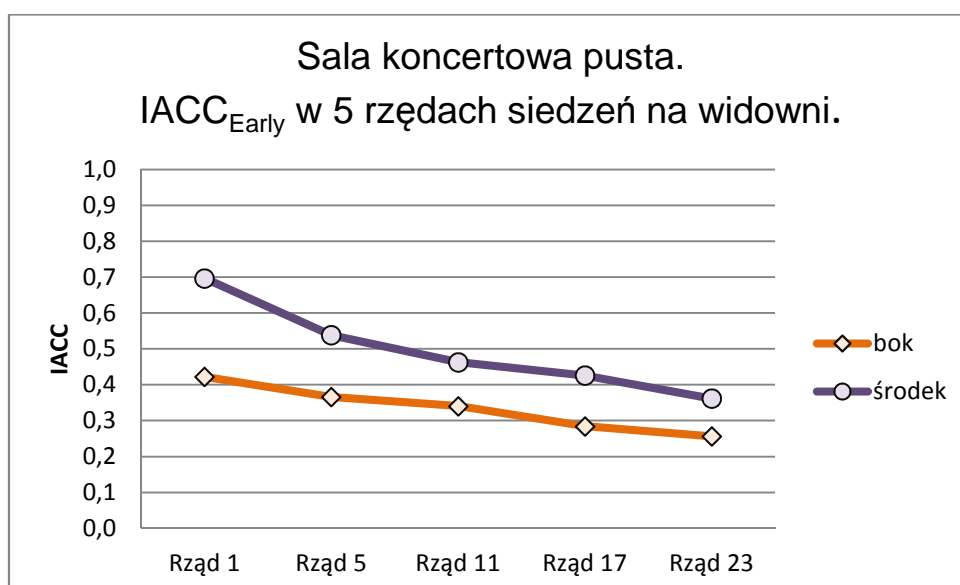
IACC $[0,80]$, ms środek								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.89	0.70	0.58	0.70	0.66	0.73	0.63	0.70
Rzqd 5	0.75	0.49	0.48	0.56	0.37	0.54	0.59	0.54
Rzqd 11	0.64	0.42	0.44	0.39	0.40	0.46	0.49	0.46
Rzqd 17	0.49	0.36	0.40	0.41	0.47	0.36	0.50	0.43
Rzqd 23	0.37	0.32	0.35	0.41	0.39	0.49	0.20	0.36
Średnia	0.56	0.40	0.42	0.44	0.41	0.46	0.44	0.45

IACC $[0,80]$, ms strona prawa								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.50	0.40	0.32	0.37	0.31	0.44	0.61	0.42
Rzqd 5	0.54	0.35	0.28	0.34	0.36	0.30	0.40	0.37
Rzqd 11	0.45	0.35	0.34	0.30	0.29	0.33	0.32	0.34
Rzqd 17	0.23	0.28	0.34	0.27	0.35	0.28	0.24	0.28
Rzqd 23	0.29	0.22	0.23	0.18	0.29	0.25	0.33	0.26
Średnia	0.38	0.30	0.30	0.27	0.32	0.29	0.32	0.31

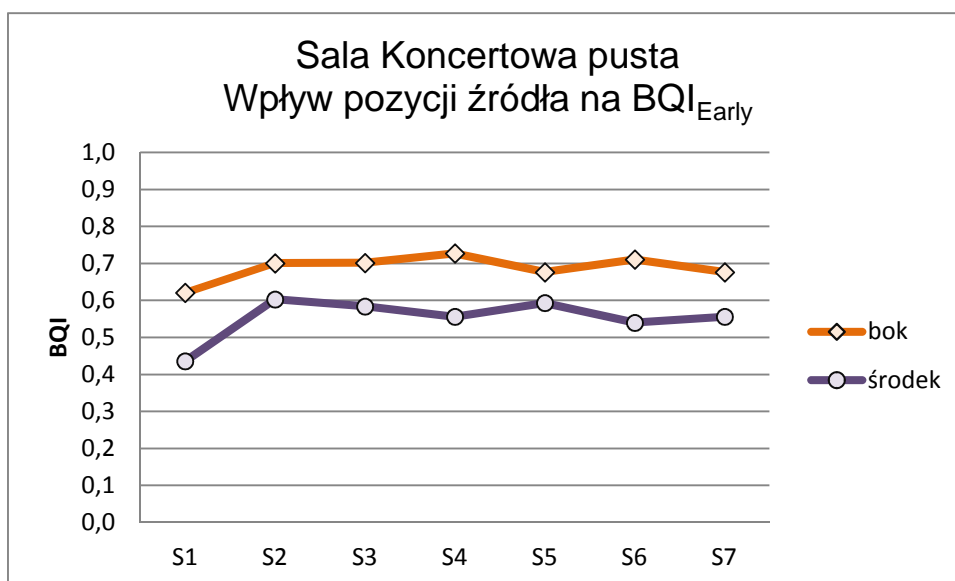
Na rys. II.4.35, II.4.36, II.4.37, i II.4.38, pokazano wykresy zmierzonych wartości współczynnika korelacji międzyusznej $IACC_{Early}$ i BQI_{Early} . Wskaźniki te obliczane są z przebiegów wczesnych odbić dźwięku, które trafiają do mikrofonów umieszczonych w małżowinach sztucznej głowy.



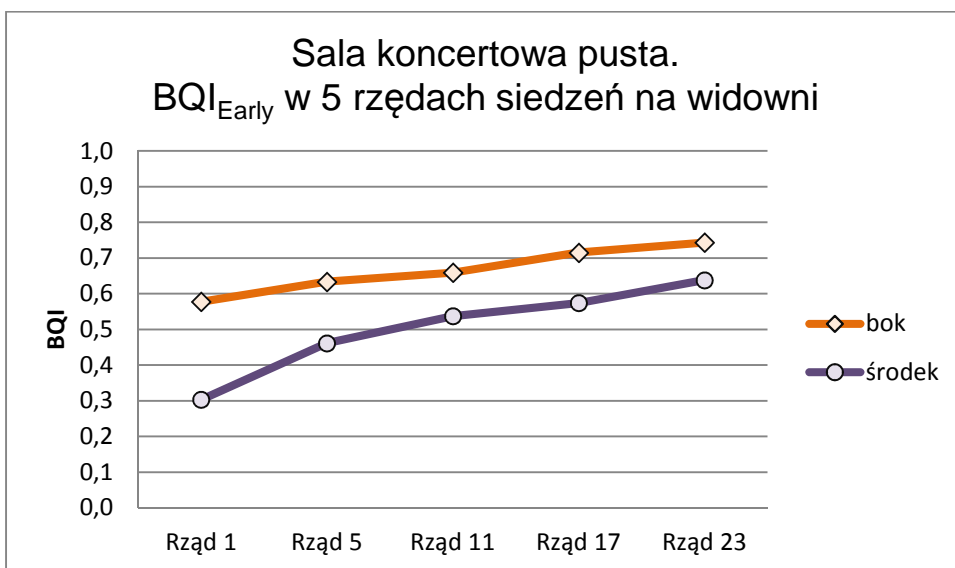
Rys. II.4.35. Średnia wartość $IACC_{Early}$ zmierzona w 7 pozycjach źródła dźwięku, od S1 z przodu estrady do S7 w głębi estrady. Średnie wartości $IACC_{Early}$ obliczone zostały z 5 miejsc na środku i 5 miejsc z boku widowni. Wartość średnia $IACC_{Early}$ z wszystkich miejsc na widowni = 0.38. W obliczeniu średniej pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku



Rys. II.4.36. Średnia wartość $IACC_{Early}$ w kolejnych pozycjach punktu pomiarowego, od pierwszego do 23-go rzędu w środku i z boku każdego rzędu. Średnie wartości $IACC_{Early}$ w każdym punkcie obliczono dla 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia $IACC_{Early}$ z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.45, średnia z pomiarów z boku Sali obok przejścia równa 0.31. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku



Rys. II.4.37. Średnia wartość BQI_{Early} przy zmianie pozycji źródła dźwięku od S1 z przodu estrady do S7 w głębi estrady. Punkty zaznaczone na wykresie reprezentują średnie wartości BQI z pomiarów na widowni w środkowych i bocznych miejscach na widowni. Wartość średnia BQI z wszystkich punktów na widowni równa 0.62

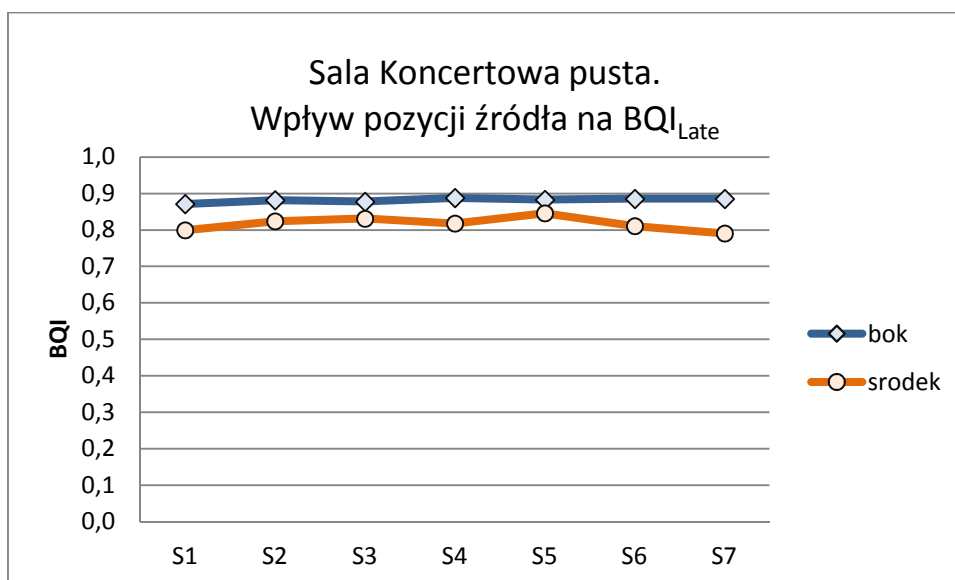


Rys. II.4.38. Średnia wartość BQI_{Early} przy zmianie pozycji punktu pomiarowego od pierwszego do 23-go rzędu w środku i z boku każdego rzędu. Średnie wartości BQI_{Early} w każdym punkcie obliczone z 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia BQI_{Early} z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.55, średnia z pomiarów z boku sali obok przejścia równa 0.69. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku

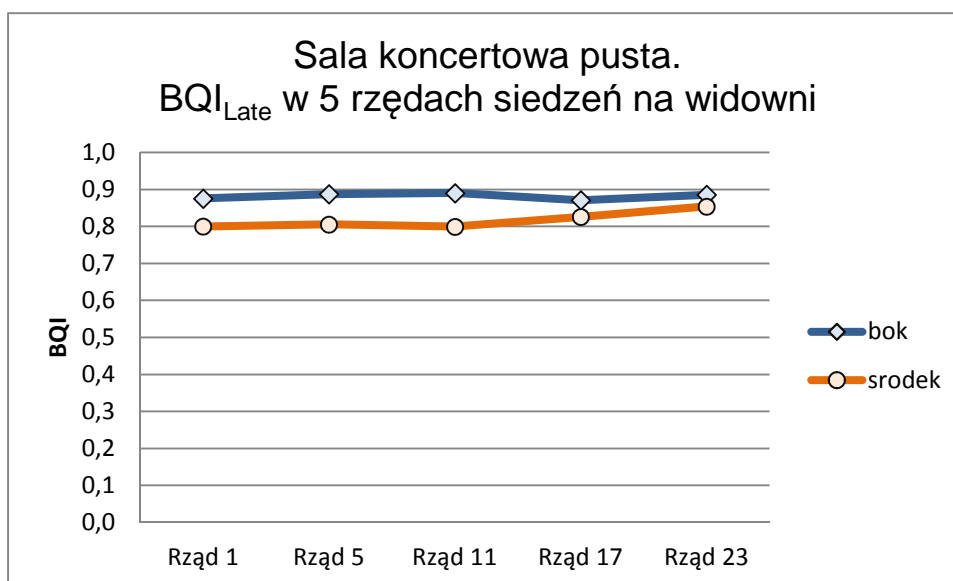
Tabela II.4.29. Wartości współczynnika międzyusznej korelacji dźwięku $IACC_{Late}$ i BQI_{Late} , obliczone z odpowiedzi impulsowych po 80 ms. Dane dotyczą wartości średnich z pomiarów w trzech pasmach oktawowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

IACC (80,+), miejsca środkowe								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.22	0.23	0.19	0.13	0.15	0.21	0.26	0.20
Rzqd 5	0.21	0.21	0.19	0.16	0.15	0.19	0.25	0.19
Rzqd 11	0.20	0.17	0.17	0.24	0.15	0.23	0.24	0.20
Rzqd 17	0.19	0.13	0.17	0.19	0.18	0.15	0.20	0.17
Rzqd 23	0.17	0.14	0.12	0.19	0.14	0.16	0.10	0.15
Średnia	0.20	0.18	0.17	0.18	0.15	0.19	0.21	0.18

IACC (80,+) strona prawa								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.10	0.15	0.11	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12
Rzqd 5	0.13	0.10	0.11	0.10	0.13	0.11	0.10	0.11
Rzqd 11	0.15	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11
Rzqd 17	0.12	0.13	0.14	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13
Rzqd 23	0.13	0.10	0.15	0.12	0.10	0.11	0.09	0.11
Średnia	0.13	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12



Rys. II.4.39. Wpływ pozycji źródła dźwięku na BQI_{Late} . Siedem pozycji źródła dźwięku na estradzie. IACC uśrednione z wszystkich punktów na widowni. Średnia wartość $BQI_{Late} = 0.85$.



Rys. II.4.40. Średnia wartość BQI_{Late} przy zmianie pozycji punktu pomiarowego od pierwszego do 23-go rzędu, w środku i z boku przy przejściu. Średnie wartości BQI_{Late} w każdym punkcie obliczone z 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia IACC_{Early} z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.82, średnia z pomiarów BQI_{Late} z boku obok przejścia równa 0.88. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku.

Z pomiarów wynika, że średnia wartość wskaźnika dwuusznej oceny jakości akustycznej BQI Sali Koncertowej nie zależy od pozycji źródła dźwięku na estradzie.

4.2.11. Siła dźwięku G w pustej Sali Koncertowej

Siła dźwięku G, dB, jest miarą wrażenie głośności muzyki docierającej do słuchaczy. W miernictwie akustycznym siła dźwięku G jest obliczana jako różnica między poziomem ekspozycji LpE, dB, wszechkierunkowego źródła dźwięku (energii dźwięku) w badanym pomieszczeniu, a poziomem ekspozycji tego samego źródła LpE10, dB, w polu swobodnym, w odległości 10 m, według poniższego wzoru.

$$G = 10 \cdot \log \frac{\int_0^\infty p^2(t) dt}{\int_0^\infty p_{10}^2(t) dt} = LpE - LpE_{10}, \text{ dB}$$

p(t) – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego odpowiedzi impulsowej w punkcie pomiaru,

p₁₀(t) – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego odpowiedzi impulsowej w polu swobodnym, w odległości 10 m od źródła dźwięku.

Podobnie jak w pomiarach IACC, siła dźwięku G obliczana jest w pasmach oktaowych, w dwóch przedziałach czasu trwania odpowiedzi impulsowej: wczesnych odbić dźwięku, w okienku czasowym odpowiedzi impulsowej 0-80 ms i późnych odbić dźwięku, po 80 ms. Obliczane wskaźniki G oznaczone są jako wczesna siła dźwięku G_{Early} [0,80] i późna siła dźwięku G_w [80,+].

Zmierzone wartości parametrów G i IACC są składnikami liczbowej oceny parametrów charakteryzujących wrażenia przestrzenności dźwięku DSB i LEV, omówione w p. II.3.4 raportu:

Miarę wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment) obliczano z wzoru:

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{\text{mid}} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{\text{mid}})$$

oraz

Stopień zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening) obliczano z wzoru:

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

$G[0,80]$ oznacza wyniki obliczeń w okienku czasowym 0 – 80 ms, w oktawach 500 i 1000 Hz.

Zalecane wartości G dla małych sal koncertowych (liczba słuchaczy mniejsza niż 1000) $G = +6 - +10$ dB, dla większych sal koncertowych $G = +3 - +5$ dB. Zalecana dla małych sal koncertowych wartość IACC = 0.23 – 0.33.

Pomiary siły dźwięku rejestrowano w 28 miejscach na widowni - 14 pozycji w środkowej części rzędów oraz 14 pozycji w części bocznej widowni, przy trzech lokalizacjach źródła dźwięku S1, S2 i S3. Źródło S1 ustawione było w odległości 1.5 m od krawędzi estrady, S3 w odległości 4 m i S2 w odległości 6.5 m od krawędzi estrady.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych w tej serii pomiarów pokazane jest na rys. II.4.15.

4.2.12. Wyniki pomiarów siły dźwięku G_{Total}

W tabeli II.4.30 zestawiono wartości średnie z pomiarów siły dźwięku G_{Total} z pełnej odpowiedzi impulsowej. Charakterystyki widmowe w pasmach oktawowych pokazano na rys. II.4.40.

Tabela II.4.30 Widma oktawowo siły dźwięku G_{Total} , dBl z pełnej odpowiedzi impulsowej

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G_{Total} , dB Środek	6	15	9	8	7	9	6	2
G_{Total} , dB Z boku	2	11	6	6	7	8	6	2

W tabeli II.4.31 zestawiono wartości średnie G_{Total} , z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Total} .

W tabeli II.4.32 zestawiono wartości średnie G_{Total} z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny tabeli, to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Total} .

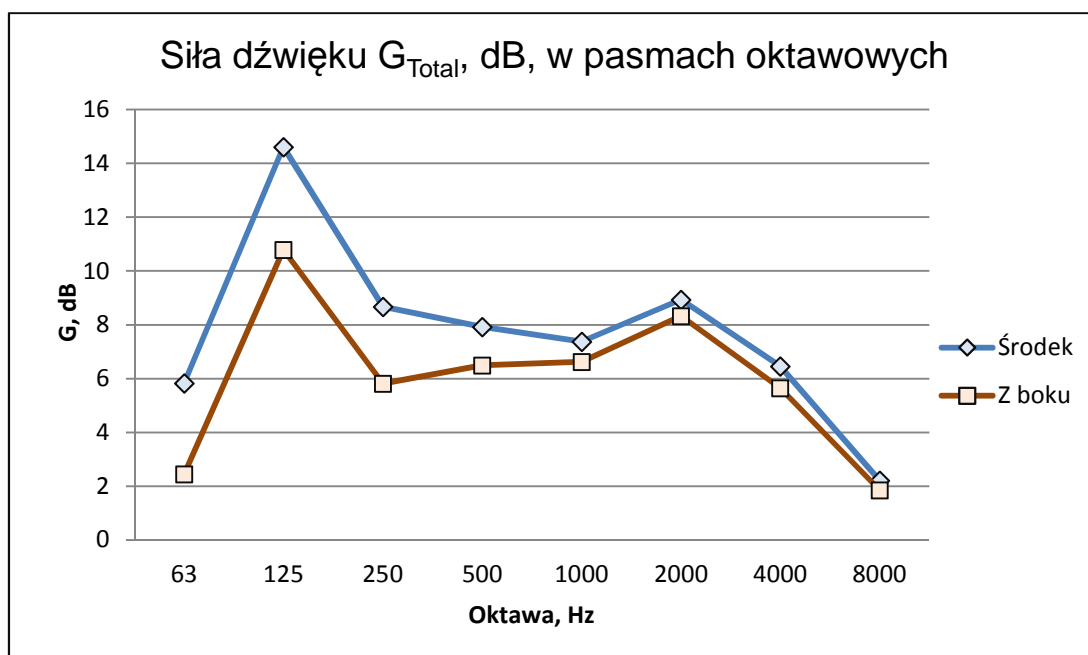
Wykres zależności G_{Total} od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.42 i II.4.43.

Tabela II.4.31. Wartości średnie G_{Total} , dB z oktaf 500 -1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

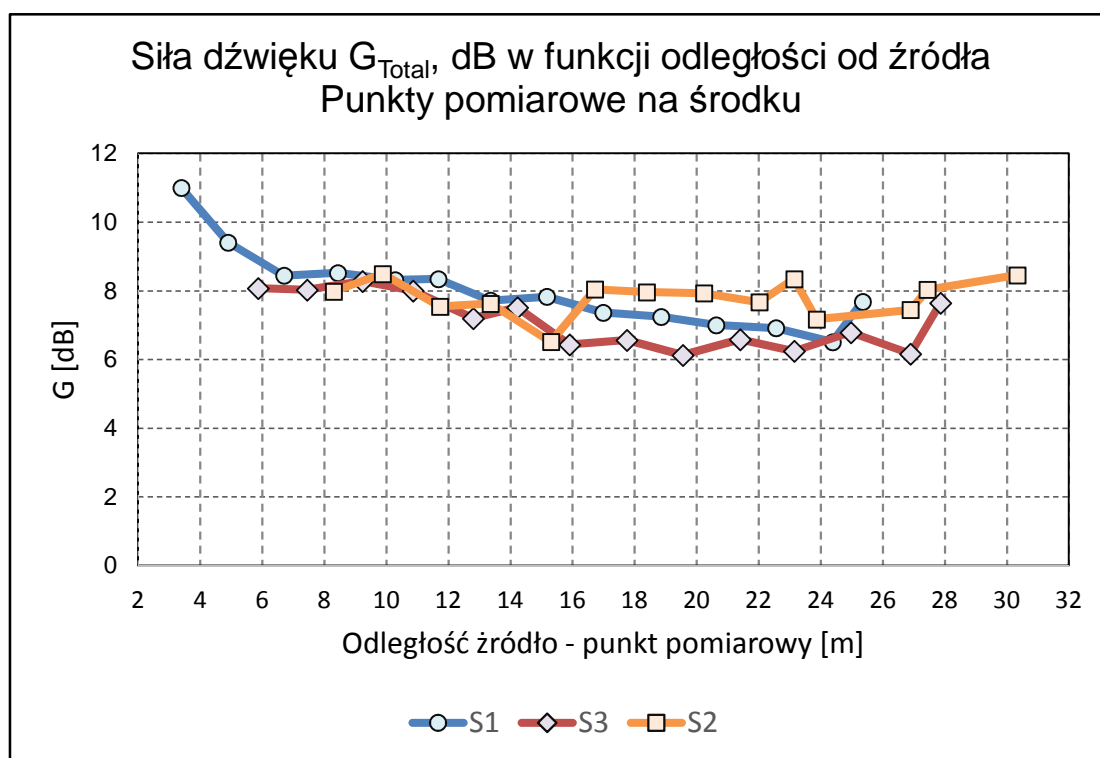
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	11.0	5.9	8.1	8.3	8.0
4.9	9.4	7.4	8.0	9.9	8.5
6.7	8.4	9.2	8.3	11.7	7.5
8.4	8.5	10.9	8.0	13.4	7.6
10.3	8.3	12.8	7.2	15.3	6.5
11.7	8.3	14.2	7.5	16.7	8.0
13.4	7.7	15.9	6.4	18.4	8.0
15.2	7.8	17.8	6.6	20.2	7.9
17.0	7.4	19.6	6.1	22.0	7.7
18.9	7.2	21.4	6.6	23.1	8.3
20.6	7.0	23.1	6.2	23.9	7.2
22.6	6.9	25.0	6.8	26.9	7.4
24.4	6.5	26.9	6.2	27.4	8.0
25.4	7.7	27.9	7.6	30.3	8.5

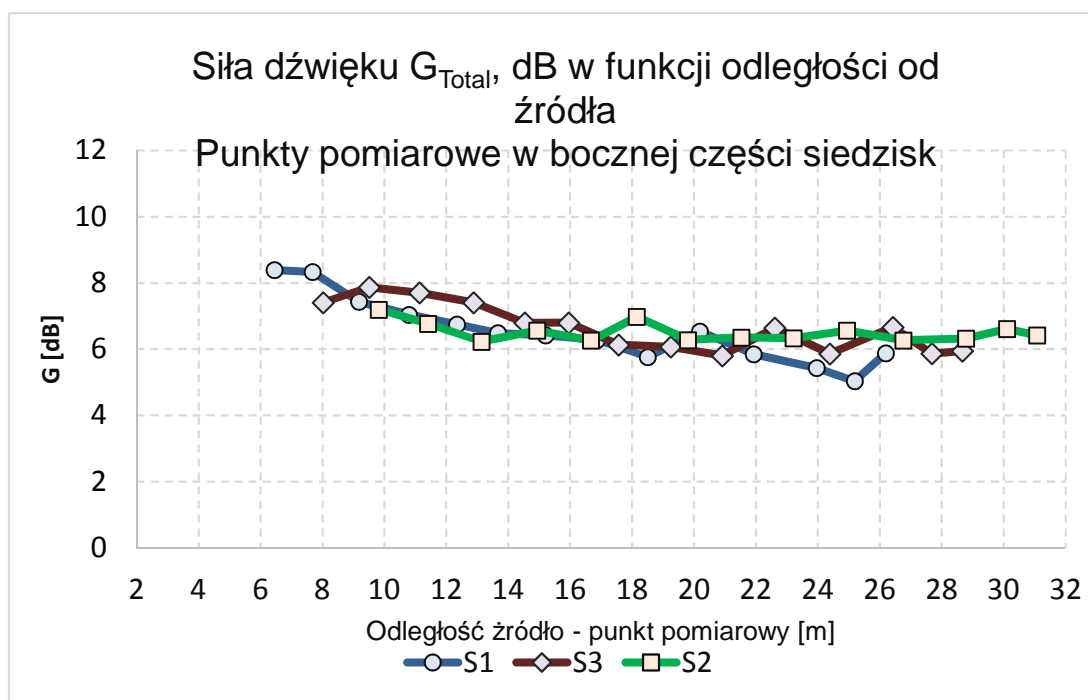
Tabela II.4.32. Wartości średnie G_{Total} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	8.4	8.0	7.4	9.8	7.2
7.7	8.3	9.5	7.9	11.4	6.8
9.2	7.4	11.1	7.7	13.1	6.2
10.8	7.0	12.9	7.4	14.9	6.6
12.4	6.7	14.5	6.8	16.7	6.3
13.7	6.5	16.0	6.8	18.2	7.0
15.2	6.4	17.6	6.1	19.8	6.3
16.9	6.3	19.3	6.1	21.5	6.4
18.5	5.8	20.9	5.8	23.2	6.3
20.2	6.5	22.6	6.6	25.0	6.6
21.9	5.9	24.4	5.9	26.8	6.3
24.0	5.4	26.4	6.7	28.8	6.3
25.2	5.0	27.7	5.9	30.1	6.6
26.2	5.9	28.7	5.9	31.1	6.4

Rys. II.4.41. Widma oktaowe siły dźwięku G_{Total} , dB. Punkty pomiarowe na środku i z boku widowni.

G_{Total} (500 – 1000 Hz) = 7,0 dB. G_{Total} (125 Hz) = 13 dB

Rys. II.4.42. Zależność siły dźwięku G_{Total} , dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3, w punktach pomiarowych w środku rzędów, wzdłuż osi sali. Siła dźwięku G_{Total} ma średnią wartość 7 dB (pominięto punkty w pobliżu źródła dźwięku)



Rys. II.4.43. Zależność siły dźwięku G_{Total} , dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk. Siła dźwięku G_{Total} ma wartości od 7 dB

4.2.13. Wyniki pomiarów siły dźwięku G80

W tabeli II.4.33 zestawiono wartości średnie siły dźwięku G80, dB dla pierwszych 80 ms. Charakterystyki widmowe w pasmach oktaowych pokazano na rys. II.4.44.

Tabela II.4.33. Widma oktaowe siły dźwięku G80 odbić w czasie 0 – 80 ms

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G80, dB środek	3.7	11.0	5.2	4.5	4.3	6.0	4.4	0.9
G80, dB z boku	0.7	7.9	2.2	3.2	3.2	4.9	3.1	0.5

W tabeli II.4.34 zestawiono wartości średnie G80, dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G80.

W tabeli II.4.35 zestawiono wartości średnie G80, dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G80.

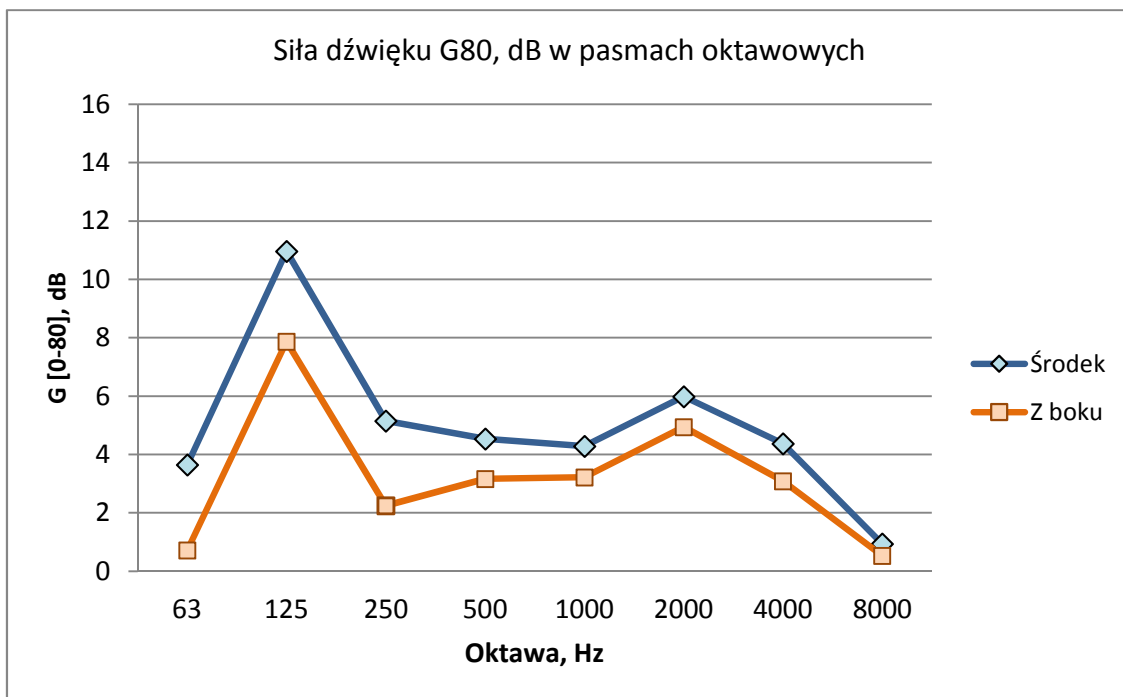
Wykres zależności G_{80} , dB od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.45 i II.4.46.

Tabela II.4.34. Wartości średnie G_{80} , dB z oktav 500-1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

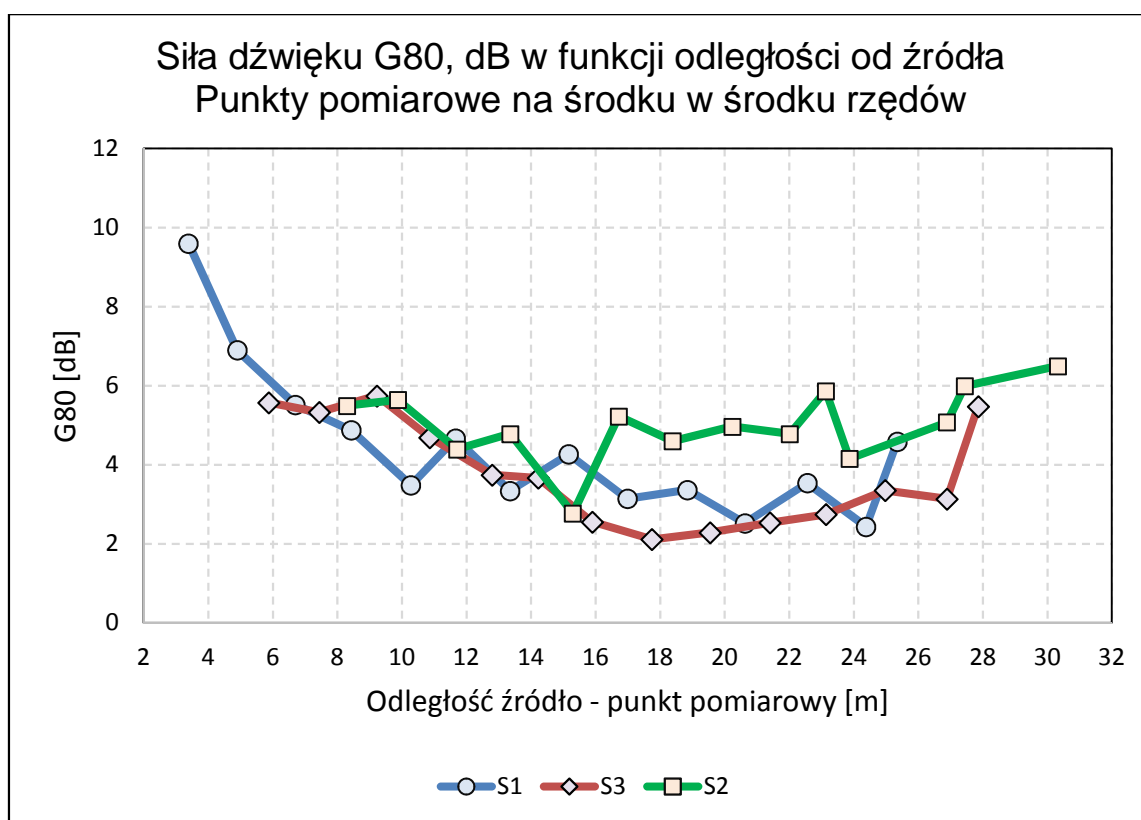
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	9.6	5.9	5.6	8.3	5.5
4.9	6.9	7.4	5.3	9.9	5.6
6.7	5.5	9.2	5.7	11.7	4.4
8.4	4.9	10.9	4.7	13.4	4.8
10.3	3.5	12.8	3.7	15.3	2.8
11.7	4.7	14.2	3.7	16.7	5.2
13.4	3.3	15.9	2.6	18.4	4.6
15.2	4.3	17.8	2.1	20.2	5.0
17.0	3.1	19.6	2.3	22.0	4.8
18.9	3.4	21.4	2.5	23.1	5.9
20.6	2.5	23.1	2.7	23.9	4.2
22.6	3.5	25.0	3.4	26.9	5.1
24.4	2.4	26.9	3.1	27.4	6.0
25.4	4.6	27.9	5.5	30.3	6.5

Tabela II.4.35. Wartości średnie G_{80} , dB z oktav 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

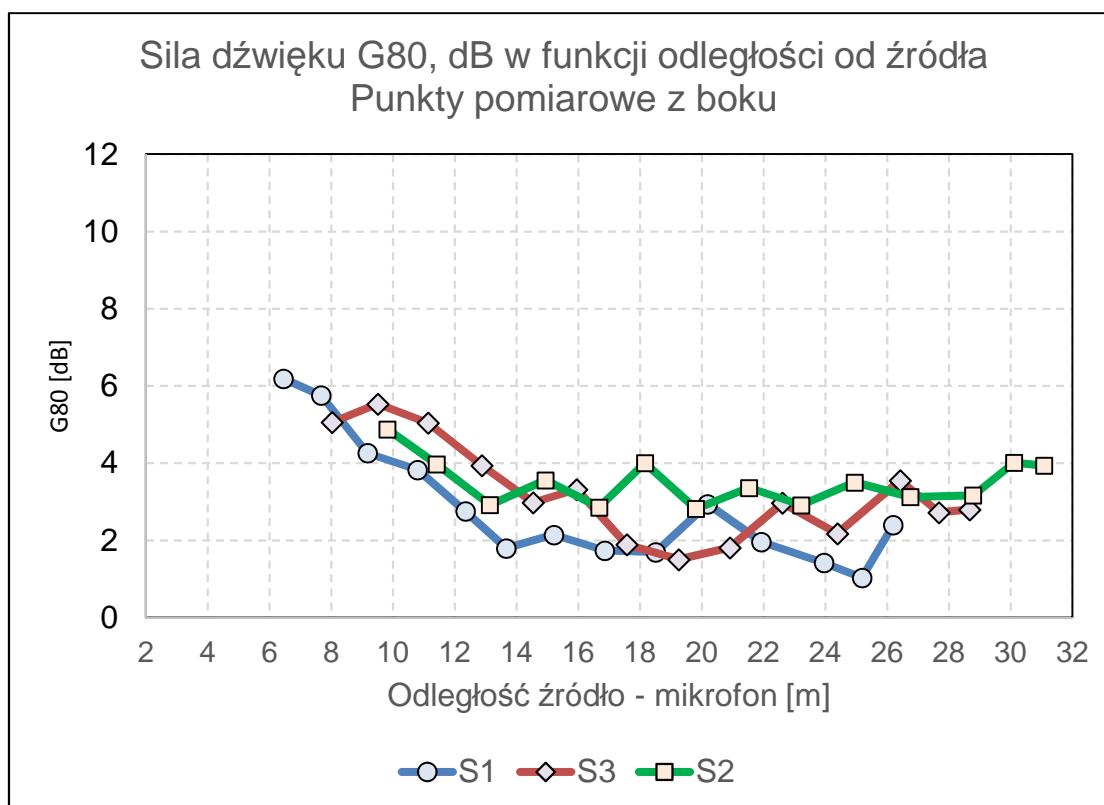
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	6.2	8.0	5.1	9.8	4.9
7.7	5.8	9.5	5.5	11.4	4.0
9.2	4.3	11.1	5.0	13.1	2.9
10.8	3.8	12.9	3.9	14.9	3.6
12.4	2.8	14.5	3.0	16.7	2.9
13.7	1.8	16.0	3.3	18.2	4.0
15.2	2.1	17.6	1.9	19.8	2.8
16.9	1.7	19.3	1.5	21.5	3.4
18.5	1.7	20.9	1.8	23.2	2.9
20.2	2.9	22.6	3.0	25.0	3.5
21.9	2.0	24.4	2.2	26.8	3.1
24.0	1.4	26.4	3.6	28.8	3.2
25.2	1.0	27.7	2.7	30.1	4.0
26.2	2.4	28.7	2.8	31.1	3.9



Rys. II.4.44. Widma oktaowe siły dźwięku G80, dB. Punkty pomiarowe na środku rzędów i z boku widowni. G80 (500 – 1000 Hz) = 3.8 dB. G80 (125 Hz) = 9.5 dB



Rys. II.4.45. Zależność siły dźwięku G80, dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Średnia wartość G80 = 3.8 dB.



Rys. II.4.46. Zależność siły dźwięku G_{80} , dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk

4.2.14. Wyniki pomiarów siły dźwięku G_{Late}

W tabeli II.4.36 zestawiono wartości średnie siły dźwięku G_{Late} , dB dla odpowiedzi impulsowej po 80 ms. Charakterystyki widmowe w pasmach oktaowych pokazano na rys. II.4.47.

Tabela II.4.36. Widma oktaowe siły dźwięku G_{Late} odpowiedzi impulsowej po 80 ms

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G_{Late} , środek	1.8	11.9	5.9	5.1	4.3	5.7	2.1	-3.9
G_{Late} , Z boku	-2.1	7.4	3.1	3.7	3.9	5.6	2.0	-4.1

W tabeli II.4.37 zestawiono wartości średnie pomiarów G_{Late} , dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Late} .

W tabeli II.4.38 zestawiono wartości średnie G_{Late} , dB z oktav 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Late} , dB.

Wykres zależności G_{Late} , dB od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.48 i II.4.49

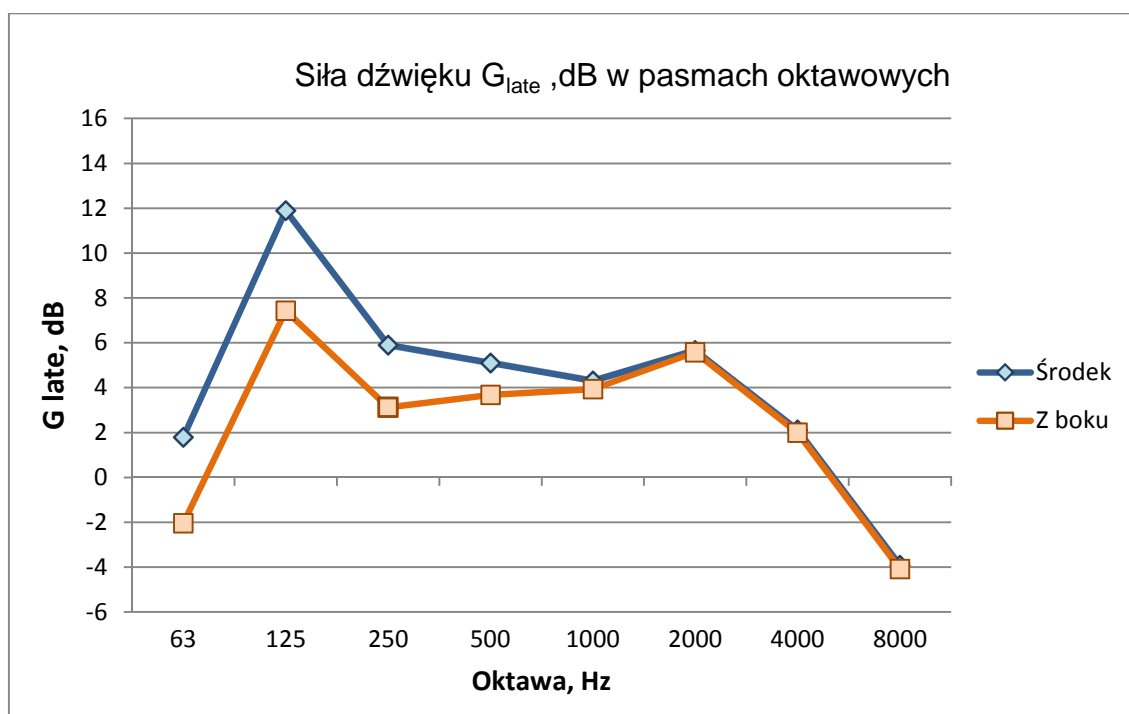
Tabela II.4.37. Wartości średnie G_{Late} , dB z oktav 500-1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

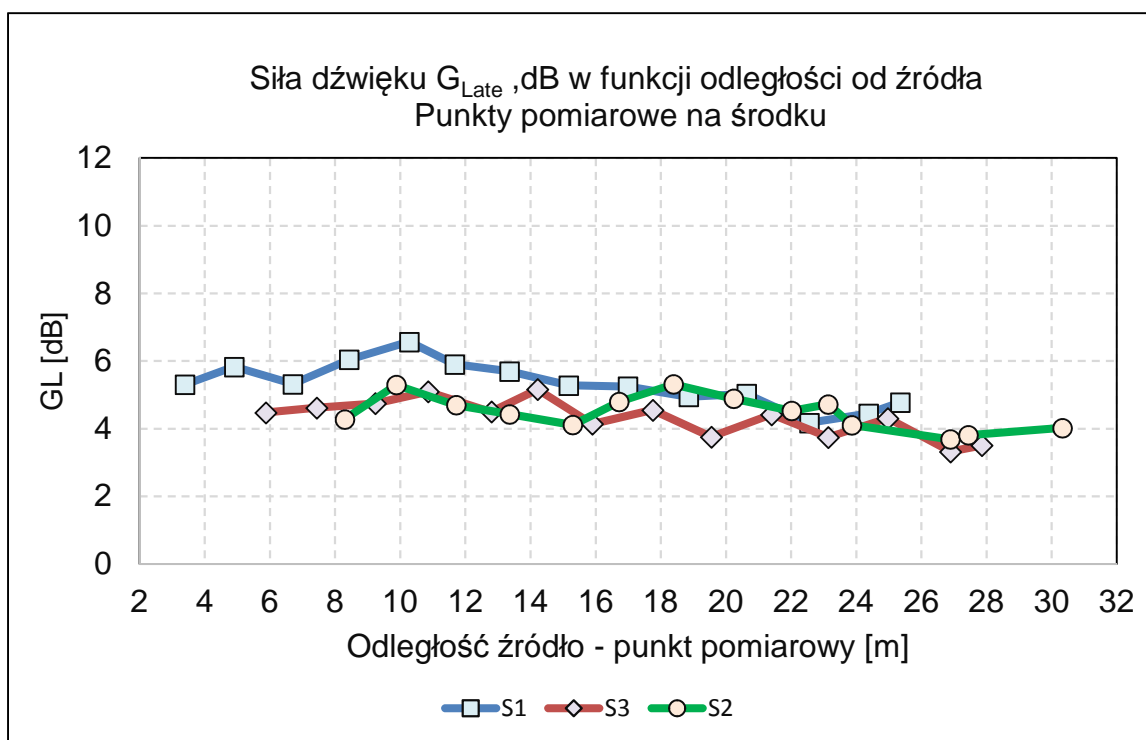
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	5.30	5.9	4.48	8.3	4.28
4.9	5.83	7.4	4.62	9.9	5.29
6.7	5.32	9.2	4.75	11.7	4.70
8.4	6.04	10.9	5.10	13.4	4.43
10.3	6.57	12.8	4.50	15.3	4.11
11.7	5.90	14.2	5.16	16.7	4.79
13.4	5.70	15.9	4.14	18.4	5.31
15.2	5.28	17.8	4.55	20.2	4.89
17.0	5.25	19.6	3.76	22.0	4.53
18.9	4.94	21.4	4.42	23.1	4.72
20.6	5.03	23.1	3.75	23.9	4.11
22.6	4.17	25.0	4.31	26.9	3.69
24.4	4.45	26.9	3.32	27.4	3.81
25.4	4.78	27.9	3.51	30.3	4.02

Tabela II.4.38. Wartości średnie G_{Late} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali.

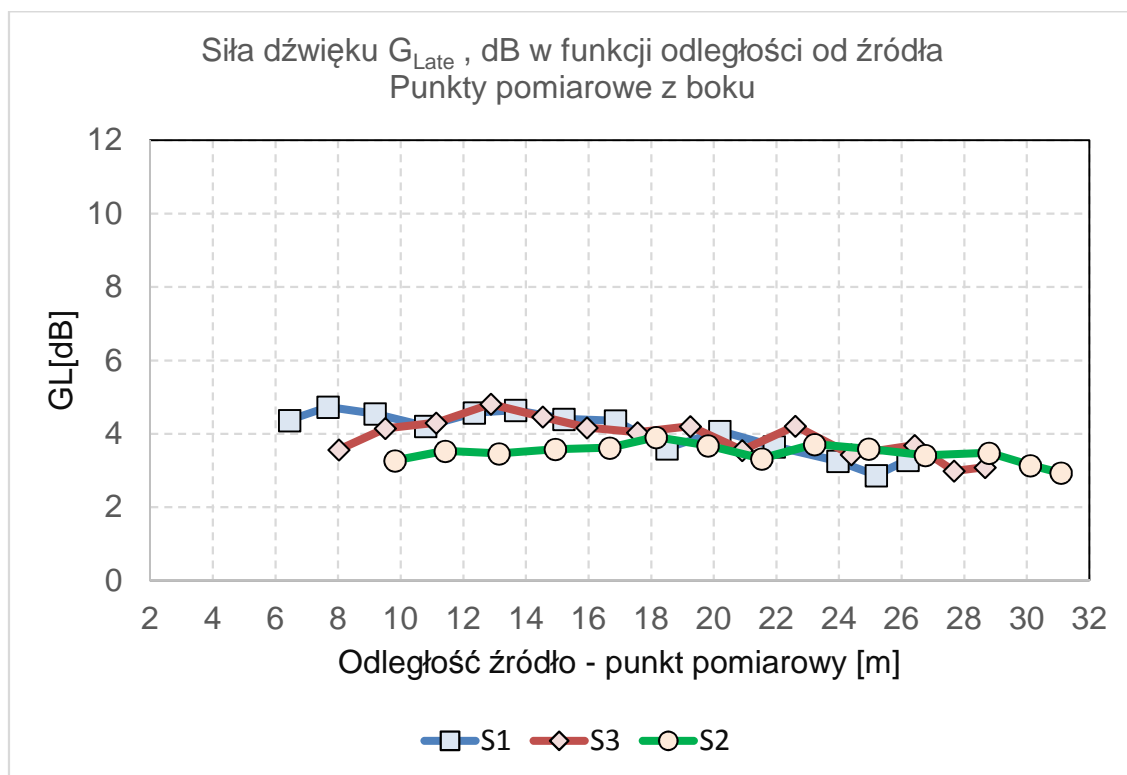
Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	4.37	8.0	3.57	9.8	3.27
7.7	4.73	9.5	4.15	11.4	3.53
9.2	4.55	11.1	4.30	13.1	3.46
10.8	4.21	12.9	4.81	14.9	3.58
12.4	4.57	14.5	4.46	16.7	3.62
13.7	4.64	16.0	4.17	18.2	3.91
15.2	4.40	17.6	4.04	19.8	3.68
16.9	4.36	19.3	4.20	21.5	3.32
18.5	3.60	20.9	3.55	23.2	3.71
20.2	4.07	22.6	4.21	25.0	3.59
21.9	3.65	24.4	3.43	26.8	3.41
24.0	3.26	26.4	3.69	28.8	3.48
25.2	2.87	27.7	2.99	30.1	3.14
26.2	3.29	28.7	3.09	31.1	2.93

Rys. II.4.47. Widma oktafowe siły dźwięku G_{Late} , dB. Punkty pomiarowe na środku rzędów i z boku widowni. Średnia wartość G_{Late} = 4.3 dB



Rys. II.4.48. Zależność siły dźwięku G_{Late} , dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3, w punktach pomiarowych w środku rzędów, wzdłuż osi sali. Siła dźwięku G_{Late} ma wartości od 3.5 do 6 dB i średnią 4.3 dB.



Rys. II.4.49. Zależność siły dźwięku G_{Late} , dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk. Siła dźwięku średnia $G_{Late} = 4.3$ dB

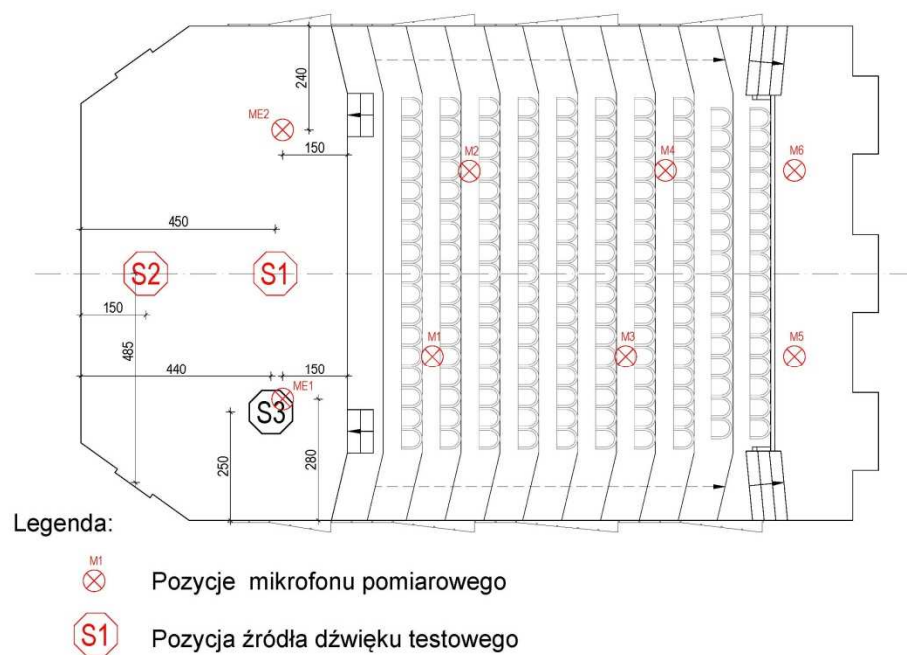
4.3. Wyniki pomiarów Sali Kameralnej

Zakres pomiarów akustycznych Sali Kameralnej obejmował:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- izolacyjność akustyczną od źródeł hałasu w foyer Sali Kameralnej.

Pomiary wykonano w Sali bez publiczności.

4.3.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



FILHARMONIA POMORSKA
SALA KAMERALNA
PUNKTY POMIAROWE - 6.10.2017

Rys. II.4.50. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w Sali Kameralnej. Usytuowanie źródeł dźwięku S1, S2, S3 i punktów pomiarowych M1 – M6 i ME1- ME2.

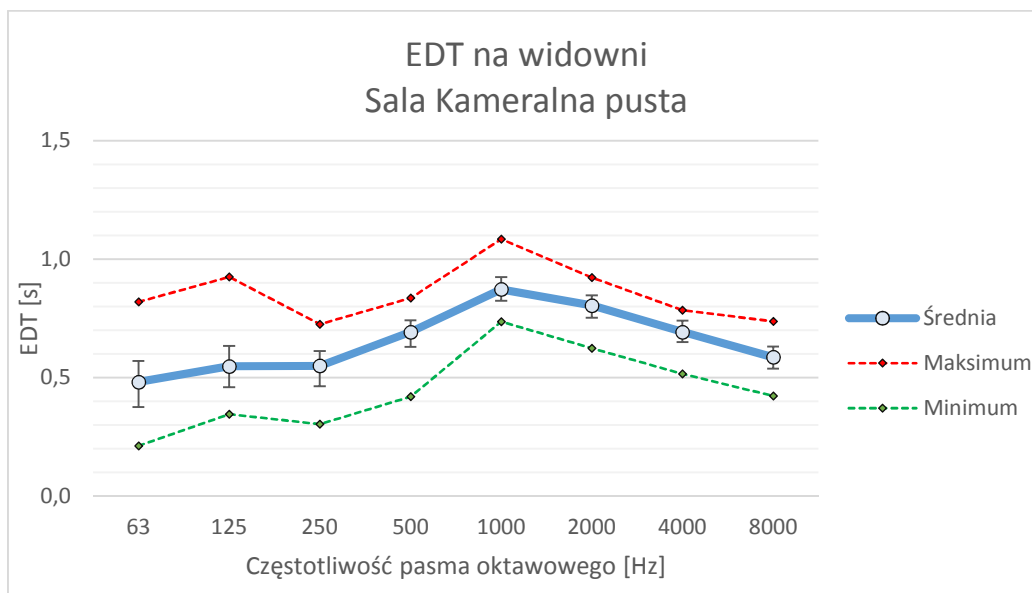
4.3.2. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w Sali Kameralnej

W tabeli II 4.39 podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

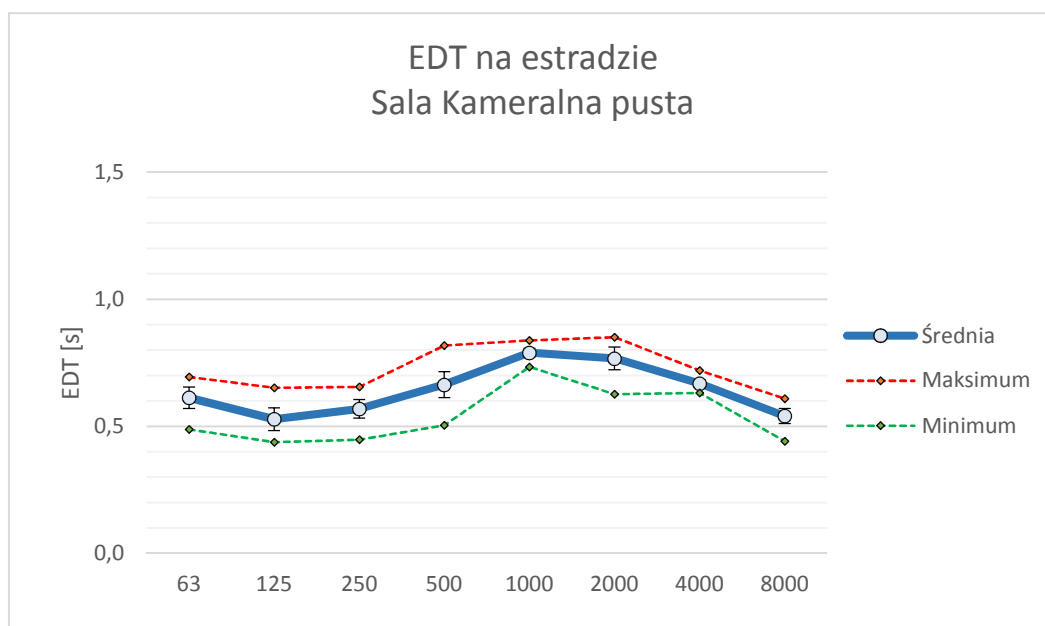
Tabela II 4.39. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT Widownia, dB	0.48	0.55	0.55	0.69	0.87	0.80	0.69	0.59
EDT Estrada, dB	0.61	0.53	0.57	0.66	0.79	0.77	0.67	0.54

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT, dB - rys. II. 4.51 i II.4.52.



Rys. II.4.51. Charakterystyka częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT, s, na widowni, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 0.8 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz)



Rys. II.4.52. Charakterystyka częstotliwościowa czasu wczesnego zaniku EDT, s, na estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na estradzie wynosi 0.7 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz)

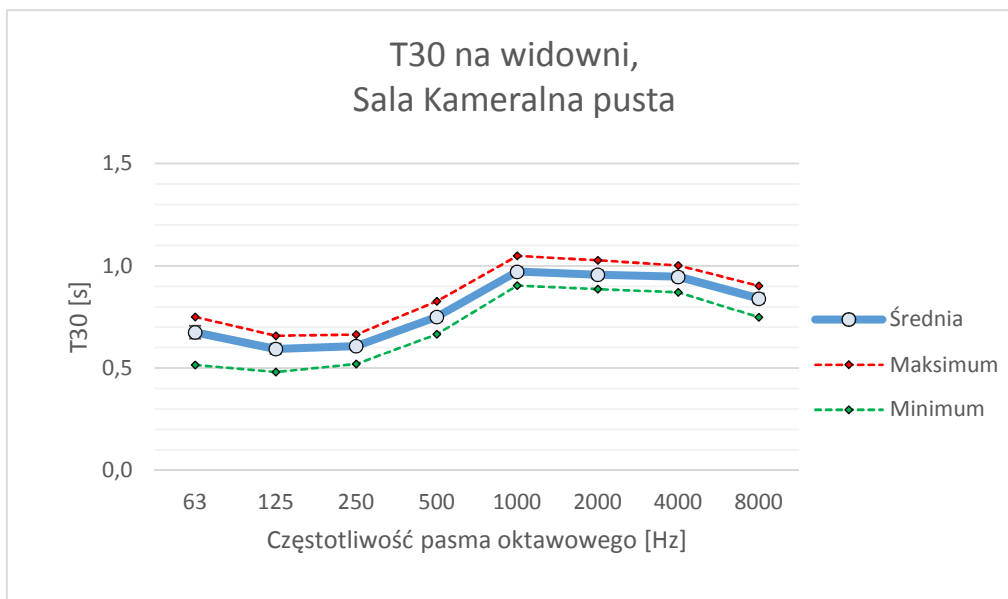
4.3.3. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 w Sali Kameralnej

W tabeli II 4.40 podano średnie wartości czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

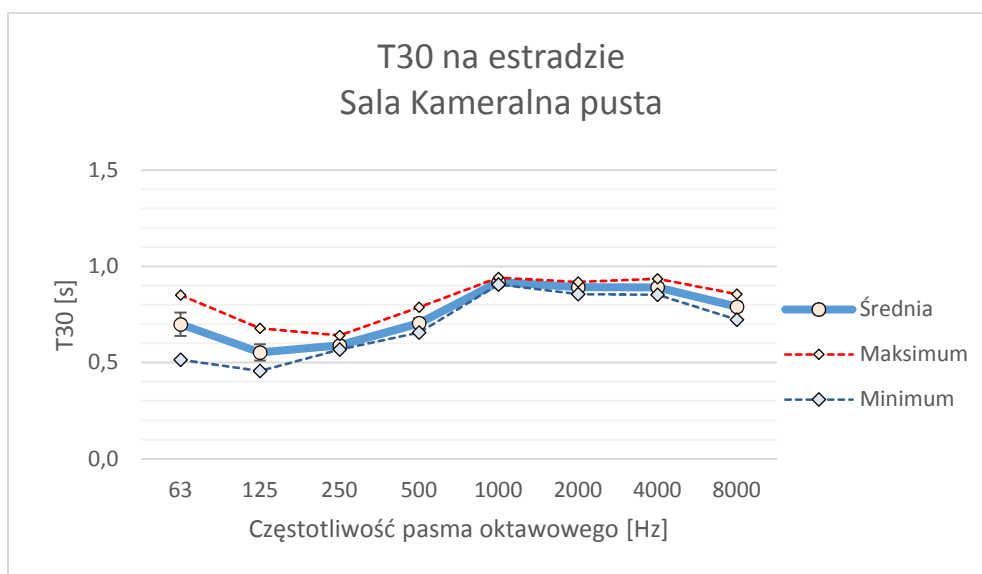
Tabela II 4.40. Średnie wartości czasu pogłosu T30 w pasmach oktawowych, na widowni i estradzie

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 Widownia, dB	0.68	0.59	0.61	0.75	0.97	0.96	0.95	0.84
T30 Estrada, dB	0.70	0.55	0.59	0.70	0.92	0.89	0.89	0.79

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych T30 - rys. II. 4.53 i II.4.54.



Rys. II.4.53. Charakterystyka częstotliwościowe czasu pogłosu T30, s, na widowni, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas pogłosu na widowni wynosi 0.9 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz).



Rys. II.4.54. Charakterystyka częstotliwościowe czasu pogłosu T30, s, na estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas pogłosu dźwięku na estradzie wynosi 0.8 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz).

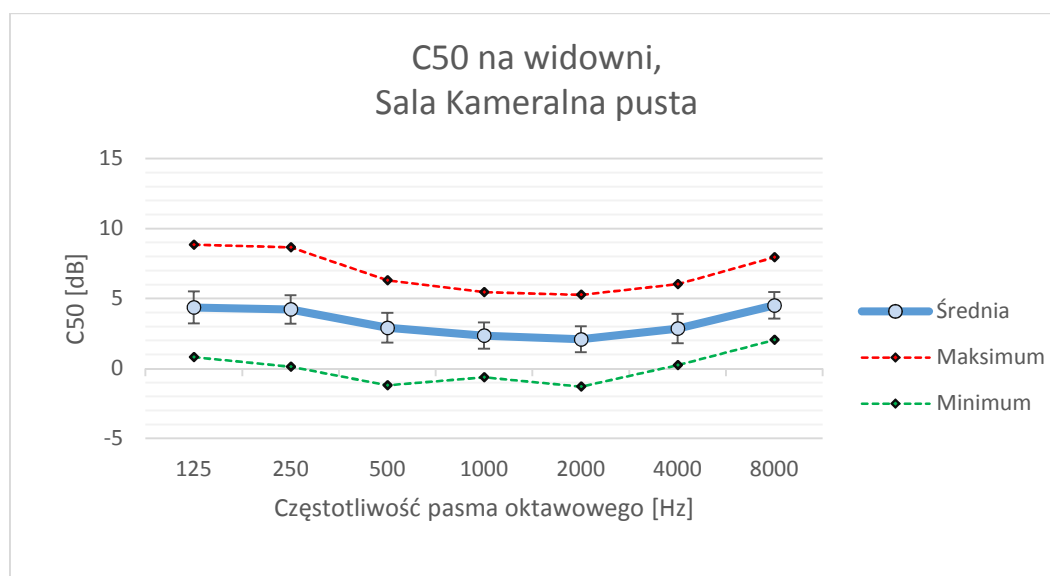
4.3.4. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w Sali Kameralnej

W tabeli II.4.41. podano średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

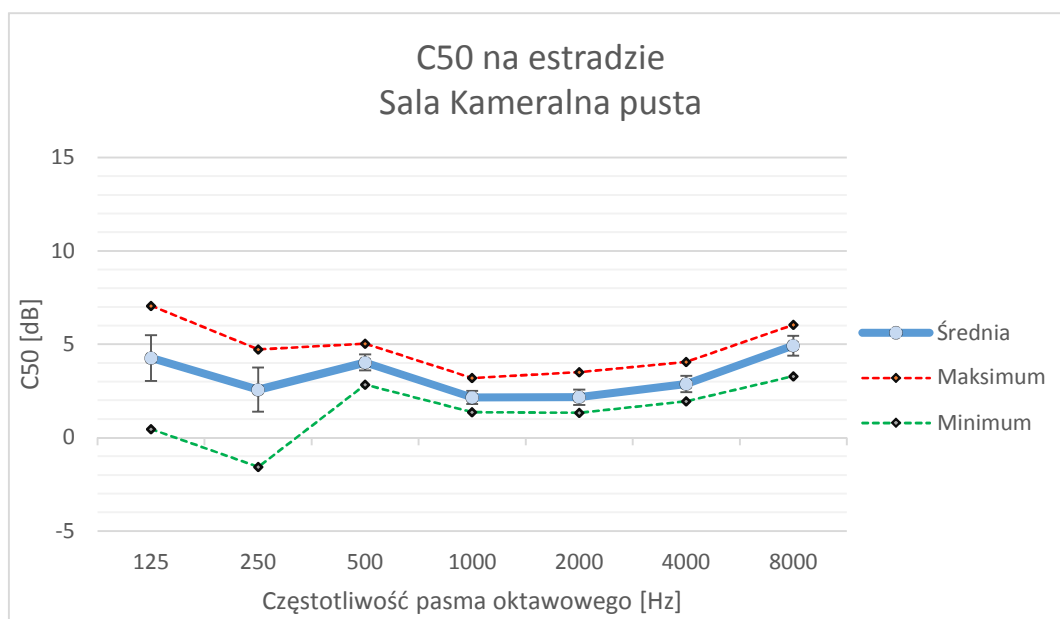
Tabela II.4.41 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 Widownia, dB	4.4	4.2	2.9	2.3	2.1	2.8	4.5
C50 Estrada, dB	4.3	2.6	4.0	2.2	2.2	2.9	4.9

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.55 i II.4.56.



Rys. II.4.55. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni wynosi 2.5 dB



Rys. II.4.56. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik czytelności C50 na estradzie wynosi 3.1 dB

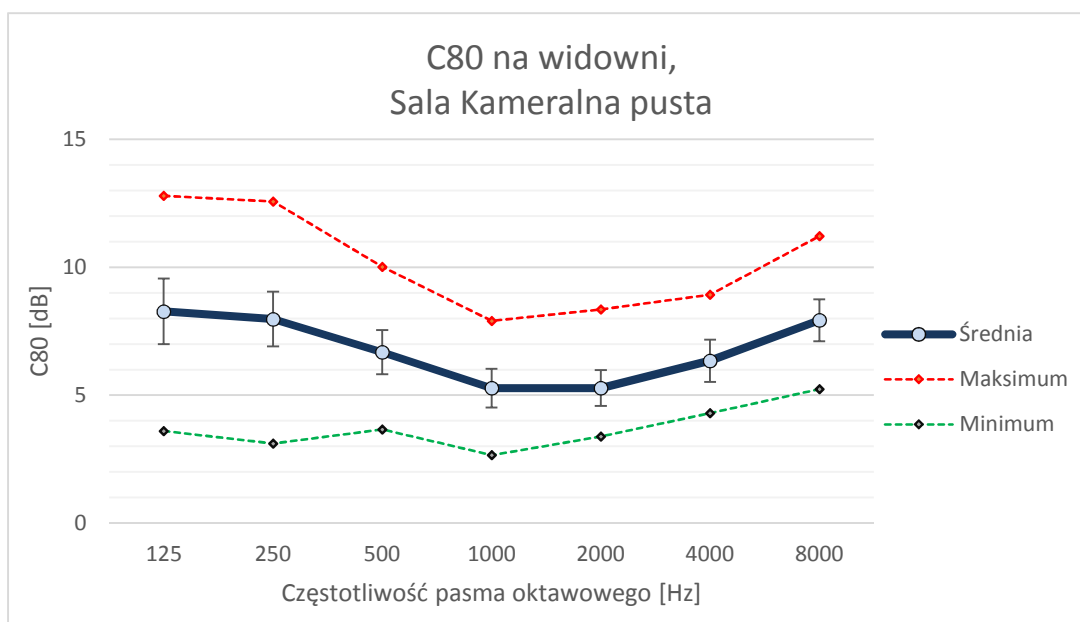
4.3.4. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w Sali Kameralnej

W tabeli II.4.42. podano średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

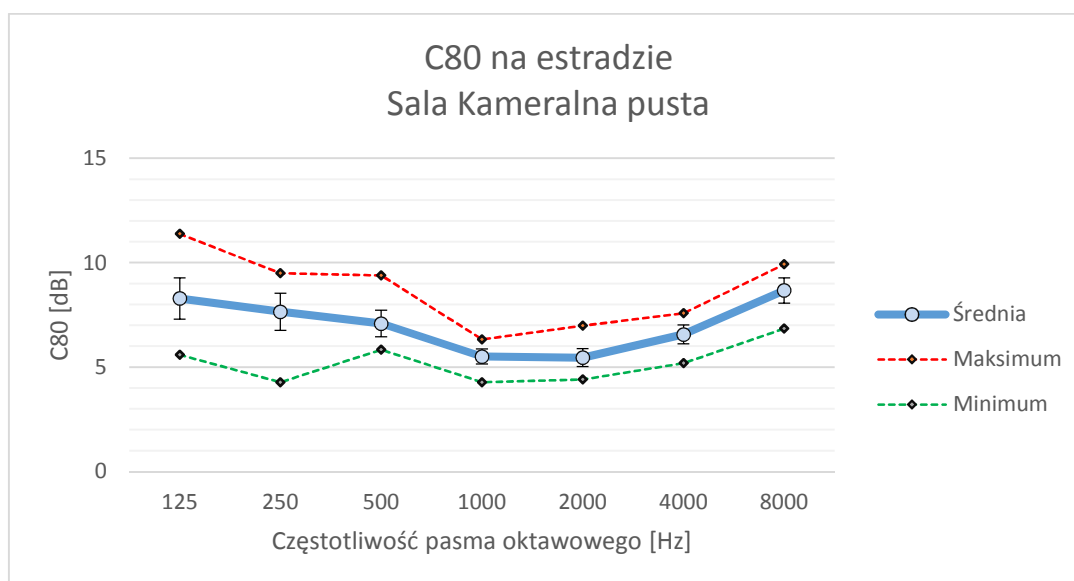
Tabela II.4.42 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości i dźwięku C80, dB, na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 Widownia, dB	8.3	8.0	6.7	5.3	5.3	6.3	7.9
C80 Estrada, dB	8.3	7.7	7.1	5.5	5.5	6.6	8.7

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.57 i II.4.58.



Rys. II.4.57. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na widowni, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik przejrzystości C80 dla widowni wynosi 6.0 dB



Rys. II.4.58. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik przejrzystości i C80 na estradzie wynosi 6.3 dB

4.3.5. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w Sali Kameralnej

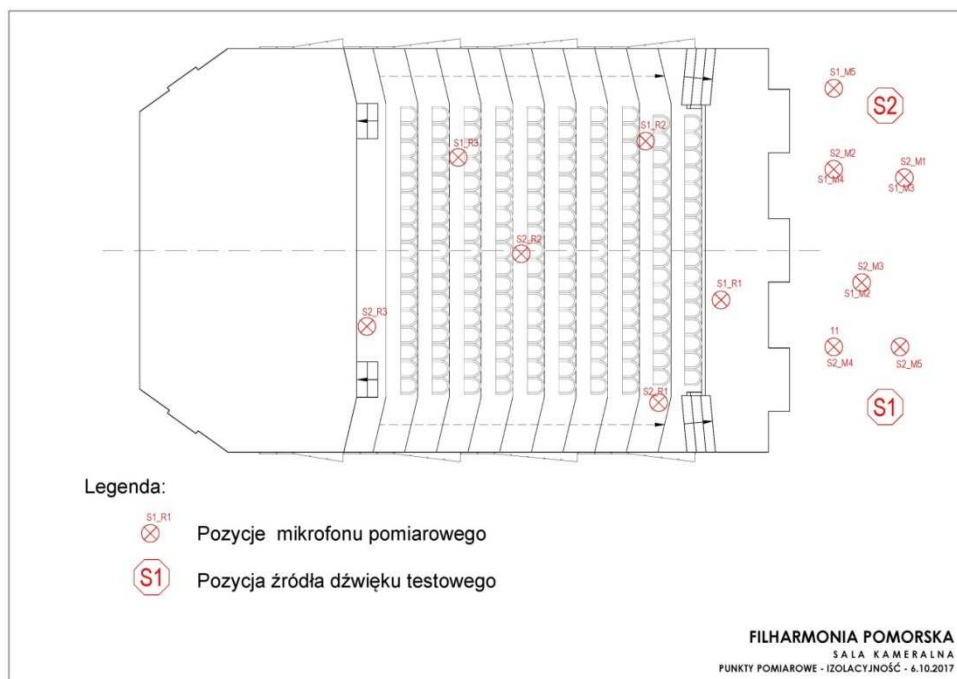
W tabeli II.4.43 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni. Wartości średnie obliczono oddzielnie z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.43 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni

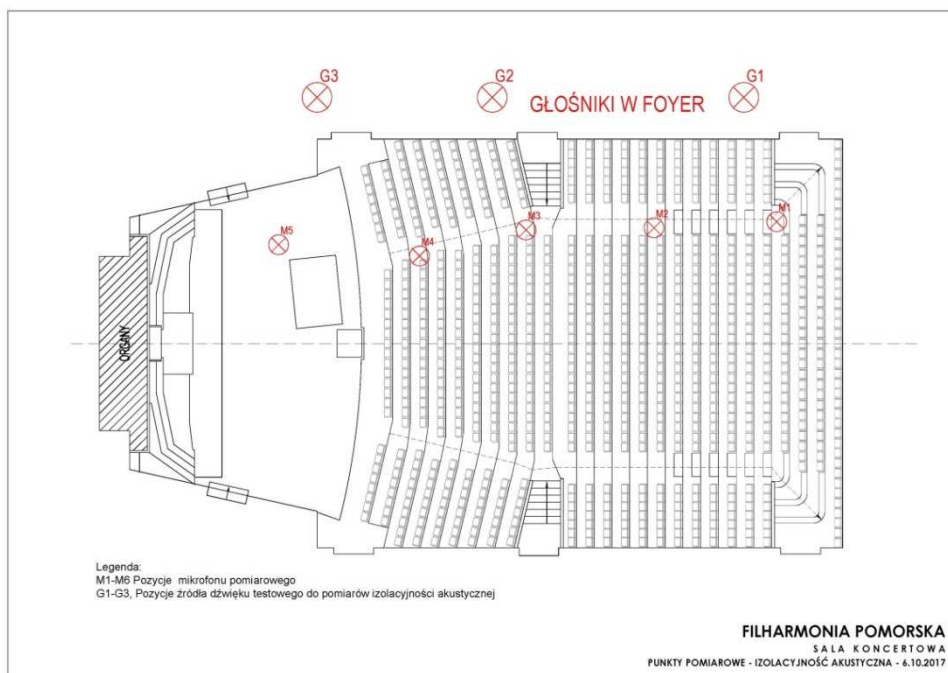
L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Kameralna bez publiczności	0.67	0.68

4.4. Charakterystyki izolacyjności akustycznej między salami koncertowymi i strefami korytarzy

4.4.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przy pomiarach izolacyjności akustycznej.



Rys. II.4.59. Punkty pomiarowe przy pomiarach izolacyjności między Salą Kameralną a foyer Sali Kameralnej.



Rys. II.4.60. Punkty pomiarowe przy pomiarach izolacyjności między Salą Koncertową a foyer Sali Koncertowej.

4.4.2. Izolacyjność akustyczna między Salą Kameralną i Salą Koncertową

Na rys. II.4.61. umieszczono wyniki pomiaru izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną i Salą Koncertową. Źródło sygnału testowego umieszczone było w Sali Kameralnej. Izolacyjność między salami określono na podstawie różnicy wartości poziomów ciśnienia akustycznego ΔL w pasmach tercjowych w Sali Kameralnej (średnia z 7 punktów pomiarowych) i w Sali Koncertowej (średnia z 15 punktów). Jednoliczbowy ważony wskaźnik standardowej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego DnT,w , dB, obliczono zgodnie z wytycznymi normy PN/EN ISO 717-1. Zmierzona izolacyjność między Salą Kameralną a Salą Koncertową wynosi $DnT,w = 53$ dB. W podobny sposób zmierzono izolacyjność między korytarzami a salami koncertowymi. Wyniki pomiarów :

- izolacyjność między Salą Koncertową a górnym foyer Sali Koncertowej (rys. II.4.62), $DnT,w = 43$ dB,
- izolacyjność między Salą Koncertową a dolnym foyer Sali Koncertowej (rys. II.4.63) $DnT,w = 40$ dB,
- izolacyjność między Salą Kameralną a foyer Sali Kameralnej (rys. II.4.64): $DnT,w = 28$ dB.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 06.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Sala Kameralna
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Koncertowa
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	31
63	34
80	38
100	41
125	39
160	37
200	32
250	38
315	43
400	49
500	49
630	54
800	56
1000	58
1250	58
1600	61
2000	62
2500	61
3150	62
4000	64
5000	65

IZOLACYJNOSC AKUSTYCZNA KAMERALNA=>KONCERTOWA N=>O

Wzorcowa różnica poziomów DnT, dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB
— odniesienie wg ISO 717-1
— krzywa odnies. przesunięta

DnT(C;Ctr) = 53 (-3.8; -8.7) dB

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1$ s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 53 (-3.8, -8.7) dB

Nr pomiaru: 1	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 06.10.2017	Podpis

Rys. II.4.61. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 53 (-3.8, -8.7)$ dB.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej między
Foyer Górne Sali Koncertowej a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Górne Sali Koncertowej
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	31
63	34
80	38
100	37
125	46
160	46
200	40
250	41
315	41
400	44
500	45
630	46
800	45
1000	44
1250	41
1600	40
2000	39
2500	40
3150	43
4000	44
5000	44

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1$ s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 43 (-2.0, -1.4) dB

Nr pomiaru: 2	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.62. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyerem Górnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednolitego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 43 (-2.0, -1.4)$ dB.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej
między Foyer Dolne Sali Koncertowej a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Dolne Sali Koncertowej
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Koncertowa
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	34
63	32
80	29
100	32
125	37
160	35
200	38
250	38
315	39
400	40
500	42
630	42
800	41
1000	41
1250	38
1600	37
2000	37
2500	37
3150	40
4000	41
5000	41

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA, FOYER DOLNE => KONCERTOWA N=>O

DnT(C;Ctr) = 40 (-2.0; -1.8) dB

Wzorcowa różnica poziomów DnT, dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB
— krzywa odnies. przesunięta
--- odniesienie wg ISO 717-1

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1$ s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 40 (-2.0, -1.8) dB

Nr pomiaru: 3	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.63. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyer Dolnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 40 (-2.0, -1.8)$ dB

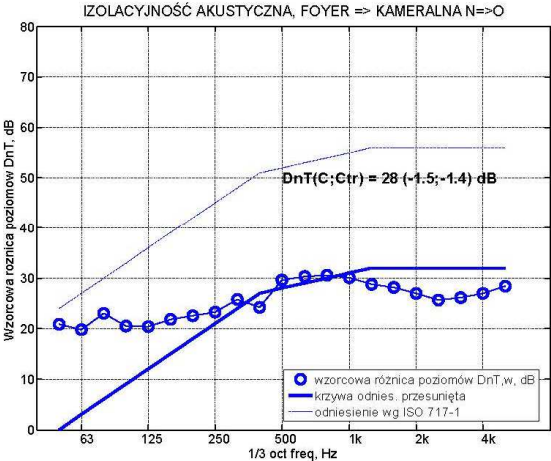
Charakterystyka izolacyjności akustycznej
Między Foyer Sali Kameralnej a Salą Kameralną

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Sali Kameralnej
Objętość pomieszczenia nadawczego: m ³	-
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Kameralna
Objętość pomieszczenia odbiorczego: m ³	850
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego: s	0.86 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	21
63	20
80	23
100	21
125	20
160	22
200	23
250	23
315	26
400	24
500	30
630	30
800	30
1000	30
1250	29
1600	28
2000	27
2500	26
3150	26
4000	27
5000	28



IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA, FOYER => KAMERALNA N=>O

Wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB

— krzywa odnies. przesunięta

--- odniesienie wg ISO 717-1

DnT,w(C;Ctr) = 28 (-1.5; -1.4) dB

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 (T ₀ = 1 s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 28 (-1.5, -1.4) dB

Nr pomiaru: 4	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.64. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyer Dolnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 28 (-1.5, -1.4) \text{ dB}$

4.5. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Kameralnej i Sali Koncertowej

4.5.1. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Kameralnej

4.5.1.1 Dane architektoniczne

Liczba miejsc: 168,
 Kubatura: 890 m³,
 Powierzchnia: 200 m²,
 Długość: 17.8 m,
 Szerokość: 11.5 m,
 Wysokość max: 5 m.

4.5.1.2 Podstawowe dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Sala bez publiczności	Wartość rekomend.
Czas wczesnego zaniku dźwięku	EDT, s	0.75	0.7 – 0.9
Czas pogłosu	T30, s	0.84	0.8 - 1
Stosunek basów	BR	0.80	1.0
Wskaźnik przejrzystości dźwięku	C80, dB	6.2	4 - 6
Wskaźnik czytelności dźwięku	C50, dB	2.9	2 - 4
Wskaźnik zrozumiałości mowy	STI	0.68	> 0.5
Poziom hałasu	NC	28	15

4.5.2. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Koncertowej

4.5.2.1 Dane architektoniczne

Liczba miejsc:	886,
Kubatura:	6200 m ³ ,
Powierzchnia:	675 m ² ,
Powierzchnia estrady:	163 m ² ,
Długość:	35.5 m,
Szerokość:	20.7 m,
Wysokość max:	11.9 m.

4.5.2.2 Podstawowe dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Sala bez publiczności	Sala z publicznością	Wartość rekomend.
Czas wczesnego zaniku dźwięku	EDT, s	1.9	1.5	1.4 – 2.0
Czas pogłosu	T30, s	2.1	1.8	1.7 – 2.2
Stosunek basów	BR	0.86	0.80	1.1 - 1.25
Wskaźnik przejrzystości dźwięku	C80, dB	-0.1	0.2	-3 - 3
Wskaźnik czytelności dźwięku	C50, dB	-2.8	-2.6	-1 - -3
Wskaźniki wspomaganie akustycznego estrady	STearly / STlate, dB	-12.9 / -14.3	-	-13 - -11 -14 - -16
Wskaźnik zrozumiałości mowy	STI	0.51	0.53	> 0.5
Poziom hałasu	NC	25	-	15

4.5.2.3 Rozszerzone dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Bez publiczności	Zalecana z publ.
Czas opóźnienia wczesnych odbić	ITDG, ms	21	15 - 20
Siła dźwięku (0.5 – 1 kHz)	G_{Total} , dB G_{Early} , dB G_{Late} , dB	7.0 3.8 4.3	3 – 5 5 – 8 (mniejsze sale)
Siła dźwięku (125 Hz)	G_{Total} , dB G_{Early} , dB G_{Late} , dB	13.0 9.5 9.7	0 - 3
Współczynnik korelacji międzyusznej	$IACC_{Early}$ $IACC_{Late}$	0.34 0.16	0.20 - 0.35
Wskaźnik jakości binauralnej	BQI_{Early} BQI_{Late}	0.66 0.84	0.65 – 0.80
Miara wrażenia otoczenia dźwiękiem (Listener Envelopment)	LEV	1.39	1 - 2
Stopień rozszerzenia pozornej szerokości źródła dźwięku (Degree of Source Broadening)	DSB	26.8	> 18
Wskaźnik basów (Bass Index)	BI, dB	6	-0.5 - 3
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Sali Kameralnej	D_{nTw} , dB	53	85
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Foyer Górnego Sali Koncertowej	D_{nTw} , dB	43	55
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Foyer Dolnego Sali Koncertowej	D_{nTw} , dB	40	55
Izolacyjność akustyczna Sali Kameralnej od Foyer Sali Kameralnej	D_{nTw} , dB	28	55

Przedstawione dane wskazują, że Sala spełnia większość podstawowych kryteriów jakości akustycznej dla średniej wielkości sal symfonicznych, takich jak czas pogłosu, wskaźniki czytelności i przejrzystości dźwięku. Wśród parametrów, które należałoby poprawić jest izolacyjność akustyczna między Salą Koncertową a korytarzami i Salą Kameralną oraz nadmierny poziom hałasu w Sali, związany z niedostateczną izolacyjnością.

Wśród parametrów, jeden znacząco odbiega od zaleceń opisywanych w literaturze akustycznej, to jest wskaźnik BR – *bass ratio*, czyli stosunek basów. W polskim języku służy on jako miara wrażenia określanego jako ciepło brzmienia. Zmierzona wartość BR wynosi 0.8, czyli o 30 - 40 % mniej niż wartość zalecana 1.1 – 1.25. Właściwość ta wynika z koncepcji akustycznej Autora projektu akustycznego Sali, która opiera się na zastosowaniu drewnianej boazerii, silnie pochłaniającej dźwięk w zakresie małych częstotliwości. Boazeria ta pokrywa większość ścian w Sali. Ponadto, w badaniach materiałów dźwiękochłonnych in-situ stwierdzono, że stosunkowo silnie pochłaniającą dźwięk strukturą w zakresie małych częstotliwości jest także sufit i podłoga widowni.

Z kolei, w ocenach słuchowych brzmienia orkiestr, nie odnoszono się krytycznie do właściwości sali, która dotyczy zakresu małych częstotliwości. W celu wyjaśnienia istoty tego zjawiska przeprowadzono serię dodatkowych pomiarów Sali z użyciem bardziej zaawansowanych narzędzi do diagnostyki akustycznej sal, umożliwiających analizę struktury widmowej i czasowej odpowiedzi akustycznej sali. Interesujący fragment badań dotyczył wyznaczenia opisanych w opracowaniu wskaźników przestrzenności dźwięku LEV, BSD i wskaźnika basów BI. Wskaźnik BI bardziej adekwatnie niż BR charakteryzuje brzmienie sal koncertowych w zakresie małych częstotliwości. Stwierdzono, że wyznaczony z pomiarów Sali wskaźnik BI ma wartość 6 dB i wskazuje, że salę charakteryzuje wyrównane brzmienie, wraz ze składowymi dźwiękami w zakresie małych częstotliwości. Stosunkowo duża wartość siły dźwięków niskoczęstotliwościowych wynika przypuszczalnie z właściwej konstrukcji podłogi i zabudowy estrady, które przenoszą drogą materiałową dźwięk instrumentów smyczkowych opieranych na podłodze estrady.

CZĘŚĆ III– INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA SAL

1. Sala Koncertowa

Poniższa część opracowania przedstawia informacje dotyczące Sali Koncertowej zebrane na podstawie architektonicznej dokumentacji archiwalnej będącej w posiadaniu Filharmonii Pomorskiej. Nie znaleziono opracowania akustyki wnętrz, dlatego informacje pochodzą z rysunków wnętrzarskich, które zostały zweryfikowane w czasie wizji lokalnej i odkrywek.

1.1. Dane architektoniczne

Dane ogólne

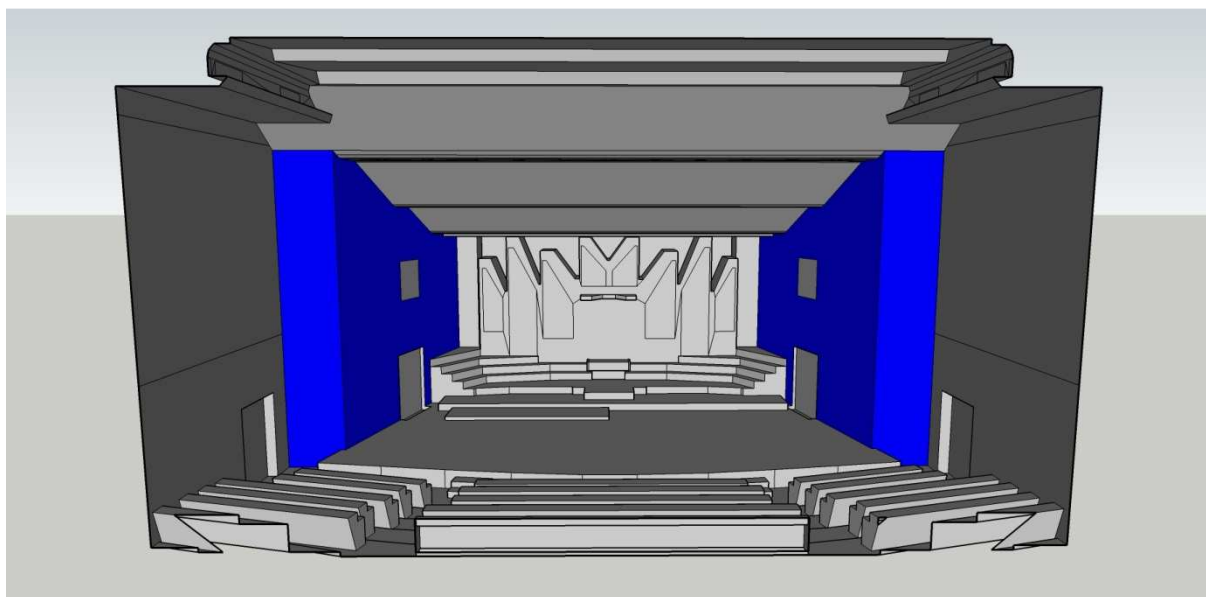
Sala Koncertowa mieści się na 1. piętrze budynku siedziby Filharmonii Pomorskiej.

Wejścia na estradę oraz boczne przednie na widownię są zrealizowane z poziomu 1. piętra. Tylne wyjścia z wyższych rzędów widowni usytuowane są na poziomie 2. piętra. Nad salą jest stropodach. Poniżej, pod widownią zlokalizowana jest Sala Kameralna Filharmonii Pomorskiej.

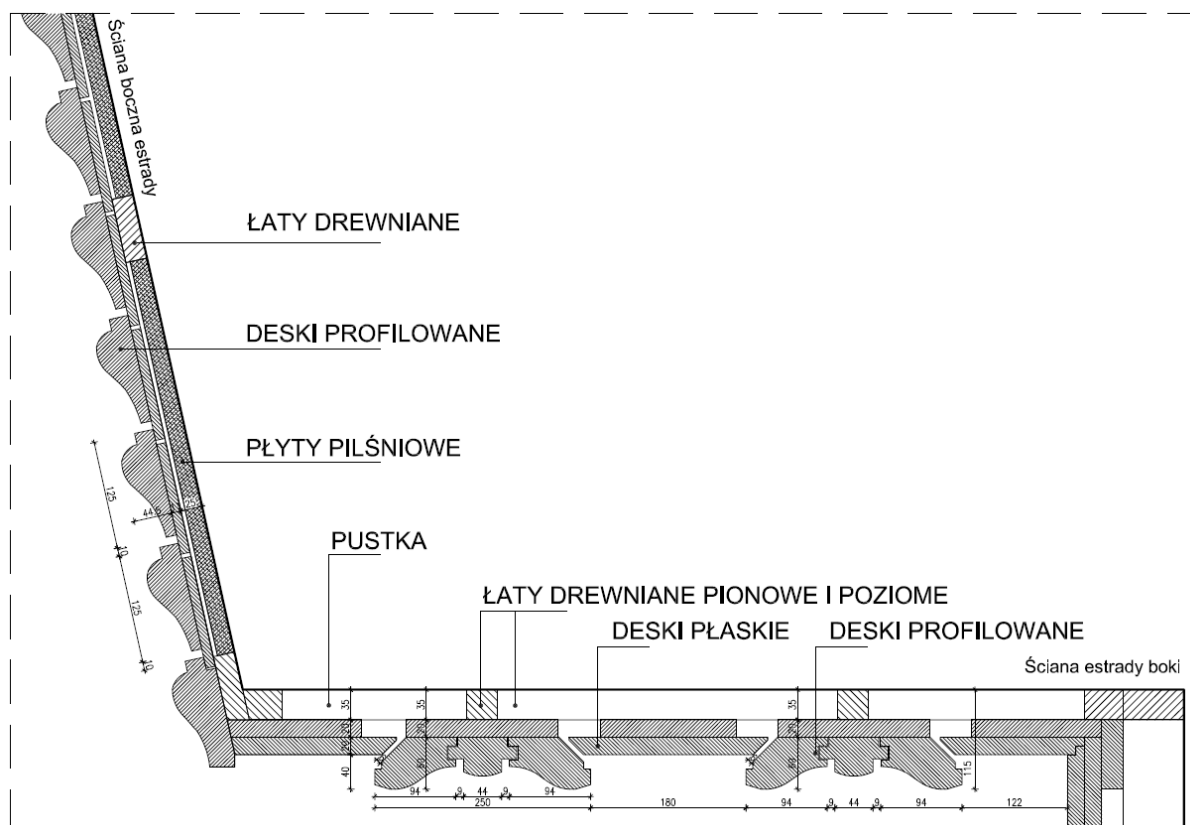
- Długość – 35,5m
- Szerokość – 20,7m
- Wysokość – max11,9m
- Powierzchnia – 675m²
- Kubatura – 6200m³

1.2. Elementy adaptacji akustycznej

Ściany boczne estrady

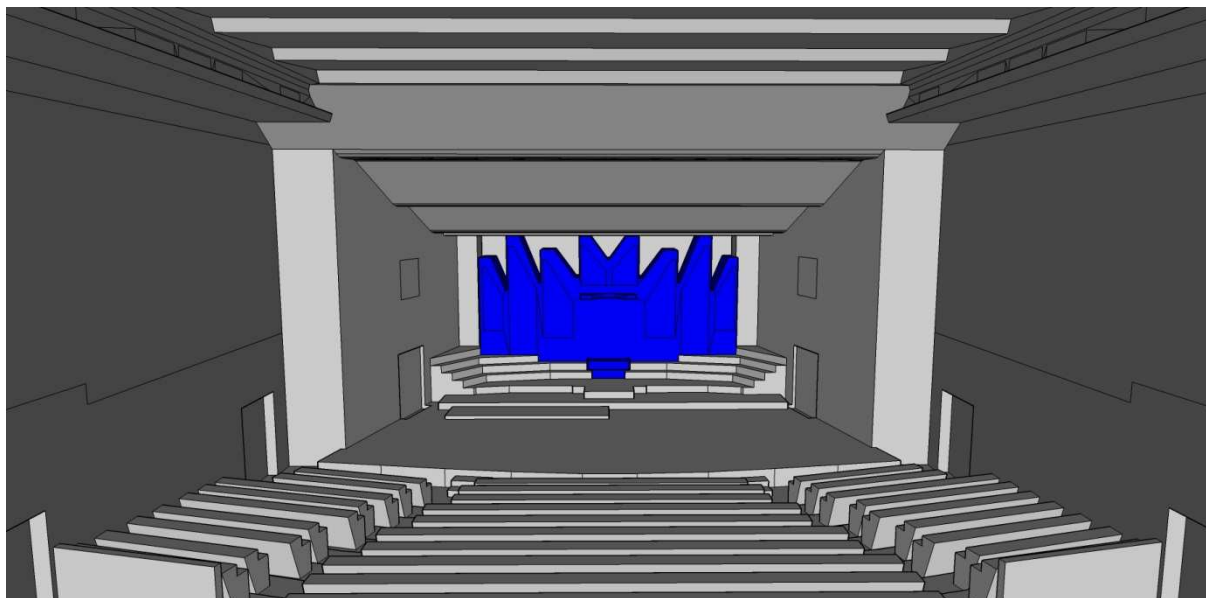


Rys. III.1.1. Widok ścian bocznych estrady



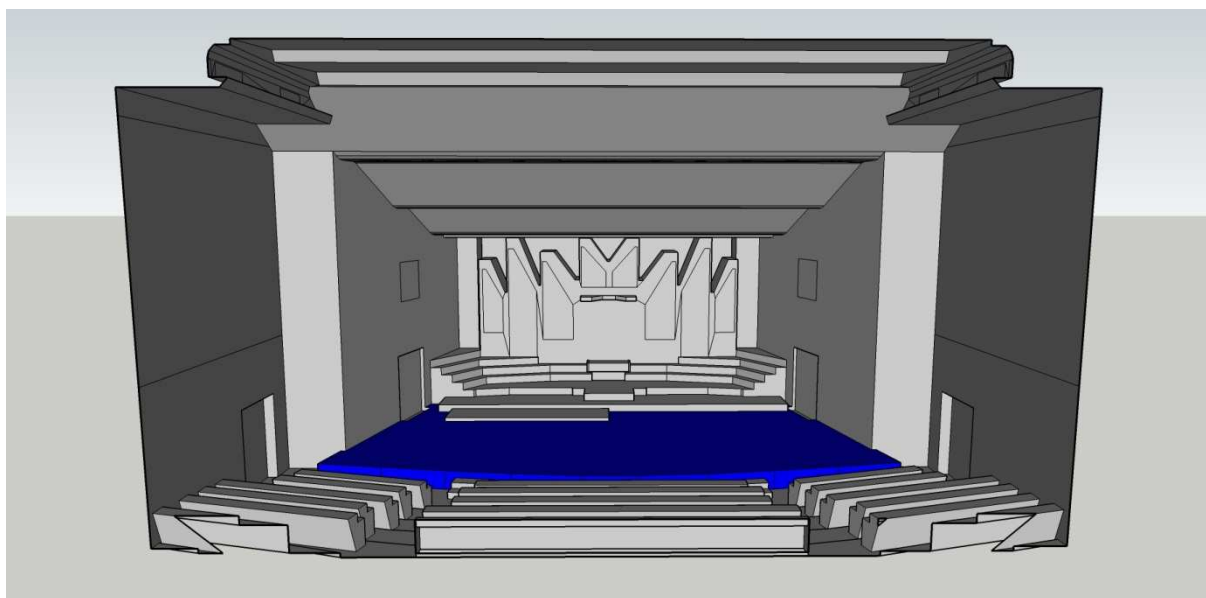
Rys. III.1.2. Zasada budowy ustroju akustycznego na bocznych ścianach estrady.

Ściana frontowa



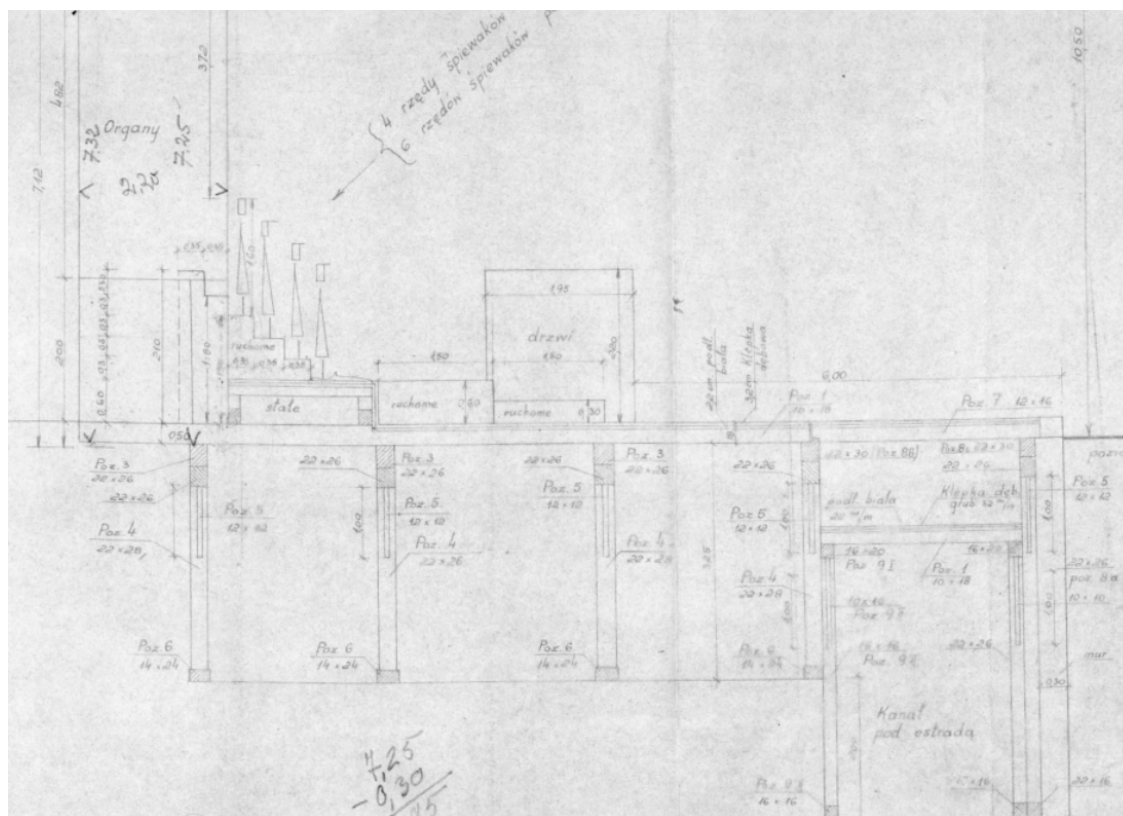
Rys. III.1.3. Widok na ścianę frontową – organową.

Podłoga estrady



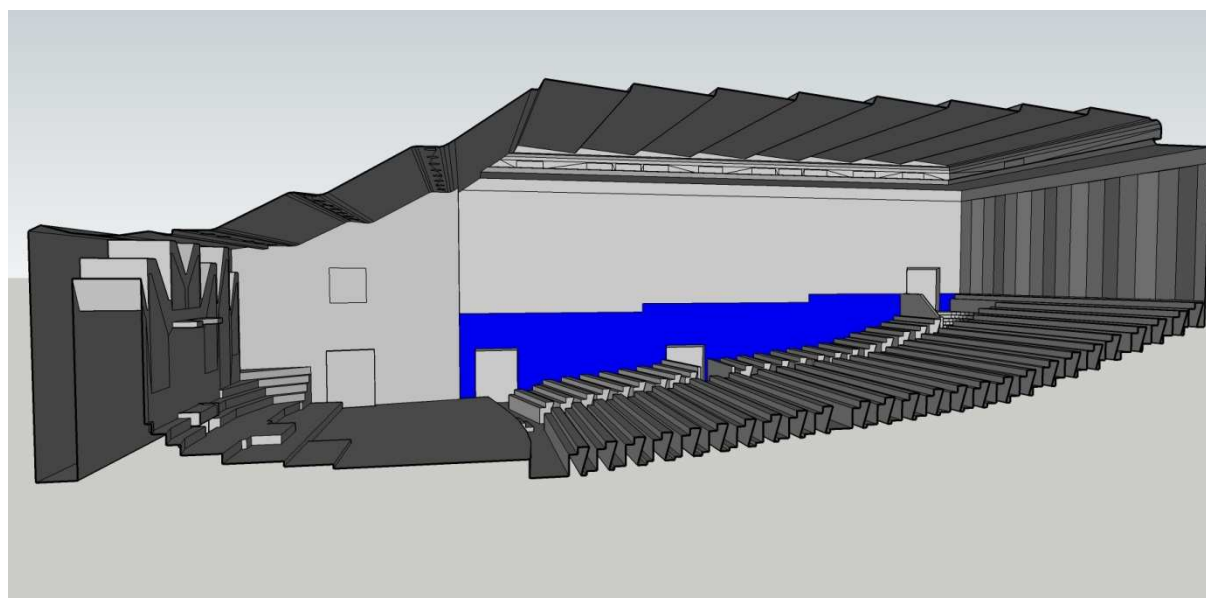
Rys. III.1.4. Widok na ścianę frontową – estrada

Estrada Sali Koncertowej zbudowana jest z klepki dębowej grub. 32mm na białej podłodze z desek 22mm. Konstrukcja estrady drewniana z oryginalną pustką głębokości 3,25m, która przeznaczona była na zapadnie. Obecnie od spodu cała konstrukcja ze względów p.poż. została obudowana płytami GKF.

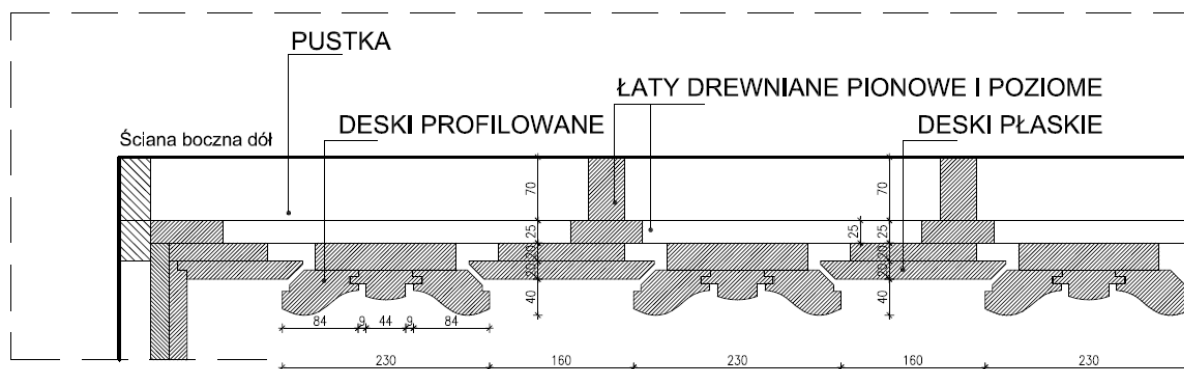


Rys. III.1.5. Schemat budowy estrady z materiałów archiwalnych.

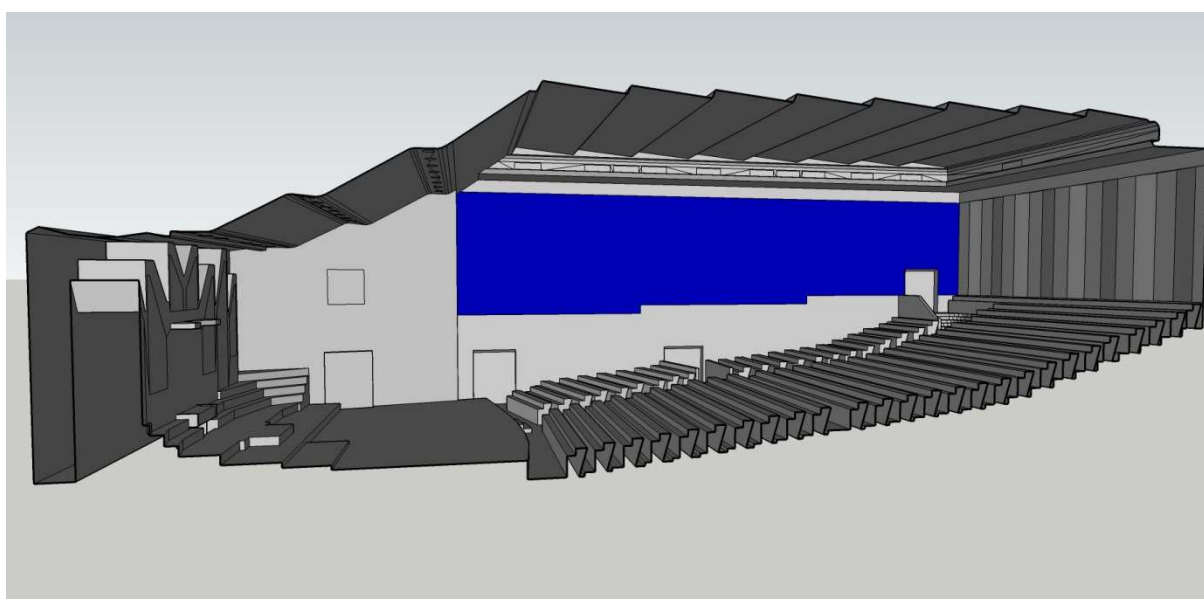
Ściany boczne widowni



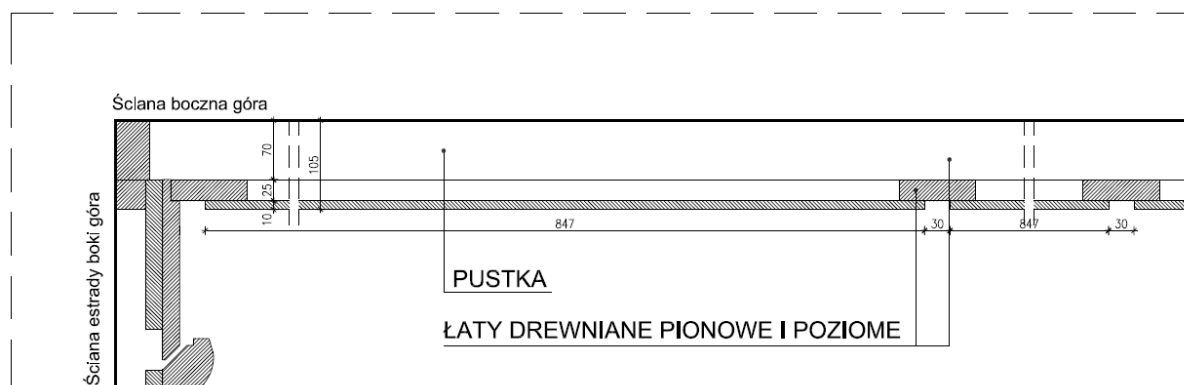
Rys. III.1.6. Widok ściany bocznej – część dolna



Rys. III.1.7. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany bocznej część dolna

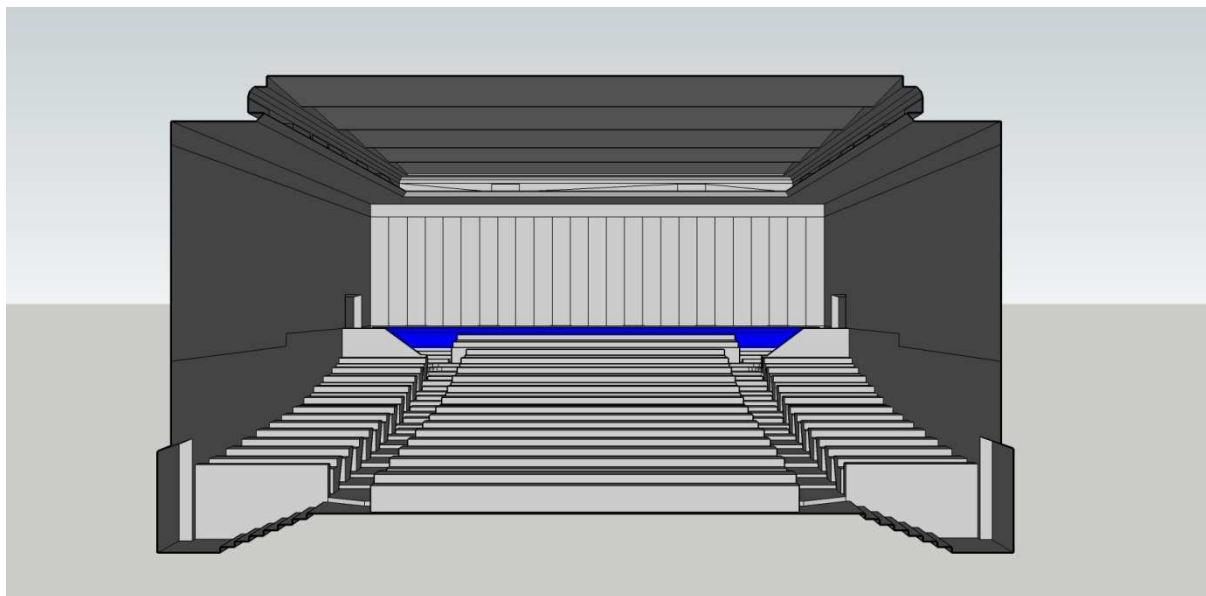


Rys. III.1.8. Widok ściany bocznej – część górna

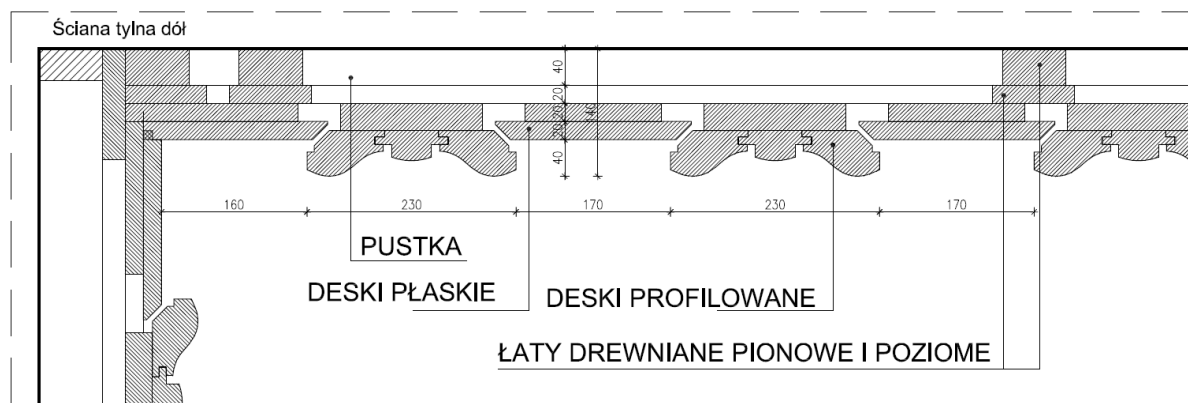


Rys. III.1.9. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany bocznej część górna

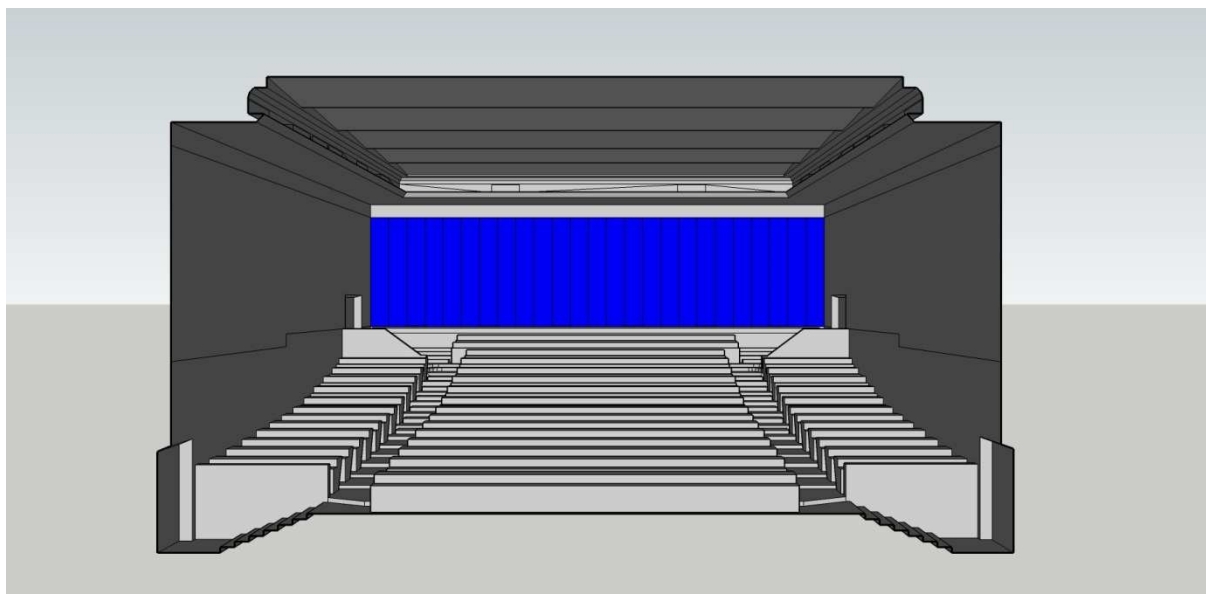
Ściana tylna widowni



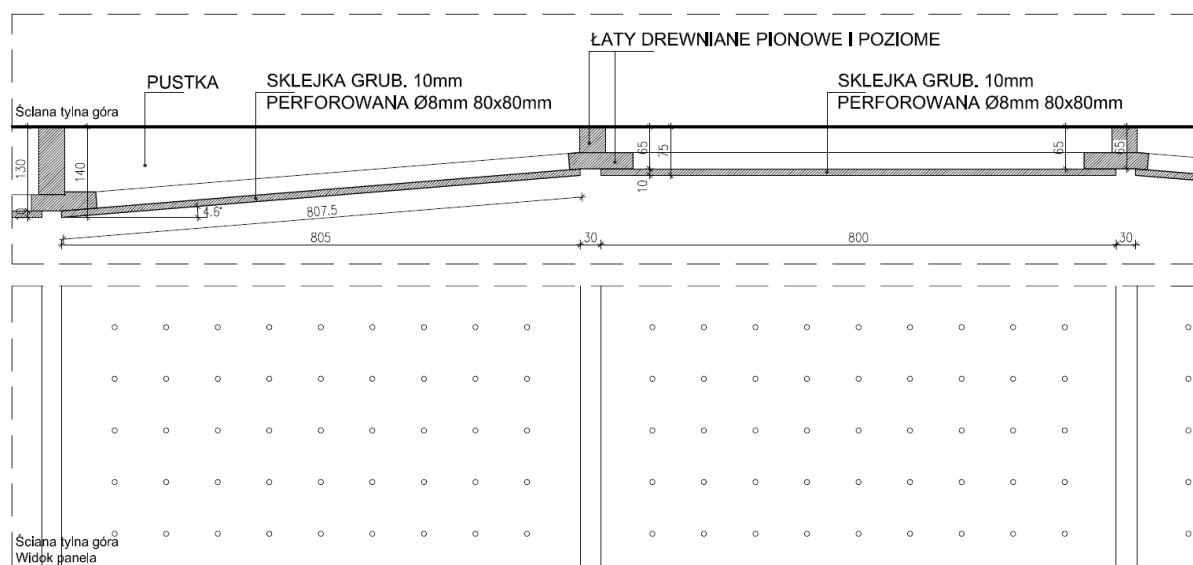
Rys. III.1.10. Widok ściany tylnej – część dolna



Rys. III.1.11. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany tylnej – część dolna

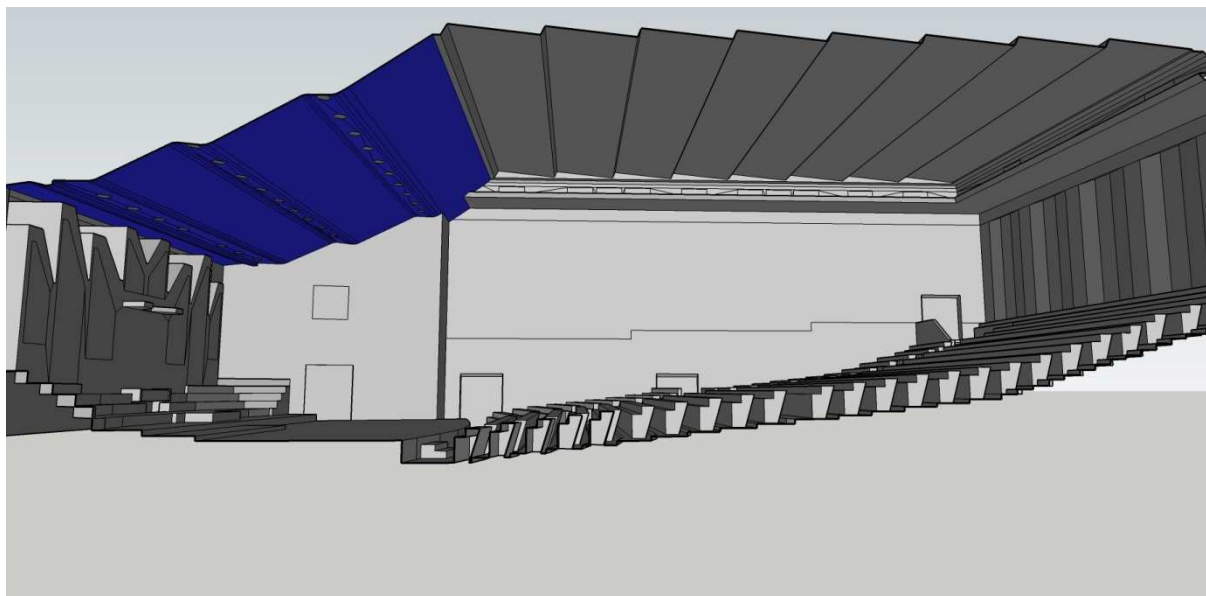


Rys. III.1.12. Widok ściany tylnej – część górna

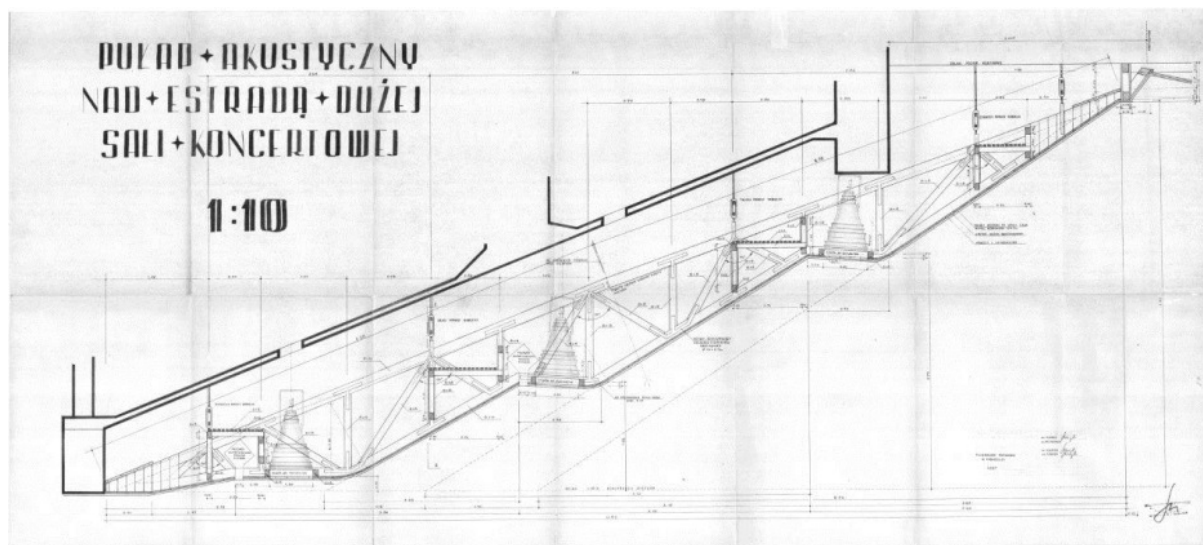


Rys. III.1.13. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany tylnej – część górna

Sufit nad estradą



Rys. III.1.14. Widok pułapu akustycznego nad estradą

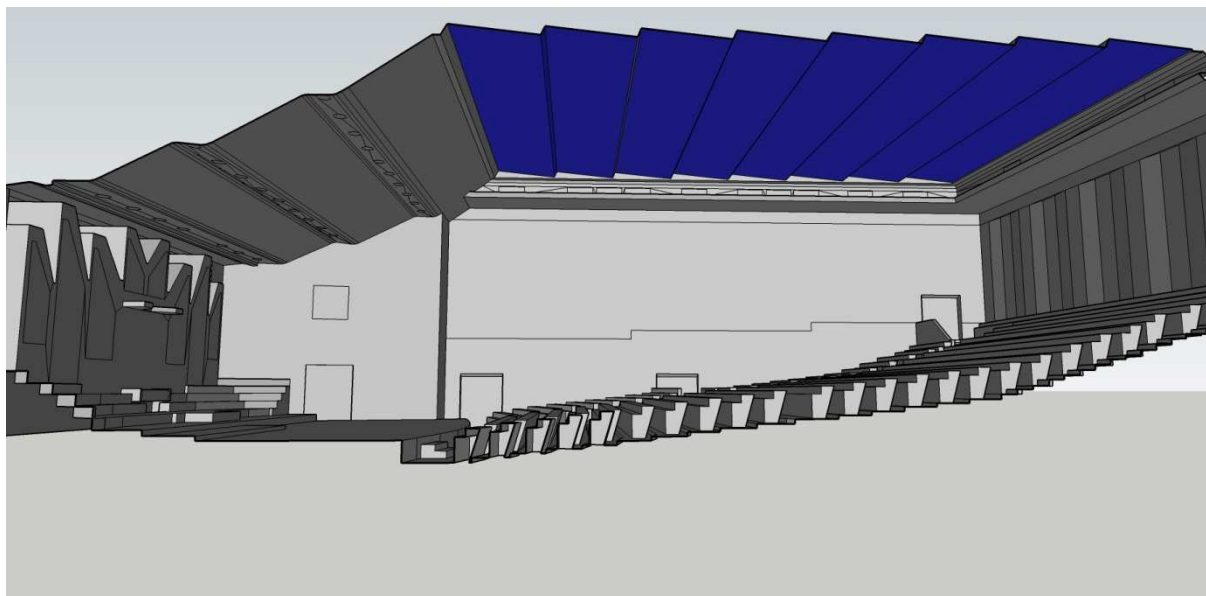


Rys. III.1.15. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą

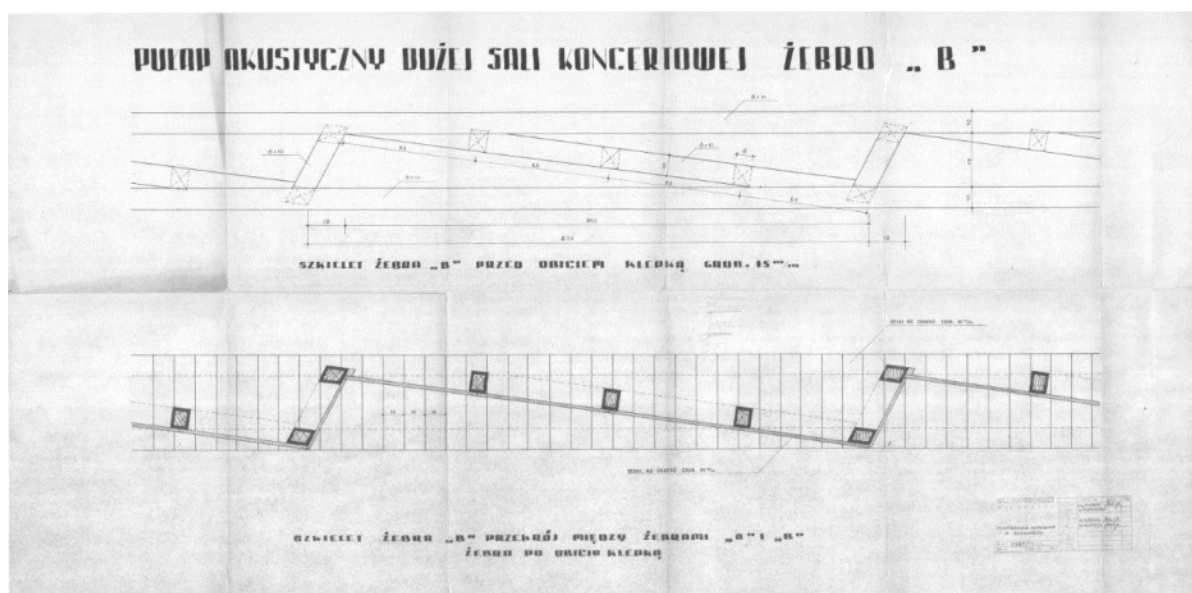
Warstwy pułapu akustycznego:

- więzary drewniane,
- deski grub. 20mm szerokości 120mm łączone na pióro i wpust,
- siatka gęsto gwoździowana,
- narzut i sztablatura 20mm,
- sufit nad estradą.

Sufit nad widownią



Rys. III.1.16. Widok pułapu akustycznego nad estradą

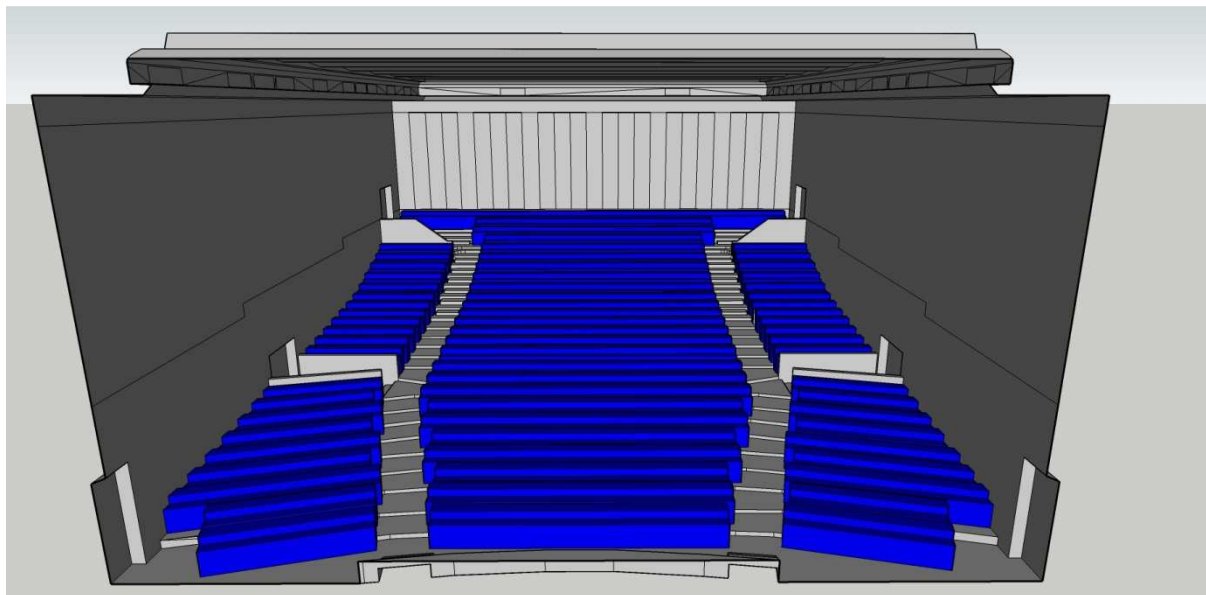


Rys. III.1.17. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą

Budowa pułapu akustycznego nad widownią:

- więzary drewniane,
- deski grub. 20mm łączone na pióro i wpust,
- siatka Rabița,
- sztablatura 20mm.

Widownia



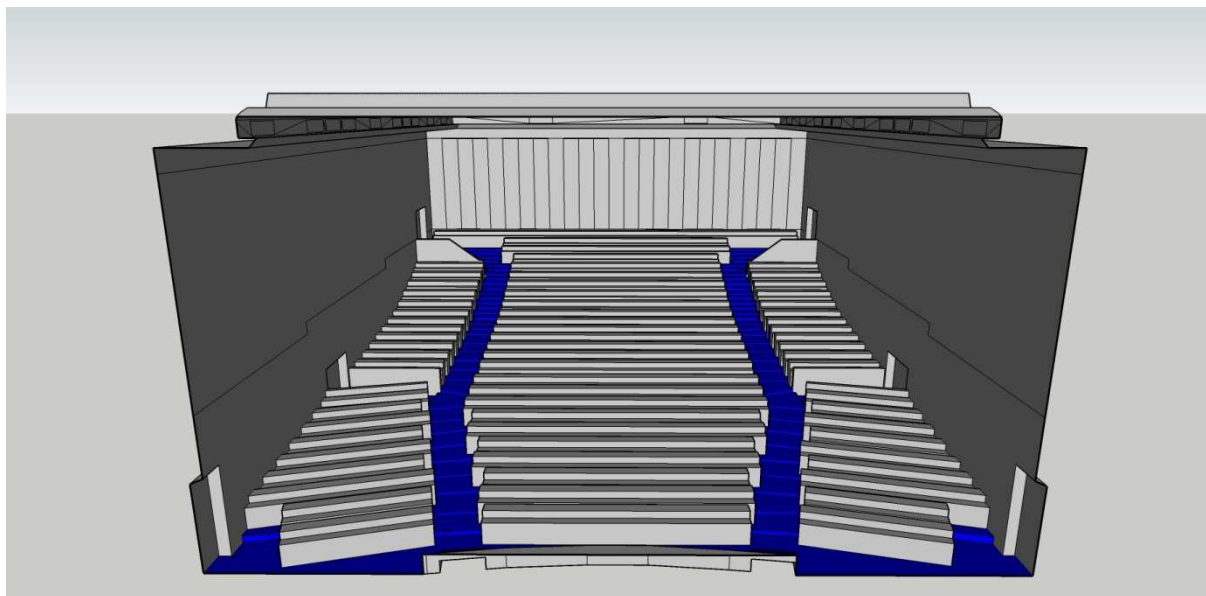
Rys. III.1.18. Widok foteli widowni

Fotele w Sali Koncertowej zostały wymienione w 2008r. na model Luksor firmy Megan Seating.



Rys. III.1.19. Widok fotela Luksor (ze strony Megan Seating)

Podłoga widowni



Rys. III.1.20. Widok podłogi widowni

Warstwy podłogi amfiteatru widowni:

- parkiet,
- asfalt,
- żużlobeton,
- beton konstrukcyjny 5cm,
- strop akermana,
- wata szklana.

2. Sala Kameralna

Poniższa część opracowania przedstawia informacje dotyczące Sali Kameralnej zebrane na podstawie architektonicznej dokumentacji archiwalnej będącej w posiadaniu Filharmonii Pomorskiej. Nie znaleziono opracowania akustyki wnętrza, dlatego informacje pochodzą z rysunków wnętrzarskich, które zostały zweryfikowane w czasie wizji lokalnej i odkrywek.

2.1. Dane architektoniczne

Dane ogólne

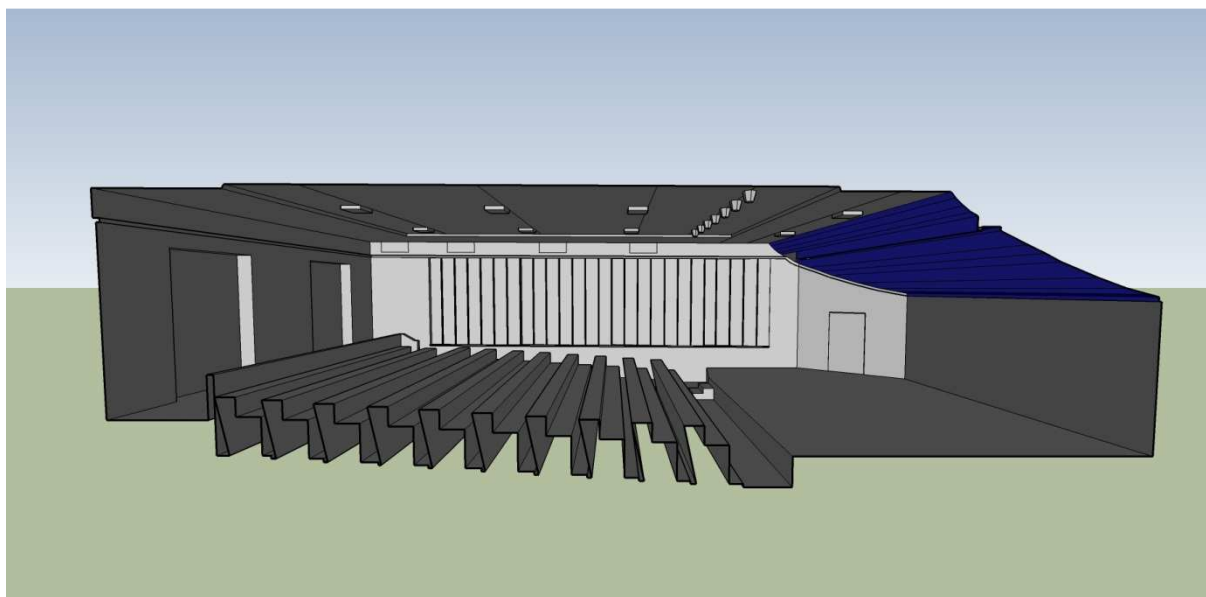
Sala Kameralna mieści się na parterze budynku Filharmonii Pomorskiej.

Wejścia na estradę znajdują się z poziomu piwnicy. Wejście na widownię zlokalizowane jest w tylnej ścianie z poziomu parteru. Nad salą jest widownia Sali Koncertowej.

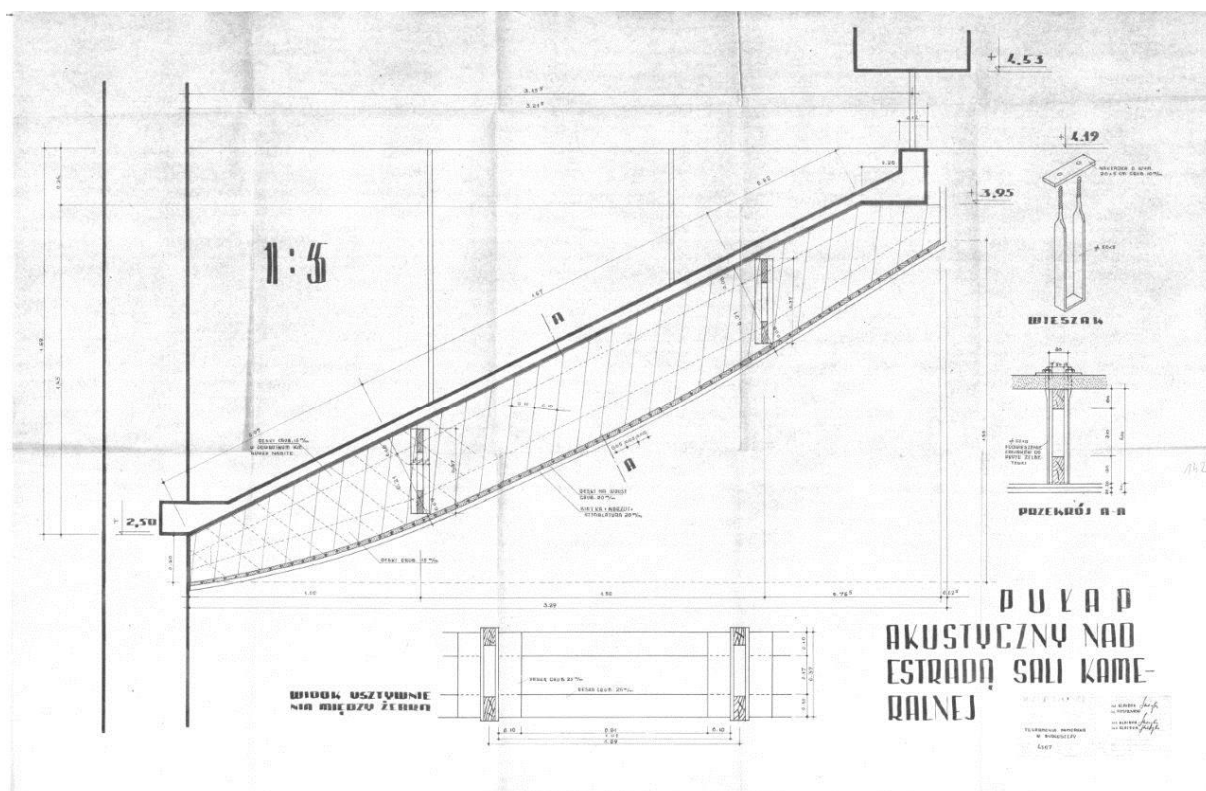
- Długość – 17,8m
- Szerokość – 11,5m
- Wysokość – max 5m
- Powierzchnia – 200m²
- Kubatura – 890m²

2.2. Elementy adaptacji akustycznej

Sufit Sali Kameralnej



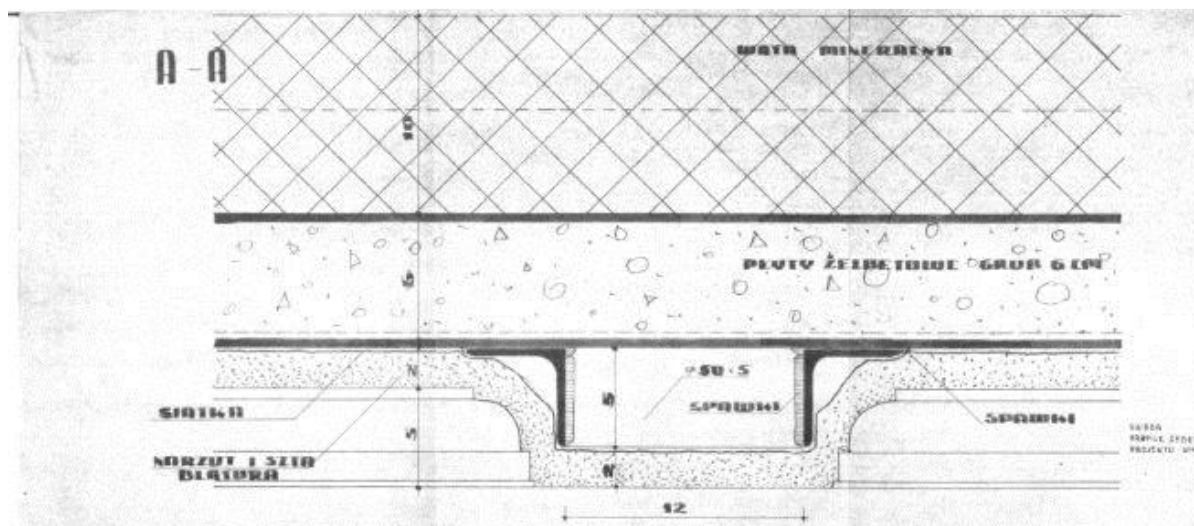
Rys. III.2.1. Widok pułapu akustycznego nad estradą



Rys. III.2.2. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą



Rys. III.2.3. Widok pułapu akustycznego nad widownią

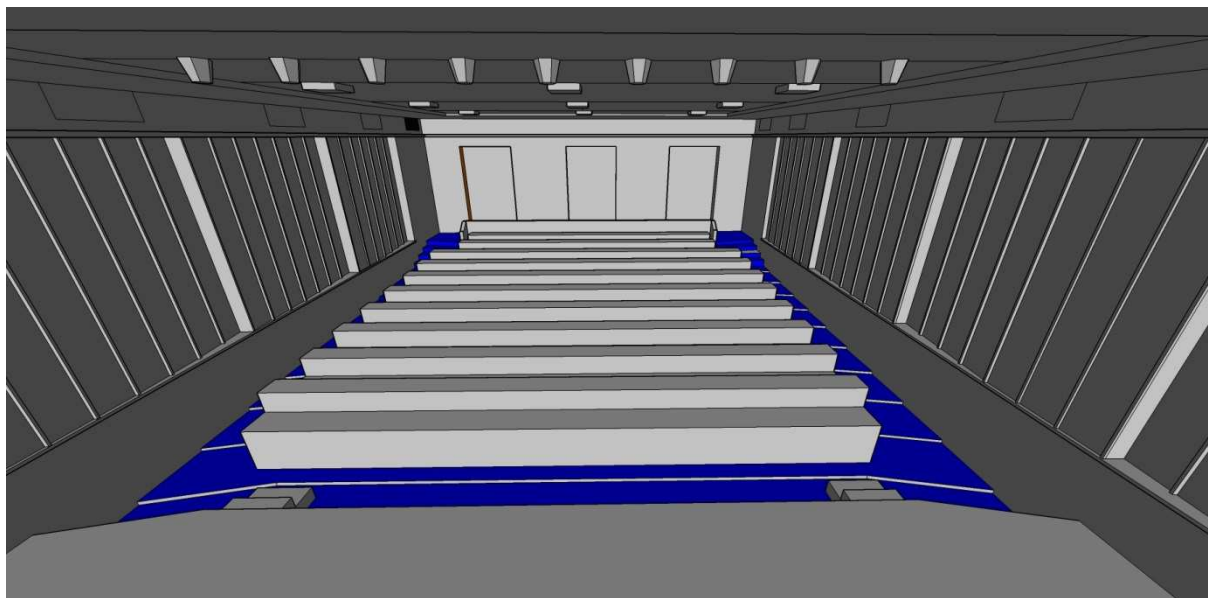


Rys. III.2.4. Zasada budowy sufitu kasetonowego nad widownią Sali Kameralnej. (Aktualnie zastąpiony płytami GK)

Warstwy sufitu nad salą kameralną:

- mata z waty szklanej,
- prefabrykowane płyty żelbetowe gr. 6cm ułożone na podwieszonym ruszcie,
- kasetony ze sztablatury gipsowej 20mm na siatce na konstrukcji stalowej,
- podwieszony sufit z płyt GK 12,5mm (podwieszony by zasłonić kruszący się sufit oryginalny),
- obudowa GK kanałów na obwodzie sali pod sufitem.

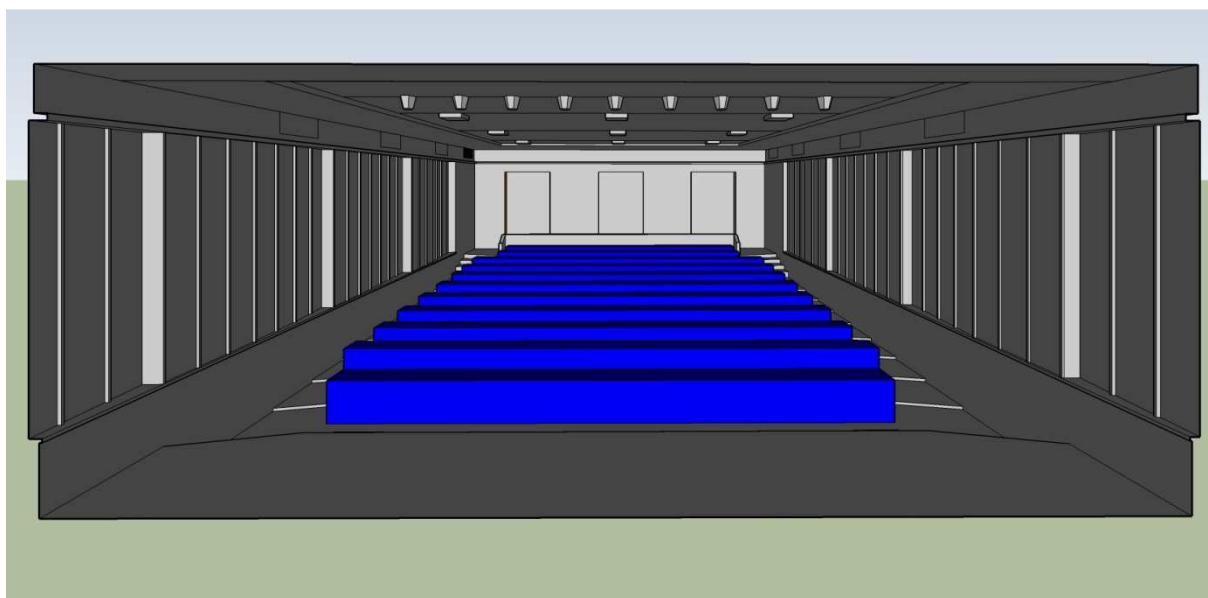
Podłoga Sali Kameralnej



Rys. III.2.5. Widok pułapu akustycznego nad estradą

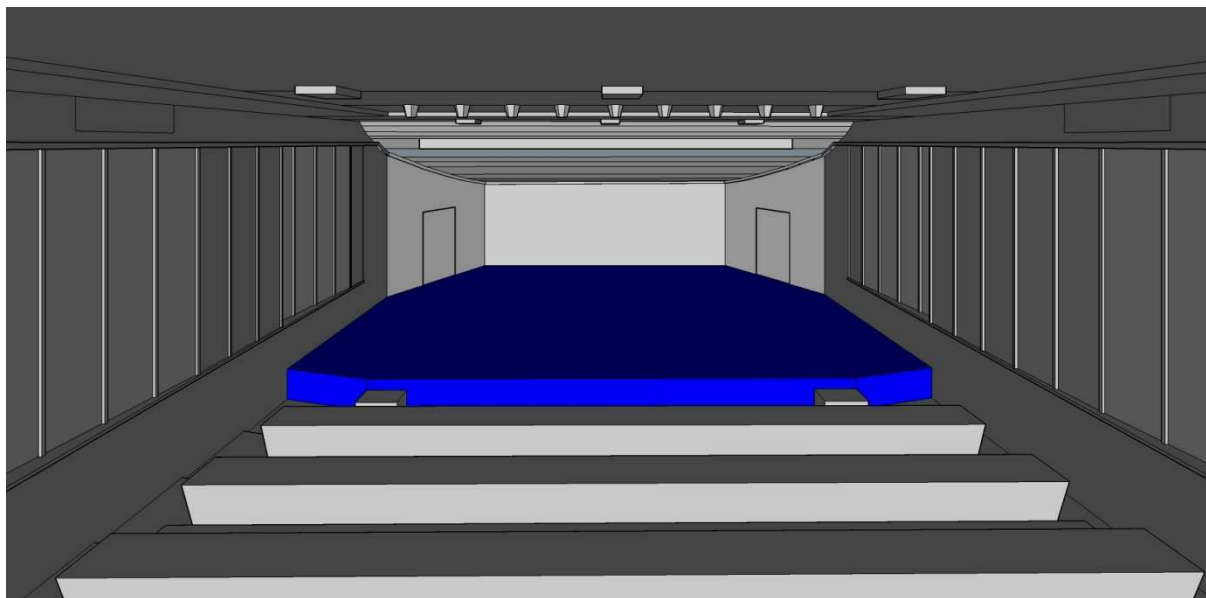
Warstwy podłogi widowni:

- parkiet na asfalcie,
- wyrobione stopnie w żużlobetonie,
- prefabrykowane płyty żelbetowe gr. 20cm.



Rys. III.2.6. Widok foteli

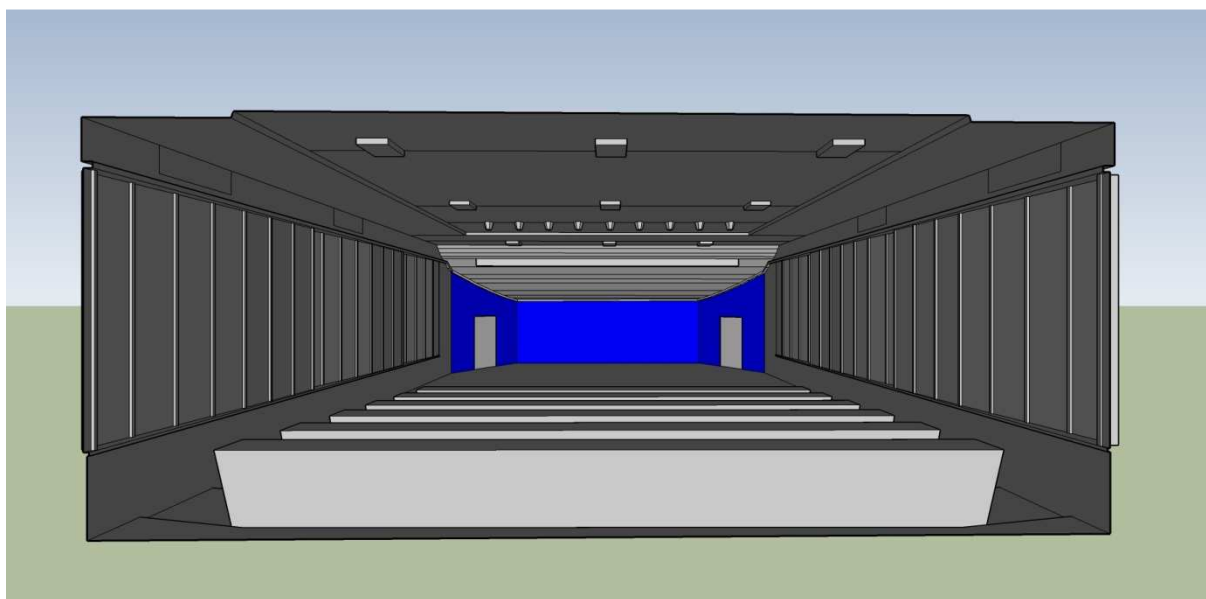
Estrada Sali Kameralnej



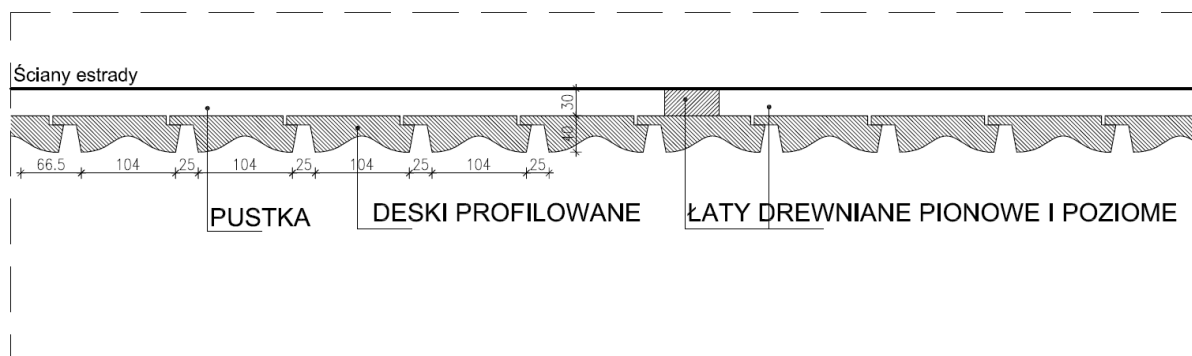
Rys. III.2.7. Widok foteli

Podłoga estrady:

- klepka 22mm,
- deski 25mm.

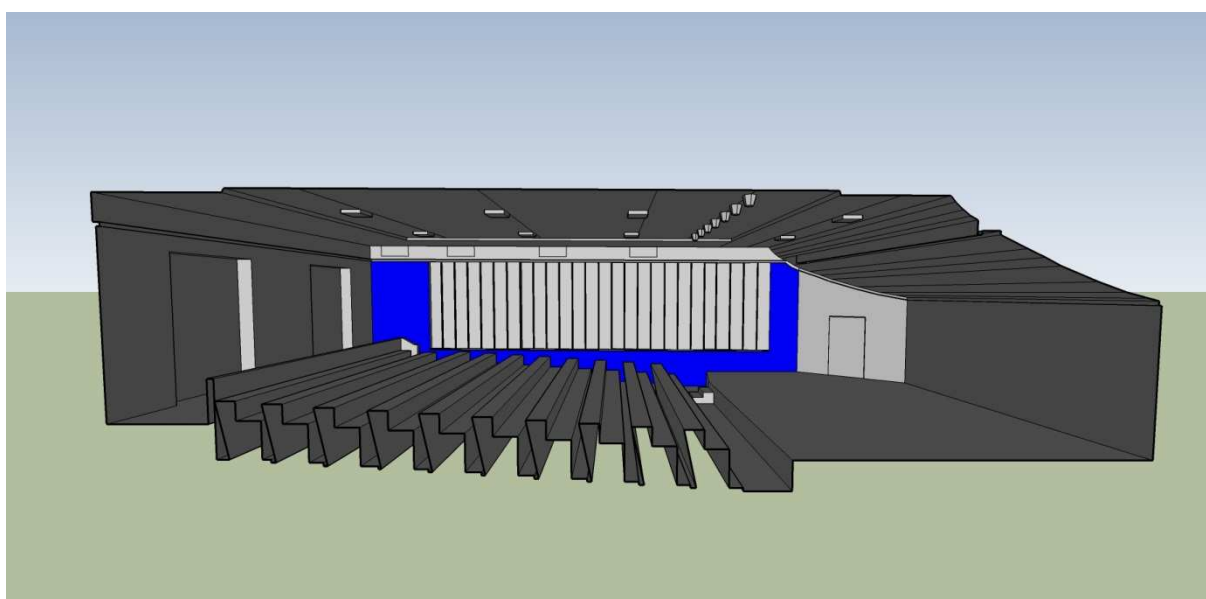


Rys. III.2.8. Widok ścian estrady

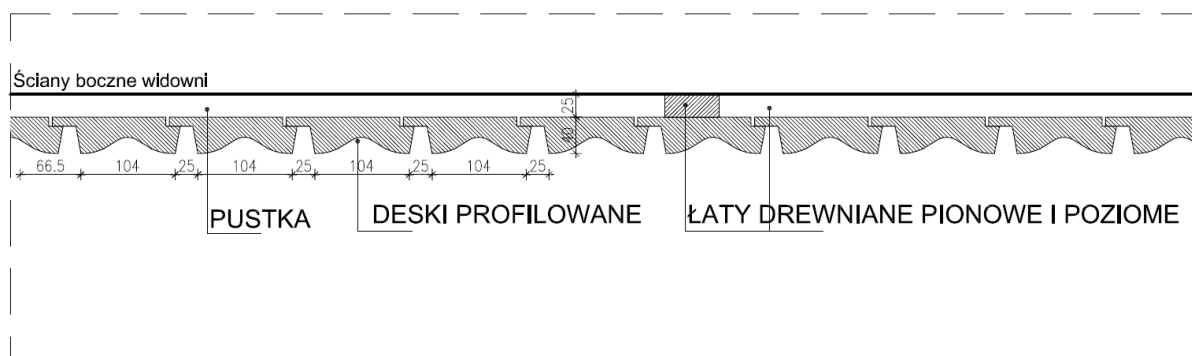


Rys. III.2.9. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianach estrady

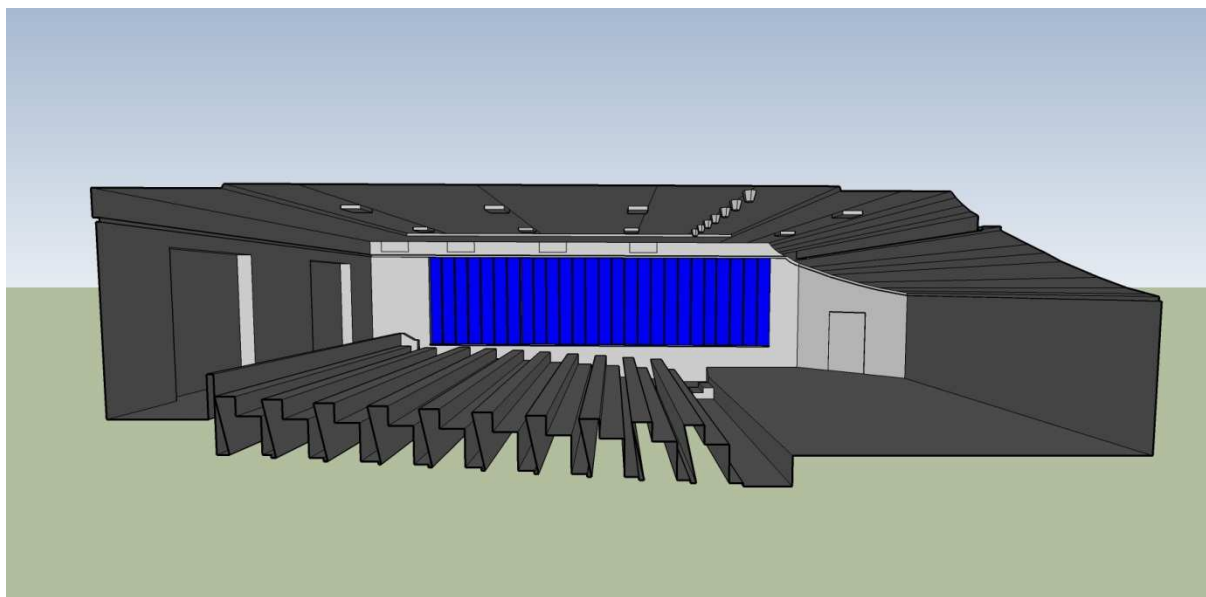
Ściany boczne Sali Kameralnej



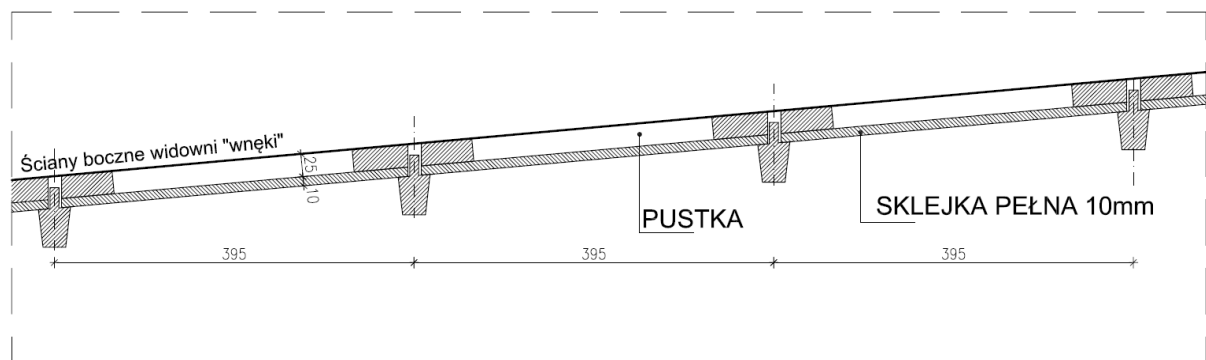
Rys. III.2.10. Widok ściany bocznej – część 1.



Rys. III.2.11. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianach bocznych część 1

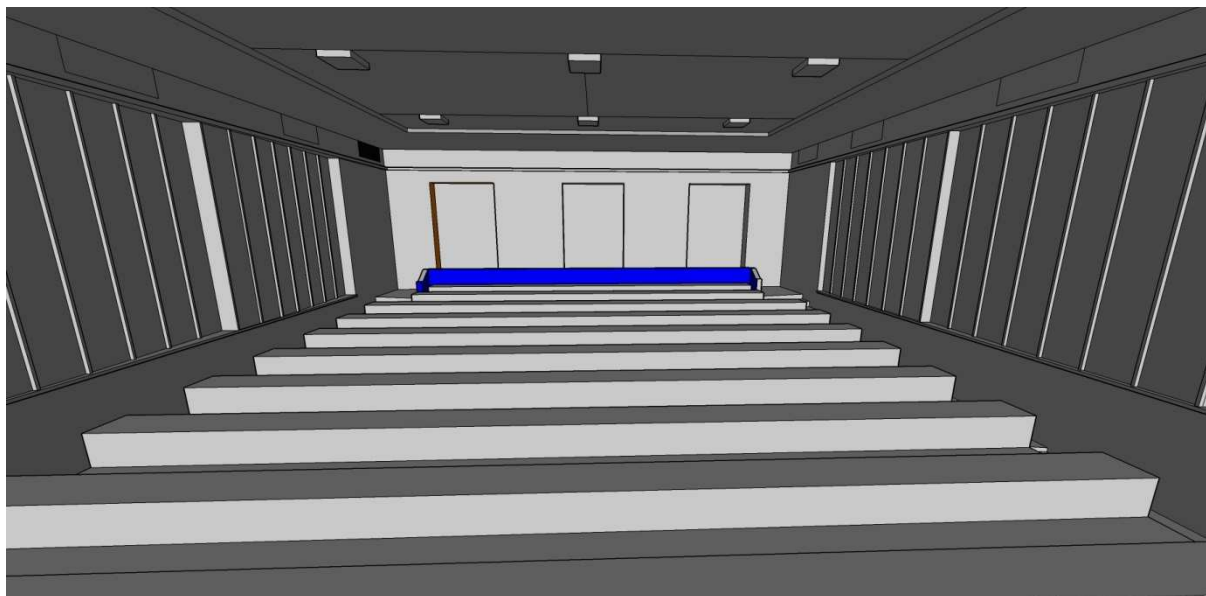


Rys. III.2.12. Widok ściany bocznej – część 2.

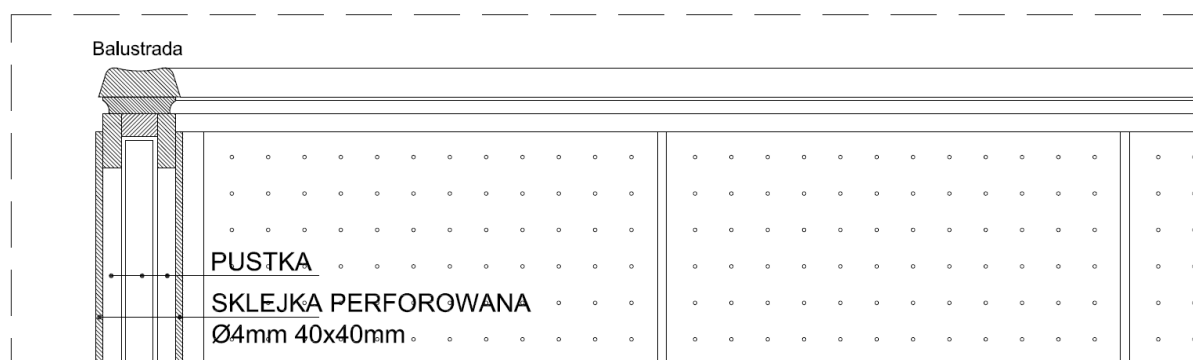


Rys. III.2.13. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianach bocznych część 2

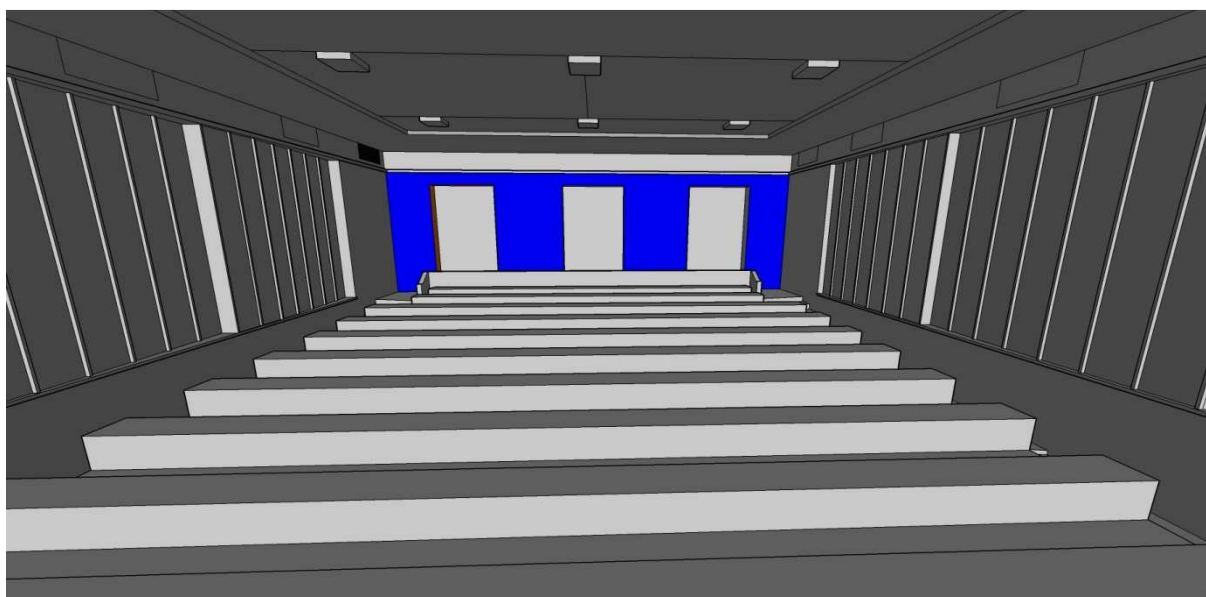
Ściana tylna Sali Kameralnej



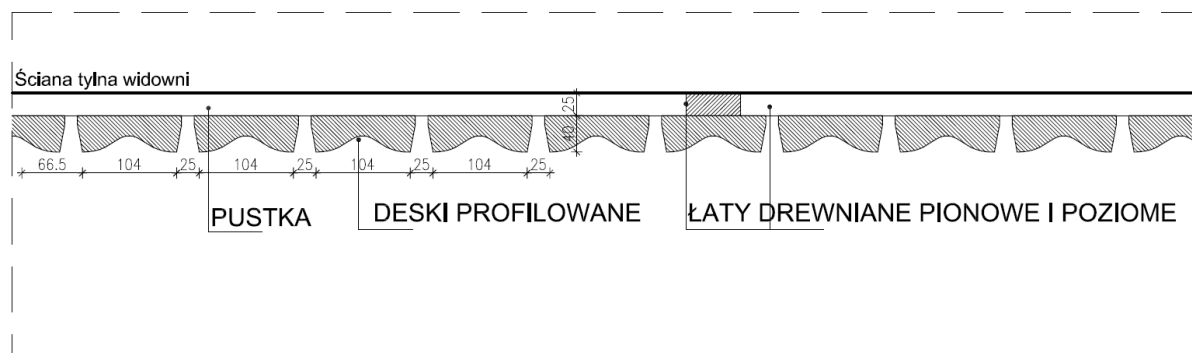
Rys. III.2.14. Widok balustrady



Rys. III.2.15. Zasada budowy balustrady



Rys. III.2.16. Widok ściany tylnej



Rys. III.2.17. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianie tylnej

3. Skaniny komputerowy

3.1. Cel opracowania

Stworzenie modelu 3D dwóch Sal Koncertowej i Kameralnej w postaci cyfrowego obiektu trójwymiarowego o strukturze płaszczyznowej.

3.2. Zakres prac pomiarowych

Prace pomiarowe zostały przeprowadzone w dniu 02.11.2017r. Polegały one na zebraniu maksymalnej ilości danych z wykorzystaniem technologii skanowania laserowego. W tym celu wykorzystano następujące urządzenia:

- skaner laserowy Leica P20 (rys. III.3.1) - urządzenie służące do zbierania danych przestrzennych w postaci gęstej chmury punktów. Pomiar odległości do każdego punktu odbywa się metodą impulsową z dokładnością 2mm oraz prędkością 1 000 000 punktów/sekundę;
- tachimetr TS09 R1000 (rys. III.3.2) - urządzenie służące do pomiaru współrzędnych konkretnych elementów, wskazanych przez użytkownika. Pomiar odbywa się z nieco lepszą dokładnością niż podczas skanowania, przez co uzyskiwane współrzędne punktów posiadają większą wiarygodność;
- aparat Ricoh Theta (rys. III.3.3) – służący do wykonywania zdjęć panoramicznych 360°;



Rys. III.3.1. Skaner Leica P20



Rys. III.3.2. Tachimetr TS09
R1000



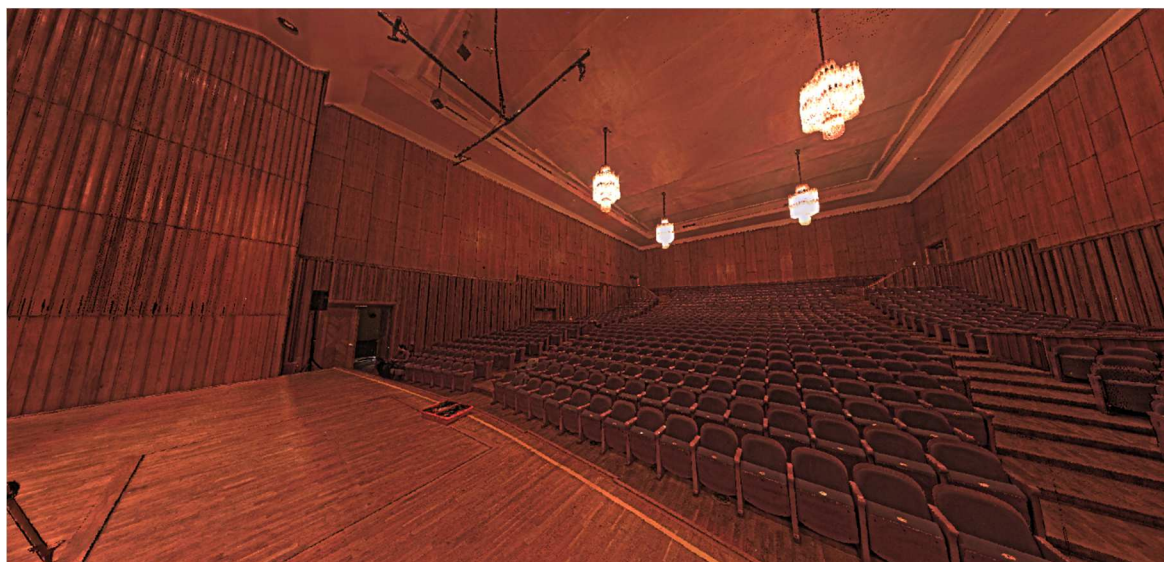
Rys. III.3.3. Ricoh
Theta

Prace pomiarowe zostały przeprowadzone w sposób identyczny dla obu skanowanych sal (Koncertowej i Kameralnej). Skanowanie laserowe wykonano z rozdzielczością 6mm/10m, co docelowo pozwoliło na uzyskanie chmury o gęstości 2mm. Wykonano łącznie 29 skanów – 19 w Sali Koncertowej oraz 10 w Kameralnej. Na obszarze skanowanych sal zostały rozmieszczone tarcze pomiarowe, które posłużyły jako punkty łączące skanów. Współrzędne środków tych tarcz zostały zmierzone w lokalnym układzie współrzędnych za pomocą tachimetru. Dla każdego skanu zapewniono widoczność przynajmniej 3 tarcz pomiarowych, aby precyzyjnie określić lokalizację punktu centralnego każdego skanu na podstawie przestrzennego wcięcia wstecz.

Podczas pomiaru skaner jest zdolny pozyskać 3 rodzaje informacji dla każdego punktu, tj:

- współrzędne x, y, z,
- intensywność odbicia lasera (zależna od rodzaju powierzchni oraz kąta padania wiązki lasera),
- kolor RGB obiektu.

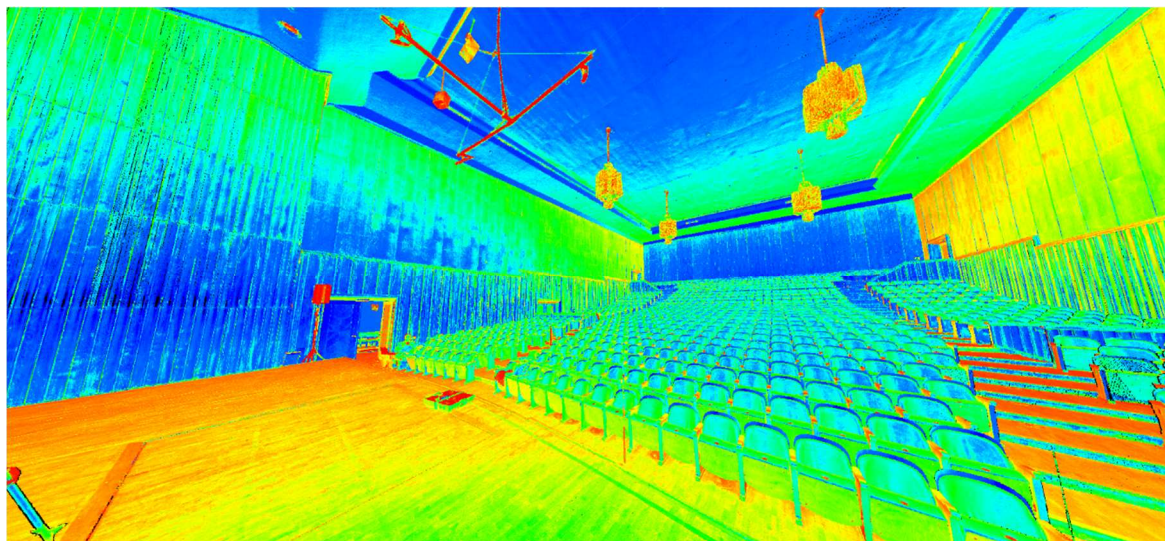
Poniżej przedstawiono wygląd chmury punktów zwizualizowanej poprzez kolor oraz intensywność.



Rys. III.3.4. Chmura punktów – kolor RGB

Oprócz pomiaru geometrii sal, wykonano również zdjęcia panoramiczne, które zapewniają pełny pogląd na wszystkie elementy obiektu.

Prace kameralne polegały na połączeniu zarejestrowanych skanów w dwie gęste chmury punktów, które precyzyjnie odwzorowują geometrię obu sal. Po wyczyszczeniu, filtrowaniu oraz unifikacji (przerzedzeniu) chmury, uzyskano chmurę punktów o gęstości punktów ok. 2mm. Pozwoliło to na dokładne odwzorowanie każdego typu powierzchni.



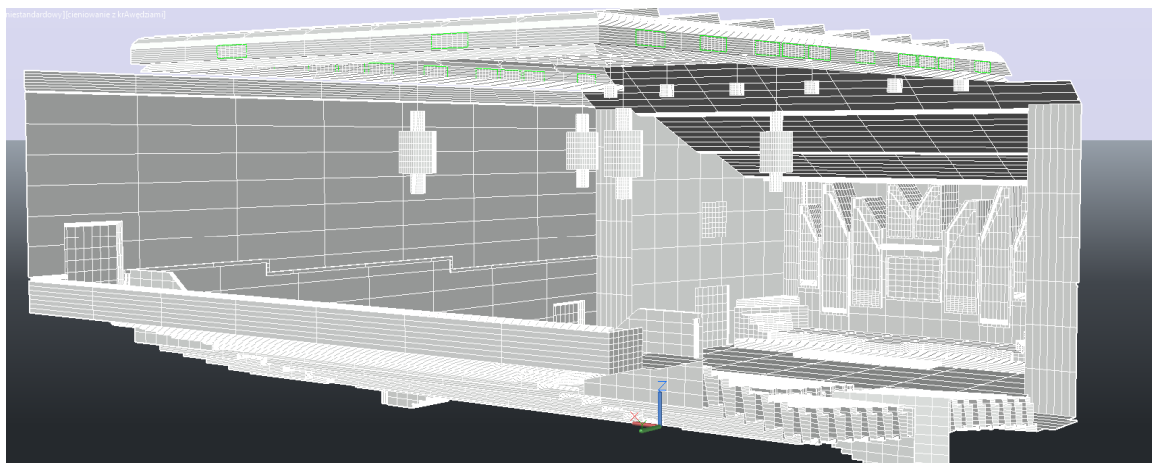
Rys. III.3.1. Chmura punktów – intensywność odbicia

Chmurę punktów wyeksportowano w formacie rcp i zaimportowano do środowiska CAD, gdzie wykonano dalszą część prac.

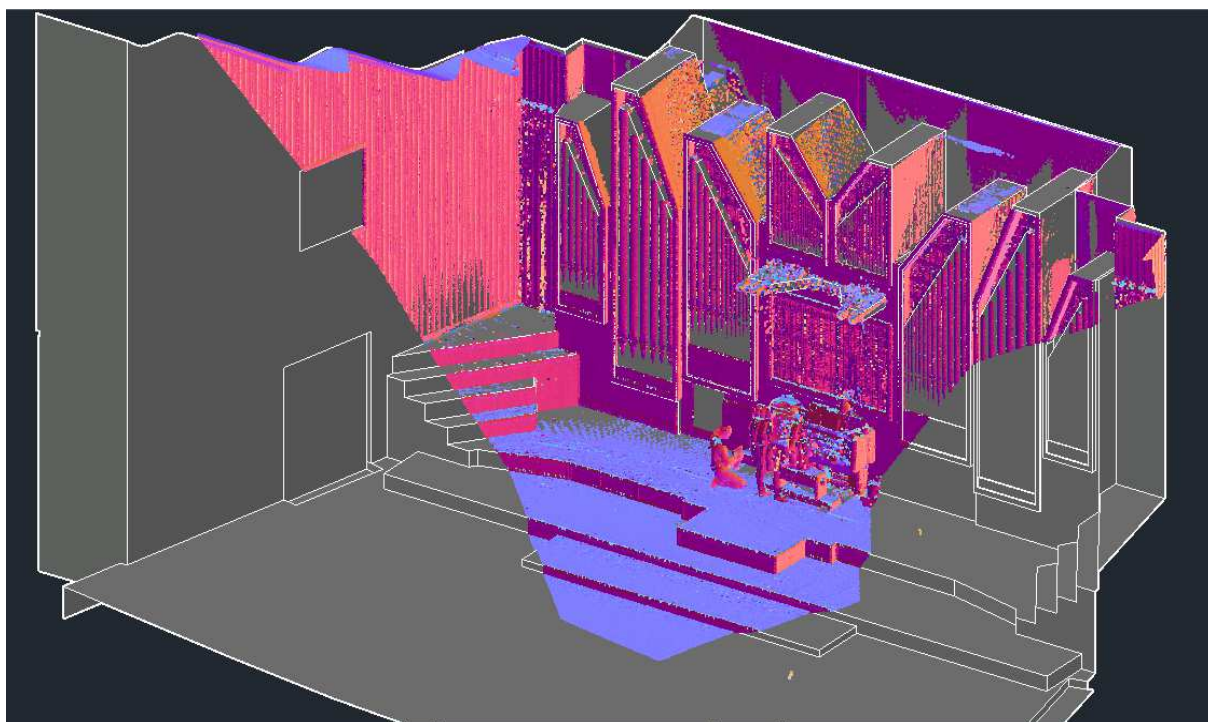
Właściwe modelowanie 3D polegało na wpasowywaniu płaszczyzn w siatkę punktów oraz przycinaniu tych płaszczyzn w celu stworzenia spójnego modelu. Modelowanie wykonywano na dwa sposoby:

- automatycznego wykrywania krawędzi, które po skontrolovaniu poprawności łączono w jednolite powierzchnie,
- „wyciągania” obiektów 2D do 3D na podstawie przekrojów.

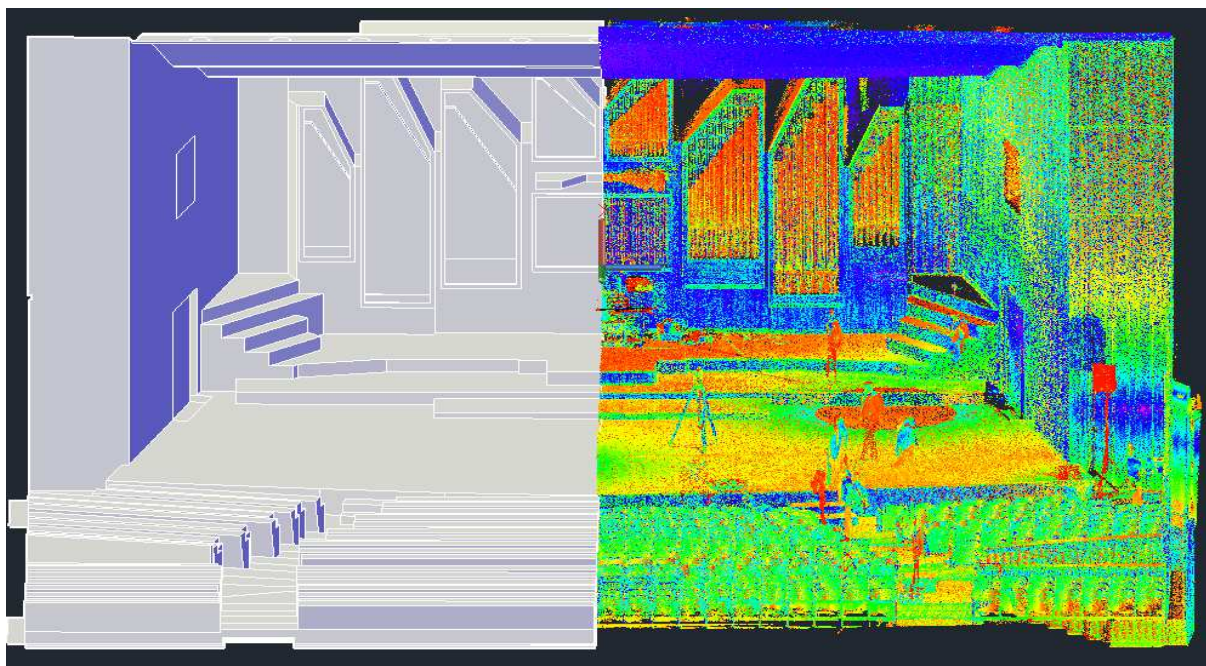
Poniżej przedstawiono fragment wykończonego modelu przestrzennego Sali Koncertowej.



Rys. III.3.2. Fragment modelu płaszczyznowego Sali Koncertowej



Rys. III.3.3. Widok płaszczyzn przenikających przez chmurę punktów.



Rys. III.3.4. Widok płaszczyzn przenikających przez chmurę punktów.

Po wymodelowaniu obu sal, obiekty 3D w postaci płaszczyznowej zostały wyeksportowane do formatu SKP, który następnie został wykorzystywany do modelowania i analiz akustycznych.

4. Wyniki pomiarów *in-situ*

Pomiar *in situ*, czyli w miejscu zamontowania elementu, stanowi nowoczesną i innowacyjną, ale wciąż jedynie okazjonalnie stosowaną, metodę określenia wartości współczynnika pochłaniania materiałów i ustrojów już zastosowanych w sali. W przypadku sal historycznych, takich jak sale Koncertowa i Kameralna Filharmonii Pomorskiej użycie takiego sposobu określenia współczynników pochłaniania w celu inwentaryzacji właściwości materiałów zamontowanych kilkadziesiąt lat temu jest szczególnie uzasadnione. Metoda pomiarów *in situ* umożliwia określenie wartości współczynników pochłaniania w sytuacji, w której nie ma stosownej dokumentacji, a jest dobrą alternatywą w miejsce korzystania z arbitralnie dobranych wartości współczynników pochłaniania na podstawie dostępnych tabel podobnych materiałów. Ponadto pomiar *in situ* określa wartości współczynników pochłaniania w rzeczywistych warunkach zamontowania elementów konstrukcyjnych sali.

4.1. Metoda pomiarowa i aparatura badawcza

W pomiarach zastosowano sondę pomiarową firmy Microflown Technologies (Rys. III.4.1), przy użyciu której współczynnik pochłaniania określany jest na podstawie pomiaru współczynnika odbicia fali akustycznej od powierzchni elementu. Sonda składa się z próbnika pomiarowego zawierającego scalone – czujnik pomiaru prędkości akustycznej oraz mikrofon pomiarowy – oraz z głośnika stanowiącego źródło sygnału pomiarowego. Jednoczesny pomiar ciśnienia i prędkości akustycznej pozwala na wyznaczenie współczynnika odbicia, następnie przeliczanego na wartości natężenia dźwięku fali padającej i odbitej, z których ostatecznie następuje wyznaczenie energetycznego współczynnika pochłaniania ściany, ustroju lub elementu wyposażenia sali.



Rys. III.4.1. Sonda do pomiaru energetycznego współczynnika pochłaniania *in situ* firmy Microflown Technologies (źródło: materiały informacyjne Microflown Technologies).

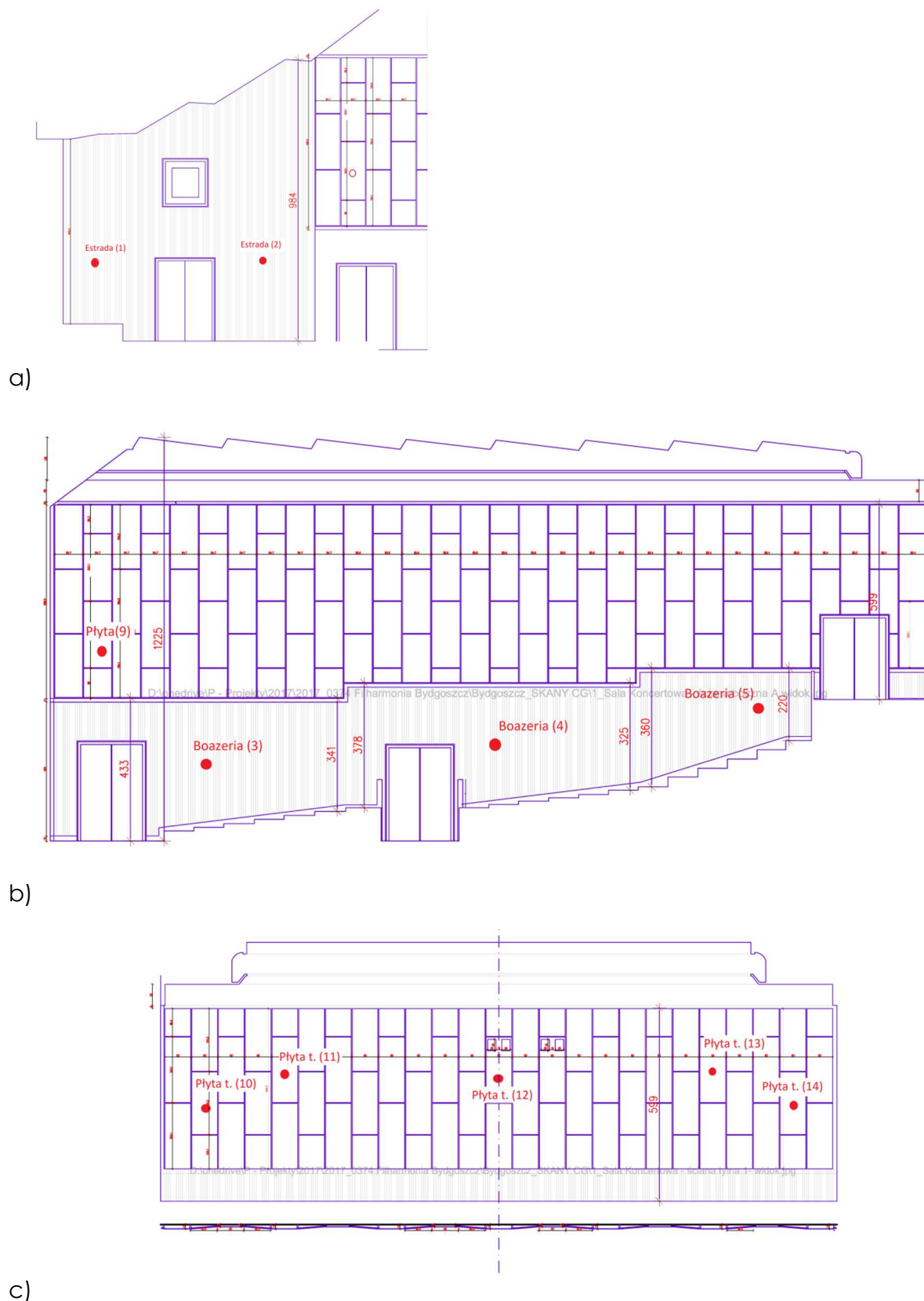
Wybór punktów pomiarowych w salach Koncertowej i Kameralnej Filharmonii został przeprowadzony w taki sposób, aby możliwe było scharakteryzowanie podstawowych materiałów i ustrojów zastosowanych w obu salach. Pomiary obejmowały w Sali Koncertowej wszystkie powierzchnie boazerii (estrady i widowni), powierzchnie górnych paneli drewnianych ścian widowni, sufit nad estradą i widownią, podłogi estrady i widowni, drzwi wyjściowe do foyer, miękką powierzchnię siedziska foteli oraz prospekt organowy. W Sali Kameralnej pomiarom podlegały ściany, podłoga i sufit estrady, boazeria i panele ściany bocznej i tylnej, podłoga widowni i siedzisko foteli widowni.

Szczegółowe położenie punktów pomiarowych podane jest w punktach zawierających opisy pomiarów w obu salach.

4.2. Pomiary Sali Koncertowej

4.2.1. Usytuowanie punktów pomiarowych

Wybór punktów pomiarowych na ścianach Sali Koncertowej przedstawia Rys. III.4.2.



Rys. III.4.2. Widok prawej ściany bocznej i ściany tylnej Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej z zaznaczonymi punktami pomiaru współczynnika pochłaniania metodą in situ; a) ściana boczna estrady, b) ściana boczna widowni, c) ściana tylna.

Pomiary ściany bocznej sali obejmowały dwa punkty pomiarowe na ścianie estrady pokrytej boazerią, trzy punkty pomiarowe na boazerii ściany widowni oraz jeden punkt pomiarowy w obszarze paneli nad boazerią. Na ścianie tylnej widowni przyjęto pięć punktów pomiarowych na poziomie paneli perforowanych. Poza punktami uwidocznionymi na Rys. III.4.2, pomiary przeprowadzono w dwóch punktach podłogi estrady, dwóch punktach podłogi widowni, na środku powierzchni sufitu na estradę, na suficie nad widownią w odległości 1/4 długości sali od ściany tylnej widowni. Ponadto przeprowadzono pomiary drzwi foyer, miękkiego siedziska foteli widowni oraz czterech sekcji prospektu organowego – sekcji środkowej oraz trzech bocznych sekcji po prawej stronie instrumentu patrząc od strony widowni.

4.2.2. Zbiórce wyniki pomiarów

Średnie współczynniki pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych i 1/3 oktaawowych odpowiadające podstawowym powierzchniom i elementom wyposażenia Sali Koncertowej Filharmonii przedstawiono odpowiednio w tabelach III.4.1 i III.4.2. Tabele podają współczynniki pochłaniania ścian estrady i widowni dla boazerii i płyty w górnej części ściany bocznej oraz płyty perforowanej na ścianie tylnej. Do opisu ścian bocznych włączono pochłanianie drzwi prowadzących do foyer Sali Koncertowej. Kolejne kolumny tabel przedstawiają współczynniki pochłaniania powierzchni sufitu i podłogi oraz foteli widowni. W odniesieniu do organów przedstawiono średni współczynnik pochłaniania trzech sekcji bocznych piszczałek prospektu instrumentu oraz niezależnie sekcji środkowej instrumentu, dla której uzyskana wartość współczynnika pochłaniania przekraczała wartość 0,99.

Tabela III.4.1. Sala Koncertowa. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych w pomiarze *in situ*. Nagłówek „Organy 4” oznacza sekcję środkową instrumentu, kolumna „Organy 123” zawiera średnią trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta									
	Estr,	Wid,	Górna	Tylna	Foyer	Estr,	Wid,	Estr,	Wid,		123	4
125	0,64	0,38	0,46	0,45	0,31	0,29	0,34	0,45	0,60	0,22	0,94	1,00
250	0,39	0,33	0,42	0,43	0,28	0,22	0,25	0,28	0,42	0,07	0,86	1,00
500	0,28	0,24	0,27	0,35	0,24	0,19	0,20	0,27	0,31	0,40	0,76	1,00
1000	0,23	0,09	0,27	0,28	0,22	0,15	0,16	0,22	0,15	0,49	0,70	1,00
2000	0,11	0,36	0,21	0,25	0,16	0,13	0,13	0,17	0,17	0,89	0,86	1,00
4000	0,07	0,64	0,17	0,31	0,05	0,02	0,03	0,11	0,07	0,97	0,92	1,00
8000	0,89	0,30	0,46	0,55	0,27	0,20	0,14	0,32	0,14	0,96	0,93	1,00

Tabela III.4.2. Sala Koncertowa. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze *in situ*. Nagłówek „Organy 4” oznacza sekcję środkową instrumentu, kolumna „Organy 123” zawiera średnią trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

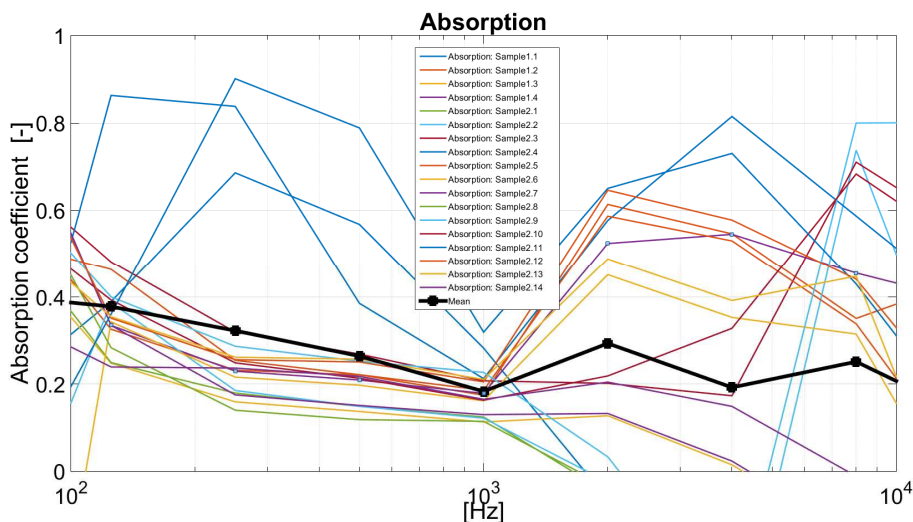
Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta			Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna								
100	0,63	0,39	0,51	0,52	0,46	0,32	0,83	0,55	0,52	0,10	0,86	1,00
125	0,67	0,35	0,47	0,50	0,26	0,27	0,31	0,51	0,32	0,37	0,94	1,00
160	0,63	0,45	0,42	0,50	0,26	0,27	0,25	0,29	0,52	0,14	0,91	1,00
200	0,52	0,37	0,42	0,46	0,21	0,22	0,24	0,29	0,34	0,06	0,89	1,00
250	0,37	0,34	0,44	0,44	0,39	0,24	0,26	0,30	0,37	0,15	0,85	1,00
315	0,33	0,28	0,39	0,39	0,27	0,21	0,25	0,24	0,55	0,21	0,83	1,00
400	0,28	0,24	0,26	0,35	0,31	0,20	0,22	0,26	0,48	0,47	0,78	1,00
500	0,29	0,23	0,17	0,32	0,19	0,17	0,19	0,28	0,28	0,41	0,70	1,00
630	0,24	0,19	0,22	0,30	0,15	0,16	0,16	0,26	0,22	0,32	0,64	1,00
800	0,24	0,17	0,33	0,29	0,22	0,14	0,17	0,22	0,22	0,31	0,61	1,00
1000	0,20	0,04	0,13	0,25	0,17	0,15	0,15	0,22	0,22	0,45	0,66	1,00
1250	0,23	0,04	0,32	0,25	0,24	0,12	0,15	0,21	0,07	0,65	0,73	1,00
1600	0,16	0,04	0,16	0,23	0,15	0,13	0,12	0,16	0,22	0,64	0,76	1,00
2000	-0,02	0,04	0,24	0,24	0,15	0,12	0,12	0,17	0,09	0,83	0,86	1,00
2500	0,07	0,03	0,22	0,24	0,18	0,12	0,12	0,16	0,19	0,96	0,89	1,00
3150	-0,02	0,24	0,10	0,24	0,00	0,05	0,08	0,11	0,08	0,97	0,92	1,00
4000	0,14	0,34	0,15	0,24	0,07	0,03	0,01	0,10	0,06	0,91	0,92	1,00
5000	0,01	0,71	0,22	0,38	0,07	0,13	0,08	0,09	0,08	0,83	0,92	1,00
6300	-0,06	0,70	0,37	0,42	0,22	0,23	0,15	0,30	0,20	0,86	0,91	1,00
8000	0,97	0,70	0,29	0,49	0,33	0,26	0,14	0,33	0,27	0,99	0,90	1,00
10000	0,92	0,70	0,62	0,56	0,20	0,11	0,11	0,26	0,20	0,93	0,94	1,00

4.2.3. Szczegółowe wyniki pomiarów

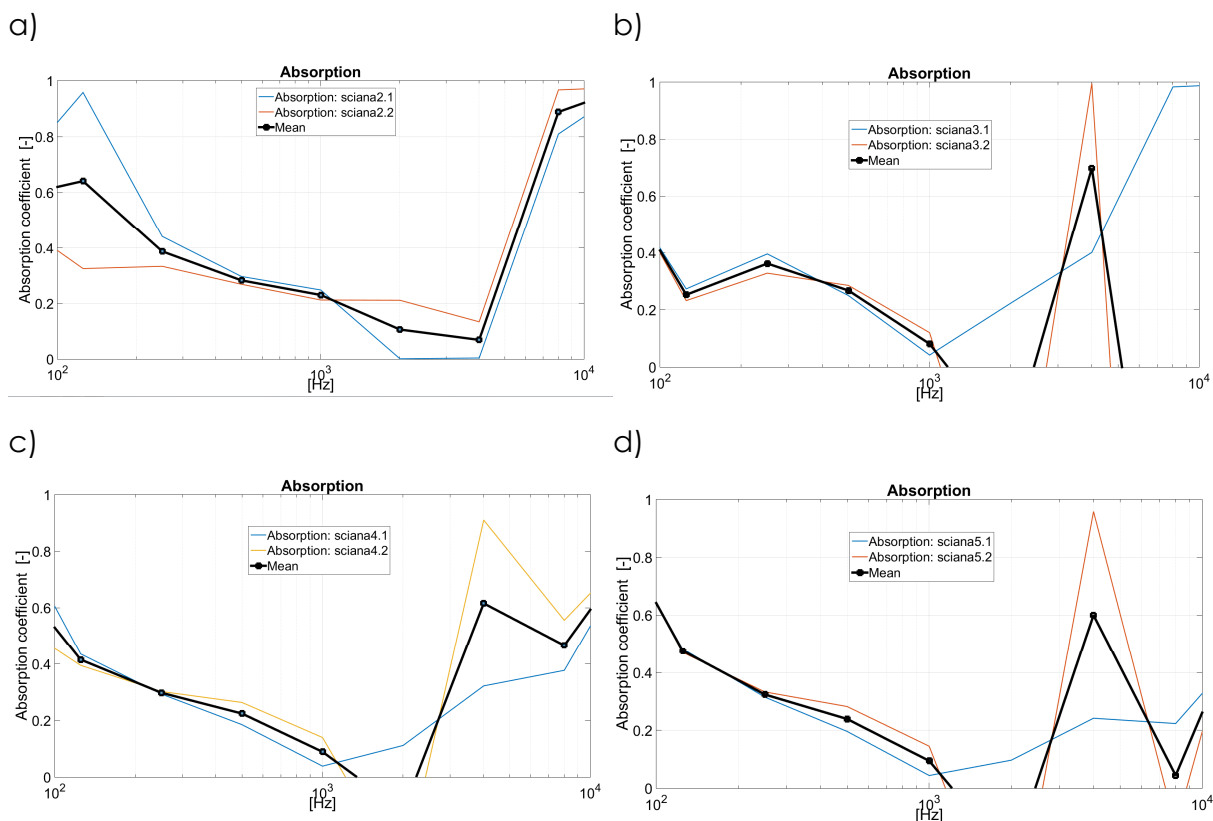
Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania *in situ* przedstawiają wykresy na rys. III.4.3, III.4.4 oraz III.4.7÷III.4.11. Na fotografiach, rys. III.4.12÷III.4.14, pokazano niektóre szczegóły umieszczenia sondy pomiarowej podczas przeprowadzanych pomiarów.

Na rys. III.4.3 przedstawiono zbiorczo wyniki pomiarów przeprowadzonych w punkcie (1) na ścianie bocznej estrady wykonanej, jako głęboko profilowana boazeria drewniana (szkic na rys. III.4.5). Ponieważ profilowanie boazerii znacząco wpływa na lokalnie rejestrowany współczynnik pochłaniania pomiary przeprowadzono w 18-u punktach w poziomie w odstępach 2 cm od siebie. Rys. III.4.3 przedstawia indywidualne wyniki pomiarów we wspomnianych punktach oraz wyznaczony średni współczynnik pochłaniania.

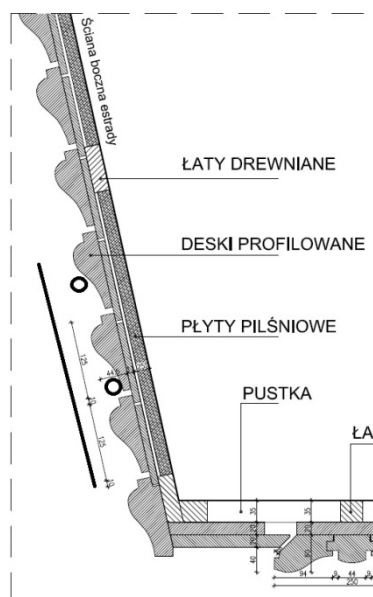
Szkic na rys. III.4.5 pokazuje falisty kształt boazerii ściennej w rejonie estrady oraz zakres przemieszczania mikrofonu, a także dwa miejsca pomiaru (odpowiadające wykresom 2.1 i 2.2, rys. III.4.4 a) stosowane w punkcie pomiarowym (2).



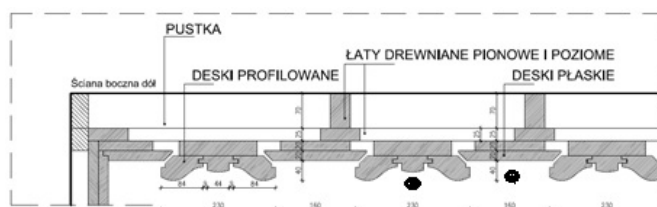
Rys. III.4.3. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktafowych zmierzony *in situ*. Punkt pomiarowy (1): boczna ściana estrady. Uśrednienie pomiarów w 18 punktach odległych o 2 cm w kierunku poziomym. Falista boazeria listwowa.



Rys. III.4.4. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktafowych zmierzony *in situ*; a) estrada – punkt (2); b) widownia – punkt (3); c) widownia – punkt (4); d) widownia – punkt (5).



Rys. III.4.5. Boazeria ściany bocznej estrady. Linia pokazuje zakres ustawień mikrofonu na 18 pozycjach w odstępach 2 cm. Punkty pokazują dwa stosowane położenia mikrofonu w punkcie pomiarowym (2).



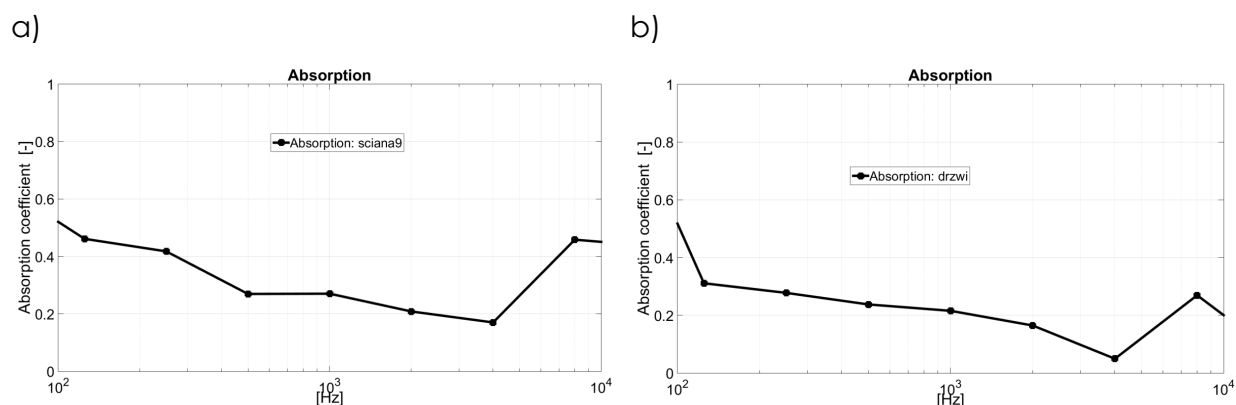
Rys. III.4.6. Boazeria ściany bocznej widowni. Punkty pokazują dwa stosowane położenia mikrofonu w punktach pomiarowych (3), (4) i (5).

Na rys. III.4.4 przedstawiono pomiary przeprowadzone w punktach (2)÷(5) w dolnym obszarze boazerii drewnianej ściany bocznej sali. Rysunek III.4.4a przedstawia pomiar w punkcie (2) boazerii bocznej ściany estrady, której falisty profil jest pokazany na rys. III.4.3 (z uwidocznieniem dwóch położzeń sondy odpowiadającym wynikom przedstawionym na rys. III.4.4a). Wykresy na rys. III.4.4b,c,d przedstawiają wyniki pomiarów w punktach (3), (4), i (5) boazerii bocznej ściany widowni, której głębokie profilowanie jest pokazane na rys. III.4.6. Fotografia na rys. III.4.12 przedstawia ustawienie sondy pomiarowej przy boazerii ściany widowni. Wykresy przedstawione na rys. III.4.4 pokazują jak dalece kształt profilu boazerii wpływa na zmierzone wartości współczynnika pochłaniania. Uwidaczniają się znacząco różne wartości

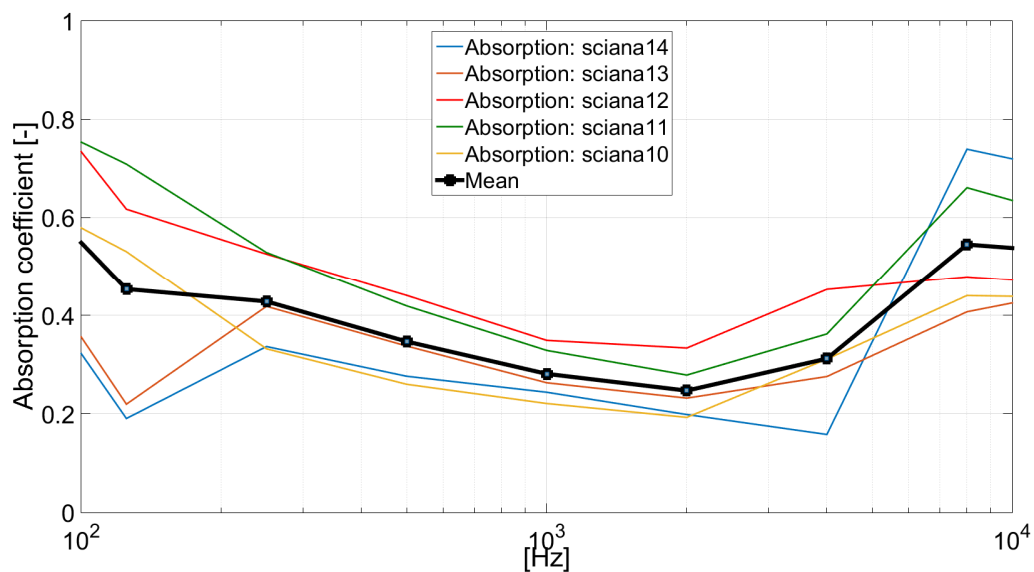
współczynnika pochłaniania dla ściany estrady (wykres na rys. III.4.a) względem wzajemnie zbliżonych wykresów odnoszących się do trzech punktów pomiaru na ścianie widowni, o innym profilu boazerii (rys. III.4.4b,c,d).

Na rys. III.4.7a przedstawiono współczynnik pochłaniania górnych paneli ze sklejkі ściany bocznej zmierzony w punkcie pomiarowym (9), a na rys. III.4.7.b współczynnik pochłaniania drzwi prowadzących do foyer Sali Koncertowej.

Wyniki pomiarów paneli perforowanych ze sklejkі na ścianie tylnej sali, przeprowadzone w punktach pomiarowych (10)÷(14) (patrz rys. III.4.2) zbiorczo przedstawiono na rys. III.4.8. Na uwagę zwraca spójność przebiegu wartości współczynnika pochłaniania w funkcji częstotliwości, co wskazuje na jednorodność właściwości ściany tylnej sali.

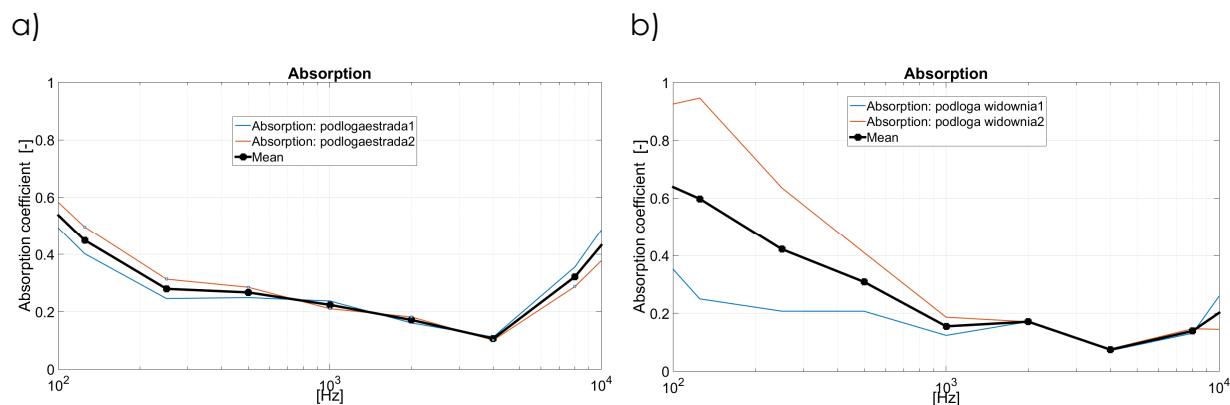


Rys. III.4.7. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych zmierzony *in situ*; a) górna płyta drewniana ściany bocznej, punkt pomiarowy (9), b) drzwi foyer.

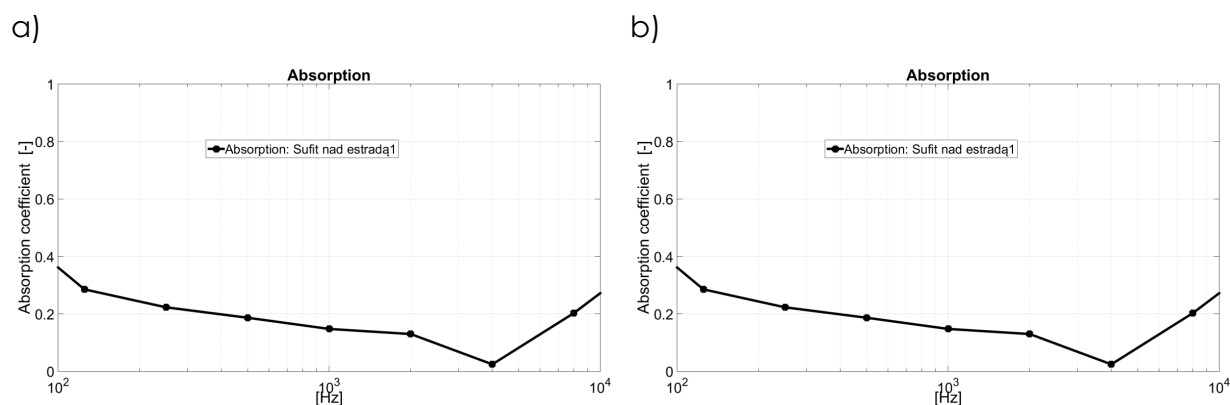


Rys. III.4.8. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Punkt pomiarowe (10)÷(14): tylna ściana widowni. Płyty perforowane.

Wyniki pomiarów przeprowadzonych w odniesieniu do podłogi estrady i podłogi widowni przedstawiono na rys. III.4.9.



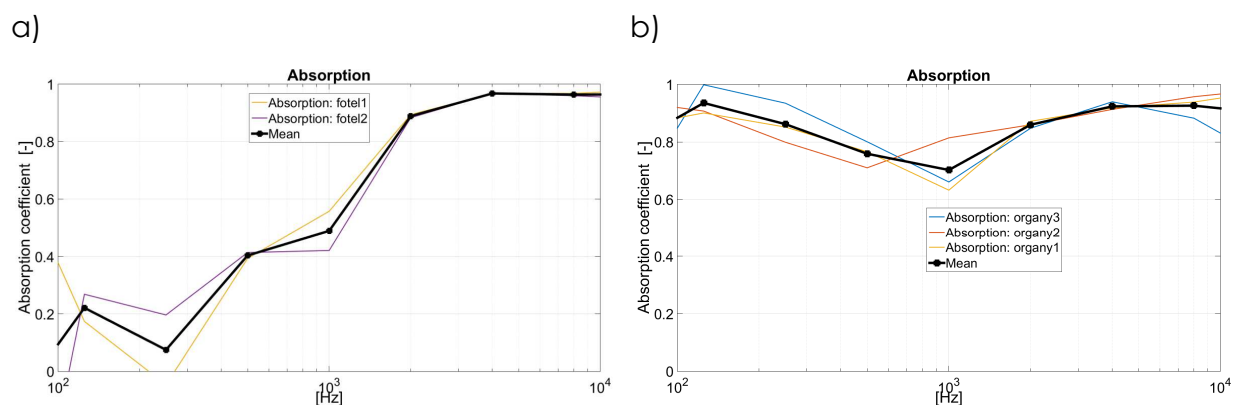
Rys. III.4.9. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.



Rys. III.4.10. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*. a) sufit nad estradą, b) sufit nad widownią.

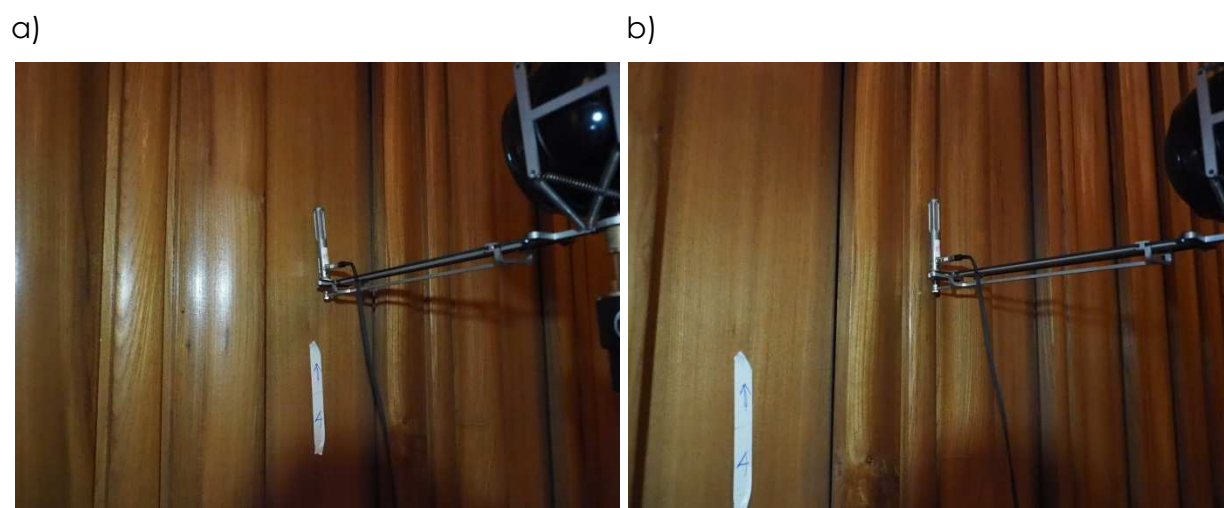
Wyniki pomiarów sufitu estrady i widowni przedstawiono na rys. III.4.10. Punkt pomiarowy sufitu estrady znajdował się na środku dużej powierzchni odbijającej sufitu w miejscu w przybliżeniu odpowiadającym środkowi estrady. Punkt pomiarowy na suficie widowni znajdował się na środku drugiej dużej powierzchni odbijającej licząc od ściany tylnej widowni (druga od tyłu sali powierzchnia ukośna). Położenie sondy pomiarowej podczas pomiaru sufitu estrady przedstawione jest na rys. III.4.13.

Wyniki pomiarów fotelu widowni przedstawiono na rys. III.4.11a.



Rys. III.4.11. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*; a) fotel widowni, b) organy: sekcja zewnętrzna po prawej stronie (1), sekcja druga od prawej strony (2), sekcja trzecia od prawej strony (3) oraz średnia.

Rys. III.4.11b przedstawia wynik pomiaru trzech sekcji organów po prawej stronie osi symetrii instrumentu. Pomiar organów przeprowadzono metodą skanowania przesuwając sondę pomiarową w poprzek wybranej sekcji piszczałek prospektu organowego z uśrednieniem w czasie 15 sekund pomiaru. Przedstawione wyniki stanowią zatem uśrednienie przestrzenne obejmujące całą szerokość sekcji piszczałek organowych. Położenie sondy pomiarowej w czasie pomiarów organów wspomnianą metodą skaningu przedstawia fotografia na rys. III.4.14.



Rys. III.4.12. Położenie sondy pomiarowej przy ścianie bocznej widowni pokrytej boazerią; a) w obszarze płaskiej części profilu, b) w obszarze żłobień profilu.



Rys. III.4.13. Położenie sondy pomiarowej przy suficie nad tylną częścią widowni Sali Koncertowej.

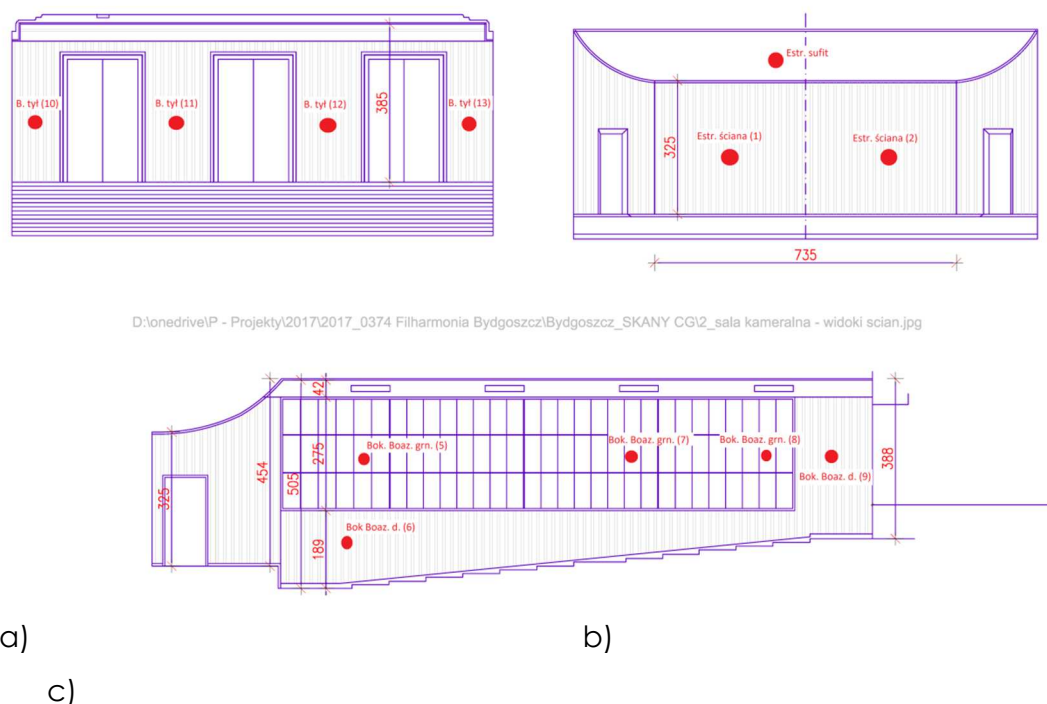


Rys. III.4.14. Położenie sondy pomiarowej w czasie skanowania prospektu organowego. Sekcja 3.

4.3. Pomiary Sali Kameralnej

4.3.1. Usytuowanie punktów pomiarowych

Wybór punktów pomiarowych na ścianach Sali Kameralnej przedstawia rys. III.4.15.



Rys. III.4.15. Widok ściany bocznej prawej i ściany tylnej Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej z zaznaczonymi punktami pomiaru współczynnika pochłaniania metodą *in situ*; a) ściana tylna widowni, b) ściana tylna estrady, c) ściana boczna.

Dwa punkty pomiarowe położone są na tylnej ścianie estrady, trzy punkty pomiarowe na płytach górnych ściany bocznej widowni, dwa na boazerii pokrywającej dół ściany bocznej widowni oraz cztery punkty pomiarowe na boazerii szczelinowej ściany tylnej. Ponadto przeprowadzono pomiar w punkcie na suficie nad estradą, na podłodze estrady i na podłodze widowni. Dodatkowo zmierzono zostało pochłanianie siedziska fotelu widowni.

4.3.2. . Zbiorcze wyniki pomiarów

Średnie współczynniki pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych i 1/3 oktawowych odpowiadające podstawowym powierzchniom i elementom wyposażenia Sali Kameralnej Filharmonii przedstawiono odpowiednio w tabelach III.4.3 i III.4.4. Struktura tabel jest podobna do tabel III.4.1. i III.4.2. Tabele obejmują wartości zmierzone dla sufitu i ścian estrady sali, boazerii i płyt sciany bocznej, boazerii szczelinowej ściany tylnej, podłogi estrady i podłogi widowni oraz siedziska fotelu widowni.

Tabela III.5.3. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych w pomiarze *in situ*.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria			
	Sufit	Ściana.	Panel górny	Boazeria dolna	tylna	Estrada	Widownia	
125.00	0.33	0.63	0.53	0.35	0.65	0.41	0.36	0.10
250.00	0.25	0.51	0.38	0.22	0.64	0.32	0.35	0.09
500.00	0.21	0.40	0.24	0.17	0.55	0.29	0.34	0.55
1000.00	0.19	0.35	0.26	0.14	0.39	0.26	0.27	0.77
2000.00	0.20	0.35	0.13	0.15	0.43	0.22	0.34	0.68
4000.00	0.17	0.83	0.10	0.15	0.03	0.24	0.32	0.57
8000.00	0.52	0.66	0.03	0.15	0.07	0.47	0.30	0.64

Tabela III.4.4. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze *in situ*.

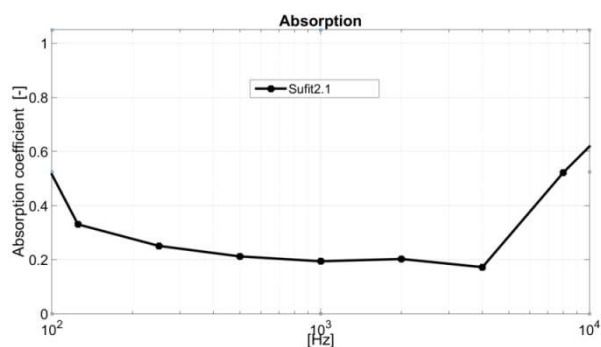
Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria	Estrada	Widownia	
	Sufit	Ściana.	Panel górny	Boazeria dolna	tylna			
100	0.61	0.68	0.57	0.68	0.68	0.54	0.49	0.56
125	0.23	0.56	0.57	0.36	0.66	0.36	0.37	0.27
160	0.26	0.57	0.41	0.28	0.63	0.36	0.30	0.25
200	0.26	0.52	0.42	0.24	0.61	0.32	0.27	0.23
250	0.29	0.49	0.40	0.23	0.60	0.31	0.37	0.19
315	0.21	0.44	0.33	0.20	0.65	0.31	0.39	0.11
400	0.21	0.41	0.26	0.18	0.64	0.32	0.37	0.34
500	0.20	0.35	0.25	0.15	0.52	0.25	0.32	0.57
630	0.19	0.29	0.17	0.12	0.49	0.24	0.31	0.71
800	0.19	0.33	0.18	0.14	0.39	0.28	0.29	0.84
1000	0.19	0.32	0.36	0.15	0.36	0.25	0.34	0.66
1250	0.18	0.31	0.23	0.12	0.34	0.23	0.04	0.71
1600	0.20	0.28	0.30	0.19	0.39	0.23	0.40	0.77
2000	0.20	0.26	0.37	0.23	0.35	0.19	0.21	0.65
2500	0.19	0.46	0.10	0.20	0.35	0.23	0.36	0.56
3150	0.15	0.65	0.10	0.20	0.25	0.20	0.26	0.57
4000	0.15	0.65	0.09	0.20	0.10	0.19	0.31	0.47
5000	0.19	0.56	0.08	0.18	0.10	0.28	0.35	0.54
6300	0.40	0.51	0.07	0.18	0.05	0.31	0.33	0.65
8000	0.45	0.32	0.06	0.15	0.05	0.35	0.43	0.58
10000	0.47	0.60	0.10	0.15	0.10	0.59	0.07	0.59

4.3.3. Szczegółowe wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania *in situ* Sali Kameralnej przedstawiają wykresy na rys. III.4.16÷III.4.21. Na rys. III.4.16a zamieszczono wynik pomiaru sufitu nad estradą. Położenie sondy pomiarowej przy tym pomiarze pokazuje rys. III.4.16b. Wyniki pomiarów w dwóch punktach pomiarowych ściany tylnej estrady przedstawia rys. III.4.17.

Rysunki III.4.18 i III.4.19 przedstawiają wyniki pomiarów w punktach położonych na ścianach bocznych widowni, odpowiednio w dwóch miejscach dla boazerii dolnej i w trzech miejscach w przypadku paneli ze sklejk w górnej części ściany.

a)

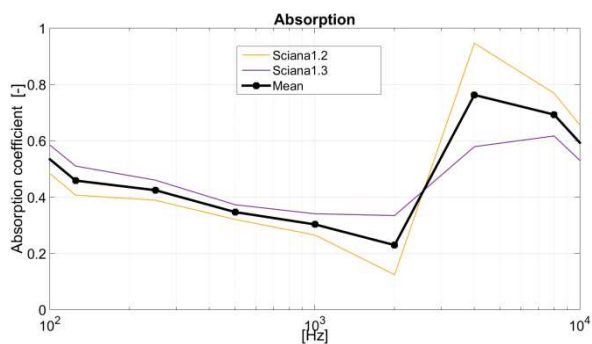


b)

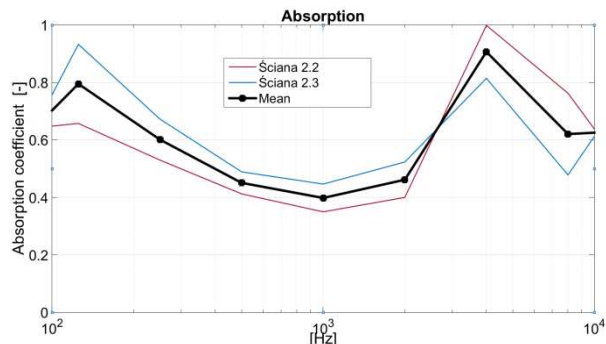


Rys. III.4.16. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*; a) sufit nad estradą, b) położenie sondy pomiarowej przy pomiarze sufitu estrady Sali Kameralnej.

a)

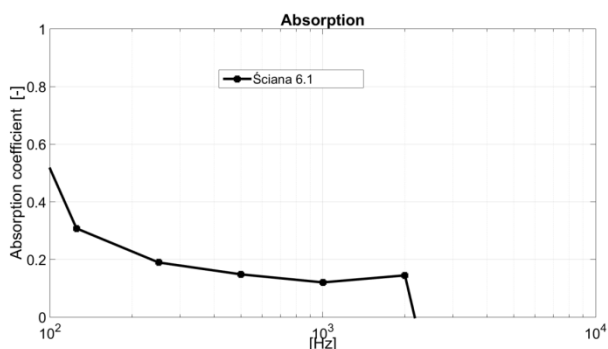


b)

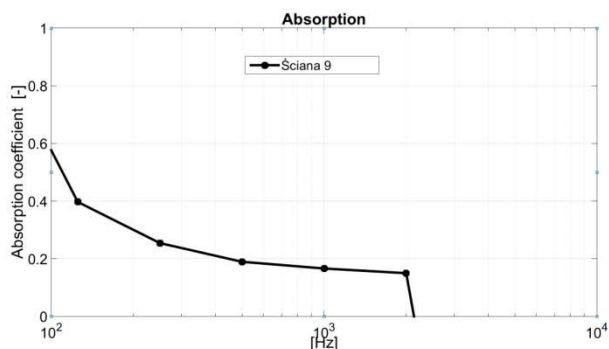


Rys. III.4.17. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Ściana estrady; a) punkt (1), b) punkt (2).

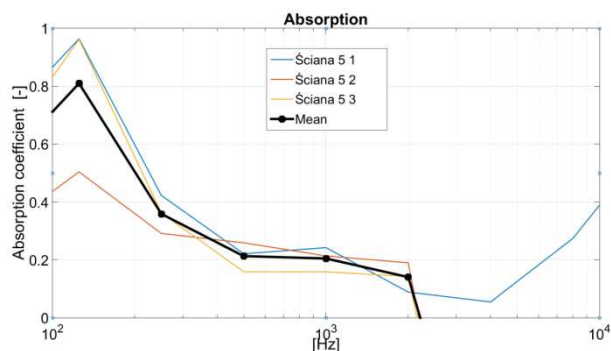
a)



b)

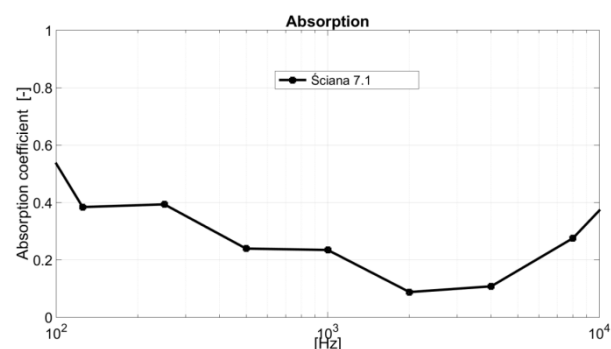


Rys. III.4.18. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Ściana boczna widowni, boazeria dolna; a) punkt (6), b) punkt (9).

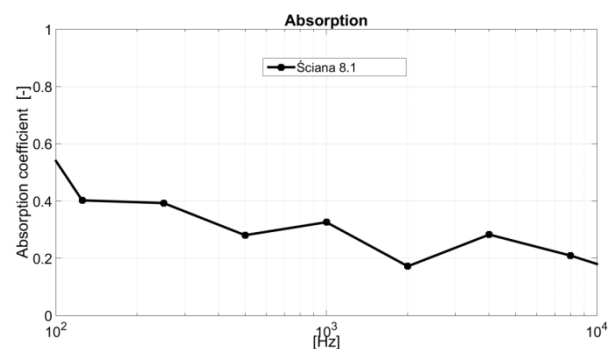


a)

b)

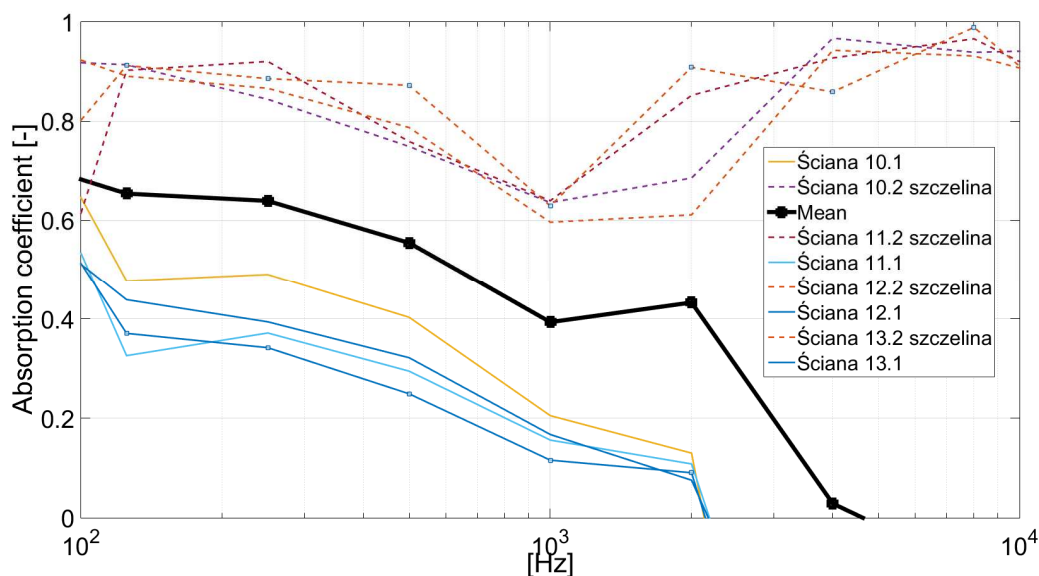


c)



Rys. III.4.19. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych zmierzony *in situ*. Płyta górna ze sklejek ściany bocznej widowni; a) punkt (5), b) punkt (7), c) punkt (8).

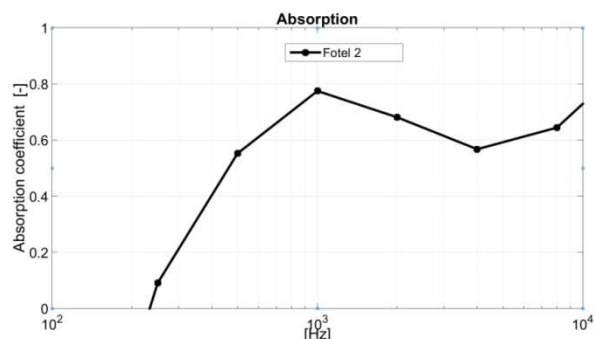
Wyniki pomiarów ściany tylnej Sali Kameralnej w punktach pomiarowych 10÷13 zbiorczo przedstawiono na rys. III.4.20. Podobnie jak w przypadku Sali Koncertowej ma miejsce spójność przebiegu wartości współczynnika pochłaniania w funkcji częstotliwości. Głęboko profilowana boazeria tylnej ściany Sali Kameralnej jest boazerią szczelinową z pustką głębokości do 10 cm. Charakterystyczne jest zróżnicowanie wyniku pomiaru w przypadku umieszczenia sondy nad deską boazerii (punkty pomiarowe z etykietą '.1') oraz w położeniu na d szczeliną prowadzącą do pustki pod boazerią (punkty pomiarowe z etykietą '.2').



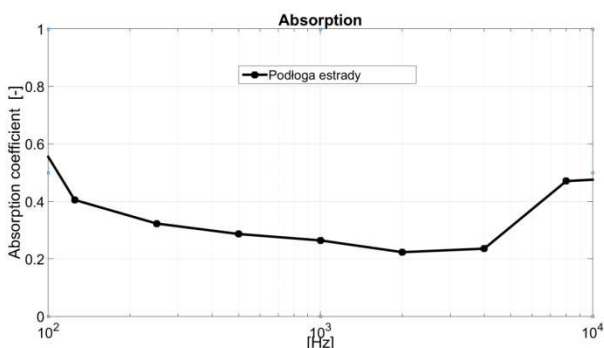
Rys. III.4.20. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*. Boazeria tylnej ściany widowni, zbiorcze przedstawienie pomiarów w punktach (10)÷(13).

Na rys. III.4.21 zamieszczono wyniki pomiarów siedziska fotelu widowni oraz podłogi estrady i podłogi widowni.

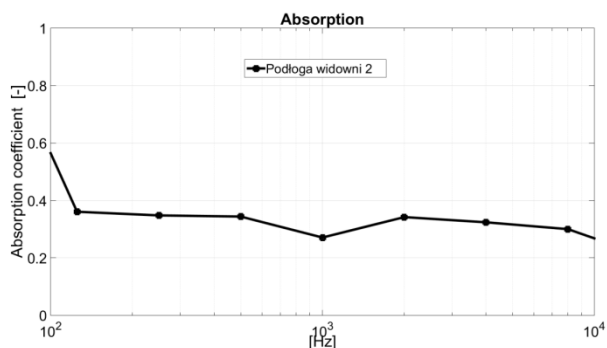
a)



b)



c)



Rys. III.4.21. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*; a) fotel widowni, b) podłoga estrady, c) podłoga widowni.

4.4. Korekcja energetycznych współczynników zmierzonych *in situ*

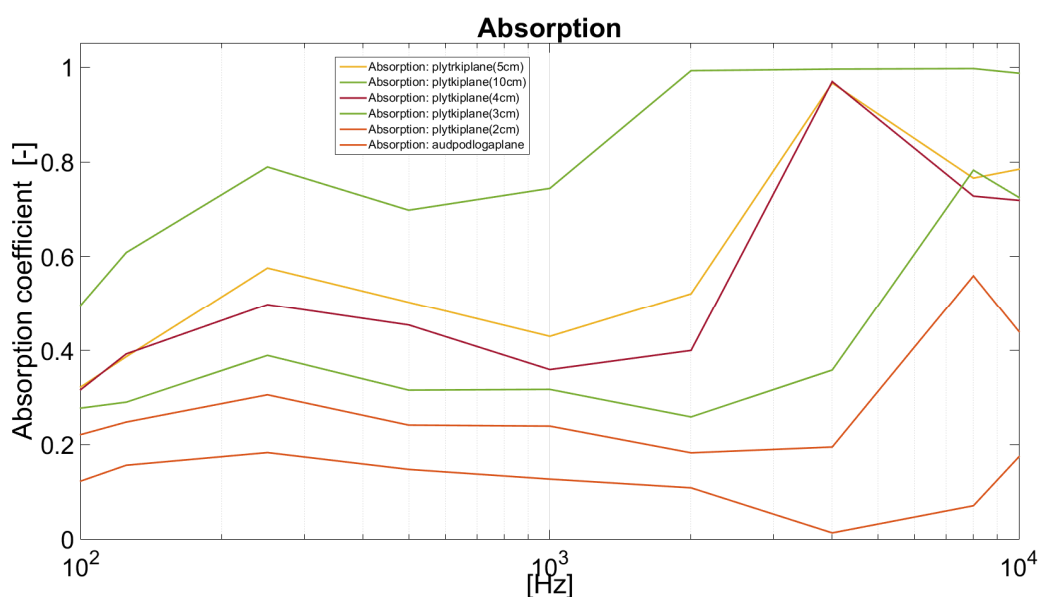
Pomiar współczynników pochłaniania *in situ* sondą Microflown jest obciążony ograniczeniami, które mają swoje źródła w tym, że: (1) przeprowadzany jest punktowy pomiar w miejscu położenia czujnika sondy pomiarowej, (2) pomiar współczynnika odbicia przeprowadza się wyłącznie w kierunku prostopadłym do powierzchni, oraz (3) oddalenia sondy od ściany (obiektu mierzonego) wprowadza błąd pomiarowy polegający na pozornym zwiększeniu wartości współczynnika pochłaniania.

W pierwszym przypadku, z powodu braku uśredniania pomiaru na większej powierzchni, występuje trudność prawidłowego zmierzenia współczynnika pochłaniania w przypadku powierzchni niejednorodnej, zwłaszcza znacząco urzeźbionej. Był to przypadek boazerii estrady, oraz odmiennych boazerii ścian bocznych widowni (część dolna), zarówno w Sali Koncertowej, jak i Kameralnej. Wyniki przedstawione wcześniej odnoszące się do charakterystycznych położzeń sondy przy boazerii, takich jak szczelina lub fragment łagodnej krzywizny deski i pokazują znaczące różnice (por. rys. III.4.4 i III.4.19). W celu uśrednienia pomiaru współczynnika pochłaniania na większej powierzchni możliwe jest skanowanie powierzchni sondą, co było przeprowadzane w przypadku prospektu organowego. Przy ręcznym skanowaniu, technika ta może prowadzić lecz prowadzi to do zwiększenia błędu wynikającego z nadmiernego odsunięcia sondy od obiektu mierzonego.

Pomiar składowej prostopadłej fali (prędkości akustycznej) różni jakościowo i pod względem uzyskanych wartości otrzymane współczynniki pochłaniania *in situ* od tzw. pogłosowych współczynników pochłaniania powszechnie stosowanych w obliczeniach akustycznych. Te ostatnie pochodzą z pomiaru w polu rozproszonym akustycznej komory pogłosowej, a więc są współczynnikami uśrednionymi dla wszystkich kątów kierunku padania fali akustycznej na daną powierzchnię.

Natomiast trudnym do uniknięcia źródłem błędu pomiarowego jest zwiększanie odległości próbnika sondy od powierzchni mierzonej. Zwiększenie odległości powoduje pozorne zwiększenie współczynnika pochłaniania. Wzrost wartości jest bardzo znaczący i nieproporcjonalnie duży w przypadku powierzchni odbijających o współczynniku pochłaniania poniżej 0,3, a istotny, ale procentowo mniej znaczący dla materiałów pochłaniających (wartości współczynnika pochłaniania powyżej

0,7). Błąd odległości jest jednostronny, tj. zawsze powoduje, że zmierzone wartości współczynnika pochłaniania przyjmują większe wartości niż wartości prawdziwe. Jest to zjawisko znane w literaturze¹, które prowadzi do zawyżonych wartości współczynników pochłaniania i w konsekwencji niedoszacowanie przy modelowaniu takich parametrów akustyki sali, jak T30 lub EDT, a także możliwe jest uzyskanie zawyżonych wskaźników zrozumiałości mowy takich jak STI.



Rys. III.4.22. Pozorny wzrost wartości współczynnika pochłaniania zmierzonego *in situ* przy wzroście odległości sondy od mierzonej powierzchni. Pomiar w odległości 1 cm stanowi najlepsze oszacowanie (<0.2) rzeczywistej wartości współczynnika pochłaniania. Dane dotyczą szlifowanej posadzki kamiennej.

W przypadku aparatury stosowanej w niniejszych pomiarach wcześniej przeprowadzono laboratoryjne oszacowanie skutków zwiększenia odległości położenia sondy od powierzchni mierzonej. Oszacowanie polegało na przeprowadzeniu pomiarów przy standardowej odległości 1 cm, a następnie przy zwiększonej odległości od powierzchni mierzonej do 2, 3, 4, 5 i 10 cm. Wartości oszacowania energetycznego współczynnika pochłaniania pokazane na rys. III.5.22 informują jak wrażliwy jest pomiar na niezachowanie minimalnej odległości sondy od powierzchni mierzonej. Już zmiana odległości z 1 na 2 cm powoduje pozorny wzrost wartości współczynnika pochłaniania *in situ* o ponad 50%. Dalsze odsunięcie sondy

¹ L. Yule, B. Ford. Investigating how predictions of reverberation time can be affected by incorrect absorption coefficient assumptions. 24th ICSV, Londyn, 23-27 July 2017. Materiały konferencyjne.

prowadzi do wielokrotnego zwiększenia wartości współczynnika pochłaniania, a więc daje wyniki całkowicie niemiernodajne.

Podsumowując, można liczyć się z pewnym przeszacowaniem wartości współczynników pochłaniania zmierzonych *in situ* z użyciem sondy z uwagi na trudność zachowania właściwej odległości sondy od nieregularnych powierzchni boazeryjnych ścian obu sal. Trudne do oszacowania, ale istotne, są odstępstwa od wartości tzw. pogłosowych współczynników pochłaniania stosowanych w praktyce akustyki pomieszczeń, a także odstępstwa wynikające z punktowego pomiaru sondą *Microflown*. W związku z powyższymi trudnościami modelowanie przeprowadzone z użyciem zmierzonych współczynników *in situ* ścian sali zostało uzupełnione ponownym modelowaniem sal przy zastosowaniu współczynników skorygowanych. Korekcja polegała na zmodyfikowaniu wartości współczynników pochłaniania na podstawie wzoru Sabina odwrotnie proporcjonalnie do czasów pogłosu uzyskanych w modelu (pierwszym, przed korekcją) i otrzymanym w pomiarach obu sal.

4.4.1. Korekcja współczynników pochłaniania Sali Koncertowej

Korekcję współczynników pochłaniania *in situ* przeprowadzono w oparciu o wzór Sabina wiążący czas pogłosu z chłonnością akustyczną występującą w sali i jej objętością. Na podstawie tego wzoru, przy założeniu proporcjonalnej zmiany chłonności wszystkich materiałów, można wyznaczyć skorygowany współczynnik pochłaniania jako

$$\alpha_{InsituKor} = \frac{T_m}{T_p} \alpha_{Insitu},$$

gdzie T_m i T_p to czas pogłosu T30 odpowiednio uzyskany w modelowaniu z użyciem współczynników bez korekcji i uzyskany w pomiarach. Tabele III.4.5 i III.4.6 przedstawiają odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktawowych wyznaczone współczynniki korekcji zastosowane w odniesieniu do współczynników pochłaniania w Sali Koncertowej. Tabele III.4.7 i III.4.8 przedstawiają zbiorczo, odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktawowych, skorygowane współczynniki pochłaniania zastosowane w modelowaniu sali. Porównanie wartości skorygowanych i współczynników zmierzonych przedstawiono w rozdziale 4.5.2 na rys. III.4.24-III.4.33.

Tabela III.4.5. Sala Koncertowa. Wartości współczynników korekcyjnych dla współczynnika pochłaniania. Pasma 1/1 oktauwowe.

Pasma [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]	68,9	71,4	70,4	77,3	94,1	100,0	68,7

Tabela III.4.6. Sala Koncertowa. Wartości współczynników korekcyjnych dla współczynnika pochłaniania. Pasma 1/3 oktauwowe.

Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]					Pasma [Hz]							
					100	125	160	200	250	315	400	500
					57,2	71,8	73,7	79,5	67,6	68,3	69,4	74,2
Pasma [Hz]												
630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
75,9	72,5	83,6	83,3	93,6	91,0	89,9	104,2	108,2	96,8	73,9	63,7	63,9

Tabela III.4.7. Sala Koncertowa. Skorygowane wartości współczynników pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych w pomiarze in situ. Nagłówek „Organy 4”: sekcja środkowa instrumentu, „Organy 123” - średnia trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta									
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna		Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
125	0,44	0,26	0,31	0,31	0,21	0,20	0,23	0,31	0,41	0,15	0,64	0,68
250	0,28	0,24	0,31	0,31	0,20	0,16	0,18	0,20	0,31	0,05	0,62	0,73
500	0,20	0,17	0,19	0,25	0,17	0,14	0,14	0,19	0,22	0,29	0,55	0,72
1000	0,18	0,07	0,21	0,22	0,17	0,12	0,13	0,17	0,12	0,38	0,55	0,79
2000	0,10	0,33	0,19	0,23	0,15	0,12	0,12	0,16	0,16	0,81	0,79	0,91
4000	0,07	0,66	0,18	0,32	0,05	0,02	0,03	0,11	0,07	1,00	0,95	1,00
8000	0,60	0,20	0,31	0,37	0,18	0,14	0,09	0,22	0,09	0,65	0,63	0,68

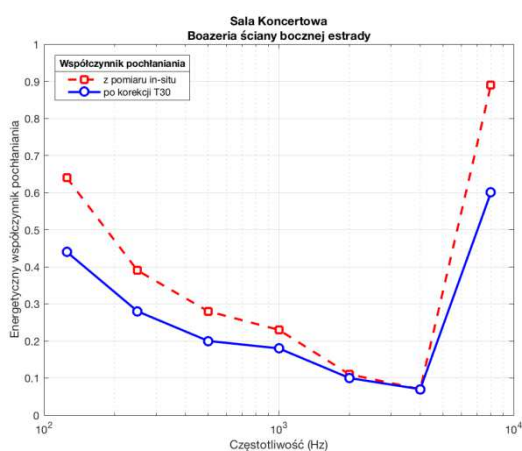
Tabela III.4.8. Sala Koncertowa. Skorygowane wartości współczynników pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze in situ. Nagłówek „Organy 4”: sekcja środkowa instrumentu, „Organy 123” - średnia trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta			Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna								
100	0,36	0,22	0,29	0,30	0,26	0,18	0,47	0,31	0,30	0,06	0,49	0,57
125	0,48	0,25	0,34	0,36	0,19	0,19	0,22	0,37	0,23	0,27	0,67	0,72
160	0,46	0,33	0,31	0,37	0,19	0,20	0,18	0,21	0,38	0,10	0,67	0,74
200	0,41	0,29	0,33	0,37	0,17	0,17	0,19	0,23	0,27	0,05	0,71	0,79
250	0,25	0,23	0,30	0,30	0,26	0,16	0,18	0,20	0,25	0,10	0,57	0,68
315	0,23	0,19	0,27	0,27	0,18	0,14	0,17	0,16	0,38	0,14	0,57	0,68
400	0,19	0,17	0,18	0,24	0,22	0,14	0,15	0,18	0,33	0,33	0,54	0,69
500	0,22	0,17	0,13	0,24	0,14	0,13	0,14	0,21	0,21	0,30	0,52	0,74
630	0,18	0,14	0,17	0,23	0,11	0,12	0,12	0,20	0,17	0,24	0,49	0,76
800	0,17	0,12	0,24	0,21	0,16	0,10	0,12	0,16	0,16	0,22	0,44	0,73
1000	0,17	0,03	0,11	0,21	0,14	0,13	0,13	0,18	0,18	0,38	0,55	0,84
1250	0,19	0,03	0,27	0,21	0,20	0,10	0,12	0,17	0,06	0,54	0,61	0,83
1600	0,15	0,04	0,15	0,22	0,14	0,12	0,11	0,15	0,21	0,60	0,71	0,94
2000	0,10	0,04	0,22	0,22	0,14	0,11	0,11	0,15	0,08	0,75	0,78	0,91
2500	0,06	0,03	0,20	0,22	0,16	0,11	0,11	0,14	0,17	0,86	0,80	0,90
3150	0,10	0,25	0,10	0,25	0,00	0,05	0,08	0,11	0,08	1,00	0,96	1,00
4000	0,15	0,37	0,16	0,26	0,08	0,03	0,01	0,11	0,06	0,98	1,00	1,00
5000	0,01	0,69	0,21	0,37	0,07	0,13	0,08	0,09	0,08	0,80	0,89	0,97
6300	0,63	0,52	0,27	0,31	0,16	0,17	0,11	0,22	0,15	0,64	0,67	0,74
8000	0,62	0,45	0,18	0,31	0,21	0,17	0,09	0,21	0,17	0,63	0,57	0,64
10000	0,59	0,45	0,40	0,36	0,13	0,07	0,07	0,17	0,13	0,59	0,60	0,64

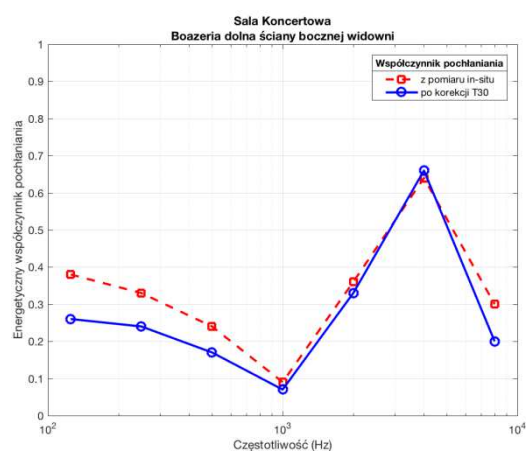
4.4.2. Szczegółowe porównanie współczynników pochłaniania przed i po korekcy. Sala Koncertowa

Na rys. III.4.23÷III.4.27 pokazano współczynniki pochłaniania skorygowane (linia ciągła, symbole okręgu) w porównaniu do współczynników pochłaniania przed korekcją (linia przerywana symbole kwadratu) w Sali Koncertowej. Na rys. III.4.23 Przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania a) ściany bocznej estrady, b) i c) dolnej i górnej części ściany bocznej widowni, d) sklejk perforowanych ściany tylnej widowni.

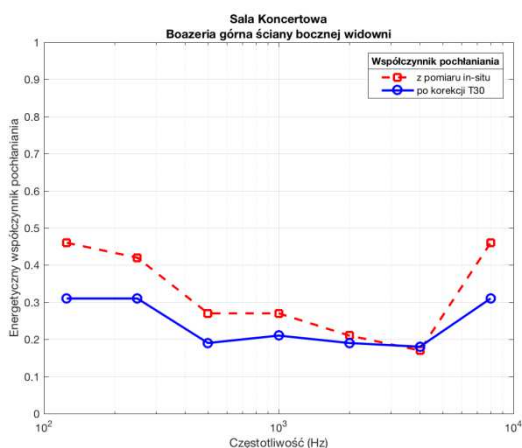
a)



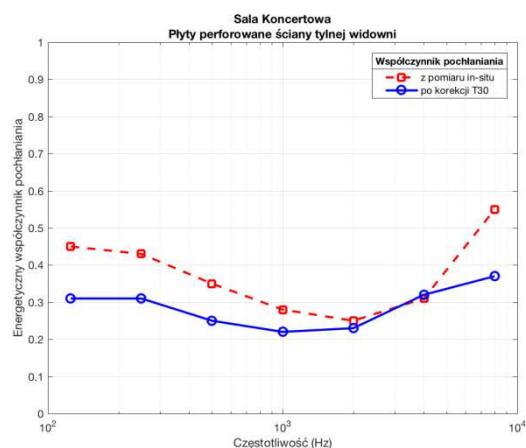
b)



c)



d)

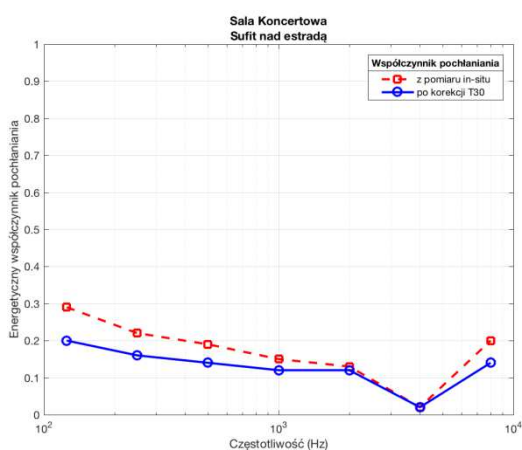


Rys. III.4.23. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych in situ. Przed korekcją i po korekcji; a) boazeria estrady, b) boazeria dolna ściany bocznej widowni, c) panele ze sklejk u góry ściany bocznej widowni, d) panele perforowane ściany tylnej widowni.

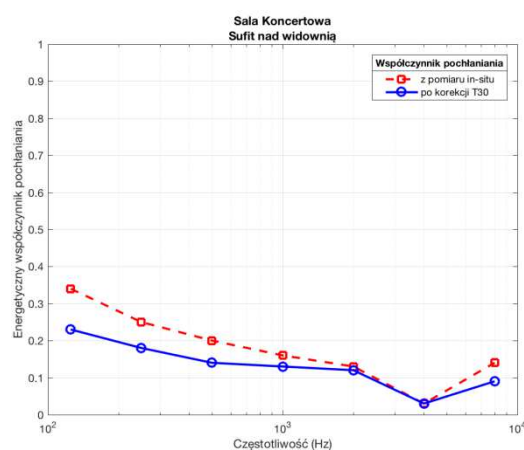
Na rys. III.4.24 III.4.25 i III.4.26 przedstawiono skorygowane współczynniki pochłaniania odpowiednio a) sufitu nad estradą i b) sufitu nad widownią; a) podłogi nad estradą i b) podłogi nad widownią; oraz a) siedzisk foteli i b) drzwi foyer.

W przypadku siedzisk foteli (rys. III.4.26a) dane uzupełniono przeciętnymi współczynnikami pochłaniania z literatury (linia ciągła czarna z symbolami trójkąta) i te dane zostały użyte w modelowaniu.

a)

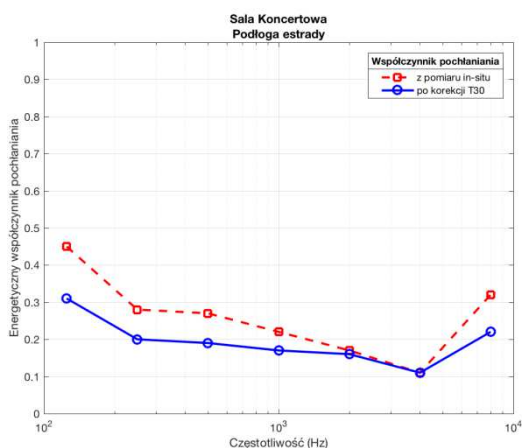


b)

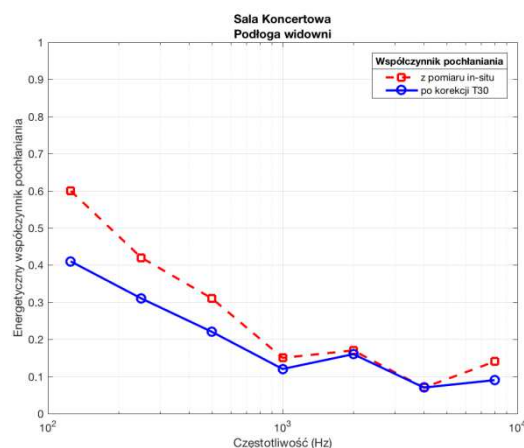


Rys. III.4.24. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) sufit nad estradą, b) sufit nad widownią.

a)

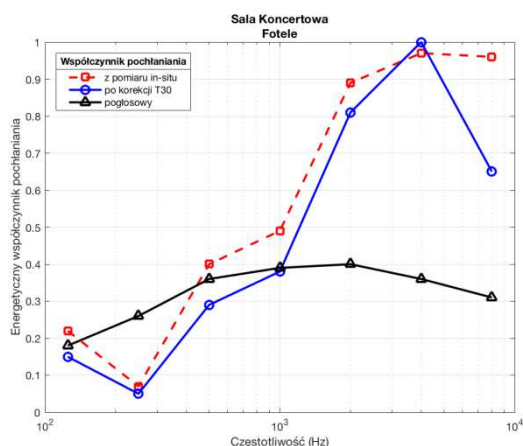


b)

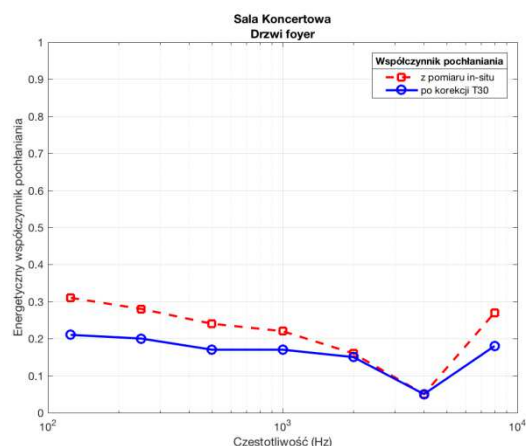


Rys. III.4.25. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.

a)



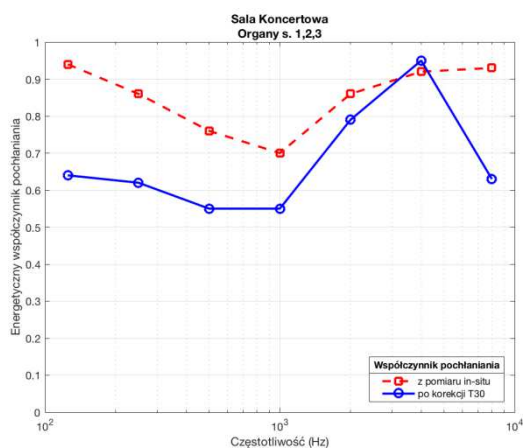
b)



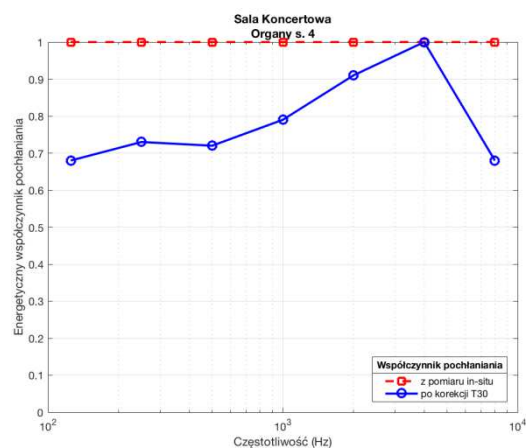
Rys. III.4.26. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) siedziska foteli, b) drzwi foyer.

Na rys. III.4.27, przedstawiono skorygowane współczynniki pochłaniania a) sekcji 1, 2 i 3 organów oraz i b) sekcji 4 organów.

a)



b)



Rys. III.4.27. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) organy sekcje 1, 2, i 3, b) organy sekcja 4.

4.4.3. Korekcja współczynników pochłaniania Sali Kameralnej

Tabele III.4.9 i III.4.10 przedstawiają odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktaawowych współczynniki korekcji zastosowane w odniesieniu do współczynników pochłaniania w Sali Kameralnej. Tabele III.4.11 i III.4.12 przedstawiają zbiorczo, odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktaawowych, skorygowane współczynniki pochłaniania zastosowane w modelowaniu sali. Współczynniki pochłaniania zmierzone i skorygowane są przedstawione dalej na wykresach na rys. III.4.28-III.4.30.

Tabela III.4.9. Sala Kameralna. Wartości współczynników korekcyjnych dla energetycznego współczynnika pochłaniania. Pasma 1/1 oktaawowe.

Pasma [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]	87,9	112,0	119,0	100,0	90,0	88,2	78,8

Tabela III.4.10. Sala Kameralna. Wartości współczynników korekcyjnych dla energetycznego współczynnika pochłaniania. Pasma 1/3 oktaawowe.

Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]					Pasma [Hz]							
					100	125	160	200	250	315	400	500
					67,7	89,8	102,2	109,4	108,2	111,2	110,9	120,0
Pasma [Hz]												
630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
121,5	109,3	87,6	111,7	88,2	88,5	95,1	92,3	92,6	89,8	85,6	81,0	68,5

Tabela III.4.11. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych w pomiarze in situ.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria tylna			
	sufit	ściana	panel górny	boazeria dolna				
125	0,31	0,60	0,50	0,33	0,62	0,39	0,34	0,09
250	0,31	0,62	0,47	0,27	0,78	0,39	0,43	0,11
500	0,23	0,43	0,26	0,18	0,60	0,31	0,37	0,60
1000	0,16	0,30	0,23	0,12	0,34	0,23	0,23	0,67
2000	0,19	0,33	0,12	0,14	0,41	0,21	0,32	0,64
4000	0,14	0,66	0,08	0,12	0,02	0,19	0,26	0,46
8000	0,33	0,42	0,02	0,10	0,04	0,30	0,19	0,41

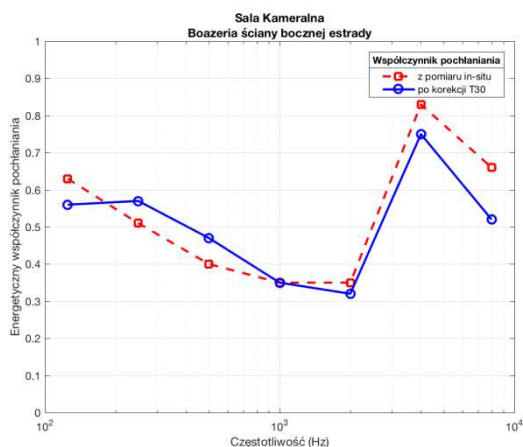
Tabela III.4.12. Sala Kameralna. Skorygowane wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze in situ.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria tylna			
	Sufit	Ściana	Panel górny	Boazeria dolna				
100	0,41	0,46	0,39	0,46	0,46	0,37	0,33	0,38
125	0,21	0,50	0,51	0,32	0,59	0,32	0,33	0,24
160	0,27	0,58	0,42	0,29	0,64	0,37	0,31	0,26
200	0,28	0,57	0,46	0,26	0,67	0,35	0,30	0,25
250	0,31	0,53	0,43	0,25	0,65	0,34	0,40	0,21
315	0,23	0,49	0,37	0,22	0,72	0,34	0,43	0,12
400	0,23	0,45	0,29	0,20	0,71	0,35	0,41	0,38
500	0,24	0,42	0,30	0,18	0,62	0,30	0,38	0,68
630	0,23	0,35	0,21	0,15	0,60	0,29	0,38	0,86
800	0,21	0,36	0,20	0,15	0,43	0,31	0,32	0,92
1000	0,17	0,28	0,32	0,13	0,32	0,22	0,30	0,58
1250	0,20	0,35	0,26	0,13	0,38	0,26	0,04	0,79
1600	0,18	0,25	0,26	0,17	0,34	0,20	0,35	0,68
2000	0,18	0,23	0,33	0,20	0,31	0,17	0,19	0,58
2500	0,18	0,44	0,10	0,19	0,33	0,22	0,34	0,53
3150	0,14	0,60	0,09	0,18	0,23	0,18	0,24	0,53
4000	0,14	0,60	0,08	0,19	0,09	0,18	0,29	0,44
5000	0,17	0,50	0,07	0,16	0,09	0,25	0,31	0,48
6300	0,34	0,44	0,06	0,15	0,04	0,27	0,28	0,56
8000	0,36	0,26	0,05	0,12	0,04	0,28	0,35	0,47
10000	0,32	0,41	0,07	0,10	0,07	0,40	0,05	0,40

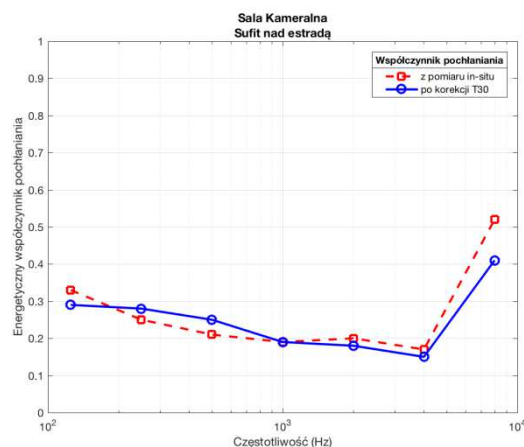
4.4.4. Szczegółowe porównanie współczynników pochłaniania przed i po korekcji. Sala Kameralna

Na rys. III.4.28÷III.4.30 pokazano współczynniki pochłaniania skorygowane (linia ciągła, symbole okręgu) w porównaniu do współczynników pochłaniania przed korekcją (linia przerywana symbole kwadratu) w Sali Kameralnej. Na rys. III.4.28 Przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania a) ściany bocznej estrady, b) sufitu estrady.

a)



b)

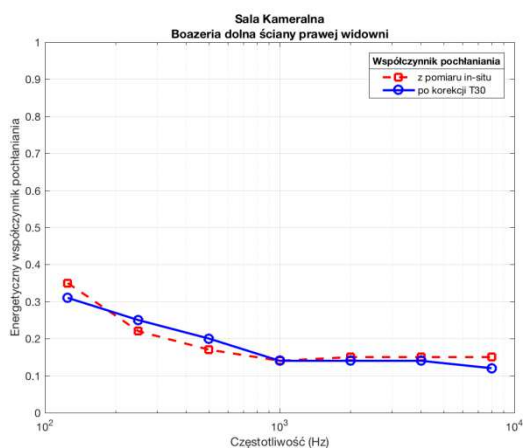


Rys. III.4.28. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) boazeria estrady, b) sufit nad estradą.

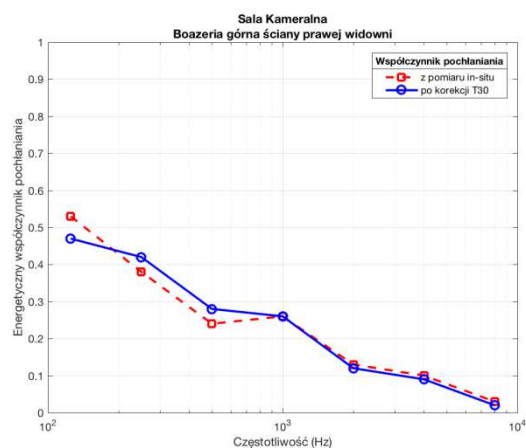
Na rys. III.4.29a,b,c, przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania ścian widowni, odpowiednio: a) boazerii dolnej ściany bocznej, b) paneli ze sklejkі części górnej ściany bocznej, c) boazerii szczelinowej ściany tylnej estrady, b) sufitu estrady. Na rys. III.4.29d, przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania siedzisk foteli widowni. Podobnie jak w przypadku Sali Koncertowej, w przypadku siedzisk foteli (rys. III.4.26d) dane uzupełniono przeciętnymi współczynnikami pochłaniania z literatury (linia ciągła czarna z symbolami trójkąta) i te dane zostały użyte w modelowaniu.

Na rys. III.4.30 przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania: a) podłogi estrady i b) podłogi widowni.

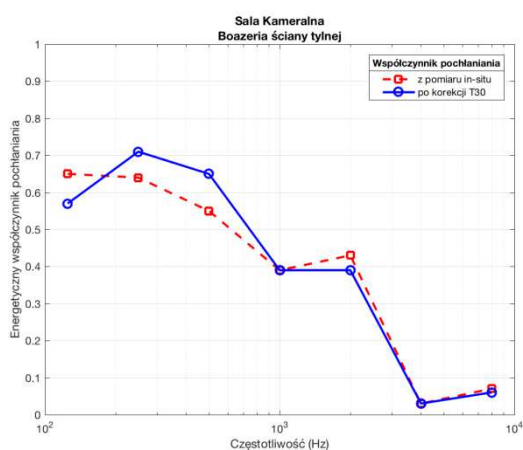
a)



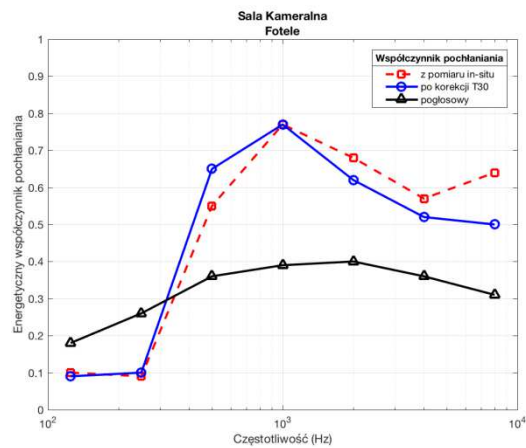
b)



c)

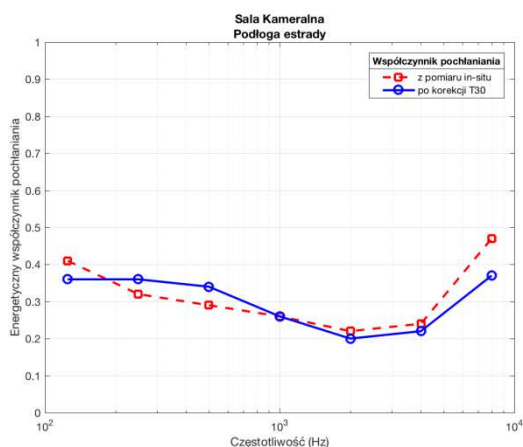


d)

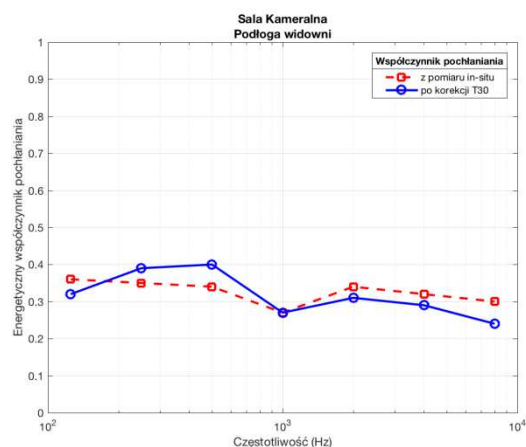


Rys. III.4.29. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) boazeria dolna ściany bocznej widowni, b) boazeria górna ściany bocznej widowni, c) boazeria tylnej ściany widowni, d) siedziska foteli.

a)



b)



Rys. III.4.30. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.

4.5. Podsumowanie

Przedstawione pomiary *in situ* współczynnika pochłaniania najważniejszych powierzchni i elementów wyposażenia sal Koncertowej i Kameralnej Filharmonii stanowi rzeczywistą dokumentację materiałów i ustrojów akustycznych stosowanych w obecnie istniejącej konstrukcji obu sal, co nie byłoby możliwe do pozyskania innymi metodami bez ingerencji w strukturę sal. Otrzymane wartości współczynników wykorzystano w modelowaniu numerycznym sal w części IV opracowania. Modelowanie umożliwiło ich weryfikację poprzez porównanie wyników modelowania i wyników pomiarów zebranych w części II opracowania.

Wyniki modelowania wskazywały na konieczność korekcy zmierzonych współczynników pochłaniania. Stopień korekcy nie był znaczący i oznaczał średnio zmniejszenie współczynników pochłaniania do 80% zmierzonych wartości w Sali Koncertowej oraz do 95% zmierzonych wartości w Sali Kameralnej (przy niektórych częstotliwościach zwiększenie). Korekcję przeprowadzono przez odniesienie czasu pogłosu T30 uzyskanego z modelu, w którym zastosowano oryginalne zmierzone współczynniki pochłaniania (z wyjątkiem uznanego za niereprezentatywny współczynnika pochłaniania siedziska fotela widowni) do czasu pogłosu uzyskanego w pomiarach przedstawionych w Części II. Następnie modelowanie przeprowadzono ponownie z zastosowaniem skorygowanych współczynników pochłaniania zmierzonych *in situ*.

Ograniczenia pomiarów *in situ* wynikają z przeprowadzania punktowego pomiaru w miejscu położenia czujnika sondy pomiarowej oraz z pomiaru współczynnika odbicia w kierunku prostopadłym do powierzchni. Oba te czynniki są powodem różnic w otrzymywanych wartościach w stosunku do tzw. pogłosowego współczynnika pochłaniania, którego pomiar jest ściśle określony normą EN ISO 354.

Ograniczenia związane z pomiarami współczynnika pochłaniania *in situ* są znacząco kompensowane nową jakością, którą jest możliwość uzyskania rzeczywistych danych pomiarowych bezpośrednio w odniesieniu do materiałów i ustrojów zastosowanych oryginalnie w sali, bez jakiegokolwiek niszczenia, czy uszkodzania konstrukcji i substancji sali. Jest to istotna wartość w odniesieniu do pomiarów w salach Koncertowej i Kameralnej Filharmonii. Jedyłą alternatywą byłoby posłużenie się katalogowymi danymi odpowiednich materiałów, które niejednokrotnie podawane są ze znacznym rozrzutem wartości, albo poleganie na intuicji i doświadczeniu

zespołu pomiarowego przy doborze współczynników pochłaniania dla modelowania sali.

Pomiar współczynników pochłaniania *in situ* sondą Microflown jest ciągle rzadko stosowaną nowatorską metodą w akustyce pomieszczeń. Pomiary pozwalające na dokumentację elementów sali przeprowadzono innowacyjną metodą odpowiadającą najnowszej uznanej w świecie technice pomiarów współczynnika pochłaniania.

CZĘŚĆ IV – MODELOWANIE AKUSTYKI SALI

1. Założenia do wykonania modeli akustycznych sal

Komputerowy model akustyczny Sali Koncertowej utworzony został z 795 płaszczyzn. Model Sali Kameralnej zbudowano z 551 płaszczyzn. Dane geometryczne użyte do budowy modeli pochodzą z inwentaryzacji architektonicznej sal.

Każdej płaszczyźnie przypisano odpowiednią charakterystykę współczynnika pochłaniania dźwięku, uzyskaną z pomiarów akustycznych in situ. W kilku przypadkach dane akustyczne przyjęto z literatury.

Do obliczeń zastosowano algorytm AURA programu EASE 4.4. Umożliwia on obliczenie echogramów i parametrów akustycznych sal, jak czas pogłosu T30, czas wczesnego zaniku EDT, wskaźniki przejrzystości dźwięku C50 i C80, wskaźnik zrozumiałości mowy STI oraz siłę dźwięku G.

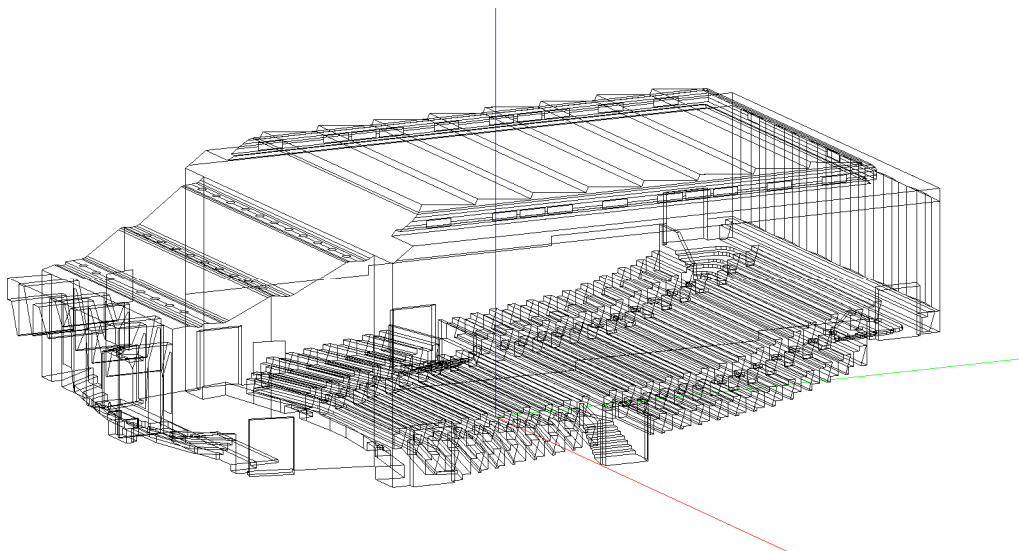
Badania symulacyjne prowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy polegał na wstępnym obliczeniu parametrów akustycznych sal i porównaniu wyników symulacji z danymi uzyskanymi w pomiarach akustycznych. Różnice między tymi danymi posłużyły do korekty zastosowanych na wstępnym etapie współczynników pochłaniania dźwięku. Procedura ta jest zwykle stosowana w modelowaniu komputerowym istniejących obiektów i określana jest jako strojenie modelu numerycznego.

W drugim etapie symulacji wykorzystano skorygowane dane współczynników pochłaniania dźwięku z pomiarów in situ. Jako satysfakcjonujący wynik strojenia modelu przyjęto różnicę pomiędzy wyliczonymi wartościami czasu pogłosu T30 a danymi z pomiarów nie przekraczającą 15%.

2. Sala Koncertowa

2.1. Model Sali Koncertowej

Na rys IV.2.1. pokazano model geometryczny Sali Koncertowej. Wszystkie powierzchnie podzielono na 16 grup, charakteryzujących się jednakowymi współczynnikami pochłaniania dźwięku. Każdej grupie materiałowej przypisany został określony kolor umożliwiający identyfikację powierzchni w modelu. Na rys. IV.2.2. pokazano pokolorowaną wersję modelu ilustrującą rozmieszczenie poszczególnych powierzchni w sali.

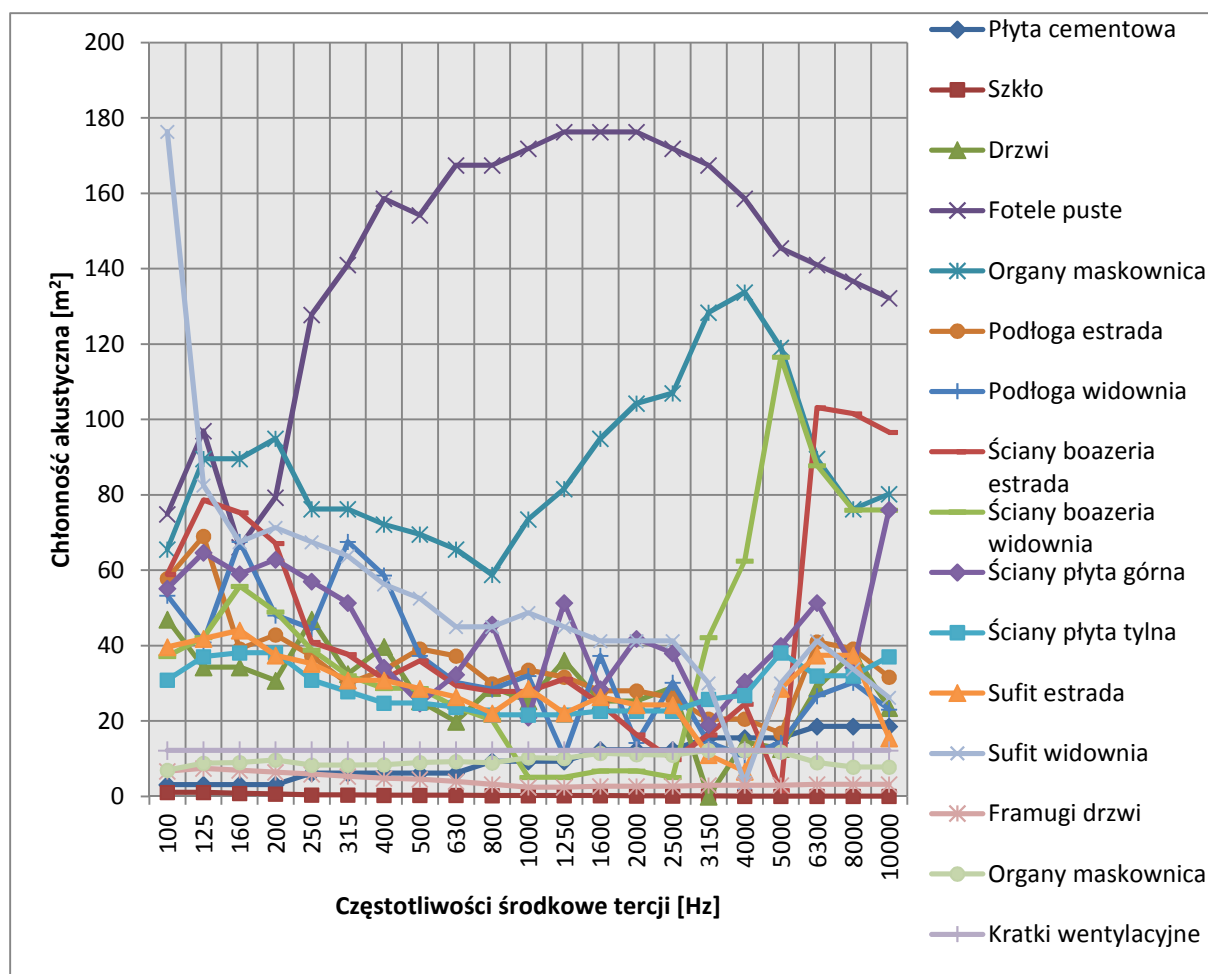


Rys. IV.2.1. Model Sali Koncertowej w programie do obliczeń parametrów akustycznych EASE 4.4



Rys. IV.2.2. Model Sali Koncertowej z zaznaczonymi powierzchniami o różnych materiałach

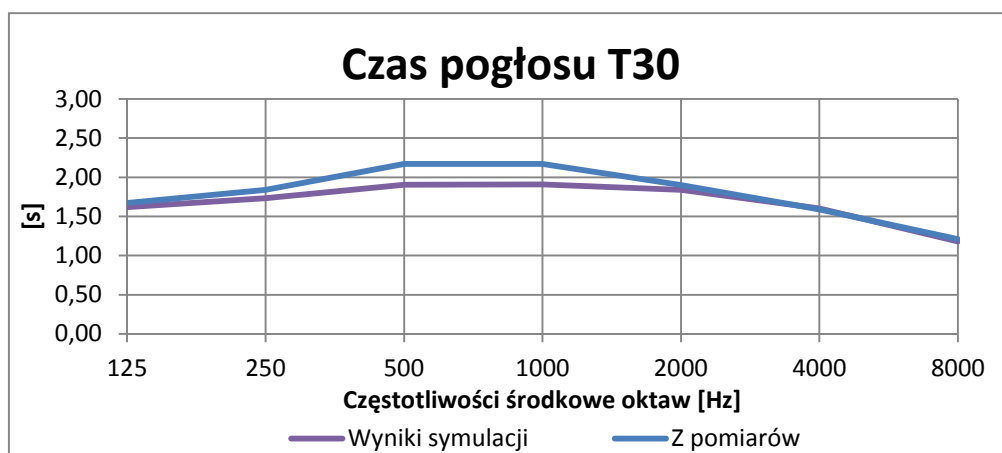
Poniżej, na rys. IV.2.3, przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe w pasmach tercjowych chłoności akustycznej materiałów przyjętych w modelu Sali Koncertowej.



Rys. IV.2.3. Charakterystyki częstotliwościowe chłoności akustycznej dla każdej grupy materiałów w Sali Koncertowej

2.2. Wyniki obliczeń parametrów akustycznych z modelu Sali Koncertowej

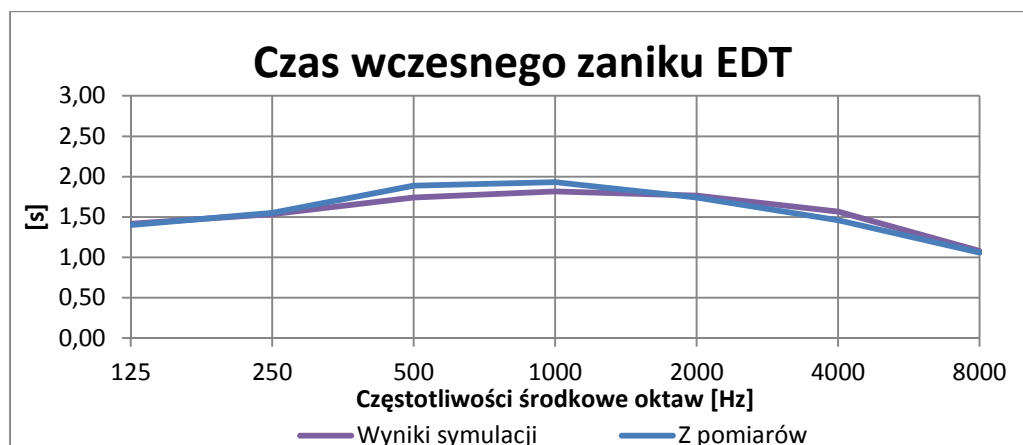
Wyniki symulacji parametrów akustycznych – czasu pogłosu T30, czasu wczesnego zaniku EDT, przejrzystości mowy C50, przejrzystości muzyki C80, siły dźwięku G oraz wskaźnika zrozumiałości mowy STI przedstawiono w tabelach IV.2.1-6 oraz na rysunkach IV.2.4-12. Symulację przeprowadzono dla pustej widowni Sali Koncertowej, uzyskane wartości uśredniono dla wszystkich konfiguracji źródło-odbiornik.



Rys. IV.2.4. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej w porównaniu do wyników pomiarów

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 z symulacji [s]	1,62	1,73	1,90	1,91	1,84	1,60	1,18
T30 z pomiarów [s]	1,67	1,84	2,17	2,17	1,90	1,59	1,21
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	-3,0	-5,7	-12,3	-12,0	-3,2	0,6	-2,5

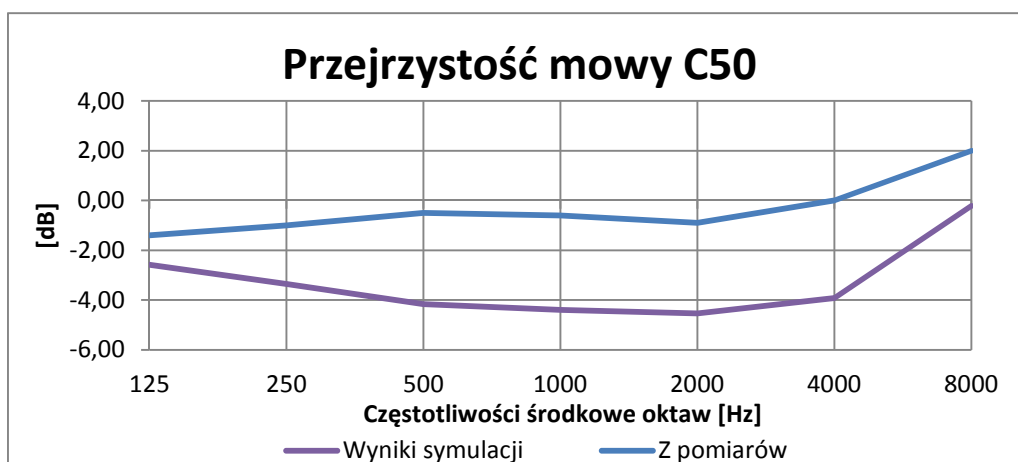
Tab. IV.2.1. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.5. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT z symulacji [s]	1,42	1,54	1,74	1,82	1,77	1,57	1,08
EDT z pomiarów [s]	1,40	1,55	1,89	1,93	1,74	1,46	1,06
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	1,2	-0,9	-7,8	-5,9	1,5	7,3	1,9

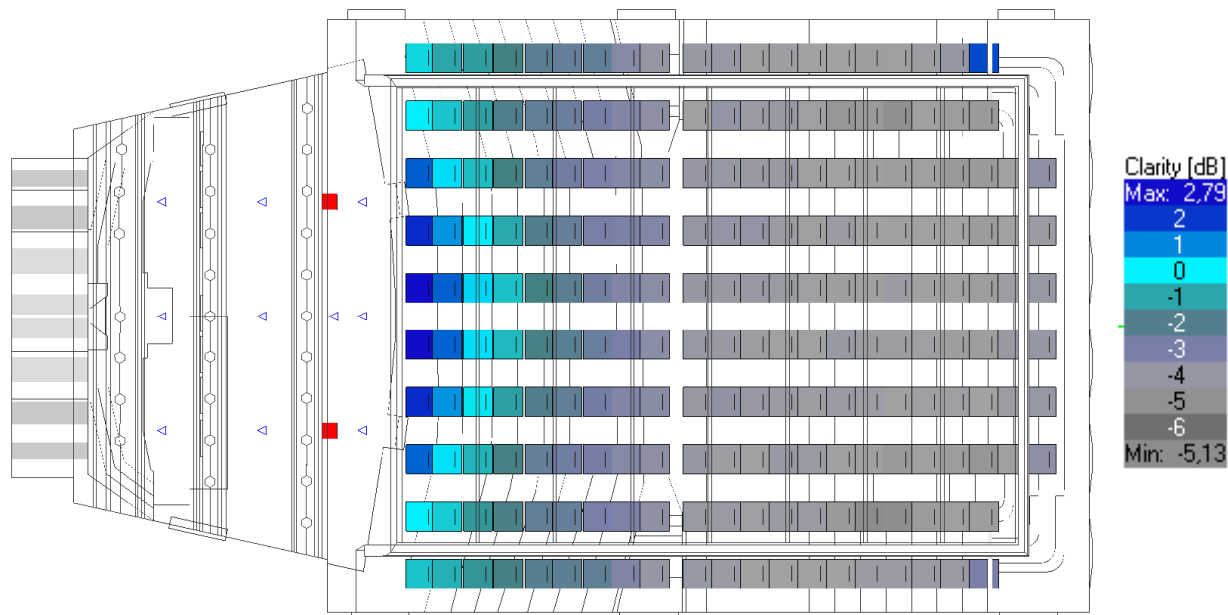
Tab. IV.2.2. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



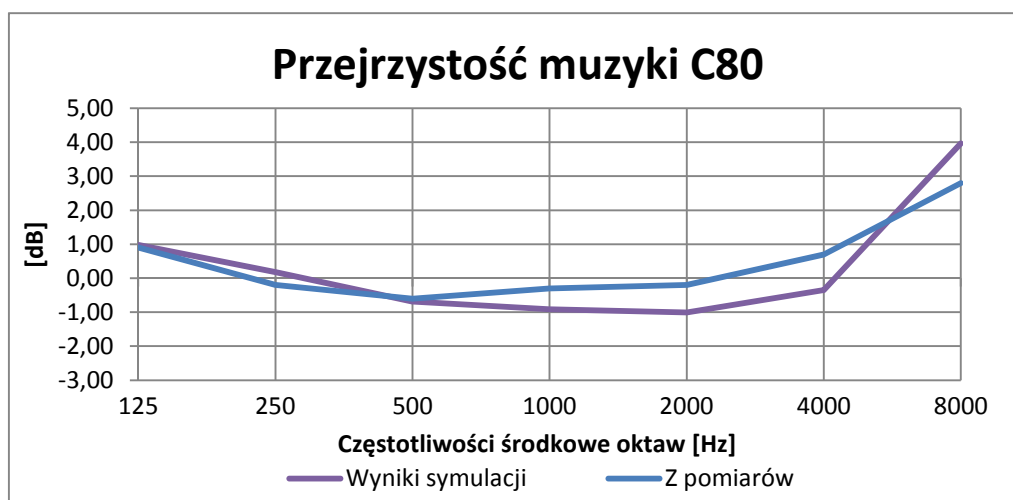
Rys. IV.2.6. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 z symulacji [dB]	-2,6	-3,4	-4,2	-4,4	-4,5	-3,9	-0,2
C50 z pomiarów [dB]	-1,4	-1,0	-0,5	-0,6	-0,9	0,0	2,0

Tab. IV.2.3. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



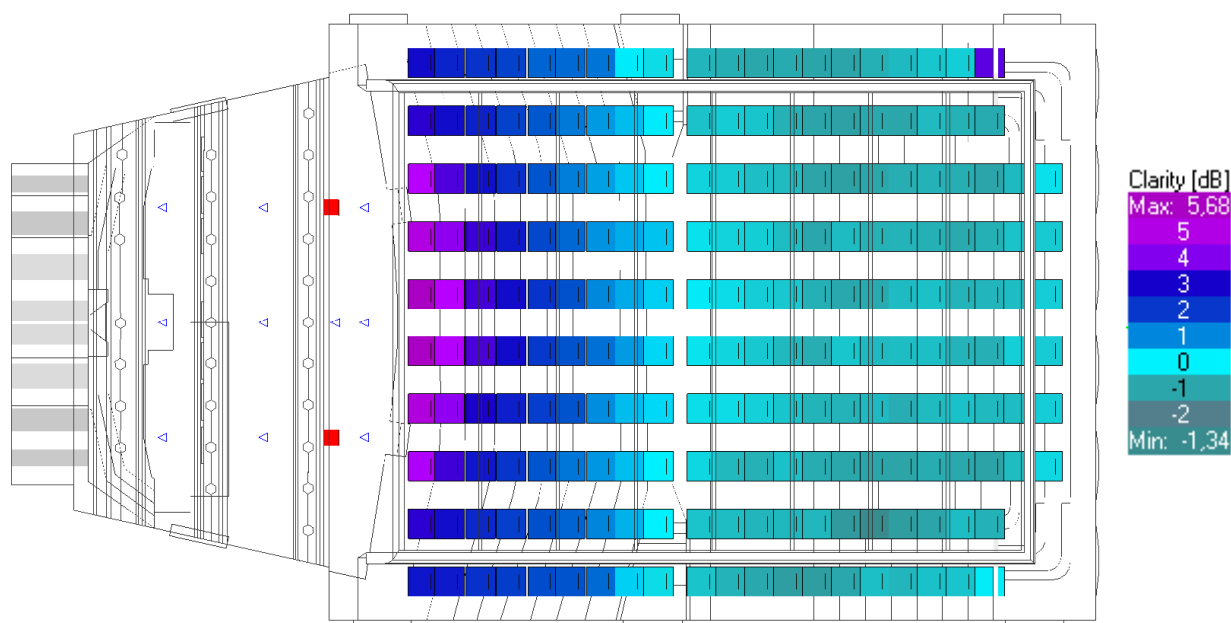
Rys. IV.2.7. Rozkład C50 na widowni Sali Koncertowej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone



Rys. IV.2.8. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

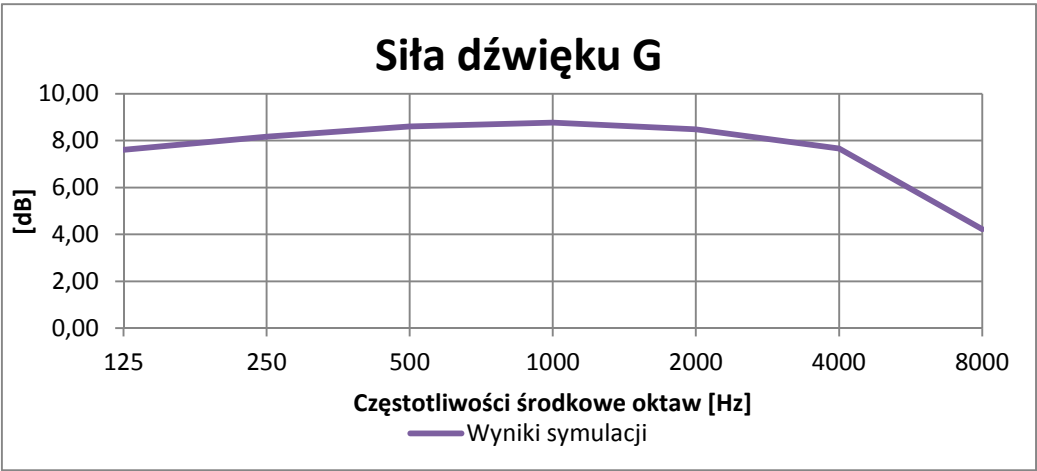
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 z symulacji [dB]	1,0	0,2	-0,7	-0,9	-1,0	-0,4	4,0
C80 z pomiarów [dB]	0,9	-0,2	-0,6	-0,3	-0,2	0,7	2,8

Tab. IV.2.4. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.9. Rozkład C80 na widowni Sali Koncertowej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone

Wskaźnik siły dźwięku G wyznaczono dla źródła umieszczonego z przodu estrady i w jej osi.

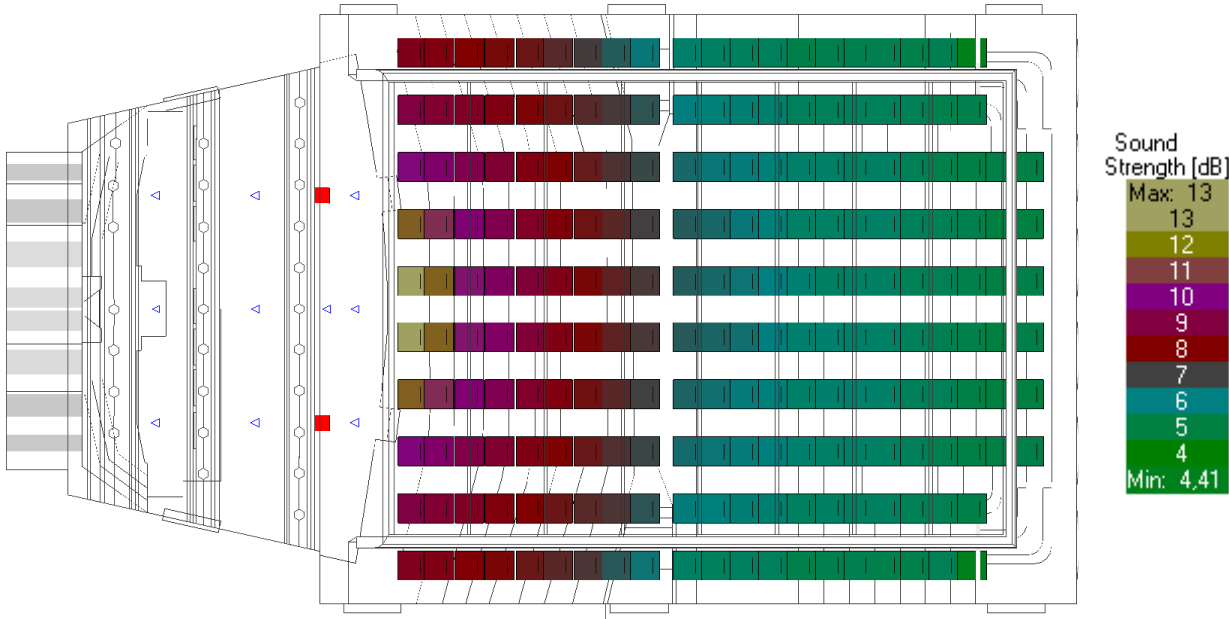


Rys. IV.2.10. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

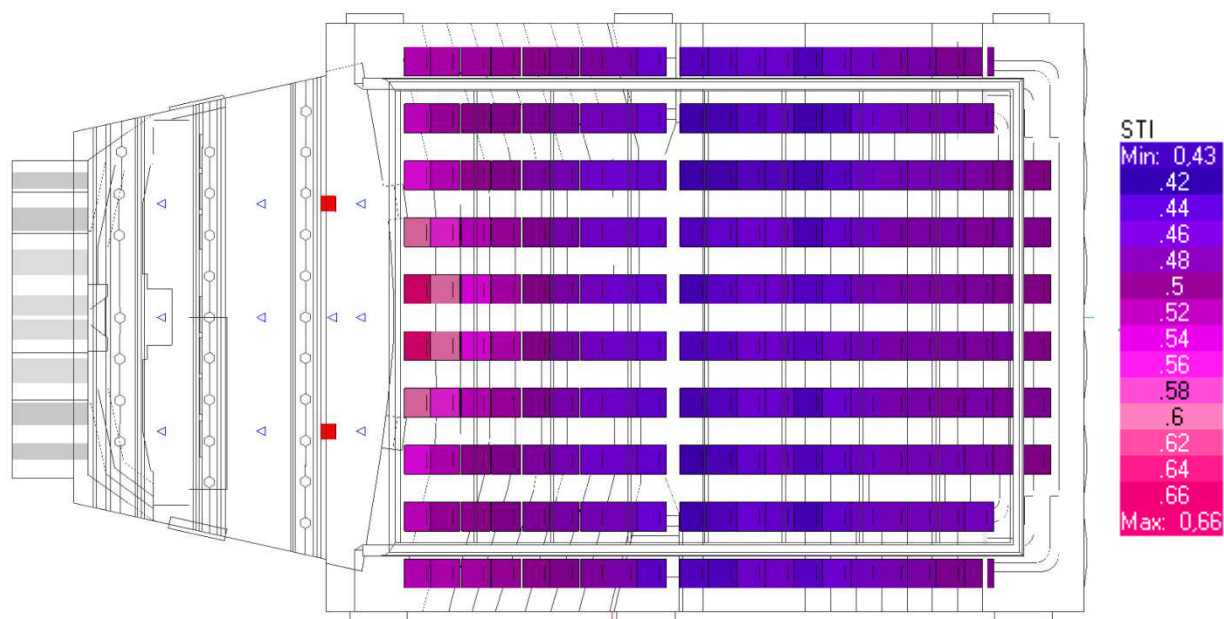
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G z symulacji [dB]	7,6	8,2	8,6	8,8	8,5	7,7	4,2
G z pomiarów [dB]							

Tab. IV.2.5. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Wyznaczono rozkład siły dźwięku G na widowni Sali Koncertowej, dla sygnału generowanego przez jedno źródło, umieszczone z przodu estrady i w jej osi. Wyniki uśredniono dla zakresu 100 Hz – 10 kHz. Rysunek pokazuje rozkład wartości tego parametru na widowni Sali.



Rys. IV.2.11. Rozkład wartości siły dźwięku G na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.12. Rozkład wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni Sali Koncertowej

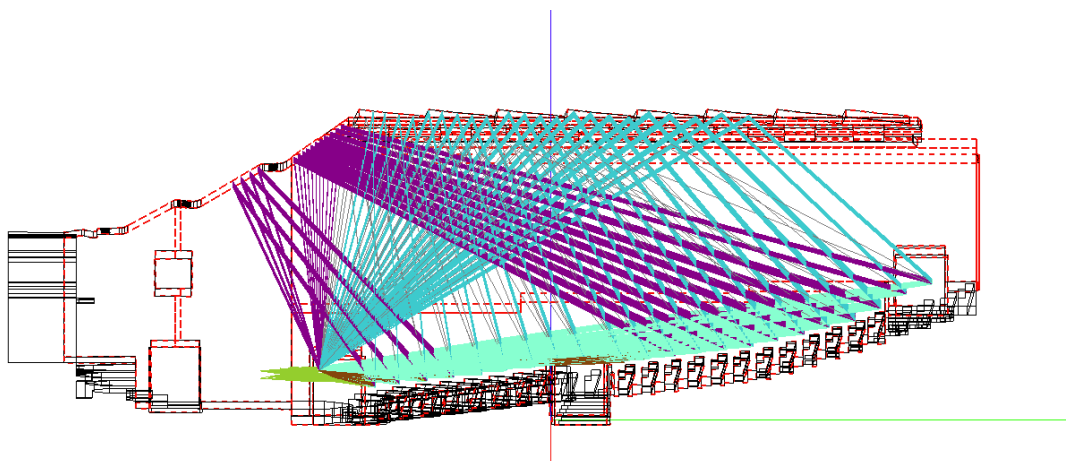
Wartość średnia ze wszystkich punktów	
STI z symulacji	0,49
STI z pomiarów	0,51

Tab. IV.2.6. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów wskaźnika zrozumiałości mowy STI uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

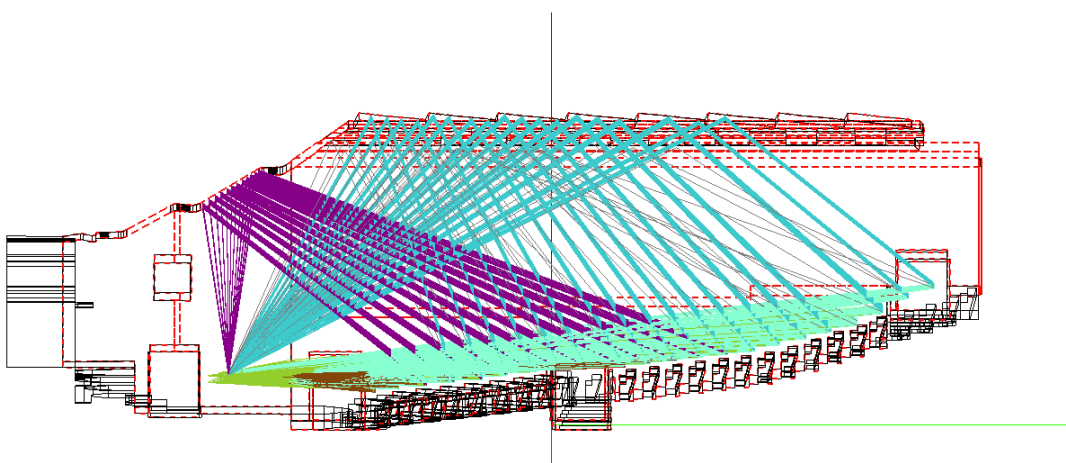
2.3. Analiza graficzna tras promieni w Sali Koncertowej

Dla Sali Koncertowej prześlędzono trasy promieni generowanych przez źródła umieszczone na estradzie w celu określenia rozkładu pierwszych odbić w pomieszczeniu. Dzięki temu możliwe było określenie tras promieni dla różnych konfiguracji źródło-odbiornik oraz zidentyfikowanie powierzchni mających największy wpływ na pierwsze odbicia.

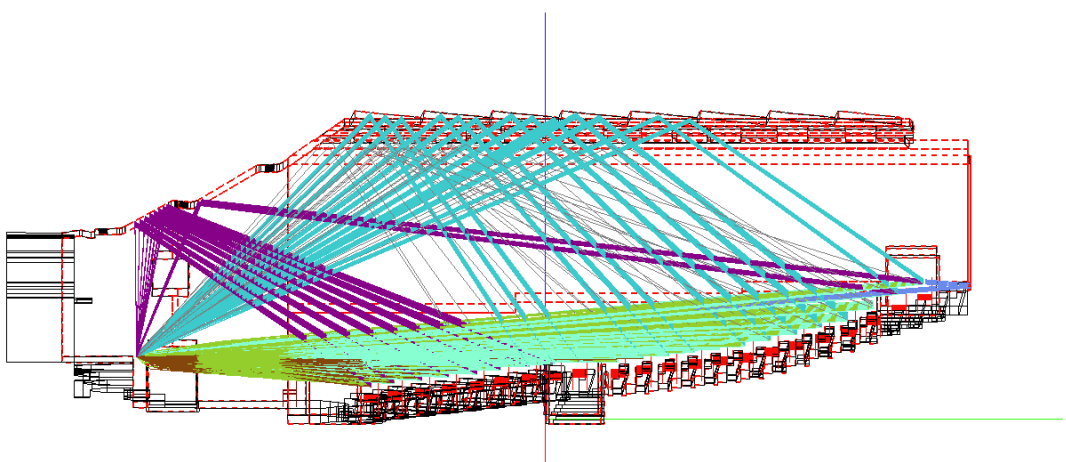
Trasy promieni wyznaczono dla wszystkich źródeł (9) i odbiorników (212). Parametry symulacji ograniczone były do analizy odbić pierwszego rzędu, promienie i odbicia w przedziale czasowym 0 – 150 ms, każde źródło generowało 35 000 promieni. Dla przejrzystości pominięte zostały promienie odbite od podłogi. Modele z wrysowanymi promieniami przedstawiają rysunki IV.2.13 – 15.



Rys. IV.2.13. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła na przedzie estrady

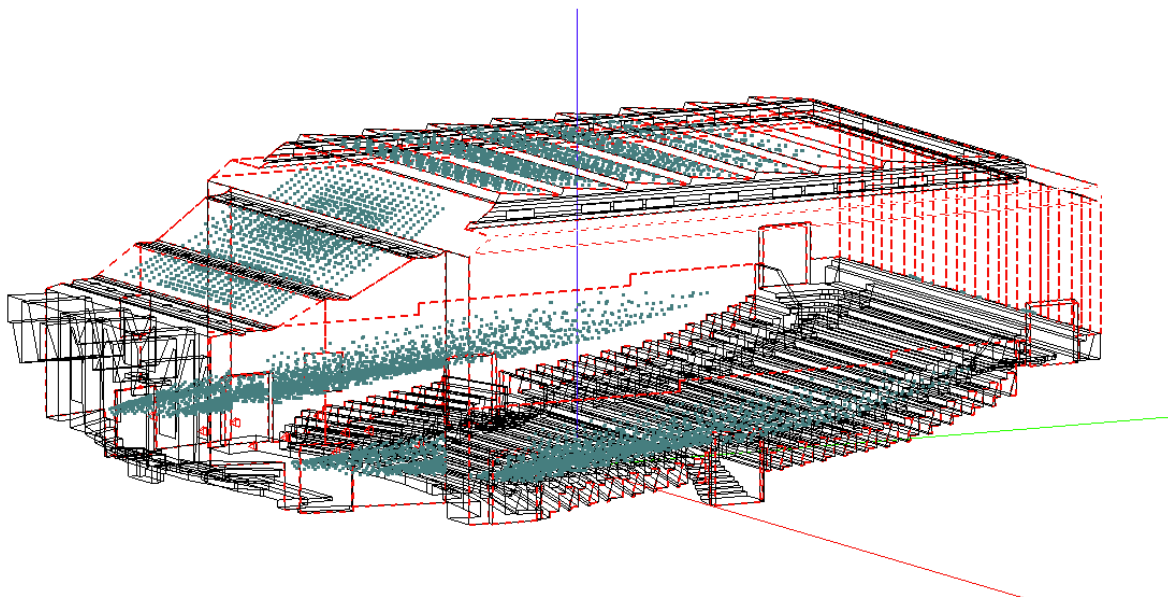


Rys. IV.2.14. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła na środku estrady

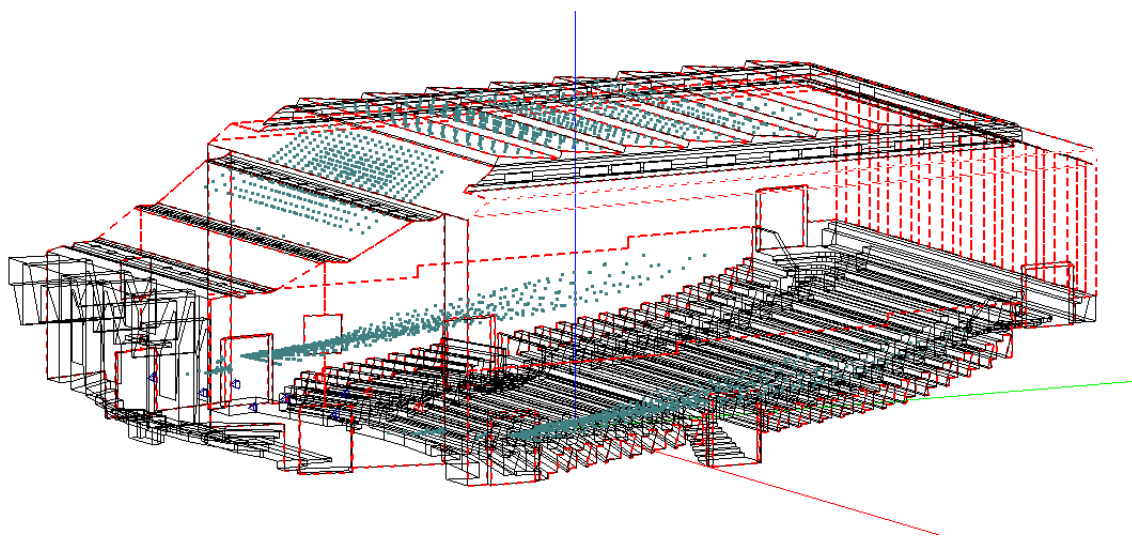


Rys. IV.2.15. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła z tyłu estrady

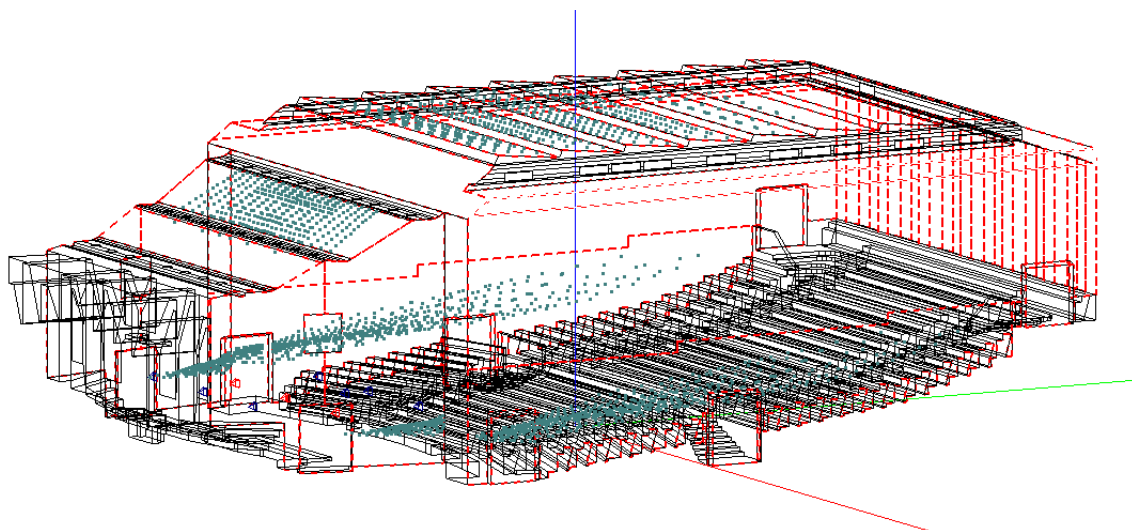
Poniżej zamieszczono rysunki przedstawiające miejsca pierwszych odbić w Sali Koncertowej (rys. IV.2.15 – 18). Dla przejrzystości pominięte zostały odbicia od podłogi oraz widowni.



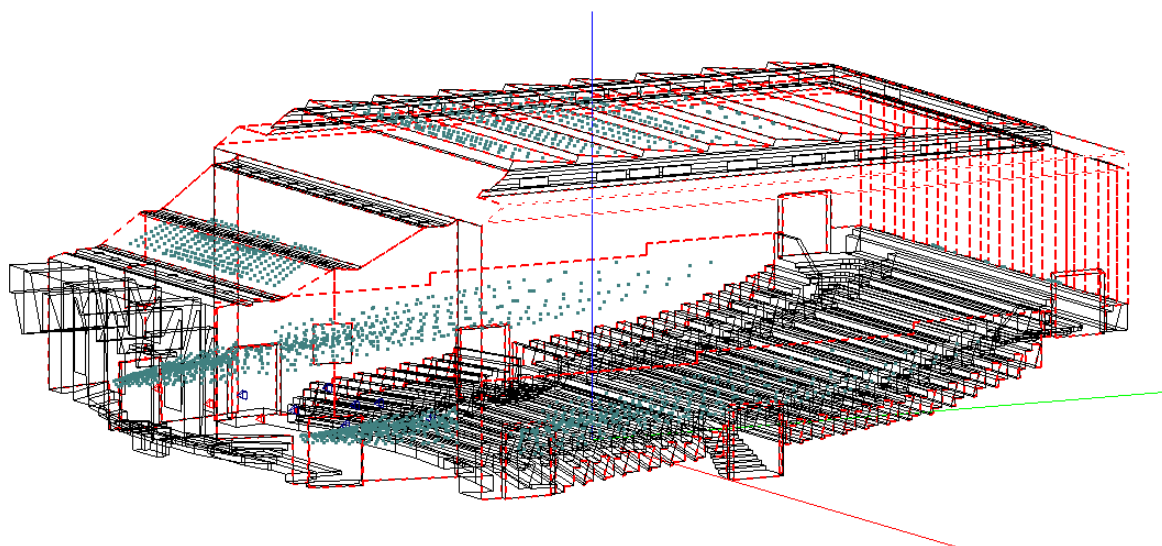
Rys. IV.2.16. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni ze wszystkich źródeł do wszystkich odbiorników



Rys. IV.2.17. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł na przedzie estrady do wszystkich odbiorników



Rys. IV.2.18. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł na środku estrady do wszystkich odbiorników

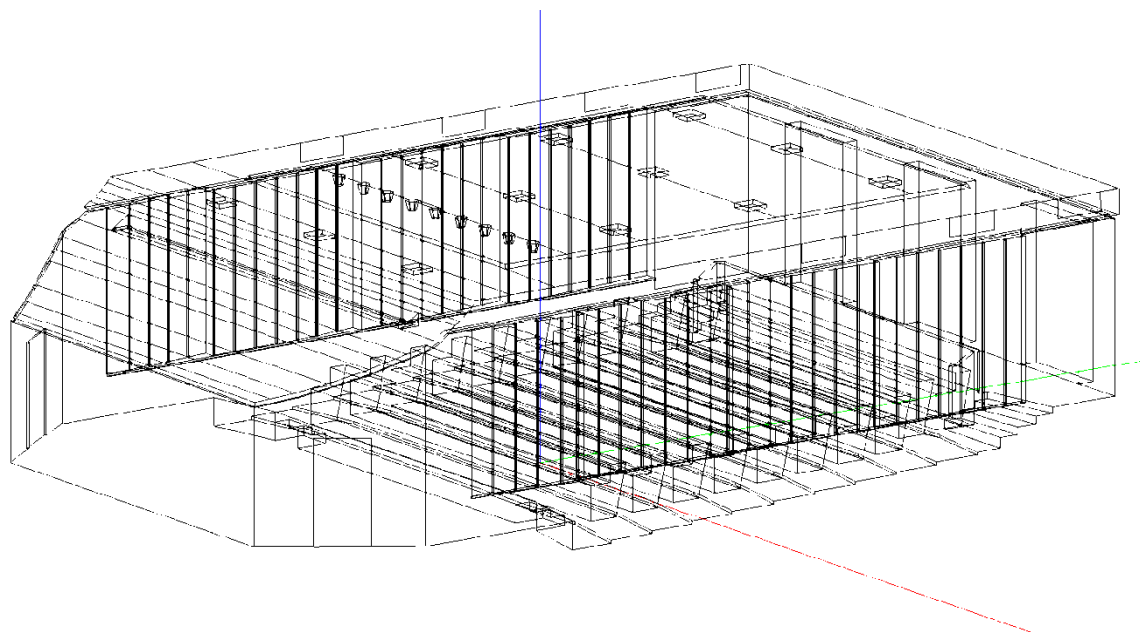


Rys. IV.2.19. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł z tyłu estrady do wszystkich odbiorników

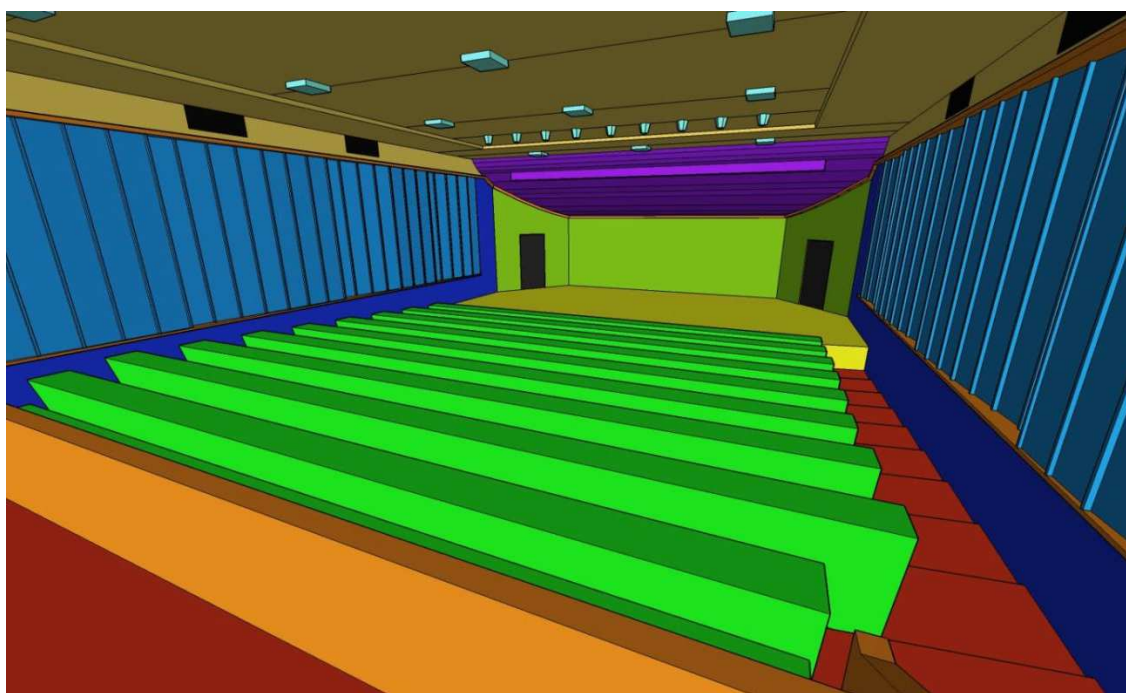
3. Sala Kameralna

3.1 Model Sali Kameralnej

Na rys. IV.3.1. pokazano model geometryczny Sali Kameralnej. Wszystkie powierzchnie podzielono na 18 grup, charakteryzujących się jednakowymi współczynnikami pochłaniania dźwięku. Każdej grupie materiałowej przypisany został określony kolor umożliwiający identyfikację powierzchni w modelu. Na rys. IV.3.2. pokazano pokolorowaną wersję modelu ilustrującą rozmieszczenie poszczególnych powierzchni w Sali.

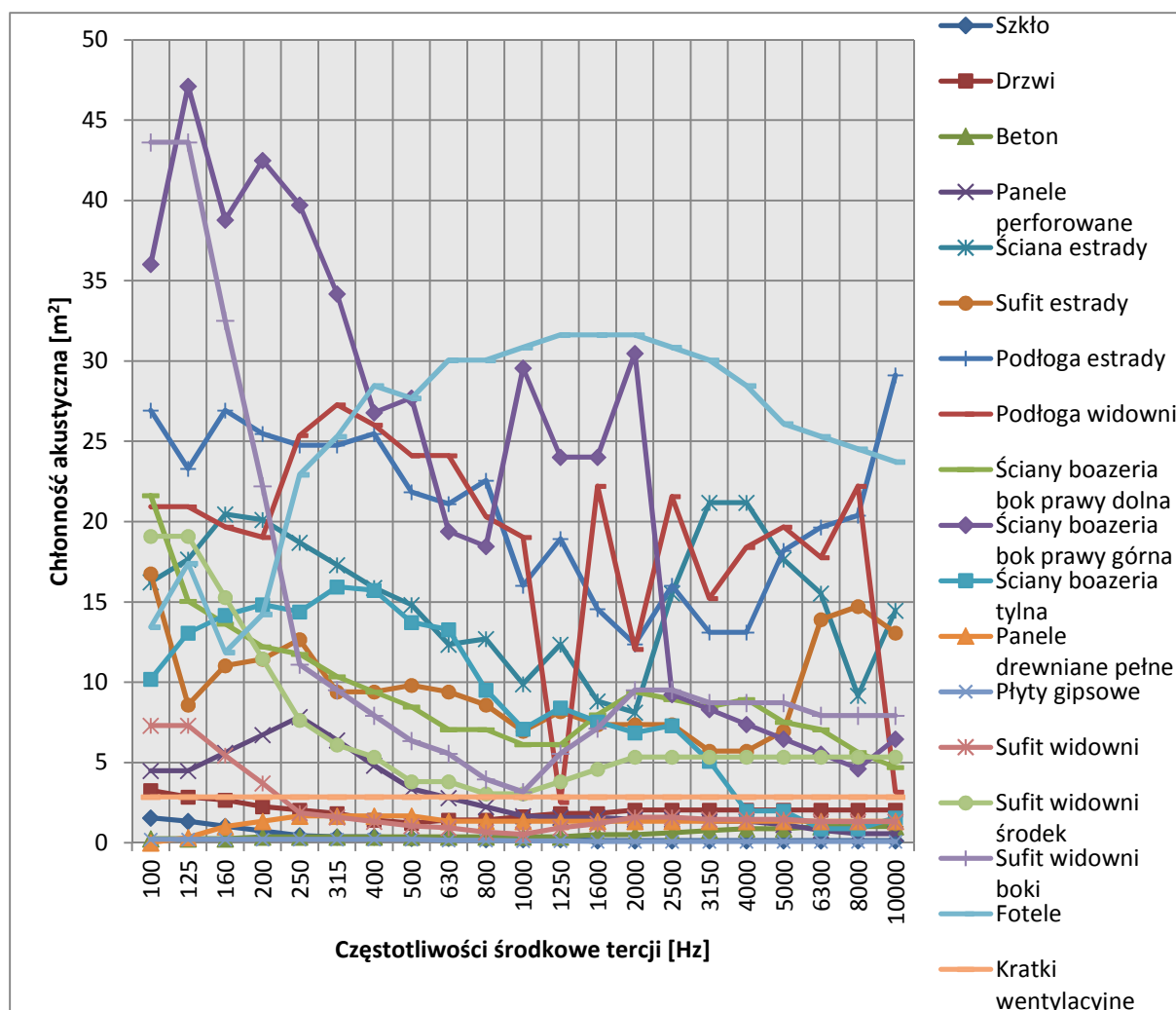


Rys. IV.3.1. Model Sali Kameralnej w programie do obliczeń parametrów akustycznych EASE 4.4.



Rys. IV.3.2. Model Sali Kameralnej z zaznaczonymi powierzchniami o różnych materiałach

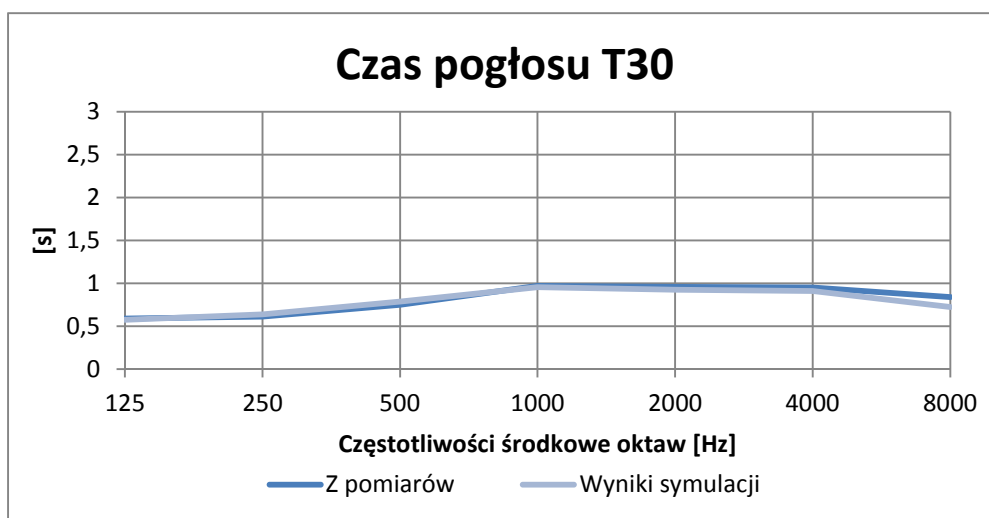
Poniżej przedstawiono charakterystyki chłonności akustycznej materiałów przyjętych w modelu Sali Kameralnej w odniesieniu do częstotliwości środkowych tercji.



Rys. IV.3.3. Charakterystyki częstotliwościowe chłonności akustycznej dla każdej grupy materiałów w Sali Kameralnej

3.2. Wyniki obliczeń parametrów akustycznych z modelu Sali Kameralnej

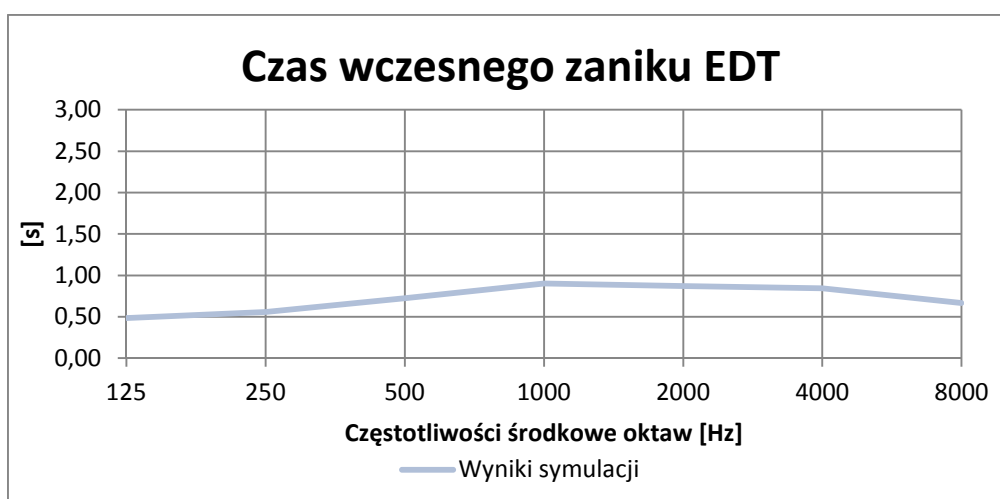
Wyniki symulacji parametrów akustycznych – czasu pogłosu T30, czasu wczesnego zaniku EDT, przejrzystości mowy C50, przejrzystości muzyki C80, siły dźwięku G oraz wskaźnika zrozumiałości mowy STI przedstawiono w tabelach IV.3.1-6 oraz na rysunkach VI.3.4-12. Symulację przeprowadzono dla pustej widowni Sali Kameralnej, uzyskane wartości uśredniono dla wszystkich konfiguracji źródło-odbiornik.



Rys. IV.3.4. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej w porównaniu do wyników zmierzonych w rzeczywistym pomieszczeniu

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 z symulacji [s]	0,57	0,64	0,79	0,95	0,93	0,91	0,72
T30 z pomiarów [s]	0,59	0,61	0,75	0,97	0,96	0,95	0,84
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	-2,8	4,4	4,9	-1,7	-3,5	-4,2	-13,9

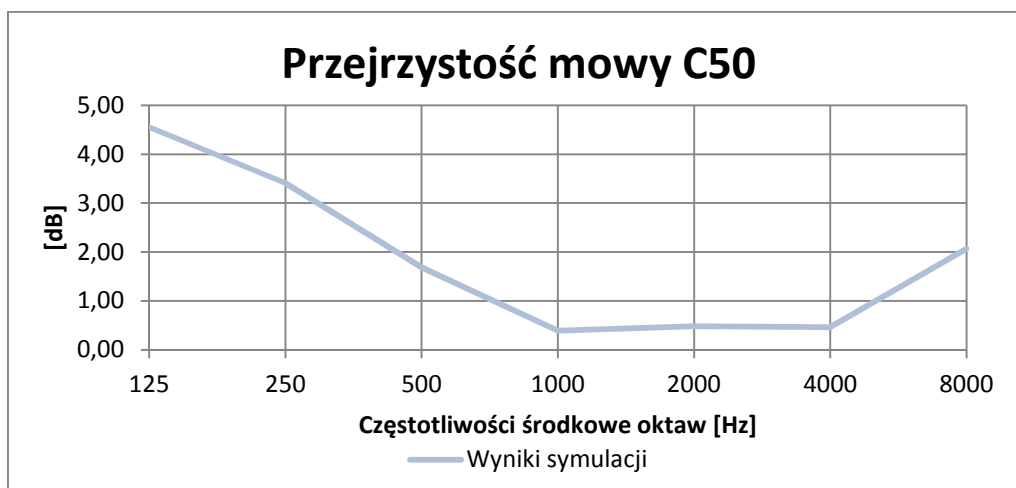
Tab. IV.3.1. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.5. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT z symulacji [s]	0,48	0,56	0,72	0,90	0,87	0,84	0,67
EDT z pomiarów [s]	0,55	0,55	0,69	0,87	0,8	0,69	0,59
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	12,7	1,8	4,3	3,4	8,8	21,7	20,3

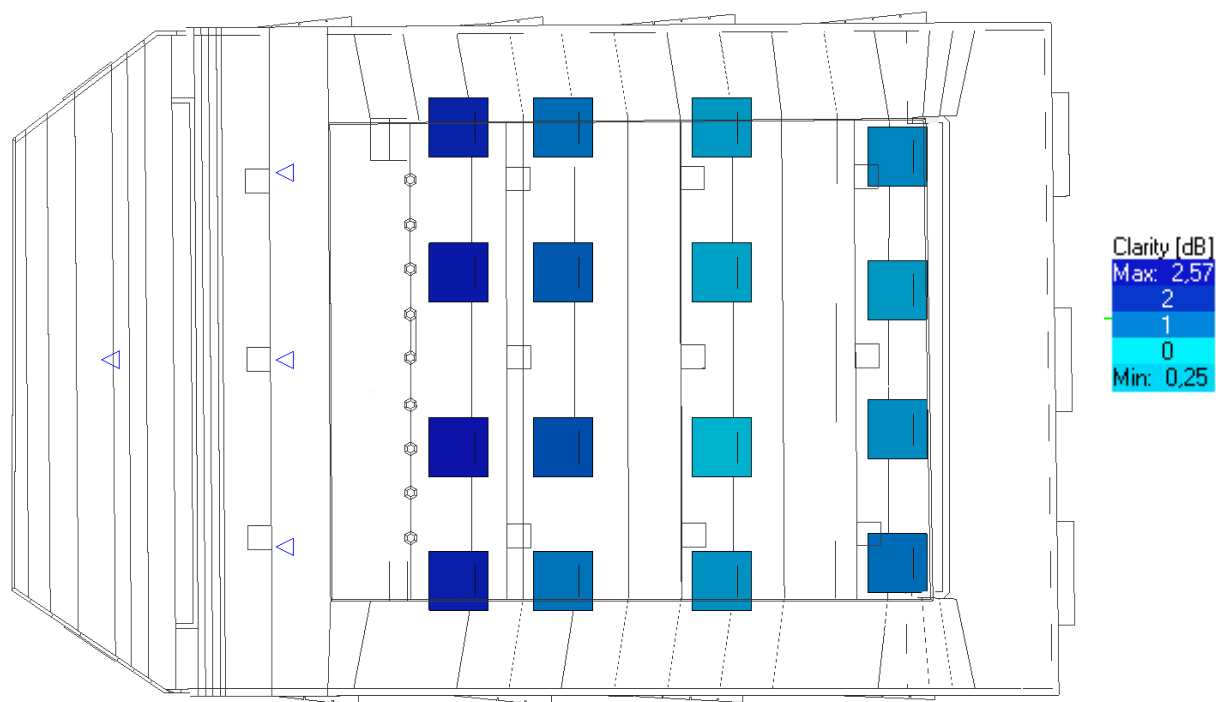
Tab. IV.3.2. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



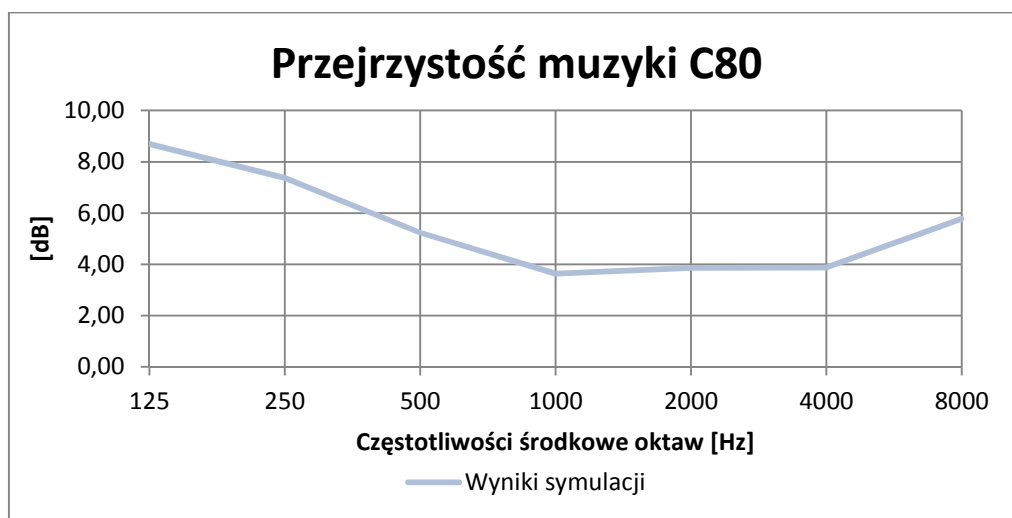
Rys. IV.3.6. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przeźrystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 z symulacji [dB]	4,6	3,4	1,7	0,4	0,5	0,5	2,1
C50 z pomiarów [dB]	4,4	4,2	2,9	2,3	2,1	2,8	4,5

Tab. IV.3.3. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przeźrystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



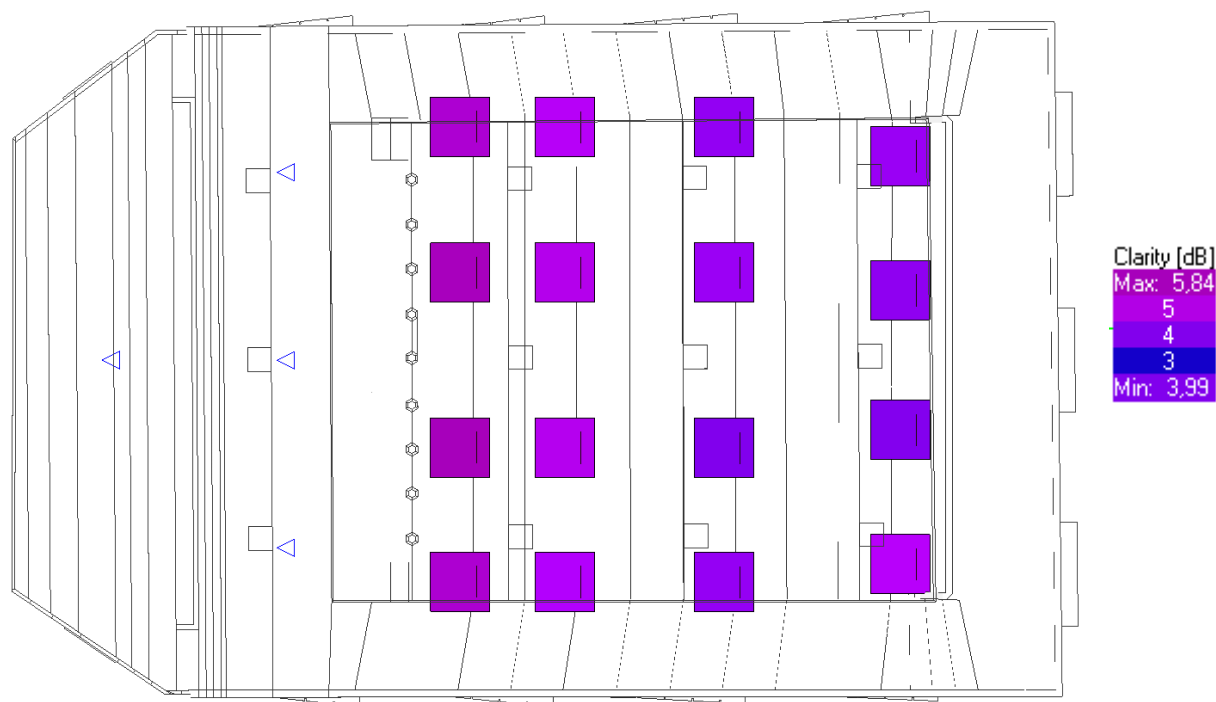
Rys. IV.3.7. Rozkład C50 na widowni Sali Kameralnej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone



Rys. IV.3.8. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

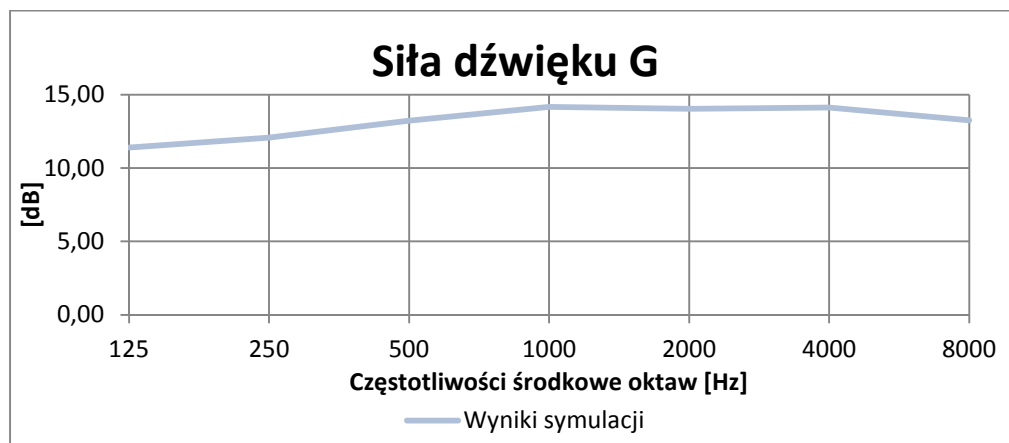
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 z symulacji [dB]	8,7	7,4	5,2	3,6	3,9	3,9	5,8
C80 z pomiarów [dB]	8,3	8,0	6,7	5,3	5,3	6,3	7,9

Tab. IV.3.4. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.9. Rozkład C80 na widowni Sali Kameralnej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone

Wskaźnik siły dźwięku G wyznaczono dla źródła umieszczonego z przodu estrady i w jej osi.

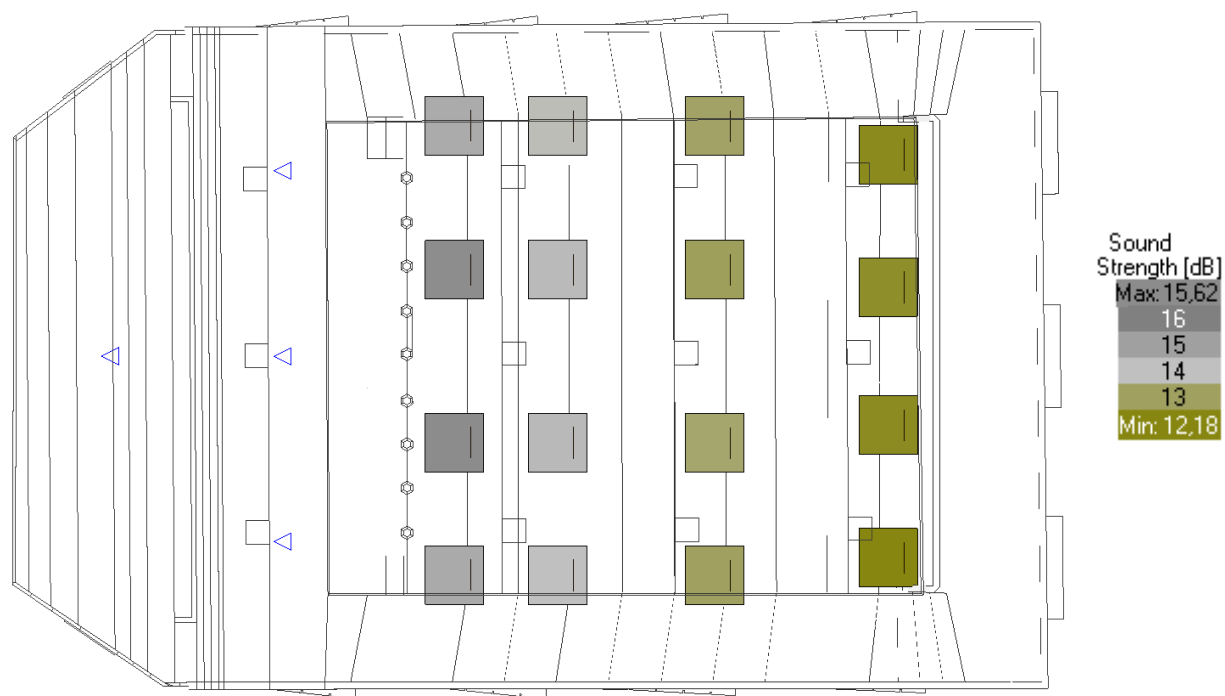


Rys. IV.3.10. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

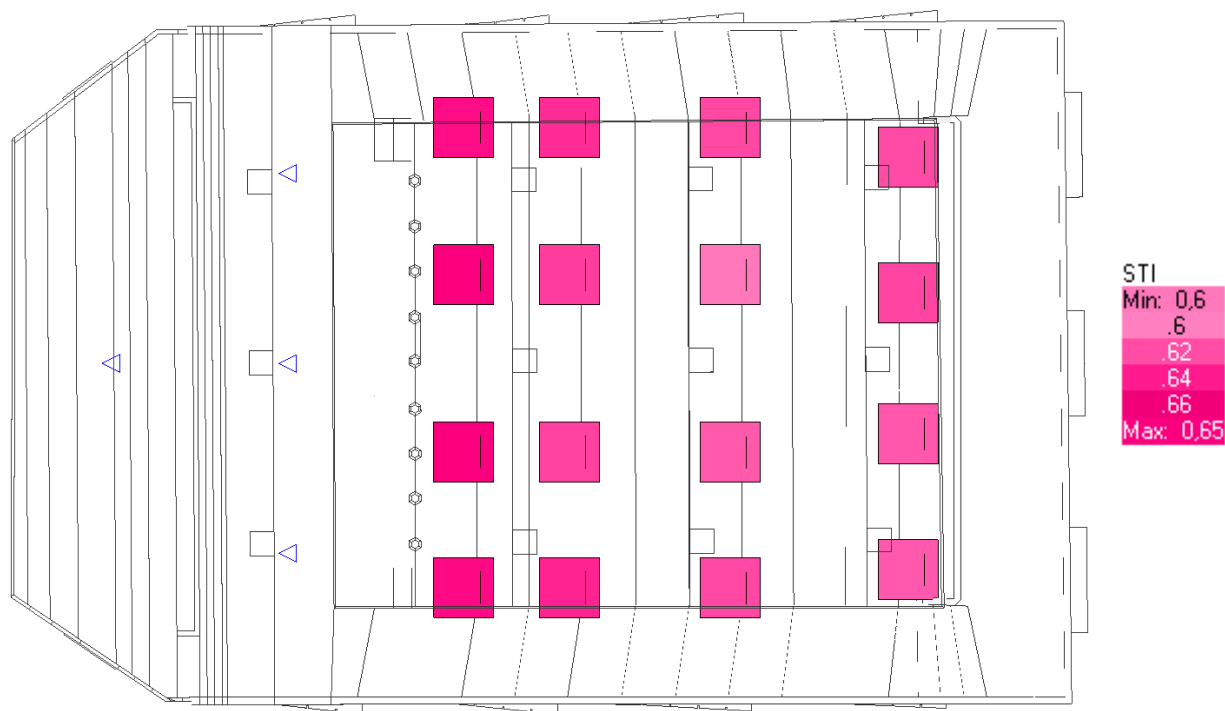
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G z symulacji [dB]	11,4	12,1	13,2	14,2	14,0	14,1	13,3
G z symulacji [dB]	11,4	12,1	13,2	14,2	14,0	14,1	13,3

Tab. IV.3.5. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Wyznaczono rozkład siły dźwięku G na widowni Sali Kameralnej, dla sygnału generowanego przez jedno źródło umieszczone z przodu estrady i w jej osi. Wyniki uśredniono dla zakresu 100 Hz – 10 kHz. Rys. IV.3.11 i Rys. IV.3.12 pokazuje rozkład wartości tego parametru w określonych miejscach na widowni.



Rys. IV.3.11. Rozkład wartości siły dźwięku G na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.12. Rozkład wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni Sali Kameralnej

Wartość średnia ze wszystkich punktów	
STI z symulacji	0,63
STI z pomiarów	0,67

Tab. IV.3.6. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów wskaźnika zrozumiałości mowy STI uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

4. Ocena wyników modelowania

Modele opracowane z wykorzystaniem pomiarów współczynnika pochłaniania in situ, które w procesie strojenia sali zostały skorygowane, dają wyniki zbliżone do pomiarowych. Obliczenia parametrów pogłosowych, czyli czasu pogłosu T30 oraz czasu wczesnego zaniku EDT, nie odbiegają znacząco od wartości zmierzonych, różnica nie przekracza 15% w przypadku Sali Koncertowej. Wskaźniki przejrzystości muzyki C80 oraz zrozumiałości mowy STI otrzymane z symulacji nieznacznie różnią się od zmierzonych, jednakże subiektywnie taka różnica nie jest zauważalna. Jedynie wskaźnik przejrzystości mowy C50 znacznie różni się od wartości zmierzonych.

Rozkłady wskaźników C50, C80 oraz STI pokazują spadki ich wartości w środkowej i tylnej części widowni Sali Koncertowej. Jest to związane z rosnącą odległością od źródła, przez co maleje energia dźwięku bezpośredniego, a także z niedostatecznym pokryciem tych obszarów przez pierwsze odbicia od powierzchni ścian bocznych i sufitu. Pokazują to rysunki tras promieni do środka widowni nie docierają odbicia od sufitu dla dźwięku od źródeł z przodu estrady. Promienie ze źródeł umieszczonych na środku estrady w postaci pierwszych odbić od sufitu nie docierają do tylnej części widowni. Natomiast, gdy źródła są w tylnej części estrady, brakuje odbić dla środkowej i tylnej części widowni. Powoduje to nierównomierną emisję dźwięku z estrady na widownię. Taki układ pierwszych odbić powoduje, że niektóre grupy instrumentów są gorzej słyszalne w pewnych obszarach widowni.

CZĘŚĆ V – KLASYFIKACJA JAKOŚCI SALI KONCERTOWEJ

Ocena barwy dźwięku muzyki w salach koncertowych kształtuje się na podstawie interpretacji dużej liczby zjawisk fizycznych związanych z generacją, propagacją i odbiorem dźwięku instrumentów muzycznych. Jednym z istotniejszych, ocenianych wrażeń słuchowych, które zapewniają dobre sale koncertowe, jest przestrzenność dźwięku przy odbiorze muzyki.

Dla potrzeb normalizacji metod pomiarowych i liczbowej oceny właściwości akustycznych sal, w międzynarodowej normie PN-EN ISO 3382-1 wyodrębniono pięć grup wrażeń słuchowych:

- a. subiektywny poziom głośności dźwięku,
- b. pogłosowość,
- c. przejrzystość dźwięku,
- d. wrażenie otoczenia dźwiękiem LEV,
- e. pozorne zwiększenie szerokości źródeł dźwięku ASW lub DSB.

Wrażenia grupy d) i e) są podstawowymi wymiarami przestrzenności dźwięku w salach.

Wskazanie do stosowania nowych metod pomiarowych i nowych wskaźników akustycznych dla projektowania i oceny jakości akustycznej sal muzycznych podkreślane było w wielu publikacjach M. Barrona i L. Beranka, który stworzył i udostępnił największą bazę danych akustycznych i architektonicznych o salach koncertowych w świecie.

Zebrany materiał stał się źródłem danych o właściwościach akustycznych sal. Dane te zostały uporządkowane w kolejności, od sal uznanych za najdoskonalsze, do sal mniej udanych lub nieudanych. Opublikowany ranking sal stanowił podstawę do wyboru wskaźników liczbowych, które pozwalają na porównawczą ocenę jakości akustycznej sal nowobudowanych, a także sal w fazie opracowań projektowych.

W niniejszym opracowaniu, do porównawczej oceny jakości akustycznej Sali Koncertowej wykorzystano proponowane przez Beranka właściwości charakteryzujące wrażenie przestrzenności dźwięku w salach: LEV (Listener Envelopment), DSB (Degree of Source Broadening i oraz siłę dźwięku basów BI (Bass Index).

Algorytm obliczeniowy opiera się na rejestracji odpowiedzi impulsowych na widowni i obliczeniu w pasmach oktaowych, składowych siły dźwięku G i współczynnika korelacji międzyusznej $IACC$. Dane do oceny pozornej szerokości źródła dźwięku DSB obejmują przedział $[0 - 80]$ ms. Wskaźnik LEV , skorelowany z wrażeniem otoczenia dźwiękiem, obliczany jest z późniejszej fazy odpowiedzi impulsowej, po upływie 80 ms. Wskaźnik BI jest różnicą poziomów siły dźwięku G_{Total} z oktawy 125 Hz i średniej z trzech oktaów 500, 1000 i 2000 Hz.

Zebrane w toku badań Sali Koncertowej wyniki pomiarów zawierają niezbędne dane do obliczenia w/w wskaźników przestrzenności i „siły basów”. Poniżej zestawiono opublikowane przez Beranka wzory:

Miarę wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment) obliczano z wzoru:

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{mid} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{mid})$$

Stopień zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening) obliczano z wzoru:

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

Bass Index, dB:

$$BI = G_{125\text{ Hz}} - G_{mid}$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

$G[0,80]$ oznacza wyniki obliczeń w okienku czasowym 0 – 80 ms, w oktawach 500 i 1000 Hz.

$G_{125\text{ Hz}}$ – siła dźwięku w oktawie 125 Hz, G_{mid} – średnia wartość siły dźwięku z oktaów 500, 1000 i 2000 Hz.

Obliczenie wskaźników oceny przestrzenności dźwięku w Sali Koncertowej:

Dane wejściowe:

$BQI_{Early} = 1 - IACC_{Early}$:	0.66,
$G_{Early, mid}$:	3.8 dB,
$BQI_{Late} = 1 - IACC_{Late}$:	0.84,

$G_{Late,mid}$:	4.3 dB,
G_{125T}	13 dB,
$G_{midTotal}$	7 dB.

Obliczenia:

1. DSB:

$$DSB = 31 \cdot 0.66 + \frac{5}{3} \cdot 3.8 = \mathbf{26.8}$$

2. LEV:

$$LEV = 0.5 \cdot 4.3 + 10 \cdot \log(0.84) = \mathbf{1.39}$$

3. BI:

$$BI = 13 - 7 = \mathbf{6\ dB}$$

Interpretacja wyników oszacowania jakości akustycznej Sali Koncertowej:

1. Wskaźnik DSB=26.8 obliczony z danych pomiarowych Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej. Jest to wysoka ocena składowej przestrzenności dźwięku – wśród dużych sal koncertowych oceny takie posiadają sale najwyższej cenione w światowym rankingu jakości akustycznej, jak Berlin Konzerthaus, Musikvereinsaal w Wiedniu.
2. Wskaźnik LEV = 1.39, charakteryzuje drugi wymiar przestrzenności badanej sali. Podobną liczbę punktów w rankingu dużych sal mają znakomite sale koncertowe w świecie, jak Concertgebouw, Basel, Stadt-Casino i Musikverein. Z drugiej strony, LEV w salach kameralnych z bazy danych Beranka, z liczbą miejsc 500 – 600, wynosi średnio 2.8. Sala Koncertowa Filharmonii Pomorskiej przeznaczona jest dla 886 słuchaczy. Zmierzony LEV mieści się w naturalnym przedziale wartości między salami dużymi i małymi.
3. Wskaźnik basów BI = 6 dB. W porównaniu do ocen BI znanych sal koncertowych z listy rankingowej przedstawionej przez L. Beranka, jest to wartość duża, ale uzasadniona potrzebą wyrównania składowych barwy dźwięku instrumentów w zakresie małych częstotliwości.

CZĘŚĆ VI – WYTYCZNE DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA I WYKONANIA PRAC RENOWACYJNYCH

Wytyczne dla Projektanta Akustyki Wnętrz

Projektant akustyki wnętrz, przystępując do realizacji projektu Sali Koncertowej i Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej ma obowiązek:

- Przeprowadzenia wizji lokalnej Sali Koncertowej i Kameralnej.
- Zapoznania się z raportem Manufaktury Technologicznej z grudnia 2017, wykonanym przez zespół ekspercki, zawierający charakterystykę właściwości akustycznych Sali Koncertowej oraz Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej opracowaną na podstawie słuchowych ocen dźwięku oraz badań akustycznych sal w stanie aktualnym.
- opracowania szczegółowych założeń projektowych parametrów akustyki wnętrz, to jest czasu pogłosu T, EDT, C80, STI i innych wymagań, zgodnie z wytycznymi otrzymanymi od Zamawiającego,
- Wykonanie analizy materiałów i ustrojów akustycznych w stanie aktualnym i ocena możliwości ich zamiany, jeśli okaże się to konieczne z innych względów technicznych.
- Podstawowym kryterium doboru zamiennych materiałów jest wymóg pełnego odtworzenie walorów akustycznych Sali Koncertowej w stanie przed rozpoczęciem robót renowacyjnych.
- Opracowania komputerowego modelu akustycznego Sali Koncertowej i Sali Kameralnej i wykonania niezbędnych obliczeń akustycznych, które potwierdzą, że renowacja wnętrz nie spowoduje niekorzystnych zmian walorów akustycznych, które opisano w raporcie Manufaktury Technologicznej.
- Opracowanie szczegółowych wymagań dla projektu architektury odnośnie doboru materiałów wystroju wnętrz, wskazanie sposobu ich montażu oraz przebiegu nadzoru i kontroli wykonania robót budowlanych.

Wytyczne dla Wykonawcy

Wykonawca przystępując do realizacji Sali Koncertowej i Kameralnej Filharmonii Pomorskiej musi wziąć pod uwagę następujące aspekty:

- Sala Koncertowa i Sala Kameralna muszą być wykonane zgodnie z projektem zaakceptowanym przez Zamawiającego.
- Poszczególne etapy projektu powinny być realizowane według harmonogramu, który umożliwi stałe kontrolowanie parametrów akustycznych realizowanych sal.
- Po każdym etapie realizacji Sali Koncertowej i Sali Kameralnej należy przeprowadzić kontrolne pomiary parametrów akustycznych. Pomiary powinny być przeanalizowane pod kątem ewentualnych zmian w doborze materiałów i ustrojów akustycznych tak, aby dalszej realizacji osiągnąć założenia i wymagania projektowe.
- Wszelkie prace oraz zastosowane materiały i ustroje akustyczne powinny być realizowane zgodnie z projektem. Ewentualne odstępstwa od projektu, w tym zastosowanie materiałów zamiennych, powinno być konsultowane z Zamawiającym i projektantem akustyki wnętrz.
- Na każdym etapie realizacji oraz w trakcie pomiarów akustycznych należy zapewnić obecność projektanta akustyki wnętrz Filharmonii Pomorskiej.
- Podstawowym założeniem i głównym kryterium oceny wykonanych prac jest wymóg pełnego odtworzenia walorów akustycznych Sali Koncertowej oraz wykonanie Sali Kameralnej zgodnie z projektem a także wytycznymi opracowanymi w raporcie Manufaktury Technologicznej z grudnia 2017, wykonanym przez zespół ekspercki, zawierający charakterystykę właściwości akustycznych sali symfonicznej oraz Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej.

**CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH SALI
KONCERTOWEJ
ORAZ SALI KAMERALNEJ FILHARMONII POMORSKIEJ
RAPORT OPRACOWANY NA PODSTAWIE SŁUCHOWYCH OCEN
DŹWIĘKU ORAZ BADAŃ AKUSTYCZNYCH SAL W STANIE
AKTUALNYM**

JEDNOSTKA PROJEKTOWA

Manufaktura Technologiczna
ul. Puławska 38, 05-500 Piaseczno

OBIEKT:

Filharmonia Pomorska
ul. Andrzeja Szwalbego 6, Bydgoszcz

INWESTOR:

Filharmonia Pomorska
ul. Andrzeja Szwalbego 6, Bydgoszcz

KIEROWNIK PROJEKTU:

dr inż. Tadeusz Fidecki

ZESPÓŁ PROJEKTOWY:**SŁUCHOWA OCENA DŹWIĘKU:**

dr hab. Barbara Okoń-Makowska
dr hab. Andrzej Miśkiewicz
dr Tomira Rogala
mgr Teresa Rościszewska
mgr inż. Urszula Brzozowska
mgr inż. Małgorzata Srebrzyńska
mgr Małgorzata Szymańska
mgr Igor Szymański

POMIARY AKUSTYKI I MODELOWANIE:

prof. dr hab. inż. Jan Żera
dr inż. Tadeusz Fidecki
mgr inż. Artur Kozak
mgr inż. Jakub Szot
inż. Maciej Jasiński

INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA I MODELOWANIE:

mgr inż. Ewa Więckowska-Kosmala
inż. Magdalena Czechowska
mgr inż. Radosław Ciszewski
mgr inż. arch. Aleksander Bobynko

WYKONAWCA:

mgr inż. Maciej Łukaszewicz

.....
Podpis

Opracowanie stanowi własność intelektualną Manufaktury Technologicznej sp. z o.o. i objęte jest ochroną zgodnie z Ustawą z dnia 4 lutego 1994 roku o prawie autorskim i prawach pokrewnych [Dz. U. 1994 Nr 24 poz. 83]. POWIELANIE I ZMIANA CAŁOŚCI LUB FRAGMENTÓW OPRACOWANIA, A TAKŻE WYKORZYSTYWANIE W INNYM CELU NIŻ JEGO REALIZACJA BEZ PISEMNEJ ZGODY AUTORA I WŁAŚCICIELA JEST NARUSZENIEM TYCH PRAW

SPIS TREŚCI

CZĘŚĆ I – OCENA SŁUCHOWA DŹWIĘKU	7
1. ZAKRES BADAŃ	7
2. BADANIA ANKIETOWE DOTYCZĄCE JAKOŚCI DŹWIĘKU	8
2.1. ZAŁOŻENIA I PROCEDURA BADAŃ	8
2.2. WYNIKI BADAŃ	8
2.3. OMÓWIENIE WYNIKÓW	16
3. OPINIE DYRYGENTÓW ORKIESTRY, DYRYGENTA CHÓRU ORAZ SOLISTKI	19
3.1. SPOSÓB ZBIERANIA I OPRACOWANIA OPINII	19
3.2. BRZMIENIE DŹWIĘKU NA ESTRADZIE ORAZ KOMFORT SŁYSZENIA DŹWIĘKU PODCZAS WYKONYWANIA UTWORU	19
3.3. CZYTELNOŚĆ OBRAZU DŹWIĘKOWEGO, BARWA DŹWIĘKU I POGŁOS	20
3.4. ROZMIARY SALI I ESTRADY A WIELKOŚĆ ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	20
3.5. OPINIE O CHARAKTERZE OGÓLNYM	21
3.6. PODSUMOWANIE OPINII	21
4. OPINIE REŻYSERÓW DŹWIĘKU	22
4.1. SPOSÓB OPRACOWANIA OPINII	22
4.2. PRZYDATNOŚĆ SALI JAKO STUDIA NAGRANIOWEGO	22
4.3. PREFEROWANA WIELKOŚĆ I CHARAKTER ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	22

4.4.	INTYMNOŚĆ BRZMIENIA, POCZUCIE OBECNOŚCI I CZYTELNOŚĆ ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU	23
4.5.	BARWA DŹWIĘKU W SALI	23
4.6.	CECHY PRZESTRZENNE UJAWNIAJĄCE SIĘ W TRAKCIE NAGRAŃ	23
4.7.	POGŁOS	24
4.8.	ZAKŁÓCENIA, ZNIEKSZTAŁCENIA I INNE WADY DŹWIĘKU	24
4.9.	PORÓWNANIE Z INNYMI SALAMI	25
4.10.	INNE UWAGI	25
4.11.	PODSUMOWANIE OPINII	25
5.	OPINIE CZŁONKÓW ZESPOŁU BADAWCZEGO, O JAKOŚCI DŹWIĘKU W SALI	26
5.1.	PROGRAMY KONCERTÓW, NA KTÓRYCH PRZEPROWADZONO OCENY	26
5.2.	INTYMNOŚĆ, POCZUCIE OBECNOŚCI ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU, CZYTELNOŚĆ BRZMIENIA	27
5.3.	BARWA DŹWIĘKU	27
5.4.	DYNAMIKA MUZYCZNA	28
5.5.	POGŁOS	29
5.6.	WIELKOŚĆ ZESPOŁU WYKONAWCZEGO	29
5.7.	LOKALIZACJA ŹRÓDEŁ DŹWIĘKU	30
5.8.	SŁYSZALNOŚĆ I BRZMIENIE DŹWIĘKU SOLISTÓW	31
5.9.	PRZESTRZENNOŚĆ I GŁĘBIA OBRAZU DŹWIĘKOWEGO	32

5.10.	ZAKŁÓCENIA I INNE WADY DŹWIĘKU	32
5.11.	PORÓWNANIE Z INNYMI SALAMI KONCERTOWYMI	33
5.12.	PODSUMOWANIE OPINII	33
6.	NAGRANIA PRÓB I KONCERTÓW	35
CZĘŚĆ II – POMIARY AKUSTYKI SAL		37
1.	CEL POMIARÓW	37
2.	MIERZONE PARAMETRY I WSKAŹNIKI AKUSTYCZNE	37
3.	METODYKA POMIARÓW	38
3.1.	DOKUMENTY NORMALIZACYJNE	38
3.2.	PROCEDURA POMIARU PARAMETRÓW I WSKAŹNIKÓW AKUSTYCZNYCH	38
3.3.	PUNKTY POMIAROWE	38
3.4.	POMIARY BINAURALNE	39
3.5.	POMIAR WSKAŹNIKÓW WSPOMAGANIA AKUSTYCZNEGO ESTRADY	40
3.6.	POMIARY IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ POMIĘDZY POMIESZCZENIAMI	40
3.7.	APARATURA POMIAROWA	40
4.	WYNIKI POMIARÓW	41
4.1.	POMIARY AKUSTYCZNE SALI KONCERTOWEJ ZAPEŁNIONEJ PRZEZ PUBLICZNOŚĆ I ORKIESTRĘ	41
4.2.	POMIARY AKUSTYCZNE SALI KONCERTOWEJ PRZY PUSTEJ ESTRADZIE I WIDOWNI	52

4.3. WYNIKI POMIARÓW SALI KAMERALNEJ	90
4.4. CHARAKTERYSTYKI IZOLACYJNOŚCI AKUSTYCZNEJ MIĘDZY SALAMI KONCERTOWYMI I STREFAMI KORYTARZY	97
4.5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW AKUSTYCZNYCH SALI KAMERALNEJ I SALI KONCERTOWEJ	103
CZĘŚĆ III– INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA SAL	107
1. SALA KONCERTOWA	107
1.1. DANE ARCHITEKTONICZNE	107
1.2. ELEMENTY ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ	108
2. SALA KAMERALNA	118
2.1. DANE ARCHITEKTONICZNE	118
2.2. ELEMENTY ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ	119
3. SKANING KOMPUTEROWY	127
3.1. CEL OPRACOWANIA	127
3.2. ZAKRES PRAC POMIAROWYCH	127
4. WYNIKI POMIARÓW IN-SITU	132
4.1. METODA POMIAROWA I APARATURA BADAWCZA	132
4.2. POMIARY SALI KONCERTOWEJ	133
4.3. POMIARY SALI KAMERALNEJ	144

4.4. KOREKCJA ENERGETYCZNYCH WSPÓŁCZYNNIKÓW ZMIERZONYCH IN SITU	150
4.5. PODSUMOWANIE	162
CZĘŚĆ IV – MODELOWANIE AKUSTYKI SALI	164
1. ZAŁOŻENIA DO WYKONANIA MODELI AKUSTYCZNYCH SAL	164
2. SALA KONCERTOWA	164
2.1. MODEL SALI KONCERTOWEJ	164
2.2. WYNIKI OBLICZEŃ PARAMETRÓW AKUSTYCZNYCH Z MODELU SALI KONCERTOWEJ	166
2.3. ANALIZA GRAFICZNA TRAS PROMIENI W SALI KONCERTOWEJ	171
3. SALA KAMERALNA	174
3.1 MODEL SALI KAMERALNEJ	174
3.2. WYNIKI OBLICZEŃ PARAMETRÓW AKUSTYCZNYCH Z MODELU SALI KAMERALNEJ	176
4. OCENA WYNIKÓW MODELOWANIA	182
CZĘŚĆ V – KLASYFIKACJA JAKOŚCI SALI KONCERTOWEJ	183
CZĘŚĆ VI – WYTYCZNE DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA I WYKONANIA PRAC RENOWACYJNYCH	186

CZĘŚĆ I – OCENA SŁUCHOWA DŹWIĘKU

1. ZAKRES BADAŃ

Badania polegające na słuchowej ocenie jakości dźwięku, stanowiące część prac przeprowadzonych w celu opracowania raportu o właściwościach akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy, obejmowały następujące zadania:

- przeprowadzenie wśród członków orkiestry i chóru ankiet dotyczących jakości dźwięku w badanej sali oraz problemów wykonawczych związanych z jej akustyką,
- przeprowadzenie wywiadów z dyrygentami chóru i orkiestry w celu identyfikacji cech wrażeniowych dźwięku odbieranego w sali wpływających na pracę z zespołem,
- przeprowadzenie z wokalistką – solistką koncertu, wywiadu na temat właściwości akustycznych sali wpływających na sposób wykonania utworu,
- zebranie opinii, w formie swobodnych wypowiedzi, od członków zespołu badawczego oraz od doświadczonych słuchaczy koncertów, na temat jakości brzmienia dźwięku w sali,
- przeprowadzenie wywiadów z reżyserami dźwięku mającymi w dorobku znaczące nagrania dokonane w badanej sali, na temat jej właściwości akustycznych wpływających na kreację obrazu fonograficznego,
- sformułowanie wielowymiarowej oceny brzmienia dźwięku przez członków zespołu badawczego podczas prób i koncertów,
- nagranie prób oraz koncertów w celu uzyskania dokumentacji dźwiękowej akustyki sali oraz materiału do dalszych prac studialnych.

Słuchowa ocena jakości dźwięku oraz realizacja nagrań dokumentalnych stanowiły istotną część szerszego programu badań akustyki sali, w skład którego weszły również różnorodne pomiary akustyczne opisane w dalszych częściach niniejszego sprawozdania. Wyniki ocen słuchowych oraz wyniki pomiarów akustycznych były podstawą sformułowania opisu aktualnych właściwości akustycznych sali, stanowiącego temat niniejszego opracowania.

2. BADANIA ANKIETOWE DOTYCZĄCE JAKOŚCI DŹWIĘKU

2.1. Założenia i procedura badań

Badania ankietowe miały na celu uzyskanie od członków orkiestry oraz członków chóru informacji dotyczących jakości dźwięku wykonywanego w sali, słyszalności i jakości brzmienia dźwięków wykonywanych przez innych muzyków na estradzie oraz komfortu pracy podczas prób i koncertów. Ze względu na istotne różnice w praktyce wykonawczej przygotowano oddzielne formularze ankietowe dla orkiestry i chóru. Formularze użyte do badań przedstawiono na rys. I.2.1–I.2.4.

Badanie ankietowe przeprowadzono dwukrotnie: w dniu 6 października 2017 roku w przerwie między próbą a koncertem, oraz 26 października 2017 roku, po koncercie. W pierwszym badaniu muzycy – członkowie orkiestry oraz chórzysci formułowali odpowiedzi w oparciu o całokształt doświadczeń zdobytych w trakcie pracy w badanej sali, zaś w badaniu drugim przedstawili opinię dotyczącą jakości dźwięku, odnoszącą się wyłącznie do koncertu, w którym wzięli udział w dniu badania ankietowego. Przed rozpoczęciem każdego z badań muzycy zostali poinformowani o założeniach i celu przeprowadzenia ankiet oraz o sposobie wypełniania formularzy.

2.2. Wyniki badań

Na rys. I.2.5 i I.2.6 przedstawiono wyniki badań ankietowych dotyczących jakości dźwięku w sali, przeprowadzonych wśród członków Orkiestry Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego oraz członków dwóch chórów: Chóru Filharmonii Łódzkiej im. Artura Rubinsteina oraz Chóru Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Odpowiedzi na poszczególne pytania przedstawione są na oddzielnych wykresach. Na osi rzędnych wykresów oznaczony jest odsetek odpowiedzi, należących do poszczególnych kategorii, oznaczonych na osi odciętych wykresów.

W obu ankietach część pytań była identyczna – odpowiedzi na te pytania umieszczono wspólnie na odpowiednich wykresach; kolumny granatowe przedstawiają wyniki badania w dniu 6 października, a bordowe – 26 października. Trzy pytania ankietowe były w tych dwóch badaniach różne, stąd wykresy zawierają dane tylko z jednego badania kolumny jednego – odpowiedniego – koloru.

Na rys. I.2.7 zestawiono wyniki oceny ogólnej jakości akustyki sali, uzyskane w obu badaniach, od członków orkiestry oraz chórzystów. Wykresy przedstawiają rozkład

uzyskanych ocen na skali od 1 do 5. Symbole połączone liniami odnoszą się do ocen warunków akustycznych na estradzie. Słupkami przedstawiono rozkłady ocen akustyki sali, uzyskane w dniach 6 i 26 października 2017 roku.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków orkiestry

- instrument
- pulpit vno, vla, vc – strona: **lewa / prawa**

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie. W pytaniach zamkniętych prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**

2. Czytelność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**

3. Barwa dźwięku własnego instrumentu **niezadawalająca / bez zastrzeżeń**

Jeśli barwę ocenia Pani/Pan jako niezadawalającą, to dlaczego

4. Słyszalność innych instrumentów swojej sekcji **zła / wystarczająca / dobra**

5. Słyszalność instrumentów innych sekcji **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których instrumentów:

6. Czytelność instrumentów innych sekcji: **zła / wystarczająca / dobra**

Jeżeli zła, to których instrumentów:

7. Słyszalność / zrozumiałość słów dyrygenta: **zła / wystarczająca / dobra**

8. Poczucie komfortu gry zespołowej w skali od 1 do 5:

1	2	3	4	5
(b. zła)				(b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym na estradzie:

.....

10. Ogólna ocena sali w skali od 1 do 5:

1	2	3	4	5
(b. zła)				(b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

Rys. I.2.1. Formularz ankietowy w wersji dla członków orkiestry, użyty w badaniach przeprowadzonych w dniu 6 października 2017 roku, po próbie do koncertu.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków orkiestry

Prosimy o dokładne określenie miejsca na estradzie na koncercie (np. vno 2, pulpit 3, strona lewa)

- instrument
- pulpit vno, vla, vc – strona: **lewa / prawa**

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie podczas tego wykonania. Prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**
2. Czytelność dźwięku własnego instrumentu **zła / wystarczająca / dobra**
3. Barwa dźwięku własnego instrumentu w sali,
podczas tego wykonania **niezadawalająca / bez zastrzeżeń**
4. Słyszalność innych instrumentów swojej sekcji **zła / wystarczająca / dobra**
5. Słyszalność instrumentów innych sekcji **zła / wystarczająca / dobra**
Jeżeli zła, to których instrumentów/sekcji?
6. Jakie jest Pani/Pana poczucie nośności dźwięku
własnego instrumentu w sali **złe / wystarczające / dobre**
7. Słyszalność/zrozumiałość słów dyrygenta: **zła / wystarczająca / dobra**
8. Poczucie komfortu gry zespołowej w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. złe) (b. dobre)

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie:

.....

10. Ogólna ocena akustyki estrady w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)
11. Ogólna ocena brzmienia sali w skali od 1 do 5:
1 2 3 4 5
(b. zła) (b. dobra)

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

Rys. I.2.3. Formularz do badań ankietowych, w wersji dla członków orkiestry, użyty w badaniach przeprowadzonych po koncercie w dniu 26 października 2017 roku.

Ocena akustyki Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego w Bydgoszczy

Formularz dla członków chóru

Prosimy o dokładne określenie miejsca na estradzie na tym koncercie (np. sopran, rząd1, strona lewa)

- głos
- miejsce w grupie: rząd..... strona: lewa / środek / prawa (patrzac z widowni)

Prosimy o opinie na temat dźwięku słyszanego w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie podczas tego wykonania. Prosimy zaznaczyć właściwą odpowiedź przez zakreślenie.

1. Słyszalność własnego głosu zła / wystarczająca / dobra

2. Wyrazistość własnego głosu zła / wystarczająca / dobra

3. Słyszalność innych śpiewaków swojej grupy zła / wystarczająca / dobra

4. Słyszalność innych grup (głosów) chóru zła / wystarczająca / dobra

Jeżeli zła, to których grup (głosów)?

5. Poczucie spójności brzmienia chóru złe / wystarczające / dobre

6. Łatwość emisji głosu (wygoda śpiewu) w sali niska / średnia / wysoka

6. Słyszalność orkiestry zła / wystarczająca / dobra

Jeżeli zła, to których instrumentów/grup instrumentów:

7. Słyszalność/zrozumiałość słów dyrygenta: zła / wystarczająca / dobra

8. Poczucie komfortu śpiewu z orkiestrą w skali od 1 do 5:

1	2	3	4	5
(b. złe)			(b. dobre)	

9. Inne uwagi na temat brzmienia dźwięku w miejscu zajmowanym przez Panią/Pana na estradzie:

.....

10. Ogólna ocena akustyki estrady w skali od 1 do 5:

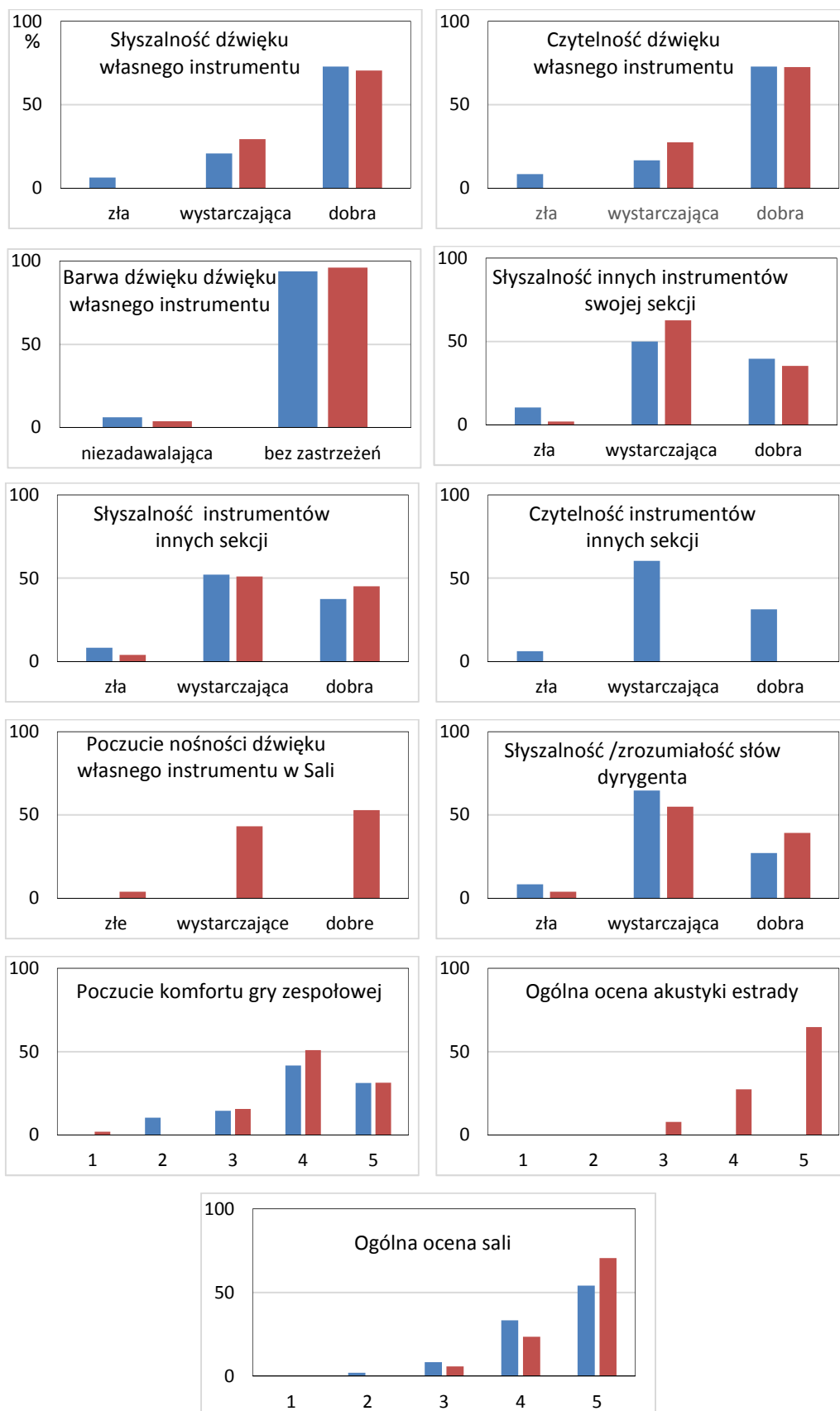
1	2	3	4	5
(b. zła)			(b. dobra)	

11. Ogólna ocena brzmienia sali w skali od 1 do 5:

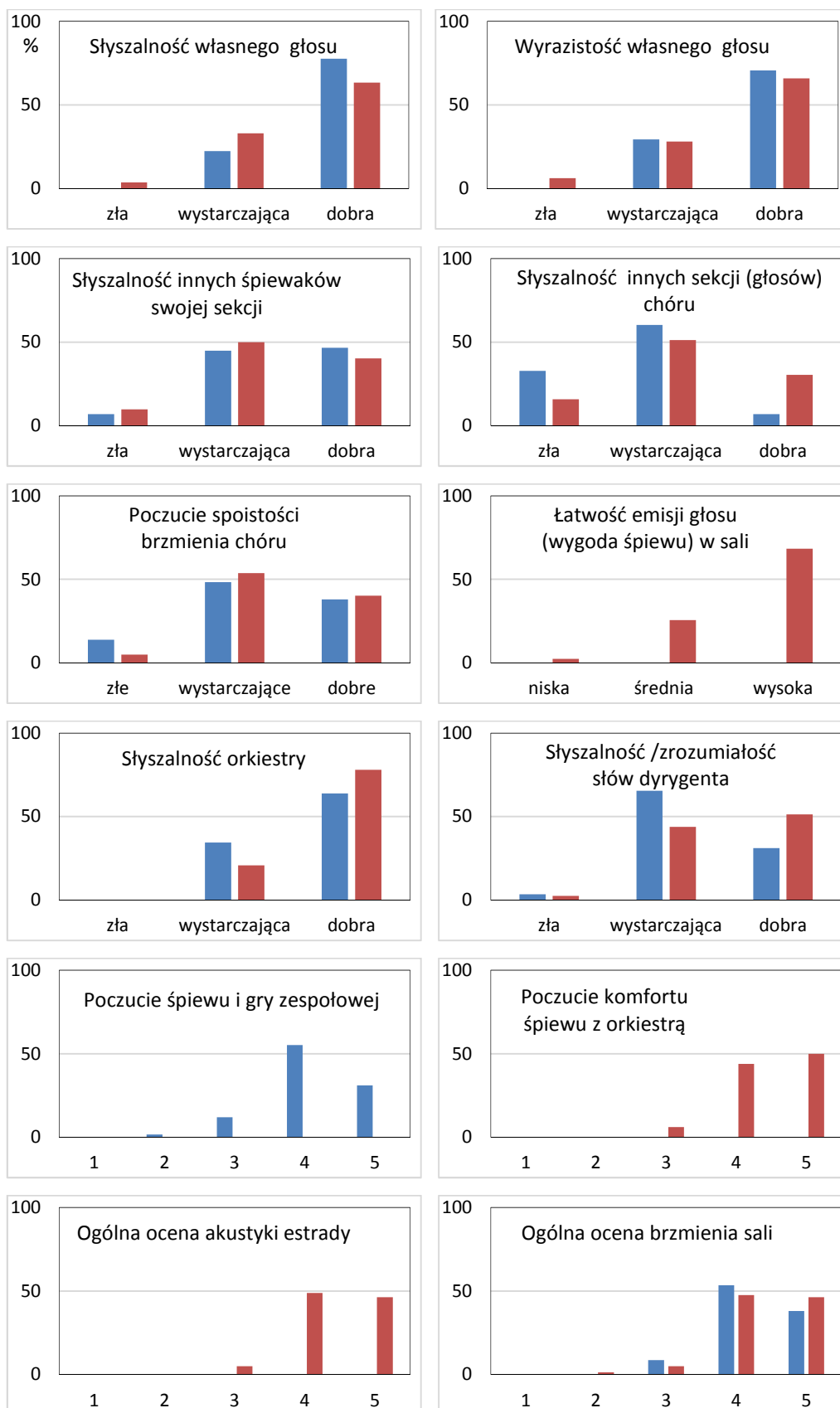
1	2	3	4	5
(b. zła)			(b. dobra)	

Dziękujemy za wypełnienie ankiety.

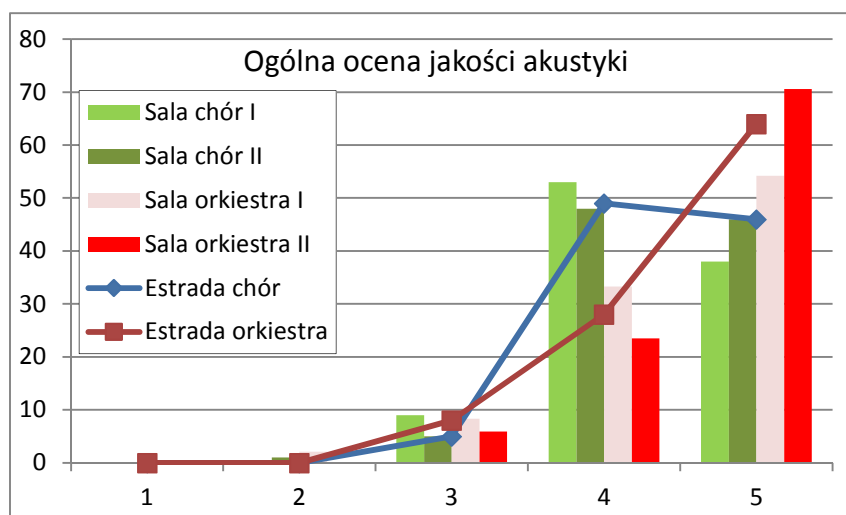
Rys. I.2.4. Formularz do badań ankietowych, w wersji dla członków chóru, użyty w badaniach przeprowadzonych po koncercie w dniu 26 października 2017 roku.



Rys. I.2.5. Wyniki ankiet przeprowadzonych wśród muzyków orkiestry Filharmonii Pomorskiej. Na poszczególnych wykresach przedstawiony jest procentowy rozkład odpowiedzi na pytania zawarte w ankietach. Dwie kolumny w każdej kategorii przedstawiają kolejno wyniki uzyskane w badaniach przeprowadzonych w dniach 6 i 26 października 2017 roku.



Rys. 1.2.6. Wyniki ankiet przeprowadzonych wśród członków dwóch chórów. Na poszczególnych wykresach przedstawiony jest procentowy rozkład odpowiedzi na pytania zawarte w ankietach. Dwie kolumny w każdej kategorii przedstawiają kolejno wyniki uzyskane w badaniach przeprowadzonych w dniach 6 i 26 października 2017 roku.



Rys.1.2.7. Rozkłady na skali ocen od 1 do 5 odpowiedzi odnoszących się do jakości warunków akustycznych na estradzie (punkty połączone liniami) oraz jakości akustyki całej sali (słupki). Na wykresie zestawiono wyniki badań przeprowadzonych w dniach 6 (chór I, orkiestra I) i 26 października 2017 roku (chór II, orkiestra II).

2.3. Omówienie wyników

Analizując uzyskane wyniki ankiet należy wziąć pod uwagę, że w obu badaniach uczestniczyli muzycy tej samej orkiestry, natomiast zespół choralny był inny – na pierwszym koncercie – w dniu 6 października, był to Chór Filharmonii Łódzkiej im. Artura Rubinsteina, zaś na koncercie drugim – w dniu 26 października – Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy. Muzycy z orkiestry Filharmonii Pomorskiej grają w badanej sali na co dzień, dzięki czemu bardzo dobrze znają istniejące w niej warunki akustyczne i są do nich przyzwyczajeni. Podobnie, Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego zna salę Filharmonii bardzo dobrze, ponieważ często w niej występuje. Chór Filharmonii Łódzkiej wielokrotnie występował w sali Filharmonii Pomorskiej, ale ma z tą salą mniej doświadczeń niż miejscowa orkiestra i Chór Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego.

Na wykresach odnoszących się do ocen uzyskanych od członków orkiestry (rys. 1.2.5) widoczne jest, że różnice w rozkładach odpowiedzi między pierwszą a drugą ankietą są bardzo niewielkie. Maksymalna różnica w pytaniu o słyszalność innych instrumentów swojej sekcji, wskazuje na niewielkie pogorszenie słyszalności na koncercie, w stosunku do opinii wyrażonej w pierwszym badaniu, sformułowanej na podstawie całokształtu posiadanych doświadczeń odnoszących się do badanej sali. W drugiej ankiecie jest znacznie mniej odpowiedzi oceniających słyszalność innych instrumentów i sekcji, jako złą.

We wszystkich pytaniach dotyczących brzmienia własnego instrumentu większość muzyków zaznaczyła najwyższą ocenę – nie mając zastrzeżeń do barwy dźwięku (ponad 70% odpowiedzi). Muzycy ocenili jako bardzo dobrą również słyszalność i czytelność dźwięku instrumentu (ponad 70%), zaś nośność dźwięku uważają za co najmniej wystarczającą (ponad 40% odpowiedzi „wystarczająca” i >50% – „dobra”).

Słyszalność i czytelność dźwięków instrumentów innych muzyków, zarówno w swojej jak i w innych sekcjach, została oceniona jako nieco gorsza, w przeważającej większości jako „wystarczająca”. Odpowiedź „zła słyszalność/czytelność innych instrumentów” wybrało w ankiecie mniej niż 10% osób.

Podobne wyniki uzyskano w odniesieniu do oceny słyszalności i zrozumiałości słów dyrygenta podczas prób: najwięcej osób uznało je za wystarczające, niewiele mniej za dobre (razem ponad 90% osób). Poczucie komfortu gry oraz ogólną jakość akustyki sali i estrady muzycy oceniali w skali 5-stopniowej. Na podstawie wykresu można wywnioskować, że muzycy mają pewne zastrzeżenia do komfortu gry zespołowej (najwięcej osób zaznaczyło odpowiedź 4), najprawdopodobniej ze względu na niedostatki w słyszeniu gry innych muzyków. Niemniej jednak, 70-80% osób, w zależności od koncertu, oceniło komfort jako dobry (ocena 4) i bardzo dobry (ocena 5). Mimo tych drobnych mankamentów, muzycy bardzo dobrze ocenili jakość akustyki na estradzie (>60% ocen 5, a >90% oceny 4 lub 5) oraz w sali (>50% ocen 5, a >80% oceny 4 lub 5) i w żadnym przypadku nie przyznana została najniższa ocena. W odniesieniu do estrady również nikt nie przypisał oceny 1 ani 2, w przypadku oceny sali liczba tych ocen jest nieznacząca.

Sposób przedstawienia wyników ankiety przeprowadzonej wśród członków chórów, zamieszczonych na rys. I.2.6, jest identyczny z rys. I.2.5. Istotną różnicą w procedurze badania ankietowego, w stosunku do badań z udziałem członków orkiestry, było to, że w obu badaniach ankietowych uczestniczyli inni śpiewacy, co zapewne spowodowało, że różnica odpowiedzi uzyskanych w dwóch badaniach jest nieco większa niż w przypadku muzyków orkiestry. Znaczna różnica wystąpiła w ocenach słyszalności innych głosów chóru w porównaniu z pierwszą ankietą, w ankiecie przeprowadzonej po koncercie nastąpił wzrost o 25 punktów procentowych odpowiedzi „dobra” przy spadku blisko o 20 punktów procentowych oceny „zła” i <10 punktów procentowych oceny „wystarczająca”. Niżej natomiast oceniono

w drugiej ankiecie słyszalność własnego głosu (mniej o 15 p. p. ocen „dobra” przy około 10 p. p. większej liczbie ocen „wystarczająca”). Ocena słyszalności i wyrazistości własnego głosu, podobnie jak w przypadku oceny odnoszącej się do dźwięku instrumentów muzycznych, jest bardzo wysoka, natomiast słyszalność innych głosów – tylko wystarczająca. Z uwagi na kształt i rozmiary estrady chór ustawiony był stosunkowo szeroko, stąd przypuszczalnie wystąpiły trudności ze słyszeniem innych głosów i słów dyrygenta. Zapewne z tego powodu przeważały odpowiedzi „wystarczającego” poczucia spójności brzmienia chóru. Nie mieli natomiast chórzyci trudności ze słyszeniem orkiestry i ocenili jej słyszalność bardzo wysoko, zwłaszcza w drugiej ankiecie. Stąd też wynikała wysoka ocena (4 lub 5 od ponad 90% osób) poczucia komfortu śpiewu z orkiestrą. Nieco niżej ocenili chórzyci słyszalność i zrozumiałość słów dyrygenta podczas prób, przy czym ocena ta w drugiej ankiecie była wyższa.

Problemy ze słyszeniem innych głosów chóru, a także dyrygenta, są zapewne przyczyną pojawienia się gorszych ocen akustyki estrady oraz akustyki całej sali, jednakże ocenę 4 lub 5 wystawiło ponad 90% chórzystów w każdym z koncertów.

Podsumowując można stwierdzić, że oceny dokonane przez muzyków z orkiestry oraz śpiewaków z obu chórów bardzo dobrze ze sobą korespondują. Wszyscy oceniający wskazują na znakomitą słyszalność i bardzo dobrze oceniają brzmienie własnego instrumentu/głosu, mają natomiast nieco zastrzeżeń do słyszalności innych instrumentów/głosów. Z tego powodu odczuwają niepełny komfort gry zespołowej. Muzycy-instrumentaliści oraz chórzyci mają natomiast wszyscy poczucie bardzo dobrej „współpracy” akustyki pomieszczenia, dźwięk instrumentów jest nośny, chórzyci odczuwają łatwość emisji głosu. Akustyka estrady i sali, mimo zauważanych drobnych mankamentów, została oceniona jako bardzo dobra.

Trzeba przy tym pamiętać, że w obu koncertach wystąpiły bardzo duże zespoły wykonawcze – wielka orkiestra symfoniczna (50 osób), chór (58 osób na pierwszym koncercie i 82 osoby na koncercie drugim) oraz soliści. W opinii dyrygentów, reżyserów dźwięku, a także muzyków i słuchaczy koncertów były to zespoły na tę salę zbyt duże, co mogło mieć wpływ na oceny sali dokonane przez wykonawców koncertów.

3. OPINIE DYRYGENTÓW ORKIESTRY, DYRYGENTA CHÓRU ORAZ SOLISTKI

3.1. Sposób zbierania i opracowania opinii

Poniżej przedstawiono opinie dotyczące jakości dźwięku w Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej im. Ignacego Jana Paderewskiego uzyskane od trzech dyrygentów orkiestry, dwóch dyrygentów chórów oraz solistki (mezzosopran), która wystąpiła gościnnie w wykonaniu *Requiem* Mozarta (koncert 26.10.2017). Wszyscy rozmówcy koncertowali już kilkakrotnie w tej sali oraz mają rozległe doświadczenie w wykonywaniu muzyki w innych obiektach. Opinie na temat wpływu akustyki sali Filharmonii Pomorskiej na wykonanie utworów zostały wyrażone przez wyżej wymienione osoby w formie swobodnych wypowiedzi przedstawionych osobie prowadzącej wywiad. W odniesieniu do zakresu i formułowania ocen nie były wcześniej przyjęte żadne założenia. Uwagi pogrupowano pod względem właściwości akustycznych, do których się odnoszą i przedstawiono poniżej w kolejnych podpunktach.

3.2. Brzmienie dźwięku na estradzie oraz komfort słyszenia dźwięku podczas wykonywania utworu

- Ogólna jakość brzmienia w miejscu dyrygenta nie jest zadowalająca. Słychać wszystkie instrumenty osobno, brak scalenia, wymieszania brzmienia w ramach grup i całego zespołu.
- Nie ma problemów z porozumiewaniem się z zespołem, osiągnięciem właściwych proporcji w orkiestrze.
- Łatwa współpraca z solistą.
- Łatwo uzyskać pożądane proporcje brzmienia chóru i orkiestry.
- Muzycy niektórych grup mają trudności we wzajemnym słyszeniu swoich instrumentów i trudno jest im zachować synchroniczność gry. Największe trudności są między muzykami grającymi na instrumentach dętych, zwłaszcza na waltorniach, oraz między kontrabasistami. Muzycy grający na instrumentach dętych muszą często grać z niewielkim wyprzedzeniem, żeby wejścia były synchroniczne.
- Na koncertach o wielkiej obsadzie występują trudności we wzajemnym słyszeniu grup głosów chóru daleko rozstawionych na estradzie, śpiewakom brakuje „wspólnego oddechu”.

- Sala wymaga kontroli własnego głosu, właściwej techniki i świadomości śpiewaczej.
- W śpiewie a cappella, w ustawieniu centralnym, bliżej brzegu estrady chór ma znacznie większy komfort śpiewania. Jest dobre odczucie odpowiedzi sali oraz doskonały powrót dźwięku.
- Brzmienie sali ma pozytywny wpływ na sposób śpiewania chóru, można śpiewać swobodnie.
- Głos solisty dobrze brzmi na sali, ale na estradzie śpiewak tego nie odczuwa i musi polegać na swojej technice wokalne i doświadczeniu śpiewaczym. Sala ładnie brzmiąca od strony słuchacza, jest niełatwa i wymagająca dla śpiewaka.
- Słyszalność orkiestry i innych solistów jest na ogół dobra, choć zależy od usytuowania względem reszty wykonawców.
- Przy pustej sali słychać dźwięk niosący się w kierunku publiczności, a sama scena jest bardzo głucha, tak jakby dźwięk z miejsca pulpitu dyrygenckiego nie rozchodził się w ogóle w stronę orkiestry (*stwierdzono przy słuchaniu osoby mówiącej do orkiestry z dyrygenckiego podium*).

3.3. Czytelność obrazu dźwiękowego, barwa dźwięku i pogłos

- Dźwięk jest precyzyjny, nie zlewa się.
- Sala jest wymagająca – obnaża niedostatki wykonawcze. Brakuje scalenia, „zaokrąglenia” „uszlachetnienia” „uprzestrzennienia” oraz „powiększenia” brzmienia zespołu.
- Sala nie upiększa brzmienia.
- Pogłos dobry, bez zabarwień, od razu słychać przestrzeń w dźwięku.
- Na widowni brzmienie zespołów jest dobre; szczególnie dobrze słychać artykulację dźwięku, tekst partii chóralnych jest wyrazisty.
- Bardzo ważną zaletą sali Filharmonii Pomorskiej jest to, że brzmienie dźwięku jest podobne w pustej sali i w sali wypełnionej publicznością.
- W tej sali brzmi dobrze muzyka różnych gatunków i epok.
- Jako słuchacz koncertów uważam, że sala brzmi fantastycznie.

3.4. Rozmiary sali i estrady a wielkość zespołu wykonawczego

- Sala jest za mała dla muzyki wymagającej powiększonego składu orkiestry i wielkiego chóru.

- Estrada jest zbyt płytka w stosunku do szerokości i trudno jest znaleźć odpowiednie miejsce dla niektórych instrumentów – zwłaszcza perkusji i instrumentów dętych.
- Bardzo szerokie rozstawienie chóru w utworach z orkiestrą ze względu na brak miejsca.
- Sala nie ma odpowiedniego zaplecza (garderoby, sale do ćwiczeń).

3.5. Opinie o charakterze ogólnym

- Lepszą akustykę ma tylko sala Wiener Musikverein. Sala Musikverein przewyższa salę Filharmonii Pomorskiej swoim brzmieniem w głębokim pianissimo.
- Najlepsza sala koncertowa w Polsce. [...] trzeba tę akustykę zachować, ponieważ jest ona wspaniała i pod żadnym pozorem nie należy w niej cokolwiek zmieniać ani poprawiać.

3.6. Podsumowanie opinii

Wszyscy rozmówcy oceniali pozytywnie akustyczne walory części audytoryjnej sali, brzmienie muzyki w obszarze zajmowanym przez publiczność. Zwracali uwagę na klarowność i precyzję brzmienia, która wymusza szczególną dbałość o jakość gry i śpiewu. Opinii, że „sala nie jest łatwa”, „nie upiększa brzmienia” nie należy interpretować w przypadku tych wypowiedzi jako zarzutów, gdyż w większości towarzyszyło im stwierdzenie o zadowalającym brzmieniu dobrych, profesjonalnych wykonawczych. W jednym przypadku zastrzeżenia do charakteru brzmienia sali, która „nie powiększa i nie uprzedzienia” były powiązane z wielkimi rozmiarami aparatu wykonawczego i rodzajem muzyki prezentowanej na koncercie.

Ocena szeroko rozumianego komfortu wykonywania muzyki nie jest tak dobra jak ocena jej walorów akustycznych. Muzycy zwracają uwagę na niedogodności związane przede wszystkim z geometrią estrady, wymuszającą zbyt szerokie ustawienie zespołów wykonawczych. Rodzi to kłopoty we wzajemnym kontakcie skrajnie rozmieszczonych grup instrumentalnych i chóralskich i wymaga szczególnej uwagi dyrygenta. Podnoszone w niektórych wypowiedziach nadmiernie selektywne brzmienie orkiestry w miejscu dyrygenta jest przyjmowane ze zrozumieniem i równoważone przekonaniem, że wykreowana w tym miejscu równowaga i precyzja

wykonania jest bez zniekształceń przenoszona na widownię, gdzie obraz dźwiękowy zostaje scalony przez „dobry pogłos, bez zabarwień”.

4. OPINIE REŻYSERÓW DŹWIĘKU

4.1. Sposób opracowania opinii

Zebrano opinie 11 reżyserów dźwięku mających doświadczenie w nagrywaniu muzyki w Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej. Przeprowadzone wywiady odnoszą się do właściwości akustycznych sali wpływających na walory fonograficzne nagrań. Przedstawione poniżej wypowiedzi pogrupowane zostały według problemów poruszanych w trakcie wypowiedzi.

4.2. Przydatność sali jako studia nagraniowego

- Sala bardzo dobra [...] do nagrań. [...] można używać mikrofonów o charakterystyce kołowej nawet z dużego dystansu. Nawet na mikrofonach ustawionych w końcu sali (gdzie lepszy pogłos) bardzo wyraźnie obecny jest dźwięk bezpośredni. Obecność publiczności nie psuje tych właściwości sali, ujawniających się przy każdym składzie.
- Sala bardzo dobra do nagrań, jedna z najlepszych w Polsce.
- Generalnie – sala bardzo dobra.
- Łatwo ustawić dobre ujęcie mikrofonowe, ma duży zakres tolerancji ustawienia mikrofonów.
- Sala bardzo dobra, łatwo się w niej pracuje.
- Sala specyficzna, bardzo trudno osiągnąć w niej właściwą przestrzenność nagrania.
- Do nagrań instrumentów o małym wolumenie brzmienia sala trudna.

4.3. Preferowana wielkość i charakter zespołu wykonawczego

- Sala bardzo dobra dla małych składów, dla fortepianu jedyna, wybitna, za mała na duże składy.
- Sala raczej na małe składy.
- Nie wydaje się być dobra dla dużych składów. Orkiestra symfoniczna – może do beethovenowskiej; na pewno nie mahlerowska.
- Najlepsza dla składów kameralnych, fortepianu; orkiestrze symfonicznej przydałaby się większa przestrzeń.

- Sala znakomita dla nagrań fortepianu oraz fortepianu z orkiestrą. Łatwo uzyskać doskonałą stopliwość brzmienia fortepianu i orkiestry, co jest trudne do osiągnięcia w innych salach.
- Przy zastosowaniu dodatkowej powierzchni odbijającej za instrumentem w nagraniu fortepianu możliwe jest do osiągnięcia idealne, pełne i wyrównane brzmienie.
- Sala dobra dla dobrych pianistów (znakomite nagrania Jozsefa Örmény'ego).
- Dobry kontakt między sobą wykonawców na estradzie, dobrze się gra (dotyczy składów kameralnych).

4.4. Intymność brzmienia, poczucie obecności i czytelność źródeł dźwięku

- Dobra czytelność dźwięku, duży udział dźwięku bezpośredniego w całej sali.
- Przy orkiestrze – sala selektywna, [...] charakteryzuje ją czystość, selektywność i stabilność brzmienia. [...]

4.5. Barwa dźwięku w sali

- Można osiągnąć aksamitny, miękki dźwięk przy dobrych wykonawcach.
- Sala jest w brzmieniu „zdrowa i klarowna”.
- Ładnie brzmi.
- Raczej nie rozjaśnia brzmienia.
- Nie ma formantowości, brzmienie jest naturalne.

4.6. Cechy przestrzenne ujawniające się w trakcie nagrań

- Gładkie, płynne przejścia od bliższych do dalszych planów, co tę salę wyróżnia spośród innych. Nie ma zbyt wielu bliskich odbić, korzystnie w niej brzmią dalsze plany dźwiękowe, z ustawionych wyżej mikrofonów
- Bliskie ujęcia (mikrofonowe) brzmią troszkę płasko. Gdy się ustawi mikrofony dalej to sala bardzo dobrze współgra z wykonawcami – składami kameralnymi. Przy nagrywaniu orkiestry trzeba ustawić mikrofony znacznie wyżej żeby "wyzwolić" dźwięk.
- Na widowni, szczególnie przy obecności publiczności, przewaga dźwięku bezpośredniego.
- Słychać, że sala nie jest duża, przy nagrywaniu większych składów może to stanowić problem, szczególnie jeśli chce się osiągnąć zadowalającą przestrzenność brzmienia.

- Sala specyficzna, bardzo trudno jest w niej uzyskać odpowiednią przestrzenność brzmienia. Nie daje żywej odpowiedzi na dźwięk, bardzo trudno jest w niej zbudować głębię obrazu dźwiękowego. Występują problemy z osiągnięciem żywej przestrzeni, dystansu, zadowalającego planu ogólnego w nagraniu.
- Brakuje „powietrza”, „oddechu”, mało bliskich odbić. Trudno ją pobudzić – na przykład podczas nagrywania gitary klasycznej solo występują trudności z uzyskaniem właściwej przestrzenności obrazu dźwiękowego.

4.7. Pogłos

- Pierwsze wrażenie przy testowaniu klaskaniem jest przeciętne, ale sala pięknieje na muzyce. Pogłos niezbyt długi, nie koloryzuje, nie zamula, ograniczony częstotliwościowo od dołu i wyższej góry pasma, nie buczy i nie syczy, nie ma negatywnego wpływu na brzmienie muzyki [...] Nie ma miejsca na sali, w którym pogłos przeważałby nad dźwiękiem bezpośrednim.
- Pogłos nie za krótki, przyjemny.
- Ciepła, przyjemna przestrzeń (pogłos).
- Góra i dół (pasma częstotliwości) w pogłosie wytłumione.
- Przy mocniejszym pobudzeniu nagle pojawiają się opóźnione wydłużone wybrzmienia mocniejszych dźwięków, co paradoksalnie czasem polepsza ogólne wrażenie przestrzenności.

4.8. Zakłócenia, zniekształcenia i inne wady dźwięku

- Słaba izolacja od hałasów otoczenia; słychać np. sygnały karetek pogoń, przy dużym deszczu – szum kropel uderzających w dach.
- Przesłuchy z innych pomieszczeń; budynek prawdopodobnie osiadł – spore szczeliny w drzwiach, słabo izolowane pomieszczenia w otoczeniu sali.
- Słaba izolacja akustyczna od otoczenia.
- Skrzypiąca estrada.
- Flutter echo, ale nie przeszkadzające w nagraniach.
- Przy głośnych, wysokich dźwiękach sopranu słyszalne zniekształcenia powstające już w powietrzu na niektórych, określonych wysokościach dźwięku.
- Brak zaplecza (pomieszczenia) do nagrań.

4.9. Porównanie z innymi salami

- Rozmówczyni nie lubi zbyt krótkiego pogłosu; jakkolwiek w sali Filharmonii Pomorskiej pogłos uznaje za dobry. Do większych składów woli większy pogłos; taki odnajduje w Gorzowie Wielkopolskim, Kielcach oraz nowej Sali Koncertowej Akademii Muzycznej w Łodzi.
- Orkiestrze symfonicznej przydałaby się większa przestrzeń, taka jak na przykład w sali Filharmonii Narodowej.

4.10. Inne uwagi

- Dźwięk amplifikowany jest w tej sali bardzo plastyczny, zachowuje swoją wyraźną lokalizację, połączoną z ciekawym wrażeniem dyfuzyjności we wszystkich wymiarach. W zasadzie chyba najważniejsze jest spostrzeżenie, że wrażenie dobrej lokalizacji projekcji kwadrofonicznej dotyczy bardzo dużego obszaru widowni.
- Warto salę zachować w jej dotychczasowej formie.
- Koniecznie należy zachować walory akustyczne sali!

4.11. Podsumowanie opinii

Przeważająca większość opinii reżyserów dźwięku na temat brzmienia sali w nagraniach muzycznych jest pozytywna. Dostrzegana i doceniana jest łatwość uzyskania klarownego obrazu fonograficznego, szlachetna barwa pogłosu, dobra selektywność brzmienia instrumentów z jednoczesną stopliwością ich barwy. Wielu reżyserów podkreśla możliwość uzyskania w nagraniach znakomitego brzmienia fortepianu, szczególnie w przypadku wybitnych wykonawców. Wszyscy reżyserzy dźwięku wyrazili opinię, że pod względem fonograficznym rozmiary i akustyka sali najlepiej służą muzyce kameralnej. Z ich punktu widzenia sala jest za mała do nagrań wielkich składów symfonicznych. Sygnalizowane były przez część reżyserów trudności z uzyskaniem zadowalającej przestrzenności, oddalenia planów dźwiękowych nagrania, wiążące się zapewne z tą właściwością sali, która przejawia się w występującym na całym obszarze poczuciem bliskości instrumentów. W przypadku szczególnych dźwięków – głośniejszych dźwięków wysokiego sopranu oraz fletu w wysokim rejestrze – zauważano sporadyczne występowanie zniekształceń brzmienia już w sali, być może powodowanych flutter echem. Z innych niedogodności zwracano uwagę na niedostateczną izolację akustyczną sali od

zewnętrznych zakłóceń, pochodzących zarówno z innych pomieszczeń Filharmonii jak i z ulicy. W sali brakuje również zaplecza do nagrań fonograficznych.

Mimo tych krytycznych uwag, wszyscy reżyserzy dźwięku, którzy przedstawili swoje opinie, uważają, że ze względu na unikatowe właściwości akustyki sali, sprzyjające znakomitym nagraniom, zwłaszcza muzyki kameralnej i fortepianowej, należy ze szczególną troską zadbać o zachowanie jej walorów.

5. OPINIE CZŁONKÓW ZESPOŁU BADAWCZEGO, O JAKOŚCI DŹWIĘKU W SALI

5.1. Programy koncertów, na których przeprowadzono oceny

Siedmioro członków zespołu badawczego uczestniczyło w próbach oraz oceniało słuchowo obraz dźwiękowy w trakcie trzech koncertów symfonicznych o różnorodnym składzie wykonawczym. Na dwóch koncertach wykonywane były dzieła wokально-instrumentalne z dużą obsadą – wielka orkiestra symfoniczna, chór, soliści, organy, na jednym – koncert fortepianowy z orkiestrą. Na dwóch koncertach zaprezentowane zostały utwory na klasyczny skład orkiestry symfonicznej.

Wszyscy członkowie zespołu badawczego mieli wieloletnie doświadczenie, jako uczestnicy grup ocen słuchowych. O opinie poproszono również czworo nauczycieli akademickich Akademii Muzycznej im. Feliksa Nowowiejskiego w Bydgoszczy oraz jednego studenta tej uczelni, od wielu lat regularnie słuchających koncertów w sali Filharmonii Pomorskiej. Opinie zostały pogrupowane zgodnie z omawianymi przez słuchaczy właściwościami akustyki sali. W niektórych przypadkach podzielono je dodatkowo na spostrzeżenia związane z danym koncertem i na stwierdzenia ogólne.

Daty i programy koncertów, na których prowadzono oceny:

6 października 2017

- Franz Schubert *VIII Symfonia h-moll* (D759),
- Olexandr Rodin *Siedem słów Chrystusa na krzyżu*,
- Siergiej Rachmaninow *Dzwony* op. 35

skład orkiestry: 3 fl+fl piccolo; 3 ob +cor ing; 4 cl, 3 fg+cfg; 6 cor; 3 tr; 3 trb; 1 tb; timp; perc+camp; 1 harp; 1 cel; 1 pf; organy; 14 vno I; 12 vno II; 9 vla; 9 cello; 5 cb;

chór: 18 S; 15 T; 18 A; 17 B;

soliści: sopran; tenor; baryton;

26 października 2017

- Wolfgang Amadeus Mozart *Requiem d-moll* (KV 626)

skład orkiestry: 2 cl; 2 fg; 2 tb; 3 tbn; timp; organy; 11 vno I; 10 vno II; 9 vla;
9 cello; 5 cb;

chór: 26 S; 24 A; 13 T; 25 B.

solści: sopran; mezzosopran; tenor; bas;

17 listopada 2017

- Wolfgang Amadeus Mozart: Uwertura do opery *Czarodziejski flet*
- Joseph Haydn: *Symfonia Es-dur* nr 99,
- Johannes Brahms: I *Koncert fortepianowy d-moll* op. 15

skład orkiestry: 2 fl; 2 ob; 2 cl, 2 fg; 2 (4) cor; 2 tr; timp; 10 (12) vno I; 8 (10) vno II; 7 (9) vla; 5 (9) cello; 4 (5) cb; (w nawiasach – powiększony skład do koncertu Brahmsa);

instrument solowy – fortepian

5.2. Intymność, poczucie obecności źródeł dźwięku, czytelność brzmienia

- Sala daje wrażenie intymnego kontaktu z wykonawcą.
- Sala ma intymny charakter oraz zapewnia dużą czytelność dźwięku.
- Bardzo dobra czytelność, selektywność i wyrazistość artykulacji dźwięku.
- Dźwięk selektywny, czytelny.
- Wrażenie bliskości źródeł dźwięku, nawet w najdalszych rzędach widowni.
- Duża precyzja i selektywność brzmienia. Ładna stopliwość smyczków.
- Dźwięk ciepły, bliski, bardzo przyjemnie rozproszony w sposób, który nie pozbawia go czytelności i wrażenia bezpośredniego kontaktu.
- Sala daje wrażenie intymnego kontaktu z wykonawcą a jednocześnie, gdzieś za słuchającym, uruchamia się bardzo subtelna przestrzeń.
- Sala pomaga zatrzeć ewentualne braki wykonawcze, zwłaszcza w utworach współczesnych.

5.3. Barwa dźwięku

Opinie ogólne

- Zachowana jest równomierność pasm częstotliwości dźwięku przy mniejszych i większych składach muzycznych, od solistów po orkiestrę symfoniczną.

Nie ma dominującego pasma, za wyjątkiem sporadycznego wzbudzania się dźwięku w paśmie najwyższych częstotliwości, na przykład w wysokich partiach fletu.

- Wyrównana barwa dźwięku na całej widowni.
- Wszędzie słyszeć bardzo podobnie. Dźwięk wszędzie dochodzi, żadna grupa instrumentów nie niknie.
- Dźwięk jasny i klarowny (to co inni nazwali brakiem dołów)[...] nie nazwałabym go „ciepłym”.
- W każdym miejscu sali skład brzmi podobnie, może czasami giną basy.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Słyszeć pełne pasmo. [...] W utworze Rachmaninowa [...] zdarzyło się, że w najgłośniejszych fragmentach tutti dźwięk kumulował się w środkowym paśmie, a całość zagłuszała nawet organy.
- W odniesieniu do wszystkich utworów momentami spadał odbiór wiolonczeli, w zasadzie całej sekcji, słuchanej z miejsca po prawej stronie na widowni, do którego cała sekcja ustawiona jest bokiem. Kontrabasy słyszalne były w optymalnej proporcji, praktycznie we wszystkich stopniach muzycznej skali dynamiki.

Koncert w dniu 26.10.2017

- W miejscu słuchania (kilka rzędów od tylnej ściany, w środku lewej połowy centralnej części widowni) dominujące, nieprzyjemne brzmienie sopranów, niedostatek głosów niższych, szczególnie dotkliwy brak basów (po wykonaniu *Requiem* Mozarta, w dniu 26.10.2017 r.).

5.4. Dynamika muzyczna

- Obszerna dynamika – od przejrzystego i czytelnego pianissimo po fortissimo, które jedynie momentami wydaje się być ograniczone, "zbyt małe".
- Przy małych zespołach i solistach możemy bez problemu słyszeć partii piano oraz liczyć na dużą rozpiętość dynamiczną, nie tracąc na czytelności.
- Dobrze brzmiące różnice dynamiczne w orkiestrze o klasycznym składzie, piękne piano, przy forte, choć mieszczącym się w sali, można odczuć

niedobór przestrzenności, objętości dźwięku, szczególnie przy sali wypełnionej publicznością.

- Czytelne były piana. Nigdzie też dźwięku nie było za dużo, nie był za głośny, męczący czy przytłaczający (opinia po próbie 6.10.2017, słuchanej z wielu miejsc na widowni).
- Sala bardzo dobrze brzmi w dynamice piano, myślę, że to jej najmocniejsza strona (równomierne piano w całej sali).

5.5. Pogłos

- Instrumenty orkiestry wybrzmiewają z pięknym, naturalnym pogłosem.
- Czasem słychać rezonans – wybrzmienie akordu forte.
- Wybrzmienie sali bardzo dobre, dźwięk się nie urywa.
- Pogłos sali sprzyja klarowności, nie odczuwa się jej odbić w sposób impulsowy. Jest on miękki i pełni rolę podobną do fortepianowego pedału sostenuto, wydłużając dźwięk przy nieznacznej zmianie ataku dźwięku.
- Sala o ładnej, dość jasnej, łagodnej barwie niezbyt długiego pogłosu. Przy mocniejszym pobudzeniu (duży skład, *ff*) w pauzach generalnych pojawia się zaskakująco długi „ogon” wybrzmienia.
- Czasami chciałoby się, by dźwięk dłużej wybrzmiewał.
- Przeszkadza mi "ogon" uciekający pod sufitem, zwłaszcza, że słabo łączy się z dźwiękiem bezpośrednim – ma w sobie coś metalowego, jest na tyle później po dźwięku, że nie można go traktować jak wybrzmienia.
- Słychać wyraźny, długo brzmiący ogon pogłosowy rozchodzący się po bokach. Selektywna i jasna przestrzeń pogłosowa.

5.6. Wielkość zespołu wykonawczego

Opinie ogólne

- Sala bardzo dobrze mieszcząca dźwięk dużego zespołu, forte nie przytłacza, nie męczy.
- Sala brzmi bardzo dobrze przy zespołach o różnej wielkości.
- Osobiście najbardziej lubię koncerty kameralne, typu kwartet smyczkowy i lokalizację w piątym-szóstym rzędzie na środku.
- Zawsze brzmi bardzo dobrze, również podczas recitali.

- Przy największych zespołach, jak orkiestry z chórem, można odczuć niedosyt potężnego brzmienia dużej Sali Koncertowej.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Ładne brzmienie orkiestry kameralnej. Większy skład symfoniczny zatyka salę.
- Wykonanie na próbie orkiestry w niewielkim składzie brzmi jak dobre nagranie.
- Niewystarczająca moc chóru – może to być wina liczby muzyków na scenie.
- W utworze Rachmaninowa praktycznie cały aparat wykonawczy zmieścił się w sali, niewiele było fragmentów forte, które „krzyczały”.

Koncert w dniu 26.10.2017

- Sala robiła na tym koncercie wrażenie bardzo przeciętnej. Brzmienie dużego zespołu wykonawczego płaskie.
- Skład z *Requiem* na pewno był za duży na tę salę, w muzyce kameralnej sala brzmi o wiele lepiej.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Siedziałem na osi sali w siódmym rzędzie. Do brzmienia dźwięku w uwerturze Mozarta i Symfonii Haydna nie mam żadnych zastrzeżeń. W koncercie Brahmsa orkiestra również brzmiała bardzo dobrze, dźwięk był czytelny i nasycony.

5.7. Lokalizacja źródeł dźwięku

Opinie ogólne

- Dobra lokalizacja poszczególnych instrumentów w panoramie, czytelne plany dźwiękowe (odległości), a jednocześnie spójna całość.
- Położenie źródła dźwięku jest stosunkowo łatwe do rozpoznania dla słuchacza. Również przy dużych zespołach orkiestrowych poszczególne instrumenty są wyraźnie usytuowane w panoramie.
- Bardzo dobra lokalizacja źródeł (instrumentów) na estradzie, praktycznie z każdego miejsca na widowni.
- Bardzo dobra lokalizacja instrumentów.

- Odbiór muzyki jest bardzo dobry, właściwie z każdego miejsca widowni.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Kłopoty z lokalizowaniem dźwięków fortepianu; słyszalna szerokość fortepianu monstrualnie przerastała rzeczywiste i estetycznie uzasadnione rozmiary tego instrumentu.

5.8. Słyszalność i brzmienie dźwięku solistów

Opinie ogólne

- W koncertach fortepianowych zdarzało się, że fortepian nie przebijał się przez orkiestrę.
- Dobrze postawiony głos, na przykład Aleksandry Kurzak, porusza całą salę. Dźwięk w sali ma znakomitą nośność.
- Przy problemach wykonawczych zdarza się gorsza słyszalność nawet około 10. rzędu. Problemy ze słyszalnością na widowni dotyczą nawet pianistów.
- Doświadczenie słuchania fortepianu solo ze środka sali, miejsca, gdzie siedzi jury (konkursu Rubinsteiną), miałem negatywne. Przede wszystkim przeszkadzało mi wielkie nieuporządkowanie, przypadkowe wymieszanie i brak wyrównania zarówno barwowego jak i przestrzennego rejestrów instrumentu.

Opinie po poszczególnych koncertach

Koncert w dniu 6.10.2017

- Problem ze śpiewakami, przede wszystkim z tenorem – dźwięk ginął w orkiestrze. [...]sopranistka jakoś się broniła, najlepsze wrażenie robił bas.
- Nierówna słyszalność solistów-wokalistów.
- Z głosów solowych sopran najbardziej transparenty. Partia harfy, oboju bardzo dobrze słyszalna, czytelna.

Koncert w dniu 17.11.2017

- Niedobre brzmienie fortepianu, brak lokalizacji, czytelności i wyrównania rejestrów, zbyt wielkie rozmiary słyszalnego źródła, generalny „bałagan” w obrazie dźwiękowym solowego instrumentu (rzqd 18, miejsce 18).

- Mam zastrzeżenia w odniesieniu do brzmienia fortepianu – dźwięk był cienki, za mało nasycony, zwłaszcza w I części *Koncertu*. Trudno jest jednoznacznie stwierdzić, w jakim stopniu przyczyniła się do tego sala, a w jakim stopniu była to wina pianistki [...] nie miałem kłopotu z lokalizacją (fortepianu), fortepian był dość szeroki, co w koncercie Brahmsa może być zaletą, ale zdecydowanie brakowało nasycenia dźwięku i mocniejszego oparcia (rzęd 7, miejsce 18).
- Fortepian brzmi w tej sali źle gdy jest ustawiony przy krawędzi estrady, tak jak ma to miejsce w koncertach fortepianowych. [...] kłopoty z lokalizowaniem dźwięków fortepianu (rzęd 14, miejsce 8).

5.9. Przestrzenność i głębia obrazu dźwiękowego

Koncert w dniu 6.10.2017

- Chór był bardzo czytelny, wszystkie głosy znakomicie słyszalne, a jednocześnie wiadomo było, że stoi za orkiestrą.[...] plany orkiestry (ustawienie instrumentów w głębi estrady) też były czytelne.
- Instrumenty dęte wyraźnie słyszalne w bliskim planie.
- Sala sprawia wrażenie bardzo otwartej, pełnej brzmieniowo.

Koncert w dniu 26.10.2017

- Rozczarowanie płaskością i brakiem przestrzenności brzmienia zespołów.
- Niedostatek głębi i perspektywy obrazu dźwiękowego,

5.10. Zakłócenia i inne wady dźwięku

- Intymność sali niesie ze sobą zbyt dobrą słyszalność publiczności, co w przypadku niezachowywania ciszy przez słuchaczy potęguje rozproszenie innych.
- Bardzo duże przesłuchy z innych pomieszczeń Filharmonii, w tym z garderób i Sali Kameralnej.
- Słyszalne dźwięki z zewnątrz – absolutne kuriozum.
- Przesłuchy z innych sal.

5.11. Porównanie z innymi salami koncertowymi

Sala Filharmonii Pomorskiej jest na pewno lepsza niż w Gdańsku, nie gorsza od sali NOSPR, a nawet sali Gewandhaus w Lipsku, może nie tak dobra jak Barbican w Londynie.

5.12. Podsumowanie opinii

Opinie słuchaczy dzielą się wyraźnie na dwie grupy. Pierwsza z nich zawiera stwierdzenia natury ogólnej, odnoszące się do całokształtu doświadczeń słuchowych w sali. Są one pozytywne, często podkreślające cechy wyróżniające Salę Koncertową Filharmonii Pomorskiej: dobrą czytelność, selektywność i wyrazistość artykulacji dźwięku, intymność brzmienia, precyzyjną lokalizację instrumentów na estradzie i ich wyrównaną barwę odbierane z każdego miejsca na widowni, dobrze brzmiące różnice dynamiczne w zespołach o nie za dużym składzie.

Druga grupa wypowiedzi odnosi się do wrażeń z poszczególnych koncertów i tu opinie są bardziej podzielone. Powszechnie, jako dobrze brzmiące ocenione zostały utwory wykonywane przez klasyczną orkiestrę symfoniczną w umiarkowanej obsadzie (symfonie Schuberta i Haydna, uwertura Mozarta). Zastrzeżenia, choć niejednogłośne, dotyczyły wielkiego składu w *Dzwonach* Rachmaninowa. Dla jednych słuchaczy sala była zbyt mała dla tego utworu, dostrzegali niedostatek potęgi brzmienia i kłopoty ze słyszalnością solistów. Dla innych generalna czytelność i zachowanie proporcji brzmienia równoważyły poczucie niedopasowania aparatu wykonawczego do rozmiarów sali. Niewątpliwie miał na to wpływ wysoki poziom profesjonalny wykonania dzieła. Wykonanie *Requiem* Mozarta, bardziej spontaniczne, z udziałem chóru amatorskiego, wzbudziło więcej uwag krytycznych, ujawniło bowiem zarówno niedostatki wykonania, jak i brak przestrzennego wsparcia ze strony sali, tendencje do spłaszczania obrazu dźwiękowego i uwypuklania nierównomierności czasowych i barwowych, na przykład niezadowalającą słyszalność głosów basowych.

Opinie na temat słyszalności solistów sformułowane po koncertach wskazują, że sala nie jest dla nich łatwa. Od śpiewaków wymaga nie tylko nośnego głosu, ale i dużych umiejętności, gdyż sala nie maskuje niedoskonałości wykonania.

Szczególnie dużo krytycznych opinii odnosi się do brzmienia fortepianu, zarówno w wypowiedziach ogólnych, jak i dotyczących koncertu Brahmsa. Część z tych

zastrzeżeń, odnoszących się do barwy i wolumenu brzmienia można łączyć z cechami konkretnego egzemplarza instrumentu oraz charakterem dźwięku pianistki, inne zaś dotyczące czytelności, przestrzenności i adekwatnej wielkości słyszalnego źródła dźwięku, niewątpliwie zależą od akustyki sali. Jak wynika z przytoczonych wypowiedzi, jest ona zdecydowanie niekorzystna dla instrumentu ustawionego blisko brzegu estrady. Być może ogólnie jasny pogłos, niewspierający dźwięku w paśmie niższych częstotliwości, ma również wpływ na odbiór utworów wymagających pełni i potęgi brzmienia fortepianu, zaś rozkład odbić powoduje niekorzystne rozmycie przestrzenne dźwięku.

W opiniach natury ogólnej większość wypowiadających się dobrze ocenia brzmienie pogłosu. Niektórych niepokoi dodatkowe, długie wybrzmienie wyraziście pojawiające się po głośnych dźwiękach, inni uznają to za zaletę. Członkowie grupy badawczej uważają to zjawisko za element, który należy potraktować bardzo uważnie, gdyż zapewne jego przyczyną jest nieszczelność akustyczna sali, która może mieć wpływ na całokształt obrazu dźwiękowego. Brak właściwej izolacji akustycznej dostrzegany jest także w wypowiedziach na temat licznych zakłóceń akustycznych, pochodzących z zewnątrz sali, słyszanych również w trakcie koncertów.

Na zakończenie należy podkreślić, że mimo zgłaszanych szczegółowych zastrzeżeń, wszyscy eksperci, którzy dokonywali oceny ogólnej są zgodni, że Sala Koncertowa Filharmonii Pomorskiej ma bardzo wyraziste i charakterystyczne brzmienie, którego walory powinno się zachować. Tym bardziej, że są one doceniane w środowisku muzycznym.

6. Nagrania prób i koncertów

W celu udokumentowania brzmienia utworów muzycznych w badanej sali dokonano nagrań prób i koncertów w dniach 6 i 26 października 2017 r. oraz koncertu 17 listopada 2017 roku. Repertuar i skład zespołów wykonawczych podano w punkcie 5 niniejszego opracowania. Nagrań dokonywano techniką sztucznej głowy, z wykorzystaniem dwóch różnych systemów nagraniowych: systemu mikrofonowego Neumann KU100 oraz pomiarowego symulatora głowy i tułowia Brüel & Kjaer 4100-D. Taki sposób ujęcia mikrofonowego jest najbliższy mechanizmom ludzkiego słyszenia, zaś umieszczenie mikrofonów w stabilnej obudowie, odwzorowującej kształt ludzkiej głowy ułatwia kontrolę i powtarzalność warunków nagrania. Dokonywane w trakcie nagrań porównania dźwięku słyszanego bezpośrednio w sali oraz dźwięku rejestrowanego za pomocą opisanych urządzeń potwierdziły słuszność obranej metody. Należy zatem uznać, że odsłuchiwane we właściwy sposób, za pomocą słuchawek, nagrania wiernie oddają wrażeniowe cechy obrazu dźwiękowego produkcji muzycznych w badanej sali.

Sygnały foniczne uzyskane ze sztucznej głowy firmy Neumann były zapisywane cyfrowo na rejestratorze Sound Devices 744T, przy użyciu jego wewnętrznych przedwzmacniaczy oraz wewnętrznego dysku twardego. Zastosowano zapis bez kompresji danych w formacie PCM, z rozdzielczością 24 bitów, z częstotliwością próbkowania 48 kHz (na koncercie 6 października) oraz 96 kHz (17 listopada).

System Brüel & Kjaer rejestrował dźwięk we własnym formacie PDI zawierającym również informacje o typie zastosowanych mikrofonów oraz ich kalibracji. Sztuczne głowy umieszczane były na wybranych miejscach widowni, wśród publiczności. Na załączonym planie sali zaznaczono te miejsca.

Dołączony do niniejszego opracowania nośnik pamięci zawiera cyfrowe kopie nagrań wszystkich koncertów w oryginalnych formatach zapisu. Rejestrują one obecne brzmienie sali, stanowiąc materiał dopełniający dokumentację akustyczną. Zawarte w nich dane mogą posłużyć w przyszłości do porównania i oceny słuchowej ewentualnych zmian akustyki, jakie mogą zaistnieć po przeprowadzeniu prac remontowo-modernizacyjnych.

CZĘŚĆ II – POMIARY AKUSTYKI SAL

1. Cel pomiarów

Celem pomiarów było uzyskanie szczegółowych danych o parametrach akustycznych Sali Koncertowej, przy dwóch aranżacjach widowni i estrady:

- w sali zapelnionej przez publiczność i orkiestrę,
- przy pustej estradzie i widowni.

Pomiary Sali Koncertowej z publicznością przeprowadzono dwukrotnie, w obecności pełnego składu orkiestry (80 muzyków i 60 osobowy chór) i pełnej widowni (900 słuchaczy).

Pomiary pustej Sali Koncertowej przeprowadzono czterokrotnie, w różnych terminach w październiku i listopadzie 2017 r. Pomiary akustyczne Sali Kameralnej wykonano przy pustej estradzie i widowni.

2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne

W zakres pomiarów wchodziło wyznaczenie następujących parametrów i wskaźników akustycznych sal:

a. Sala Koncertowa:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- siła dźwięku G,
- czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- wskaźniki wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late},
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- współczynnik korelacji międzyuszej IACC,
- wskaźniki przestrzenności dźwięku: LEV (Listener Envelopment) i DSB (Degree of Source Broadening),
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer i w Sali Kameralnej.

b. Sala Kameralna:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer Sali Kameralnej.

W czasie pomiarów bez publiczności w salach utrzymywała się temperatura 23° i wilgotność względna powietrza 40%.

3. Metodyka pomiarów

3.1. Dokumenty normalizacyjne

Pomiary właściwości akustycznych wykonano zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 3382-1:2009 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: pomieszczenia specjalne”. Wybór procedury pomiarowej - według wytycznych normy PN-EN ISO 18233: 2006 „Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń”. Przy pomiarach izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami zastosowano wytyczne normy PN-EN ISO 717-1:2013 „Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych”.

3.2. Procedura pomiaru parametrów i wskaźników akustycznych

Procedura pomiarów polegała na cyfrowej rejestracji odpowiedzi impulsowych a następnie obliczeniu wartości poszczególnych parametrów i wskaźników akustycznych sali. Odpowiedzi impulsowe uzyskiwano przez przetworzenie pomiarowego sygnału sinusoidalnego o zmiennej częstotliwości (sine sweep), który był odtwarzany w sali przez dwunastościenny zestaw głośnikowy dużej mocy, jak to opisano w PN-EN ISO 18233: 2006.

3.3. Punkty pomiarowe

Pomiary akustyczne sali z orkiestrą i publicznością wykonano w dwóch punktach na estradzie oraz w ośmiu równomiernie rozmieszczonych punktach na widowni, przy jednej pozycji źródła dźwięku w centralnej części estrady.

Przy pomiarach w sali pustej, źródło dźwięku ustawiano w kilku pozycjach na estradzie. Do każdej pozycji źródła dźwięku mikrofony pomiarowe ustawiano w 10 punktach na widowni i w 4 – 6 punktach na estradzie.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych oraz źródła dźwięku pokazano na rzutach sali.

3.4. Pomiary binauralne

Zastosowana metodyka pomiarów binauralnych jest rozwinięciem metody opisanej w PN-EN ISO 3382-1. Celem tych pomiarów było wyznaczenie wskaźników akustycznych LEV i DSB, które są miarą wrażenia przestrzenności dźwięku odbieranego przez słuchaczy i mają zastosowanie do porównawczej oceny jakości akustycznej sal koncertowych (L. Beranek, JASA 2011).

Do pomiarów binauralnych zastosowano sztuczną głowę KU100 Neumann, z mikrofonami umieszczonymi na wejściach do kanału usznego ucha lewego i prawego. Za pomocą tych mikrofonów rejestrowano odpowiedzi impulsowe, jednocześnie w obu kanałach usznych, w 10 kolejnych pozycjach na widowni.

Mierzonymi binauralnymi parametrami były współczynniki korelacji międzyuszej $IACC_{Early [0,80]}$ (okienko czasowe odpowiedzi impulsowej 0-80 ms) i $IACC_{Late [80,+]}$ ($IACC$ obliczone z przebiegu odpowiedzi impulsowej po 80 ms) oraz siła dźwięku G , dB, charakteryzująca wrażenie głośności muzyki docierającej do słuchaczy. Podobnie jak w odniesieniu do $IACC$, siła dźwięku G obliczana była w dwóch przedziałach czasu trwania odpowiedzi impulsowej, w celu oszacowania wczesnej siły dźwięku $G_{Early [0,80]}$ i późnej $G_{Late [80,+]}$.

Wskaźniki przestrzenności dźwięku LEV i DSB obliczane były z poniższych wzorów:

- miara wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment):

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{mid} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{mid})$$

oraz

- ocena stopnia zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening):

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

3.5. Pomiar wskaźników wspomagania akustycznego estrady

Zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 3382, pomiary wskaźników wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late} należy wykonywać w pustej sali. Przyjęto trzy ustawienia źródła dźwięku testowego na estradzie i 3 x 2 punkty mikrofonowe, usytuowane w odległości 1 m od źródła dźwięku. Dane wyjściowe zawierają charakterystyki parametrów akustycznych ST_{early} i ST_{late} w 4 pasmach oktaowych 250 – 2000 Hz.

3.6. Pomiary izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami

Sygnałem testowym podczas pomiarów izolacyjności akustycznej był szum różowy. Źródło dźwięku ustawiano w trzech kolejnych pozycjach w pomieszczeniu nadawczym – w foyer i w Sali Kameralnej. Pomiar polegał na rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych, z zakresu częstotliwości 50 – 5000 Hz, w trzech punktach w pomieszczeniu nadawczym i w pięciu punktach w pomieszczeniu odbiorczym. Izolacyjność określono według wytycznych PN-EN ISO 717-1:2013, za pomocą jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $D_{nT,w}$, dB. Do pomiaru poziomów ciśnienia akustycznego zastosowano precyzyjny miernik poziomu dźwięku Brüel and Kjaer 2250 umożliwiający m. in. pomiar poziomu dźwięku A oraz analizę widmową ciśnienia akustycznego w pasmach tercjowych i oktaowych.

3.7. Aparatura pomiarowa

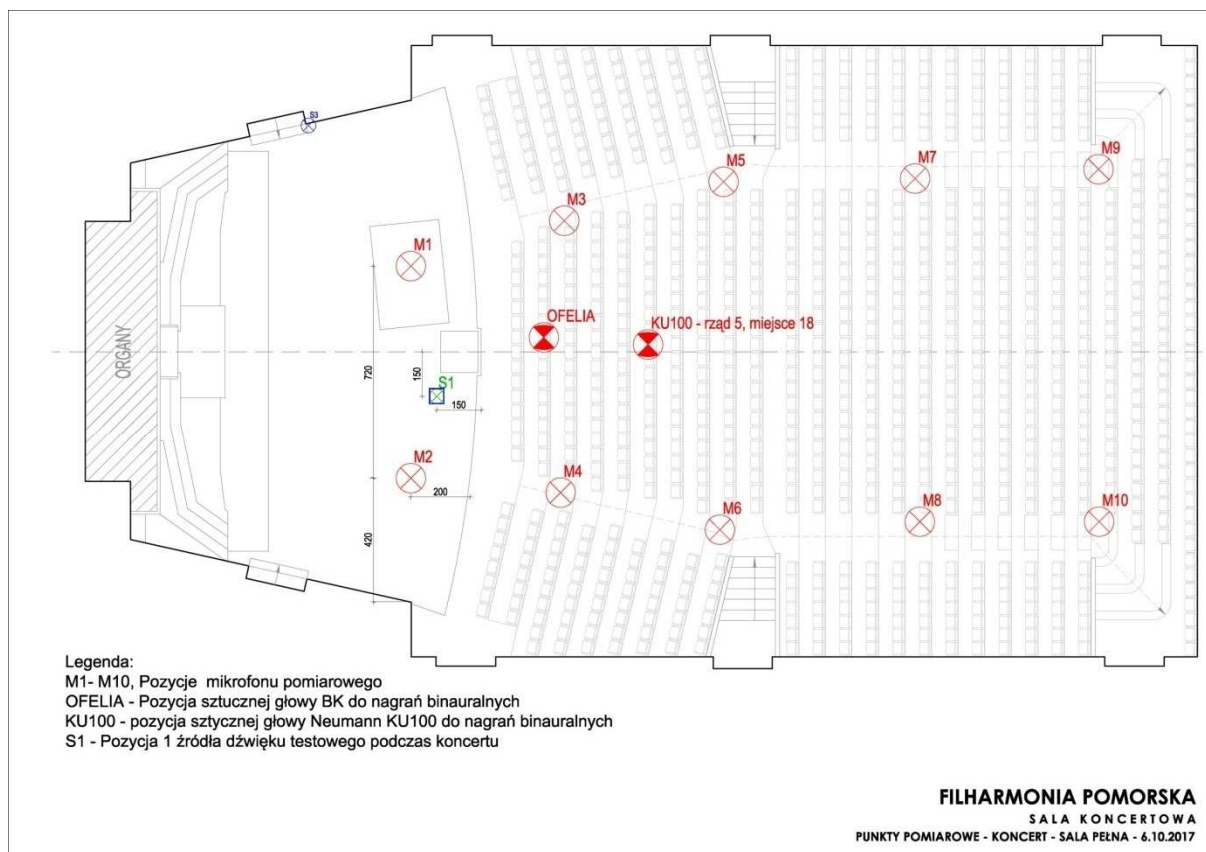
Zestaw pomiarowy zawierał następujące urządzenia:

- źródło dźwięku dodecahedron Brüel and Kjaer 4292-L,
- wzmacniacz mocy Brüel and Kjaer 2734_A,
- komputer notebook Dell XPS M1330,
- interfejs komputerowy z przedwzmacniaczem mikrofonowym RME Fireface UC,
- para pojemnościowych mikrofonów pomiarowych Microtech Gefell MK250,
- program do pomiarów akustycznych DIRAC - Room Acoustic Software 7841, v 6,
- precyzyjny miernik poziomu dźwięku Brüel and Kjaer 2250.

4. Wyniki pomiarów

4.1. Pomiary akustyczne Sali Koncertowej wypełnionej przez publiczność i orkiestrę

4.1.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



Rys. II.4.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych podczas pomiarów akustycznych Sali Koncertowej z orkiestrą i publicznością

4.1.2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

- Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- Czas wczesnego zaniku EDT,
- Czas pogłosu T30,
- Wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- Wskaźnik czytelności dźwięku C80,
- Wskaźnik zrozumiałości mowy STI.

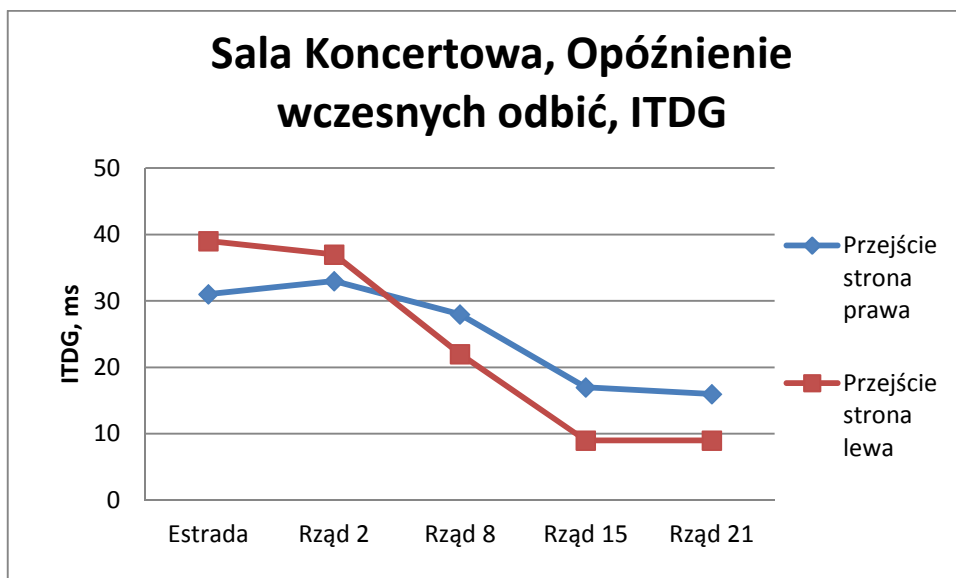
4.1.3. Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

Rysunki echogramów Sali Koncertowej zestawione są w załączniku nr 1. Z przebiegu echogramów oszacowano czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG, których amplituda przewyższała poziom -15 dB względem składowej bezpośredniej.

Wynik oszacowania czasu ITDG podano w tabeli II.4.1. oraz zilustrowano na wykresie, rys. II 4.2.

Tabela II 4.1. Czas opóźnienia wczesnych odbić dźwięku ITDG na estradzie i widowni

P. Pomiaru	ITDG Strona prawa	ITDG, strona lewa
Estrada	31	39
Rząd 2	33	37
Rząd 8	28	22
Rząd 15	17	9
Rząd 21	16	9



Rys. II.4.2. Zależność opóźnień wczesnych odbić dźwięku ITDG od odległości między źródłem dźwięku na estradzie i miejscem pomiaru na estradzie i widowni. Wykres pokazuje, że opóźnienie dźwięku stosunkowo szybciej zmniejsza się pomiędzy drugim i ósmym rzędem siedzisk

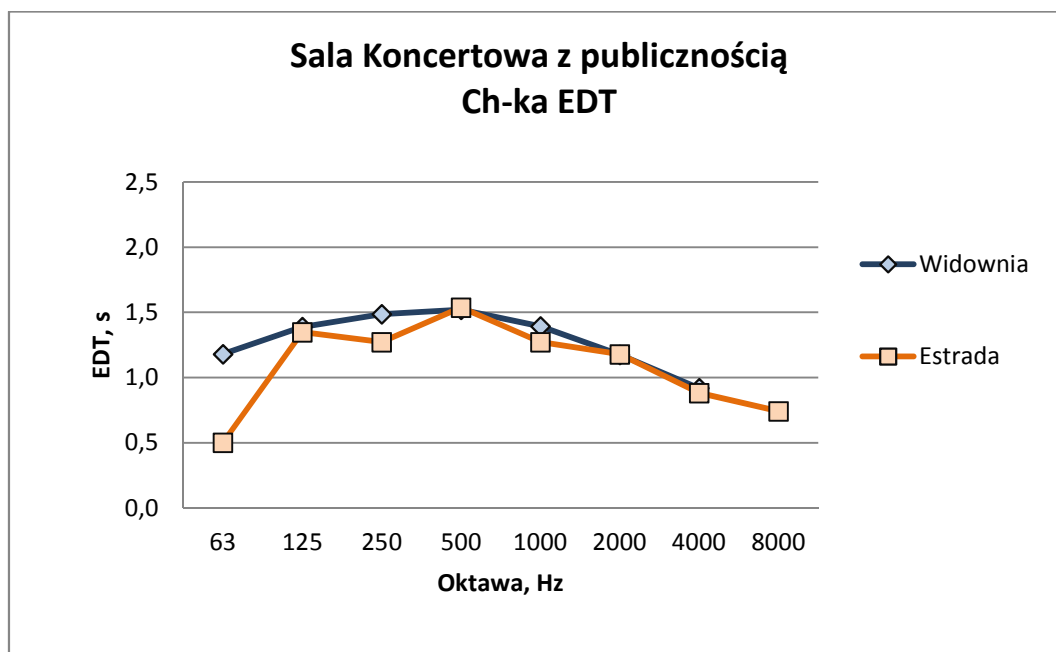
4.1.4. . Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II 4.2. podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II 4.2. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni, w Sali Koncertowej wypełnionej publicznością i orkiestrą

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT, estrada, s	0.50	1.35	1.27	1.54	1.27	1.18	0.88	0.74
EDT widownia, s	1.01	1.18	1.39	1.49	1.52	1.39	1.17	0.92

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT - rys. II. 4.3.

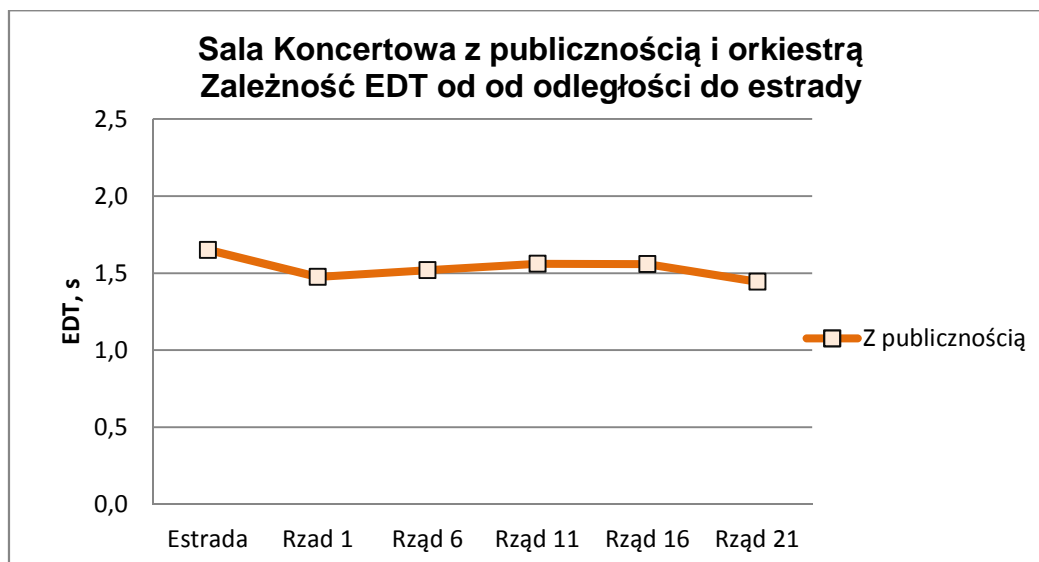


Rys. II.4.3. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT na widowni i estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 1.5 s i na estradzie 1.4 s (średnia z okta 500 – 1000 Hz).

Tabela II.4.3 i rys. II.4.4 przedstawiają zmiany wartości czasu wczesnego zaniku EDT na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość EDT jest średnią z pasm oktaowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.3. Zależność czasu wczesnego zaniku dźwięku $EDT_{500-1000}$ od odległości do estrady w sali publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
EDT, s, z publ.	1.65	1.48	1.52	1.56	1.56	1.44



Rys. II.4.4. Zmiany czasu wczesnego zaniku $EDT_{500-1000}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian EDT na widowni wynosi około 8%. Próg spostrzegania zmian czasu EDT wynosi 5%.

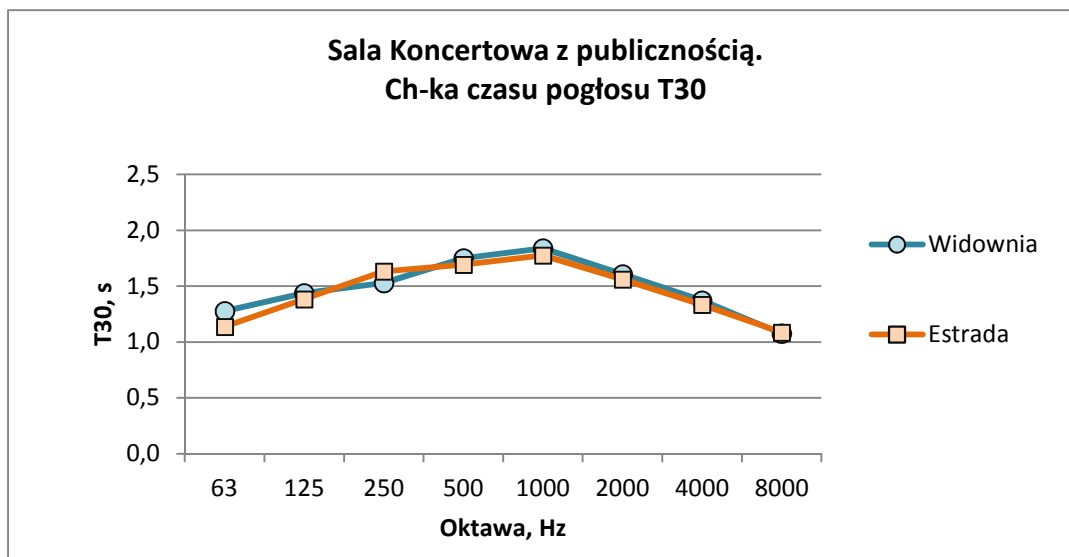
4.1.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T_{30} w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.4 podano średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla widowni i estrady obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.4. Średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{30} , estrada, s	1.14	1.38	1.63	1.69	1.78	1.56	1.34	1.08
T_{30} widownia, s	1.28	1.44	1.53	1.75	1.84	1.61	1.37	1.08

Wykres charakterystyk częstotliwościowych T_{30} - rys. II. 4.5.



Rys. II.4.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie w oktawach 63 Hz – 8 kHz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Czas pogłosu na widowni wynosi 1.80 s i na estradzie 1.74 s (średnia z oktafów 500 – 1000 Hz).

Z charakterystyki częstotliwościowej czasu pogłosu można obliczyć wartość wskaźnika określanego jako ciepło brzmienia BR (Bass Ratio).

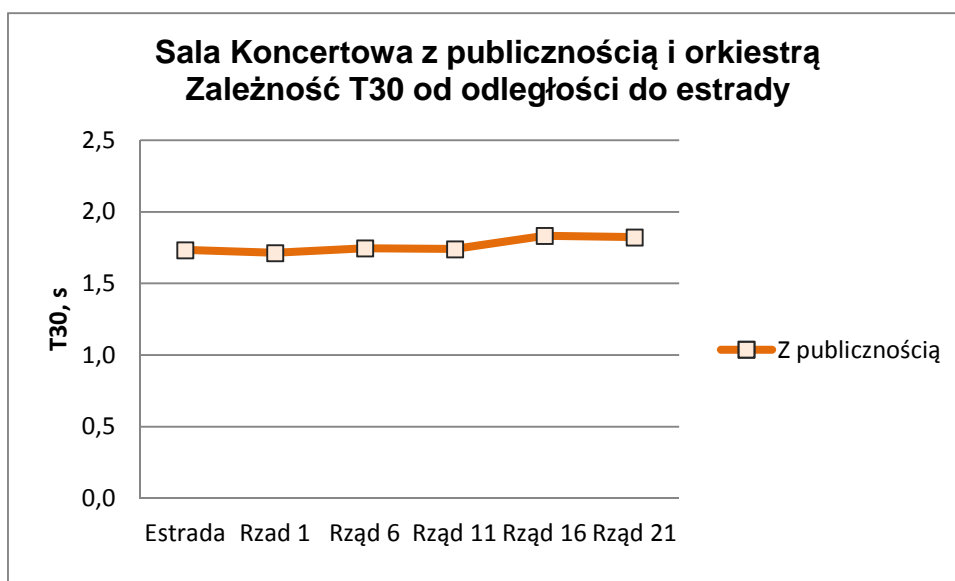
$$BR = (T_{125} + T_{250}) / (T_{500} + T_{1000});$$

Po podstawieniu danych z pomiarów, wskaźnik ciepła brzmienia Sali Koncertowej $BR = 0.83$ dla widowni i $BR = 0.87$ dla estrady. Na ogół, wskaźnik BR w salach koncertowych z publicznością przyjmuje wartość większą od 1. Zalecana wartość BR to 1.2 – 1.3.

Tabela II.4.5 i rys. II.4.6 przedstawiają zmiany wartości czasu pogłosu T30 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość T30 jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.5. Zależność czasu pogłosu T30₅₀₀₋₁₀₀₀ od odległości do estrady w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
T30, s, z publiczn.	1.73	1.71	1.75	1.74	1.83	1.82



Rys. II.4.6. Zmiany czasu pogłosu $T_{30_{500-1000}}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian T_{30} na widowni wynosi około 6%. Próg spostrzegania zmian czasu pogłosu wynosi 5%.

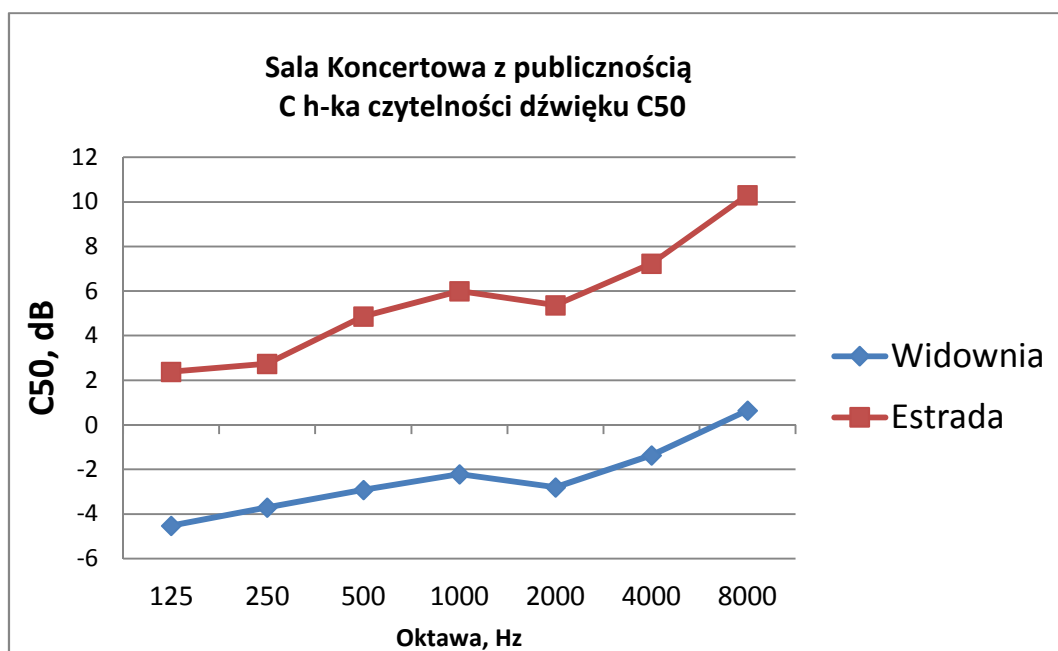
4.1.6. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.6. podano średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.6 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50, estrada, dB	2.4	2.7	4.9	6.0	5.4	7.2	10.3
C50 widownia, dB	-4.5	-3.7	-2.9	-2.2	-2.8	-1.4	0.6

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.7.

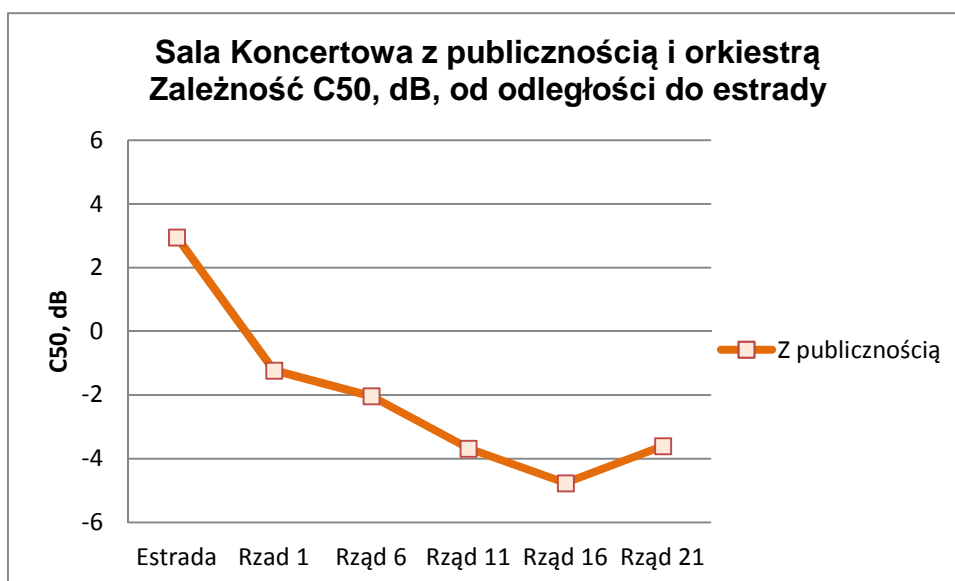


Rys. II.4.7. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni Sali Koncertowej wynosi -2.6 dB i na estradzie 5.5 dB.

Tabela II.4.7 i rys. II.4.8 przedstawiają zmiany wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość C50 jest średnią z pasm oktawowych 500 i 1000 Hz w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.7. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
C50, dB, z publ.	2.96	-1.23	-2.04	-3.68	-4.76	-3.60



Rys. II.4.8. Zmiany wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian C50 na widowni wynosi około 3.5 dB. Próg spostrzegania zmian czytelności dźwięku wynosi 1 dB.

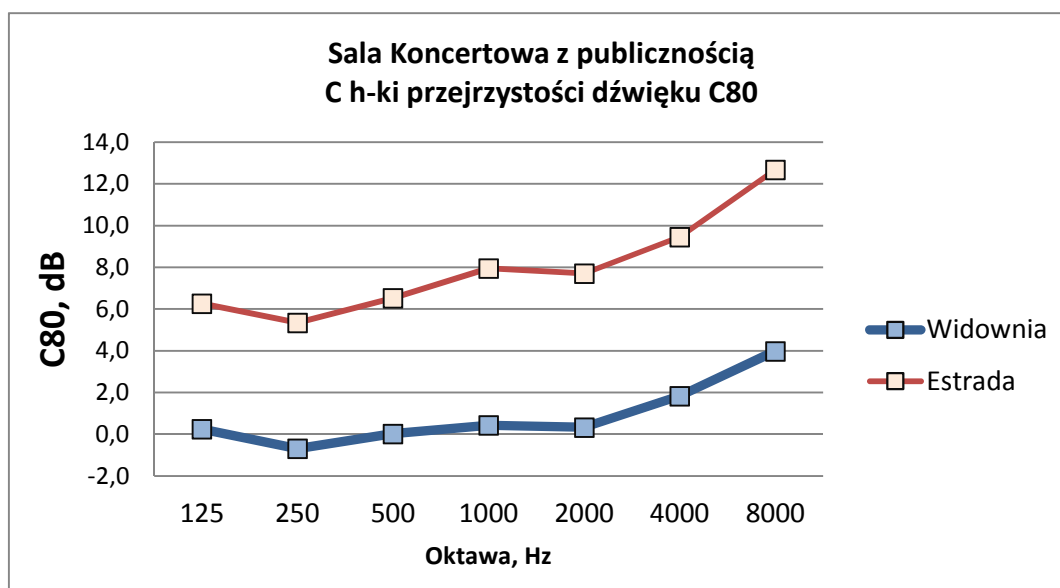
4.1.7. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.8. podano średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.8 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80, estrada, dB	6.3	5.3	6.5	8.0	7.7	9.5	12.7
C80 widownia, dB	0.3	-0.7	0.0	0.4	0.3	1.8	4.0

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.9.

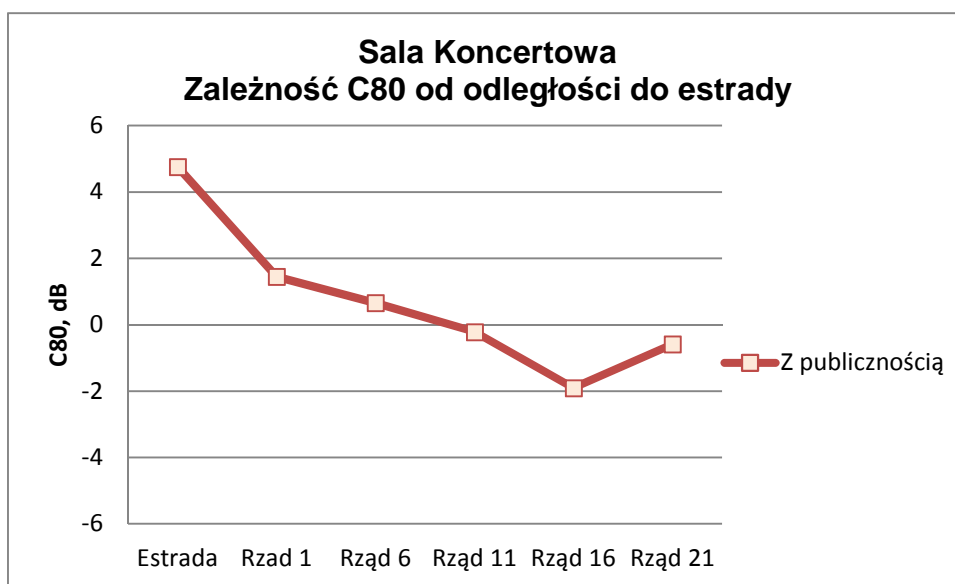


Rys. II.4.9. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wskaźnik przejrzystości dźwięku C80 na widowni Sali Koncertowej wynosi 0.2 dB, na estradzie 7.3 dB

W tabeli II.4.9 i rys. II.4.10 podano wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 w miejscach na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Podana wartość C80 jest średnią z pasm oktawowych 500 i 1000 Hz w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.9. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

Miejsce pomiaru	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
C80, dB, z publ.	4.76	1.45	0.66	-0.22	-1.90	-0.59



Rys. II.4.10. Zmiany wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian C80 na widowni wynosi podobnie jak zmiany C50, około 3.4 dB. Próg spostrzegania zmian przejrzystości dźwięku wynosi 1 dB

4.1.8. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w Sali Koncertowej z publicznością i orkiestrą

W tabeli II.4.10 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

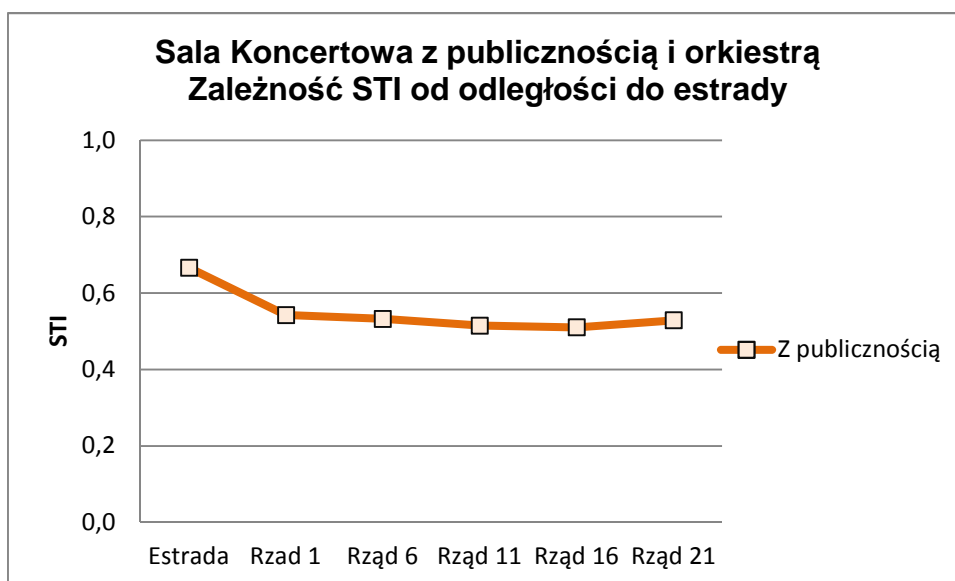
Tabela II.4.10 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni

L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Koncertowa z publicznością	0.53	0.75

W tabeli II.4.11 i rys. II.4.11 podano wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady w Sali wypełnionej publicznością i orkiestrą.

Tab. II.4.11. Zależność wskaźnika zrozumiałości mowy STI od odległości do estrady, w Sali z publicznością i orkiestrą.

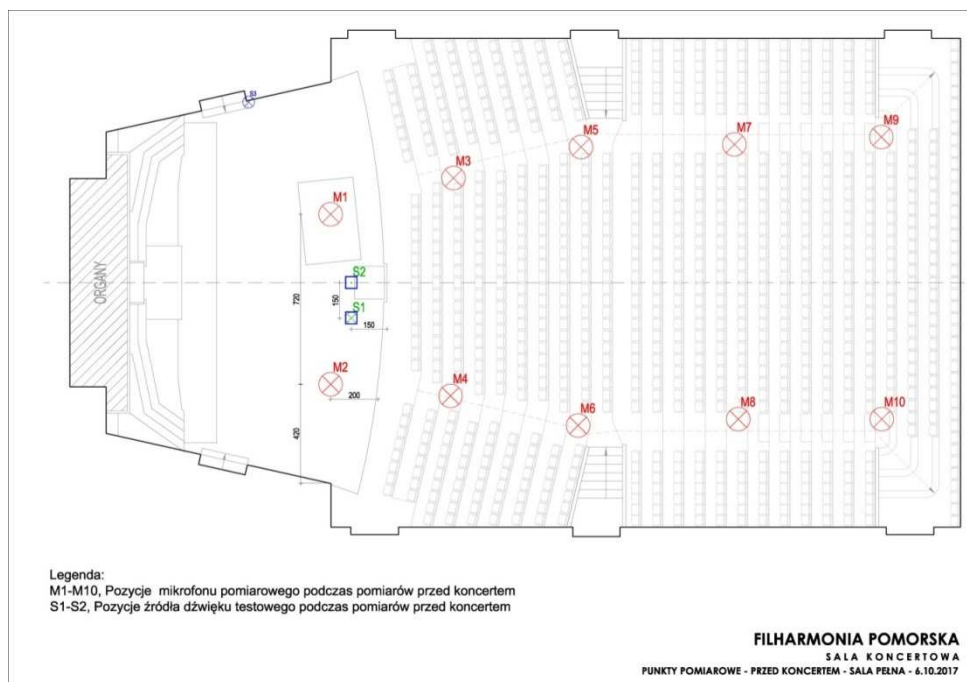
Miejsce pomiaru	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
STI, z publ.	0.67	0.54	0.53	0.52	0.51	0.53



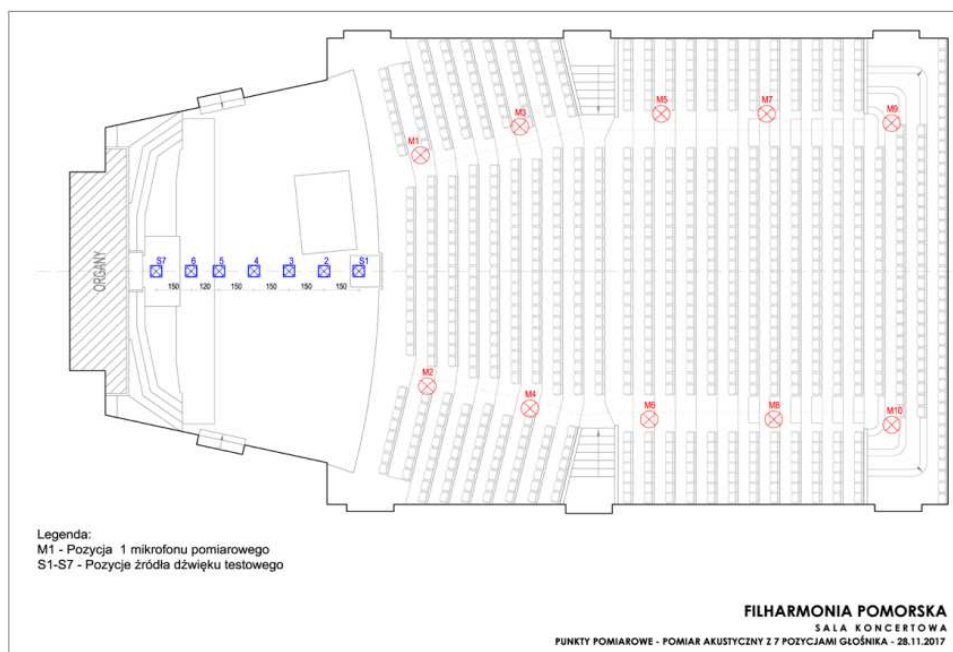
Rys. II.4.11. Zmiany wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali wypełnionej publicznością i orkiestrą. Zakres zmian STI na widowni wynosi, około 0.03. Jest to wartość mniejsza niż próg spostrzegania takiej zmiany.

4.2. Pomiary akustyczne Sali Koncertowej przy pustej estradzie i widowni

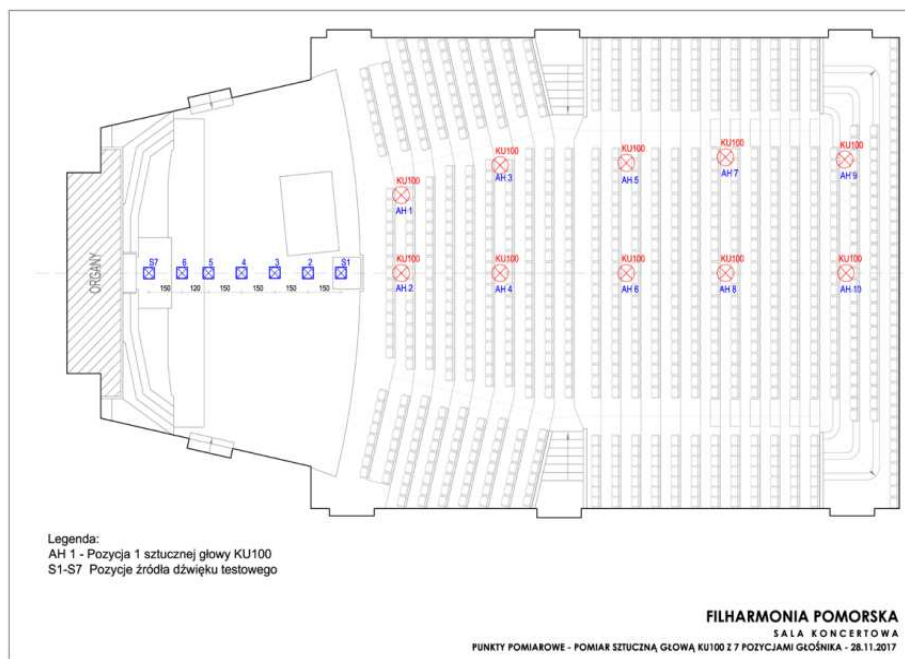
4.2.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



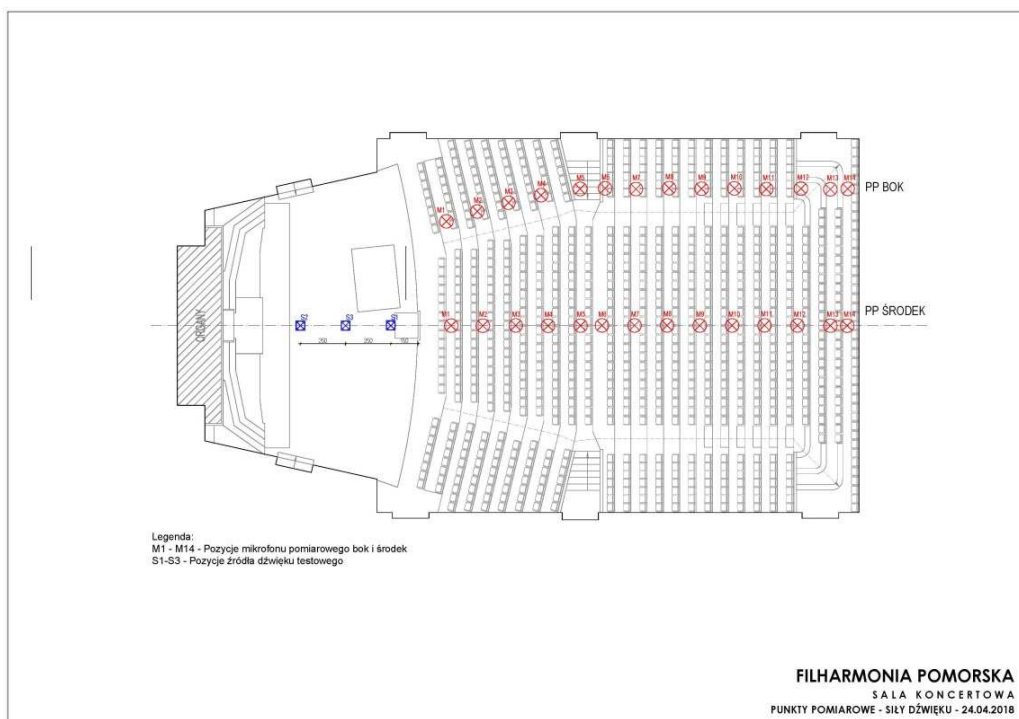
Rys. II.4.12. Punkty pomiarowe w pustej Sali Koncertowej. Dwie pozycje źródła dźwięku S1-S2 na estradzie, dwie pozycje mikrofonów pomiarowych M1- M2 na estradzie i 8 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M8 na widowni. Usytuowanie punktów pomiarowych jak w pomiarach akustycznych Sali z orkiestrą i publicznością



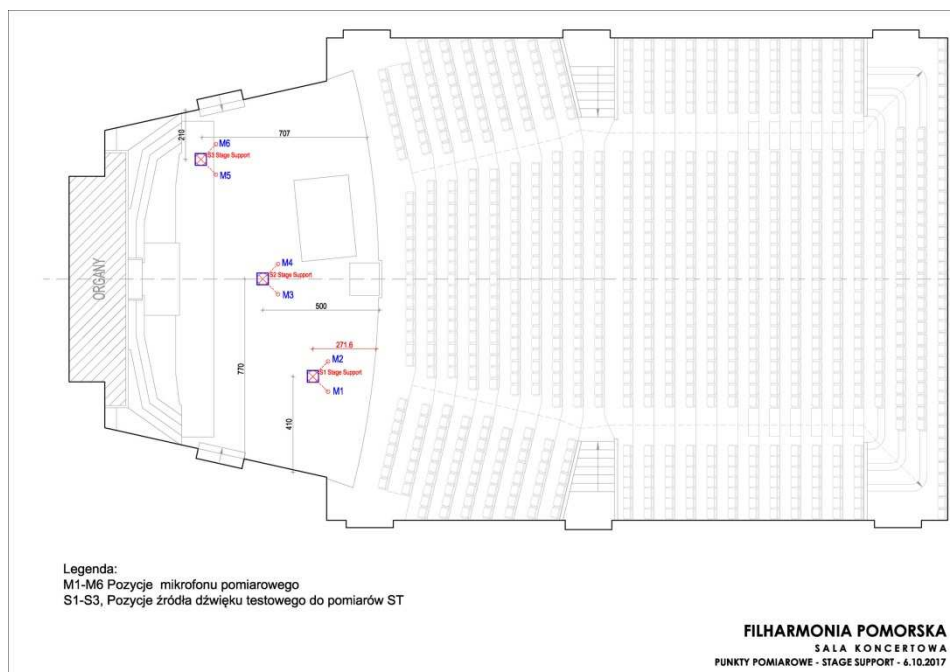
Rys. II.4.13. Punkty pomiarowe w pustej Sali Koncertowej. Badania wpływu usytuowania źródeł dźwięku na estradzie na właściwości akustyczne sali. Siedem pozycji źródła dźwięku S1-S7 na estradzie i 10 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M10 na widowni



Rys. II.4.14. Usytuowanie mikrofonów sztucznej głowy przy wyznaczaniu parametrów przestrzenności dźwięku. Siedem pozycji źródła dźwięku S1-S7 na estradzie i 10 pozycji sztucznej głowy AH1 – AH10 na widowni. Pomiary w pustej Sali Koncertowej



Rys. II.4.15. Punkty pomiarowe podczas badania wpływu odległości od estrady na siłę dźwięku G. Trzy pozycje źródła dźwięku S1-S3 na estradzie i 28 pozycji mikrofonów pomiarowych, na środku i z boku widowni



Rys. II.4.16. Punkty pomiarowe przy pomiarach wspomagania akustycznego ST estrady. Trzy pozycje źródła dźwięku S1-S3 i 6 pozycji mikrofonów pomiarowych M1 – M6 na estradzie. Mikrofony pomiarowe w odległości 1 m od środka 12-ściennego zestawu głośników pomiarowych

4.2.2. Mierzone parametry i wskaźniki akustyczne w pustej Sali Koncertowej

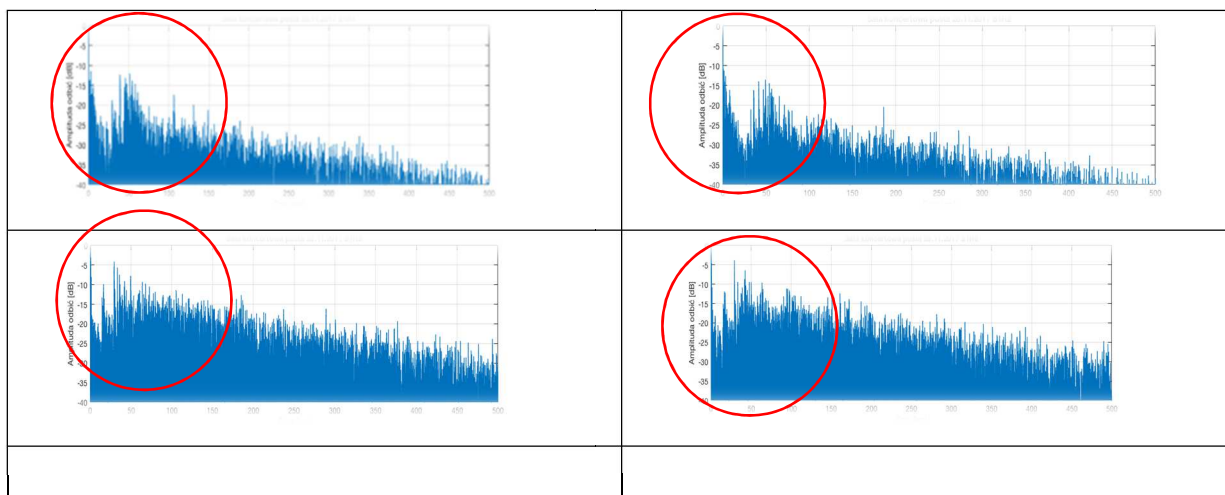
- czas opóźnienia wczesnych odbić ITDG,
- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- siła dźwięku G,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- wskaźniki wspomagania akustycznego estrady ST_{early} i ST_{late} ,
- współczynnik korelacji międzyuszej IACC,
- wskaźniki przestrzenności dźwięku: LEV (Listener Envelopment) i DSB (Degree of Source Broadening),
- izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od źródeł hałasu w foyer i w Sali Kameralnej.

4.2.3. Echogramy i czas opóźnienia wczesnych odbić w pustej Sali Koncertowej

Jedną z właściwości akustycznych sali jest czas opóźnienia wczesnych odbić, ITDG, po dojściu dźwięku bezpośredniego do słuchacza, do czasu pojawienia się

pierwszego odbicia dźwięku. Odpowiednia wartość ITDG kształtuje wrażenie intymności (bliskości) dźwięku orkiestry.

Na rysunku II.4.17 pokazano 4 przykładowe echogramy z odbiciami dźwięku, które docierały do mikrofonu po kilkunasto-milisekundowej przerwie.



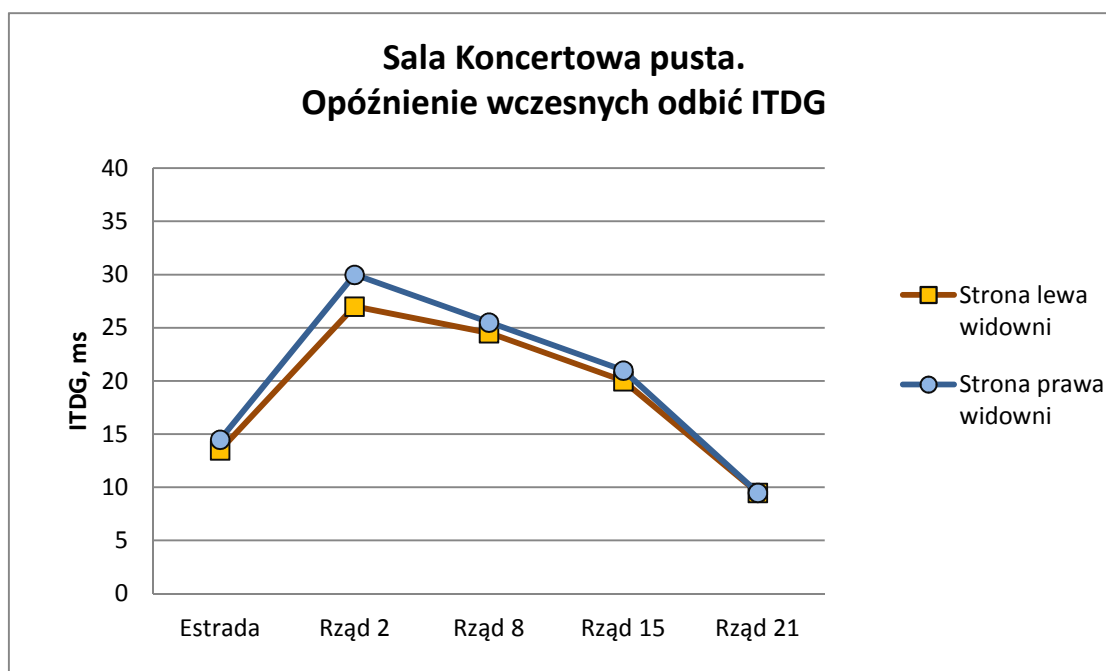
Rys. II.4.17. Przykłady echogramów z kilkunasto-milisekundową przerwą ITDG w dotarciu wczesnych odbić dźwięku

W tabeli II.4.12 podano średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, w różnych odległościach od estrady, z prawej i lewej strony widowni.

Tabela II.4.12 Średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, przy zwiększaniu odległości punktów pomiarowych od źródła dźwięku, z prawej i lewej strony widowni

P. pomiaru	ITDG, ms, strona prawa	ITDG, ms, strona lewa
Estrada	15	14
Rzqd 2	30	27
Rzqd 8	26	25
Rzqd 15	21	20
Rzqd 21	10	10

Wykres zależności ITDG na widowni od odległości do źródła dźwięku - rys. II.4.18.



Rys. II.4.18. Wpływ odległości od źródła dźwięku na wartość przerwy czasowej ITDG. Sala koncertowa pusta. Wartość średnia ITDG w Sali Koncertowej bez publiczności i z publicznością wynosi 21 ms. Zapełnienie sali nie powoduje zmian wartości ITDG.

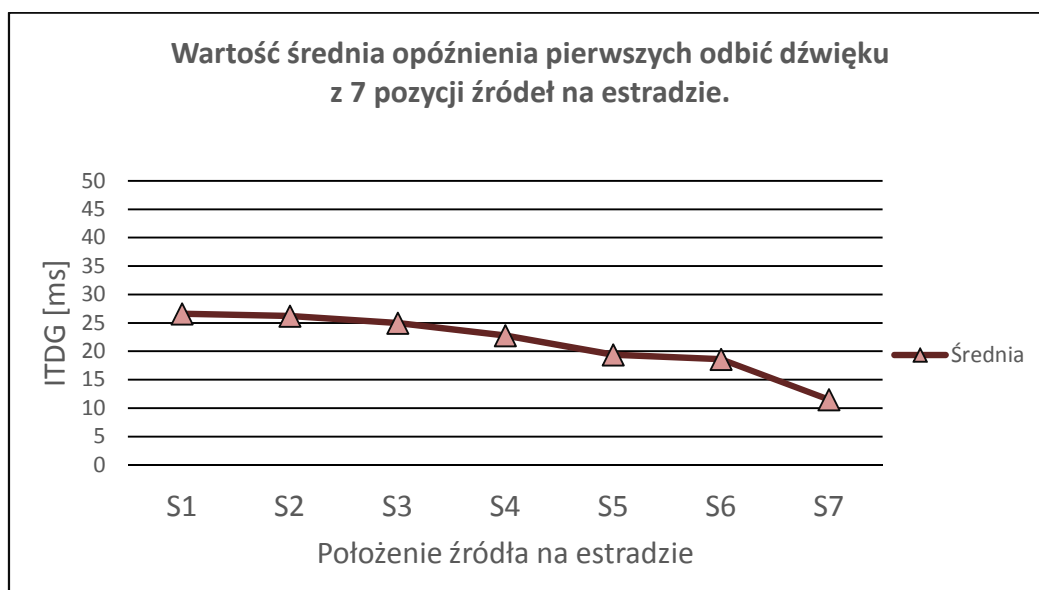
Optymalna wartość ITDG w stosunkowo małych salach o kubaturze nie większej od 10 tys. m³ to 15 – 20 ms.

W tabeli II.4.13 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie na wartość ITDG. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległościami od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m, jak to pokazano na rys. II.4.13 w rozdz. II.4.2.1 Zamieszczone w tabeli dane są średnimi wartościami ITDG z wszystkich punktów pomiarowych na widowni.

Tabela II.4.13. Średnie wartości przerwy czasowej ITDG w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie.

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Rzqd 1	40	36	31	27	25	18	13
Rzqd 5	40	28	29	28	23	28	10
Rzqd 11	29	28	27	23	19	22	14
Rzqd 17	12	21	20	22	19	15	11
Rzqd 23	13	19	19	15	12	11	10
Średnia	27	26	25	23	19	19	12

Wykres zależności ITDG od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.19



Rys. II.4.19. Zależność ITDG od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) ITDG równomiernie zwiększa się od 12 do 27 ms

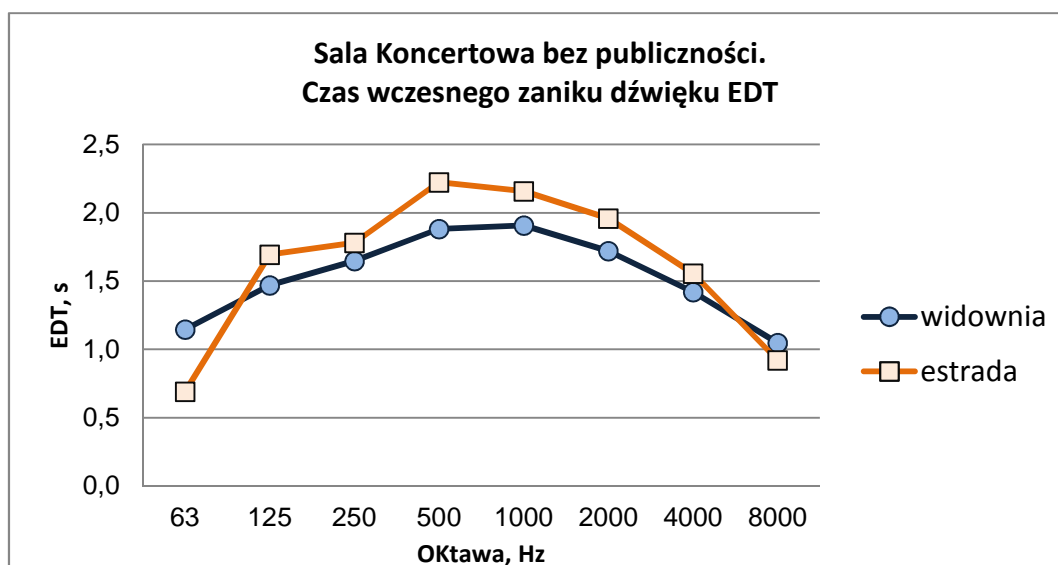
4.2.4. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.14 podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pustej Sali Koncertowej, na estradzie i na widowni, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II 4.14. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni, w pustej Sali.

EDT	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT widownia, s	1.15	1.47	1.65	1.88	1.91	1.72	1.42	1.05
EDT estrada, s	0.69	1.69	1.78	2.23	2.16	1.96	1.56	0.92

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT - rys. II. 4.20.

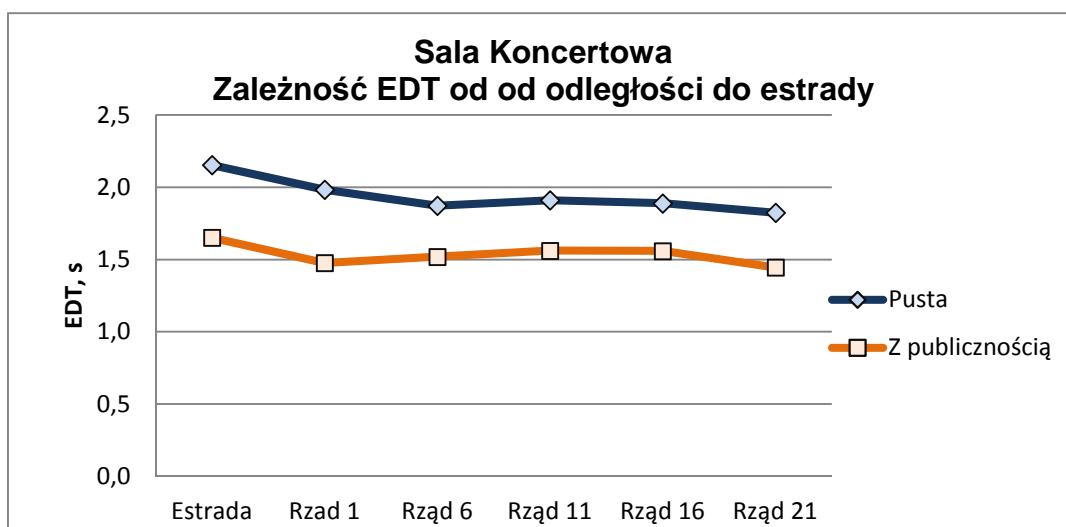


Rys. II.4.20. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT na widowni i estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 1.9 s i na estradzie 2.2 s (średnia z oktaf 500 – 1000 Hz).

Tabela II.4.15 i rys. II.4.20 przedstawiają zmiany wartości czasu wczesnego zaniku EDT na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Dane dotyczą sali pustej. Dla porównania podano wyniki pomiarów tej właściwości sali z publicznością i orkiestrą. Podana wartość EDT jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz.

Tab. II.4.15. Zależność czasu wczesnego zaniku dźwięku $EDT_{500-1000}$ od odległości do estrady w Sali pustej i zapelnionej publicznością i orkiestrą.

EDT, s, /miejsce	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	2.15	1.98	1.87	1.91	1.89	1.82
Z publ.	1.65	1.48	1.52	1.56	1.56	1.44
ΔEDT , s	0.50	0.51	0.35	0.35	0.33	0.38
%	23	26	19	18	17	21



Rys. II.4.21. Zmiany czasu wczesnego zaniku $EDT_{500-1000}$, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w sali pustej i wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wartość EDT po wejściu publiczności zmniejsza się o 18 – 26% zależnie od miejsca na Sali

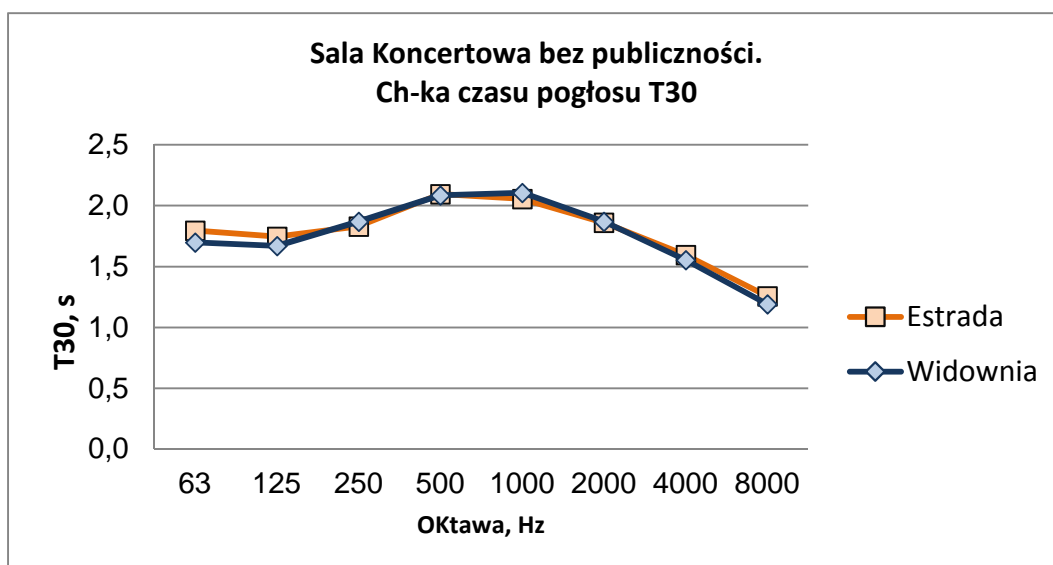
4.2.5. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T_{30} w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.10 podano średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w Sali pustej, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla widowni i estrady obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.16. Średnie wartości czasu pogłosu T_{30} na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{30} , estrada, s	1.70	1.67	1.87	2.09	2.11	1.87	1.55	1.19
T_{30} widownia, s	1.80	1.75	1.83	2.10	2.06	1.86	1.60	1.26

Wykres charakterystyk częstotliwościowych T_{30} - rys. II.4.22.

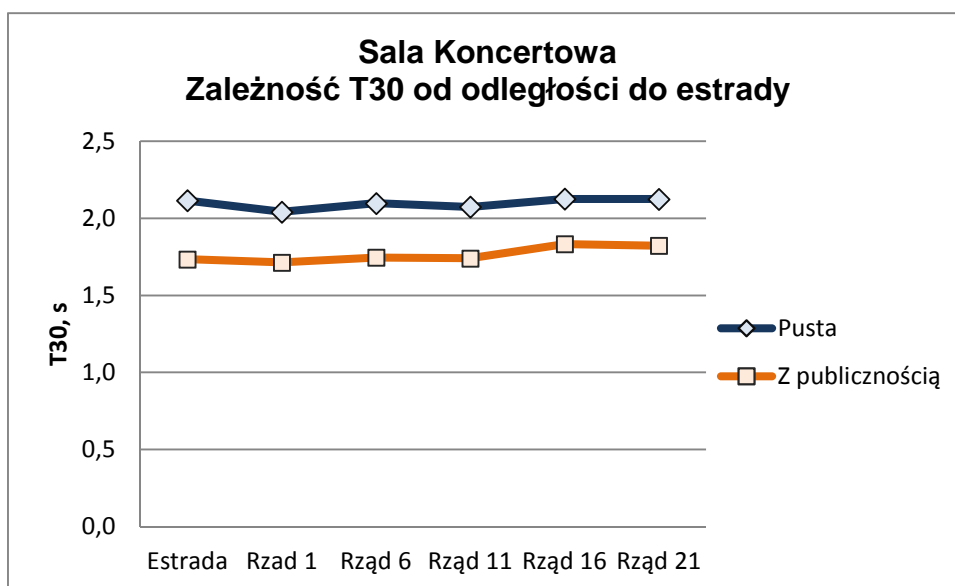


Rys. II.4.22. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie w oktawach 63 Hz – 8 kHz w Sali pustej. Czas pogłosu na widowni wynosi 2.1 s i na estradzie 2.1 s (średnia z oktaf 500 – 1000 Hz)

Tabela II.4.17 i rys. II.4.23 przedstawiają zmiany wartości czasu pogłosu T30 na widowni przy zwiększaniu odległości od estrady. Dane dotyczą sali pustej. Dla porównania podano również wyniki pomiarów tej właściwości sali z publicznością i orkiestrą. Podana wartość T30 jest średnią z pasm oktafowych 500 i 1000 Hz.

Tab. II.4.17. Zależność czasu pogłosu T30 od odległości do estrady w Sali pustej i zapelnionej publicznością i orkiestrą.

T30, s, / miejsce	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
Sala pusta	2.12	2.04	2.10	2.07	2.13	2.13
Sal z publ.	1.73	1.71	1.75	1.74	1.83	1.82
ΔT , s	0.38	0.33	0.35	0.33	0.29	0.30
%	18	16	17	16	14	14



Rys. II.4.23. Zmiany czasu wczesnego zaniku T30, s, na widowni, przy zwiększaniu odległości od estrady, w Sali pustej i wypełnionej publicznością i orkiestrą. Wartość T30 po wejściu publiczności zmniejsza się o 14 – 18 % zależnie od miejsca na Sali

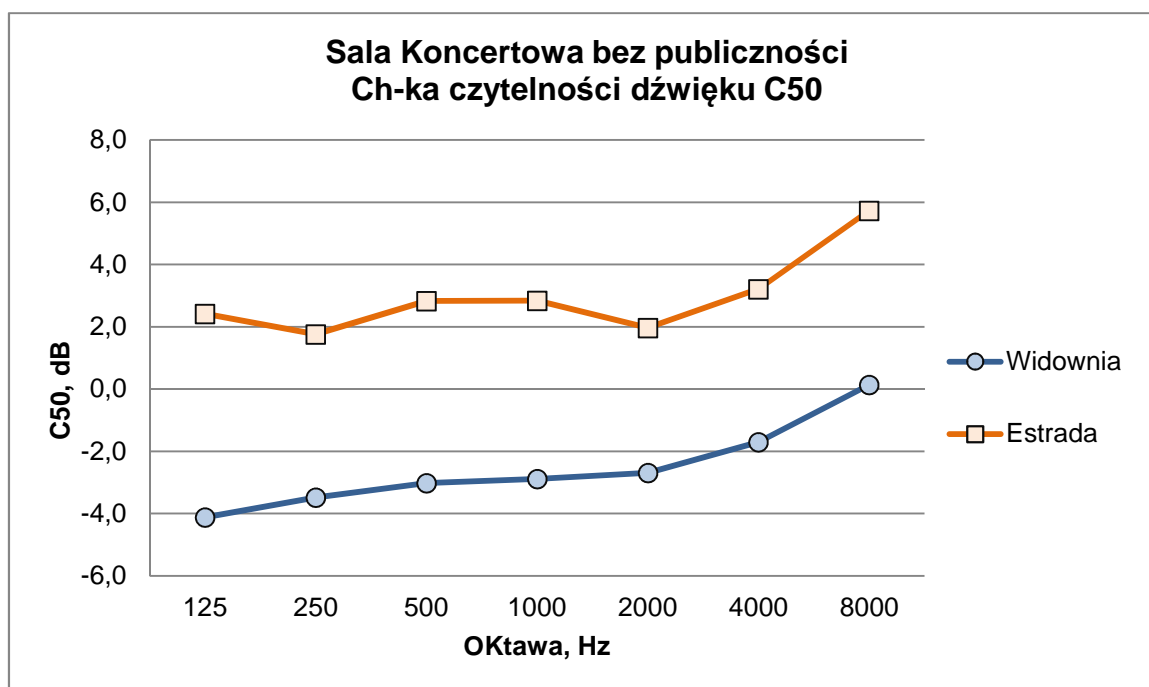
4.2.6. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.18. podano charakterystykę średnich wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.18 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na estradzie i widowni, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50, estrada, dB	2.4	1.8	2.8	2.8	2.0	3.2	5.7
C50 widownia, dB	-4.1	-3.5	-3.0	-2.9	-2.7	-1.7	0.1

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.23.



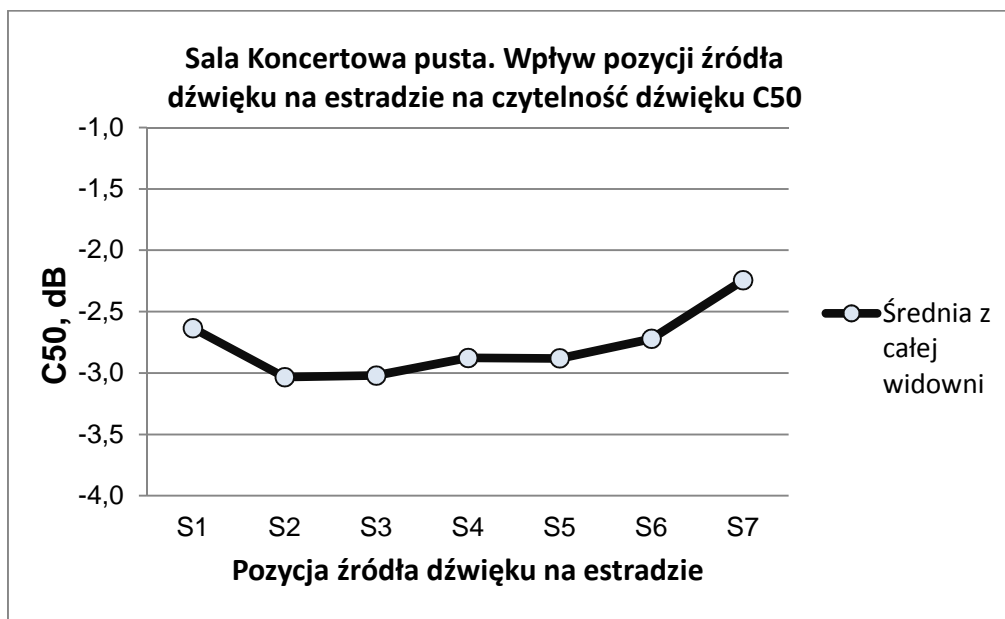
Rys. II.4.24. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni Sali Koncertowej wynosi -2.8 dB i na estradzie 3.0 dB. Zaleca wartość wskaźnika C50 dla widowni sal koncertowych C50 = -1 - +3 dB

W tabeli II.4.19 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i na widowni na czytelność dźwięku C50. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległościami od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m (rys. II.4.13). Wpływ lokalizacji źródła na wskaźnik C50 określono na podstawie średnich wartości C50 z wszystkich miejsc na widowni. Wpływ usytuowania słuchacza na widowni reprezentują średnie z 7 pozycji źródeł dźwięku w 5 rzędach siedzisk - 1, 5, 12, 17 i 23.

Tabela II.4.19. Średnie wartości wskaźnika czytelności C50, dB, w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i siedzisk w pięciu rzędach na widowni

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.3	0.2	-0.8	-1.5	-1.1	-0.3	-0.6	-0.5
Rzqd 5	-2.3	-2.1	-2.0	-1.3	-2.8	-2.5	-1.8	-2.1
Rzqd 11	-3.4	-4.6	-4.4	-3.4	-2.9	-4.2	-3.5	-3.8
Rzqd 17	-4.0	-4.5	-4.4	-4.7	-3.6	-2.6	-2.9	-3.8
Rzqd 23	-3.8	-4.2	-3.4	-3.6	-4.1	-4.0	-2.5	-3.6
Średnia	-2.6	-3.0	-3.0	-2.9	-2.9	-2.7	-2.2	-2.8

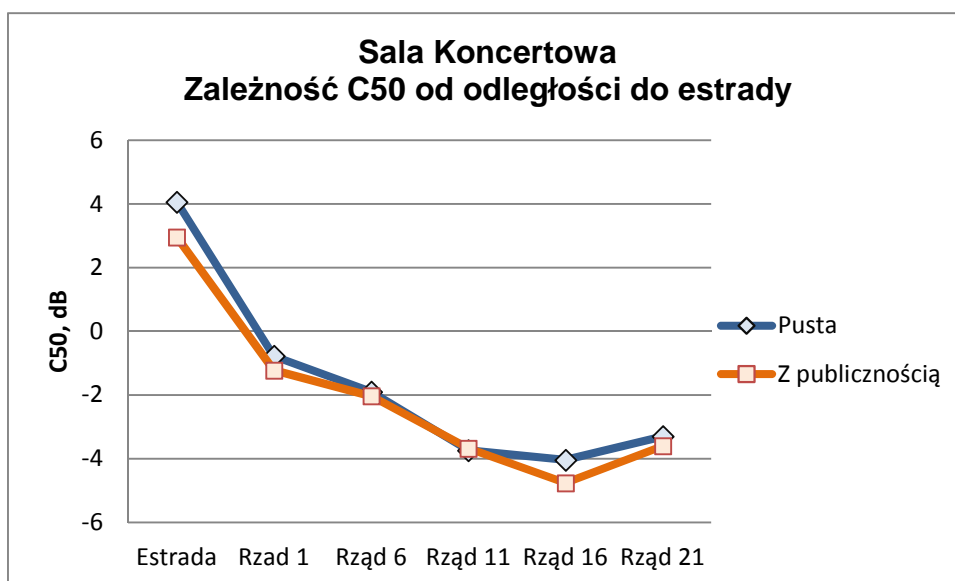
Zależność wskaźnika C50 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.25. Tabela i wykres zależności wskaźnika C50 od miejsca na widowni – tab. II.4.20. i rys. II.4.26.



Rys. II.4.25. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) C50 monotonicznie maleje się od -2,2 dB do -3 dB

Tabela II.4.20. Zależność wskaźnika C50 od miejsca na widowni

C50, dB	Estrada	Rzqd 1	Rzqd 6	Rzqd 11	Rzqd 16	Rzqd 21
Pusta	4.06	-0.78	-1.90	-3.74	-4.04	-3.30
Z publicznością	2.96	-1.23	-2.04	-3.68	-4.76	-3.60
$\Delta C50$, dB	1.1	0.4	0.1	-0.1	0.7	0.3



Rys. II.4.26. Zależność wskaźnika czytelności dźwięku C50 od miejsca na widowni. Przy oddalaniu się od estrady C50 maleje od -0.8 do -4.0 dB. Czytelność dźwięku pogarsza się przy oddalaniu się od I do 16 rzędu.

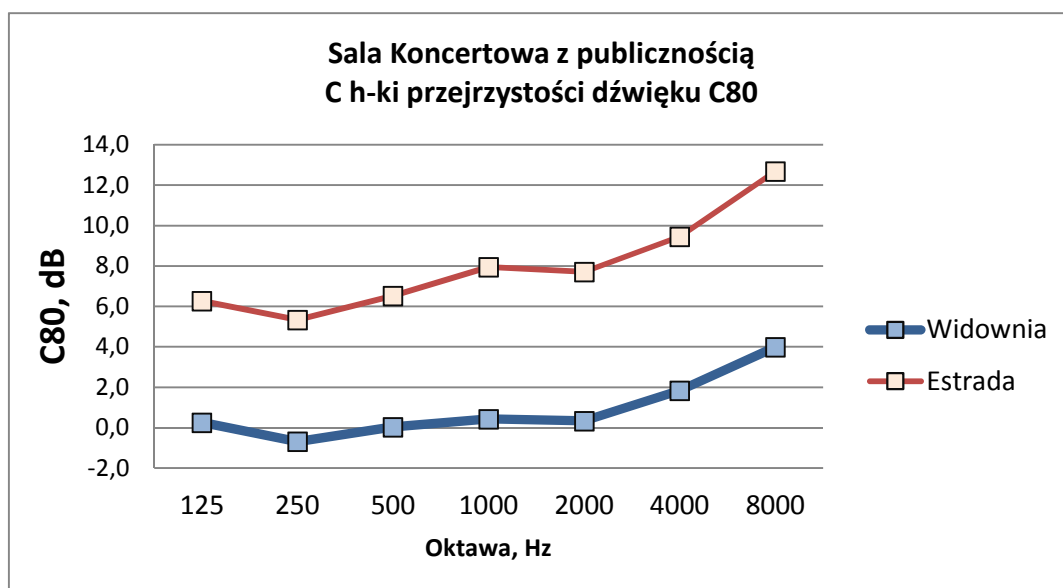
4.2.7. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.21 podano charakterystykę średnich wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz, z pomiarów w Sali pustej. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.21 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na estradzie i widowni, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Pusta Sala Koncertowa.

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80, estrada, dB	6.3	5.3	6.5	8.0	7.7	9.5	12.7
C80 widownia, dB	0.3	-0.7	0.0	0.4	0.3	1.8	4.0

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.27.



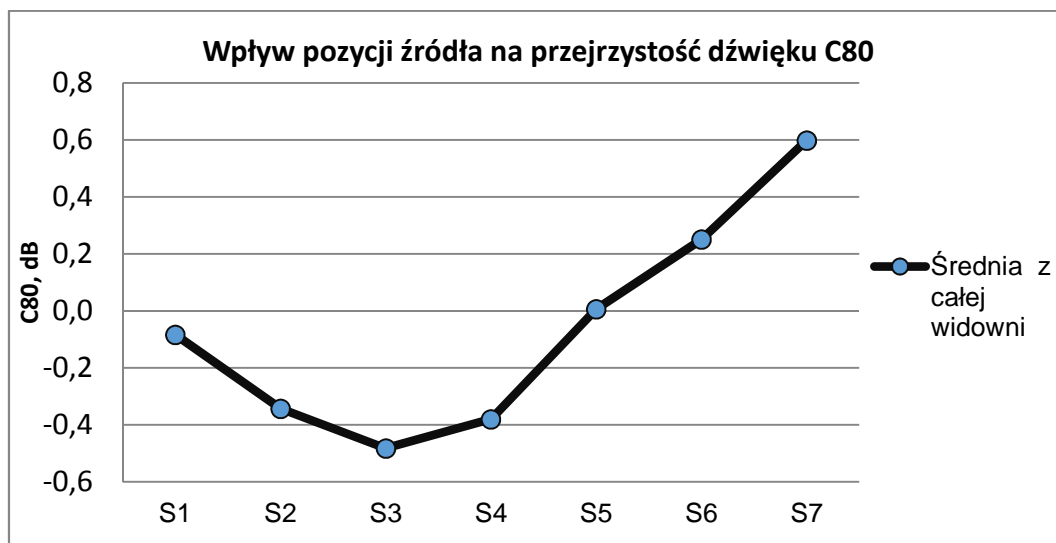
Rys. II.4.27. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Wskaźnik przejrzystości C80 na widowni Sali Koncertowej wynosi 0.2 dB, na estradzie 7.3 dB. Zalecana wartość wskaźnika C80 dla widowni sal koncertowych C80 = -3 - +3 dB

W tabeli II.4.22 przedstawiono wyniki badania wpływu lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i na widowni na przejrzystość dźwięku C80. Źródło dźwięku ustawiano w 7 pozycjach, różniących się odległością od krawędzi estrady od 1.5 m do 10.5 m (rys. II.4.13). Wpływ lokalizacji źródła na wskaźnik C80 określono na podstawie średnich wartości C80 z wszystkich miejsc na widowni. Wpływ usytuowania słuchacza na widowni reprezentują średnie z 7 pozycji źródeł dźwięku w 5 rzędach siedzisk - 1, 5, 121, 17 i 23.

Tabela II.4.22. Średnie wartości wskaźnika przejrzystości C80, dB, w pustej Sali Koncertowej, dla 7 lokalizacji źródła dźwięku na estradzie i siedzisk w pięciu rzędach na widowni

Źródło	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	3.5	3.1	1.4	0.7	1.0	1.2	1.0	1.7
Rzqd 5	0.0	0.1	0.2	0.6	-0.3	0.3	0.3	0.2
Rzqd 11	-1.5	-2.4	-1.7	-1.2	-0.5	-1.2	0.1	-1.2
Rzqd 17	-1.3	-1.2	-1.4	-1.0	0.5	0.9	0.5	-0.4
Rzqd 23	-1.1	-1.3	-1.0	-1.0	-0.7	0.0	1.1	-0.6
Średnia	-0.1	-0.3	-0.5	-0.4	0.0	0.3	0.6	-0.1

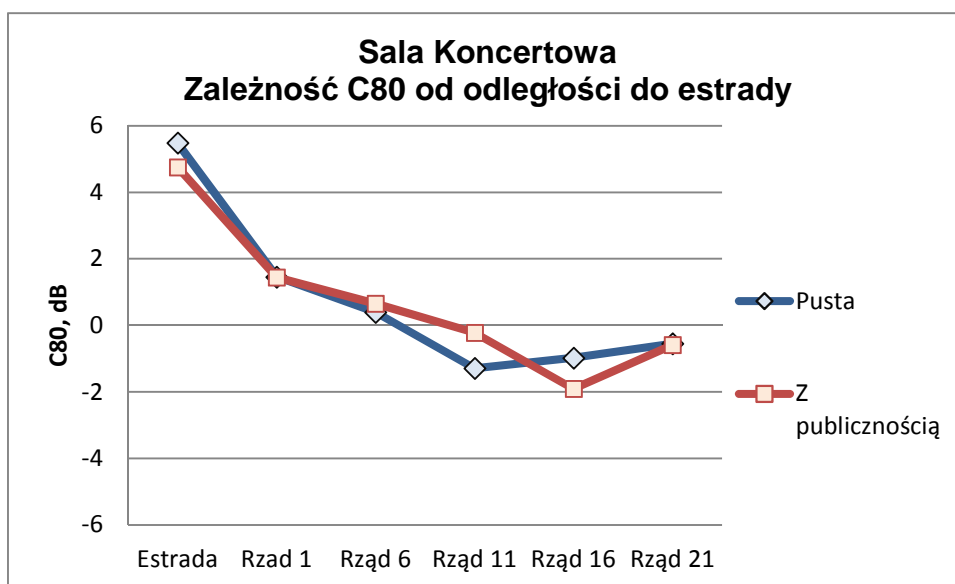
Wykres zależności wskaźnika C80 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie - rys. II.4.28. Wykres zależności wskaźnika C80 od miejsca na widowni - rys. II.4.29.



Rys. II.4.28. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od usytuowania źródła dźwięku na estradzie. Przy zbliżaniu źródła dźwięku od tyłu (S7) do krawędzi estrady (S1) C80 stopniowo obniża się od 0.6 dB do - 0.5 dB, gdy źródło znajduje się w połowie odległości od krawędzi estrady i następnie nieco wzrasta do - 0.1 dB przy źródle dźwięku w przedniej części estrady.

Tabela II.4.23. Zależność wskaźnika C80 od miejsca na widowni

C80, dB	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	5.48	1.46	0.39	-1.29	-0.98	-0.55
Sal z publ.	4.76	1.45	0.66	-0.22	-1.90	-0.59
$\Delta C80$, dB	0.73	0.01	-0.26	-1.07	0.93	0.04



Rys. II.4.29. Zależność wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 od miejsca na widowni. Przy oddalaniu się od estrady C80 w sali pustej maleje od 1.5 dB do -1.5 dB. Przejrzystość dźwięku zmniejsza się przy oddalaniu się od I do 16 rzędu.

4.2.8. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w pustej Sali Koncertowej

W tabeli II.4.24 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni w Sali pustej. Wartości średnie dla estrady i dla widowni obliczono odpowiednio z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.24 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni w Sali pustej

L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Koncertowa z publicznością	0.51	0.62

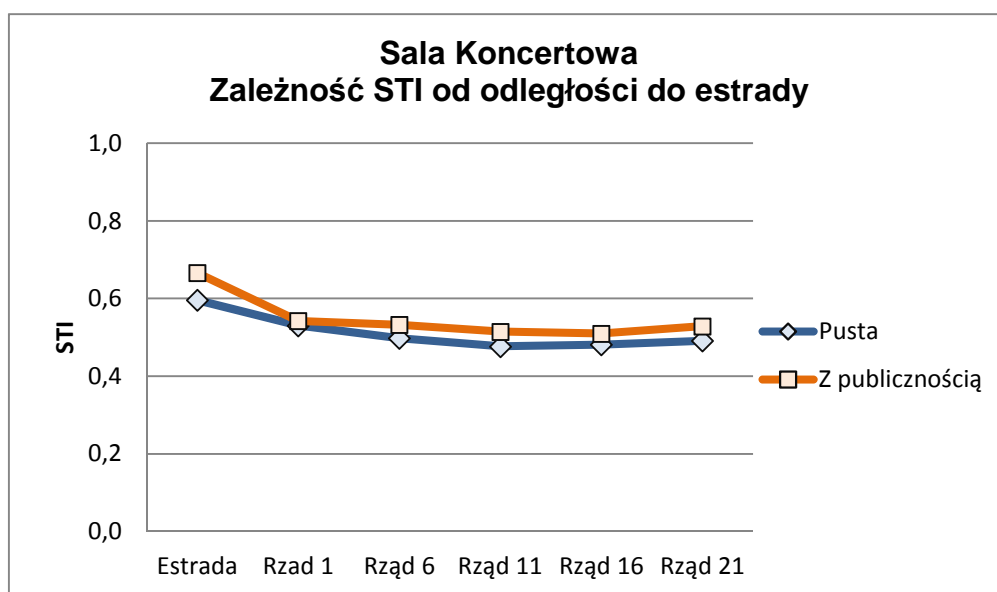
Zalecana wartość wskaźnika zrozumiałości wynosi $STI \geq 0.5$.

W tabeli II.4.25. podano wyniki pomiaru zmian wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady.

Właściwość tą zilustrowano na wykresie II.4.30.

Tabela II.4.25. Zmiany wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady

STI, dB	Estrada	Rząd 1	Rząd 6	Rząd 11	Rząd 16	Rząd 21
Sala pusta	0.60	0.53	0.50	0.48	0.48	0.49
Sal z publ.	0.67	0.54	0.53	0.52	0.51	0.53
Δ STI	0.07	0.01	0.03	0.04	0.03	0.04



Rys. II.4.30. Zmiany wskaźnika STI przy zwiększaniu odległości od estrady. Na rysunku pokazano dla porównania zależność STI od odległości od estrady dla przypadku Sali z publicznością. Wskaźnik STI nie zmienia się znacząco przy oddalaniu się od źródeł dźwięku na estradzie.

4.2.9. Charakterystyki wsparcia akustycznego estrady w pustej Sali Koncertowej

Pomiar wskaźników wsparcia akustycznego estrady wykonuje się przy pustej widowni i estradzie. W tabeli II.4.26 podano wartości wskaźnika wsparcia akustycznego Stage Support estrady Sali Koncertowej. Wskaźniki te umożliwiają ocenę warunków akustycznych na estradzie odnoszących się do dwóch właściwości akustycznych estrady: wzajemnej słyszalności muzyków na estradzie (ST_{Early}) oraz do oceny odpowiedzi pogłosowej widowni na emisję własnego dźwięku przez muzyków (ST_{Late}).

Tabela II.4.26. Wskaźniki wsparcia akustycznego Stage Support estrady Sali Koncertowej

Wskaźnik wspomagania akustycznego estrady (Stage Support), dB					
Częstotliwość, Hz	250	500	1000	2000	Wartości średnie
ST Early	-13.5	-13.6	-11.9	-12.6	-12.9
ST Late	-15.49	-13.96	-12.98	-14.66	-14.3

Sugerowane wartości wsparcia akustycznego estrady wynoszą:

$ST_{Early} > -10$ (sale kameralne) do -14 dB (sale symfoniczne). Estrada Sali Koncertowej spełnia kryterium wsparcia akustycznego muzyków.

4.2.10. Wskaźnik korelacji międzyuszej IACC w pustej Sali Koncertowej

Pomiar współczynnika korelacji międzyuszej IACC ma zastosowanie do oceny wrażenia przestrzenności dźwięku docierającego do słuchacza na widowni.

Muzyka docierająca do słuchacza w salach koncertowych zawiera składowe dźwięku bezpośredniego, składowe wczesnych odbić dźwięku w okresie 80 ms po dotarciu składowej bezpośredniej i składowe dźwięku ukształtowane przez wielokrotne odbicia, docierające do słuchacza po upływie 80 ms.

Istotny wpływ na pozytywną ocenę wrażenia przestrzenności mają odbicia dźwięku, które docierają do słuchacza z kierunków bocznych, w czasie pierwszych 80 ms. Wrażenia te polegają na pozornym zwiększeniu szerokości źródeł dźwięków na estradzie w porównaniu do ich rzeczywistych rozmiarów. Dźwięki docierających do słuchacza w późniejszym przedziale czasu są pozytywnie odbierane, jako wrażenie otoczenia dźwiękami wybrzmiewającego pogłosu sali. Dźwięki te powinny przychodzić ze wszystkich kierunków, z przodu, z tyłu, z góry i z kierunków bocznych.

Z uwagi na opisane zjawiska fizyczne i psychoakustyczne, mierzone wielkości fizyczne odnoszą się do przedziałów czasu związanego z wczesnymi odbiciami dźwięku od 0 do 80 ms (early reflections) i od 80 ms do czasu wygaśnięcia energii odbić dźwięku (late sound).

Do pomiarów odpowiedzi impulsowych i oceny podobieństwa między sygnałami docierającymi do uszu słuchaczy stosuje się sztuczną głowę z zamocowanymi na wejściach do kanału słuchowego mikrofonami pomiarowymi. Mierzoną

właściwością jest funkcja korelacji międzysusznej IACF między odbieranymi przez mikrofony przebiegami odpowiedzi impulsowych badanego pomieszczenia. Z funkcji IACF wyznaczane są wartości współczynnika korelacji międzysusznej dla przedziałów czasu 0-80 ms (early), 80-+ (late) oraz pełny przebieg funkcji $IACC_{total}$ z czasu trwania odpowiedzi impulsowej pomieszczenia. Z tak uzyskanych danych możliwe jest obliczenie wskaźników przestrzenności dźwięku zdefiniowanych w p-cie 3.

Sale koncertowe uzyskują wyższe oceny jakości akustycznej, jeśli współczynnik korelacji IACC przyjmie małe wartości, poniżej 0,4. L. Beranek zaproponował odwrócenie tej relacji i wprowadził wskaźnik jakości akustycznej sal Binaural Quality Index $BQI = 1 - IACC$.

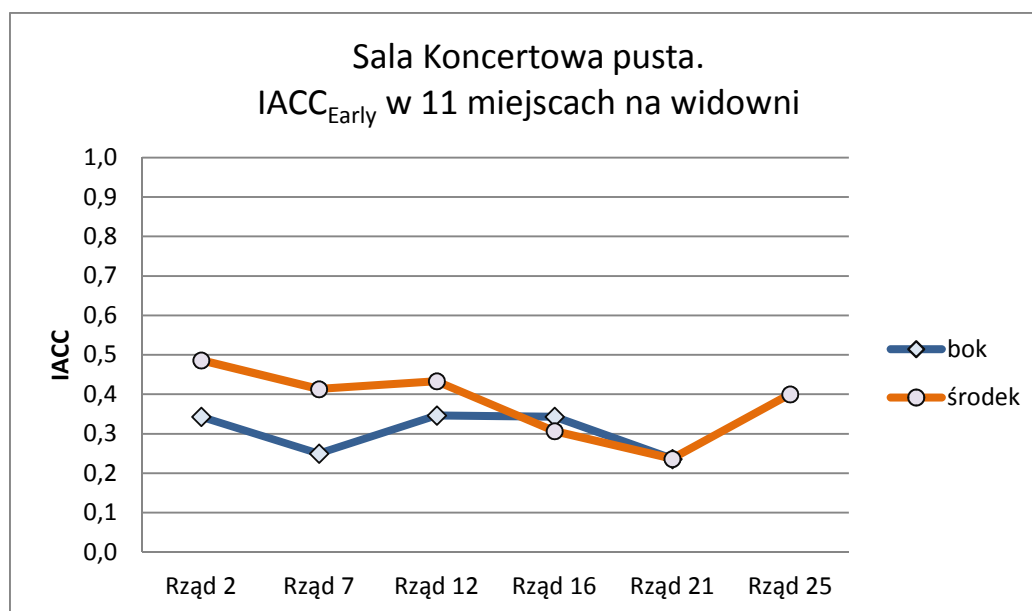
W tabeli II.4.27 podano wyniki pomiaru wskaźników IACC w 11 punktach na widowni, w rzędzie 2, 7, 12, 16 i 25.

Tabela II.4.27. Wartości współczynnika międzysusznej korelacji dźwięku $IACC_{Early}$ z przedziału [0, 80] ms oraz $IACC_{Late}$ dla przedziału od 80 ms, [80, +]. Zgodnie z wytycznymi normy pomiarowej w tabeli podano wartości średnie z pomiarów w trzech pasmach oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz

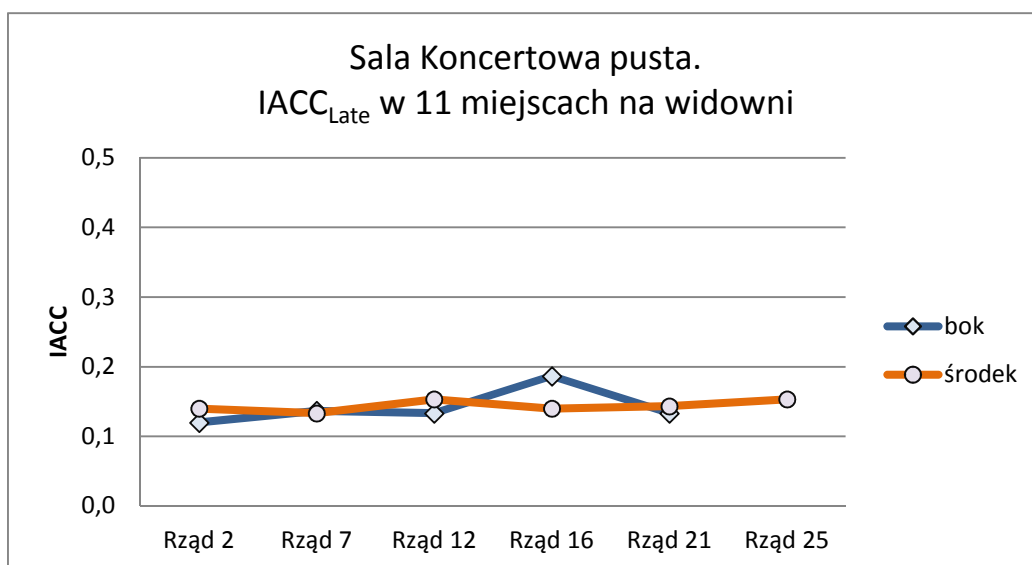
Miejsce pomiaru	$IACC_{Early}$ $t = [0, 80]$ ms (wczesne odbicia)	
	Miejsca środkowe	Bok, strona prawa
Rząd 2	0.49	0.34
Rząd 7	0.41	0.25
Rząd 12	0.43	0.35
Rząd 16	0.31	0.34
Rząd 21	0.24	0.24
Rząd 25	0.40	-
Średnia	0.38	0.30

Miejsce pomiaru	IACC _{Late} t= [80+] ms (dźwięk pogłosowy)	
	Miejsca środkowe	Bok, strona prawa
Rząd 2	0.14	0.12
Rząd 7	0.13	0.14
Rząd 12	0.15	0.13
Rząd 16	0.14	0.19
Rząd 21	0.14	0.13
Rząd 25	0.15	-
Średnia	0.14	0.14

Wykres współczynnika IACC_{Early} w zależności od miejsca pomiaru na widowni - rys. II.4.31. Wykres współczynnika IACC_{Late} w zależności od miejsca pomiaru na widowni - rys. II.4.32.

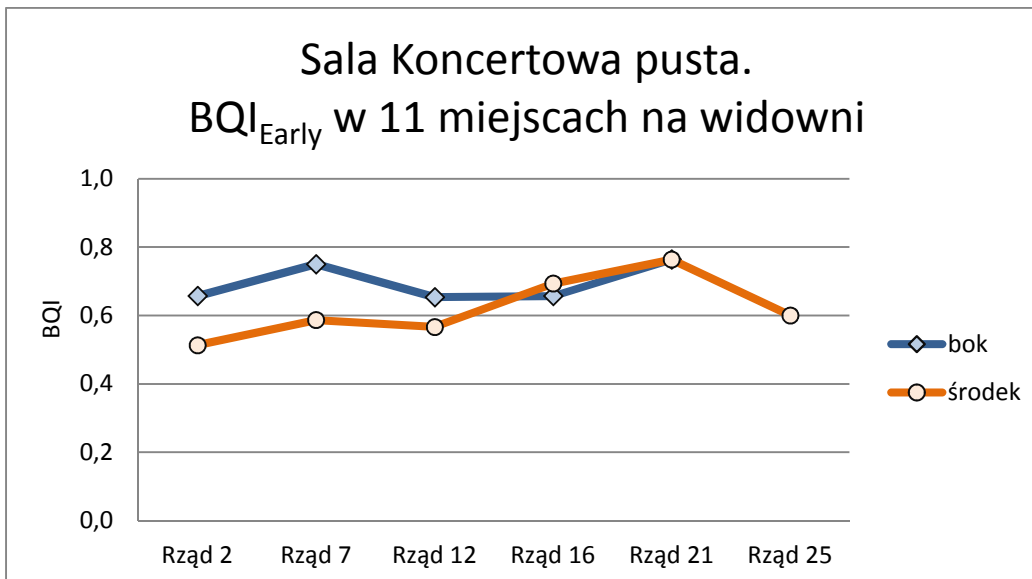


Rys. II.4.31. Współczynnik korelacji międzysusznej IACC_{Early} w zależności od odległości i miejsca pomiaru na widowni. Środkowe miejsca charakteryzuje większa wartość współczynnika IACC_{Early} niż boczne miejsca na widowni i jest to zjawisko typowe. Przy oddalaniu się od estrady IACC_{Early} zmniejsza się od 0.5 w rzędzie 2 do 0.24 w rzędzie 21. W bocznej części widowni IACC_{Early} utrzymuje wartość około 0.3. Średnia wartość IACC_{Early} = 0.35

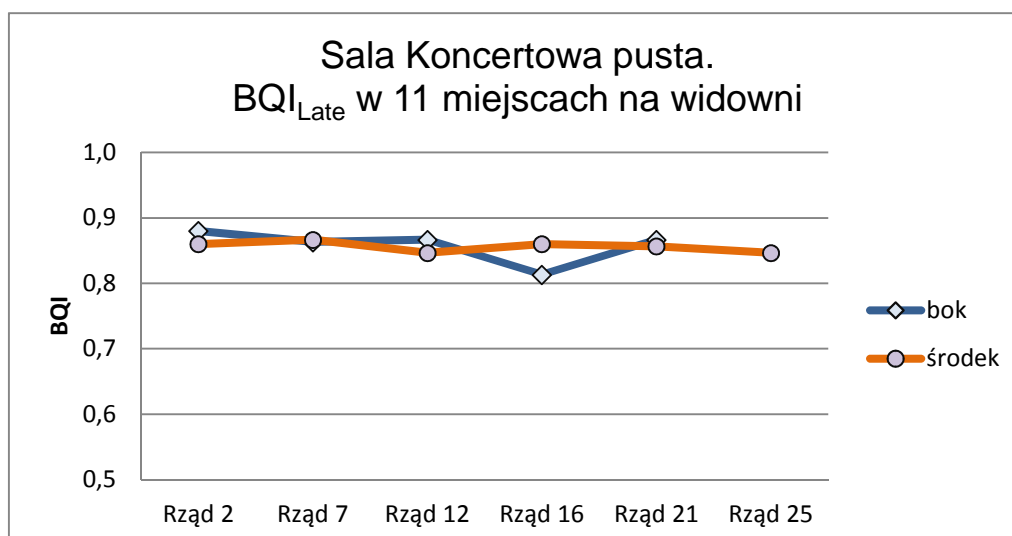


Rys. II.4.32. Współczynnik korelacji międzysusznej $IACC_{Late}$ zachowuje prawie jednakową wartość na całej widowni. Jest to korzystna cecha Sali, która świadczy o dużej dyfuzyjności dźwięku. Średnia wartość $IACC_{Late}$ wynosi 0.13

Na rys. II.4.33 i II.4.34 zamieszczono wykresy rozkładu wartości wskaźnika BQI w Sali Koncertowej, dla fazy wczesnych i późnych odbić i dźwięku, BQI_{Early} i BQI_{Late} .



Rys. II.4.33. Wskaźnik jakości binauralnej BQI_{Early} , dla miejsc w środkowej i bocznej części sali. Wartość średnia $BQI_{Early} = 0.66$ wskazuje na wysoką ocenę przestrzenności dźwięku w Sali Koncertowej.



Rys. II.4.34. Wskaźnik jakości binauralnej BQI_{Late} dla miejsc w środkowej i bocznej części Sali. BQI utrzymuje wartość około 0.84 w prawie wszystkich miejscach na widowni

W tabeli II.4.28 i II.4.29 umieszczono wyniki pomiarów wpływu usytuowania źródeł dźwięku na estradzie na parametry przestrzenności IACC i BQI na widowni. Rozmieszczenie źródeł dźwięku na estradzie i punktów pomiarowych na widowni pokazano na rys. II.4.14. Badane właściwości IACC i BQI uzyskano z odpowiedzi impulsowych, które były rejestrowane za pomocą sztucznej głowy w 10-ciu równomiernie rozmieszczonych punktach na widowni. Każda seria 10 pomiarów była 7-krotnie powtarzana, po przemieszczeniu wszechkierunkowego źródła dźwięku z pozycji na skraju estrady w stronę organów, w odstępach co 1.5 m. Zmierzone odpowiedzi dotyczą 7 pozycji źródła dźwięku i 10 pozycji sztucznej głowy na widowni.

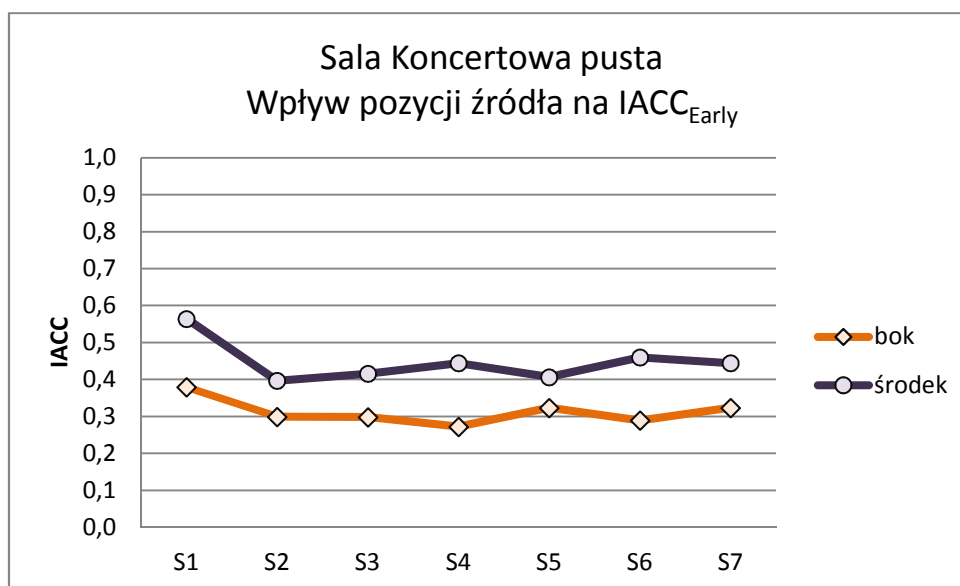
Tabela II.4.28 dotyczy obliczeń IACC i BQI z pierwszych 80 ms odpowiedzi impulsowych. Tabela II.4.29 zawiera dane z obliczeń tych parametrów z części „późnej” odpowiedzi impulsowych, po 80 ms.

Tabela II.4.28. Wartości współczynnika międzyusznej korelacji dźwięku $IACC_{Early}$ i BQI z przedziału $[0, 80]$ ms. Dane dotyczą wartości średnich z pomiarów w trzech pasmach oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz

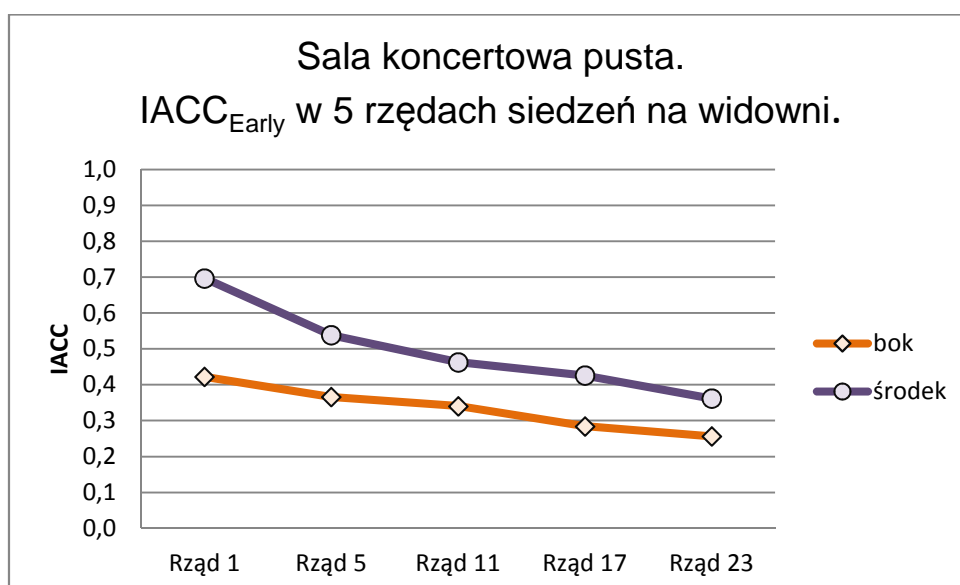
IACC $[0,80]$, ms środek								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.89	0.70	0.58	0.70	0.66	0.73	0.63	0.70
Rzqd 5	0.75	0.49	0.48	0.56	0.37	0.54	0.59	0.54
Rzqd 11	0.64	0.42	0.44	0.39	0.40	0.46	0.49	0.46
Rzqd 17	0.49	0.36	0.40	0.41	0.47	0.36	0.50	0.43
Rzqd 23	0.37	0.32	0.35	0.41	0.39	0.49	0.20	0.36
Średnia	0.56	0.40	0.42	0.44	0.41	0.46	0.44	0.45

IACC $[0,80]$, ms strona prawa								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.50	0.40	0.32	0.37	0.31	0.44	0.61	0.42
Rzqd 5	0.54	0.35	0.28	0.34	0.36	0.30	0.40	0.37
Rzqd 11	0.45	0.35	0.34	0.30	0.29	0.33	0.32	0.34
Rzqd 17	0.23	0.28	0.34	0.27	0.35	0.28	0.24	0.28
Rzqd 23	0.29	0.22	0.23	0.18	0.29	0.25	0.33	0.26
Średnia	0.38	0.30	0.30	0.27	0.32	0.29	0.32	0.31

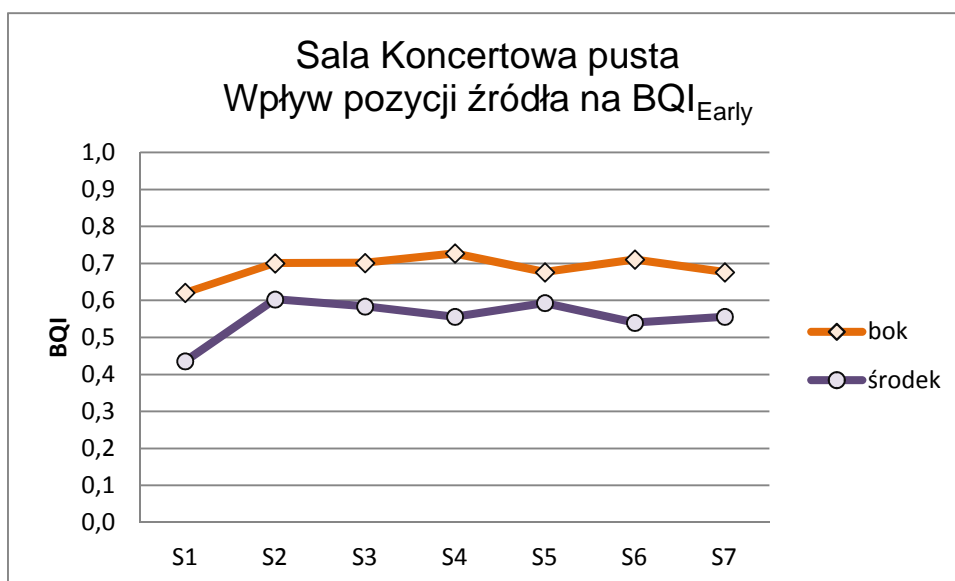
Na rys. II.4.35, II.4.36, II.4.37, i II.4.38, pokazano wykresy zmierzonych wartości współczynnika korelacji międzyusznej $IACC_{Early}$ i BQI_{Early} . Wskaźniki te obliczane są z przebiegów wczesnych odbić dźwięku, które trafiają do mikrofonów umieszczonych w małżowinach sztucznej głowy.



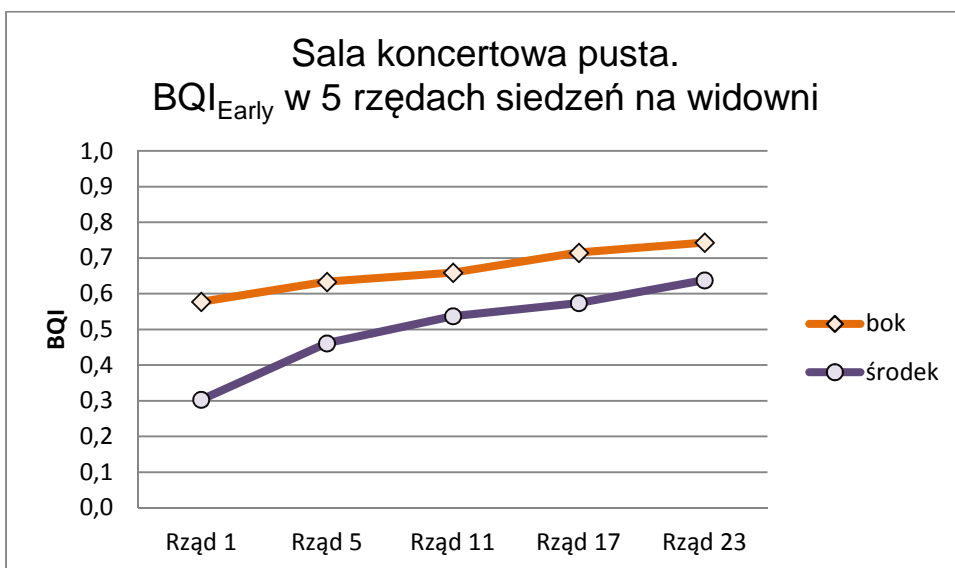
Rys. II.4.35. Średnia wartość $IACC_{Early}$ zmierzona w 7 pozycjach źródła dźwięku, od S1 z przodu estrady do S7 w głębi estrady. Średnie wartości $IACC_{Early}$ obliczone zostały z 5 miejsc na środku i 5 miejsc z boku widowni. Wartość średnia $IACC_{Early}$ z wszystkich miejsc na widowni = 0.38. W obliczeniu średniej pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku



Rys. II.4.36. Średnia wartość $IACC_{Early}$ w kolejnych pozycjach punktu pomiarowego, od pierwszego do 23-go rzędu w środku i z boku każdego rzędu. Średnie wartości $IACC_{Early}$ w każdym punkcie obliczono dla 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia $IACC_{Early}$ z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.45, średnia z pomiarów z boku Sali obok przejścia równa 0.31. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku



Rys. II.4.37. Średnia wartość BQI_{Early} przy zmianie pozycji źródła dźwięku od S1 z przodu estrady do S7 w głębi estrady. Punkty zaznaczone na wykresie reprezentują średnie wartości BQI z pomiarów na widowni w środkowych i bocznych miejscach na widowni. Wartość średnia BQI z wszystkich punktów na widowni równa 0.62

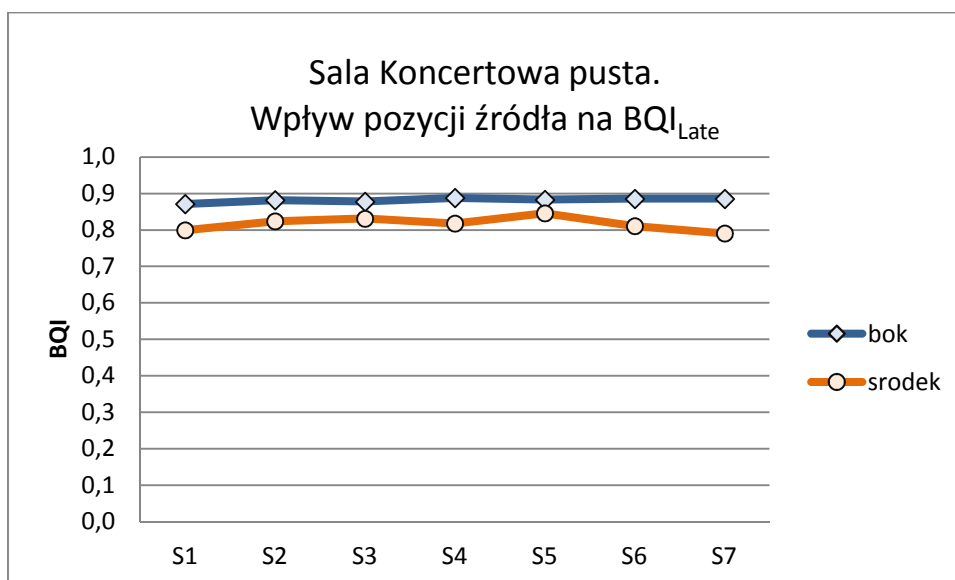


Rys. II.4.38. Średnia wartość BQI_{Early} przy zmianie pozycji punktu pomiarowego od pierwszego do 23-go rzędu w środku i z boku każdego rzędu. Średnie wartości BQI_{Early} w każdym punkcie obliczone z 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia BQI_{Early} z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.55, średnia z pomiarów z boku sali obok przejścia równa 0.69. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku

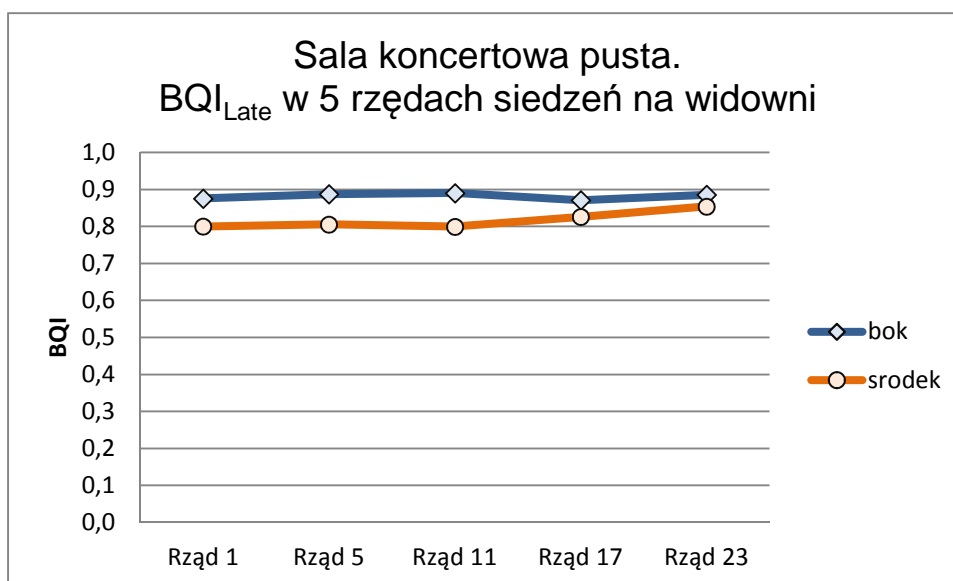
Tabela II.4.29. Wartości współczynnika międzyusznej korelacji dźwięku $IACC_{Late}$ i BQI_{Late} , obliczone z odpowiedzi impulsowych po 80 ms. Dane dotyczą wartości średnich z pomiarów w trzech pasmach oktawowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

IACC (80,+), miejsca środkowe								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.22	0.23	0.19	0.13	0.15	0.21	0.26	0.20
Rzqd 5	0.21	0.21	0.19	0.16	0.15	0.19	0.25	0.19
Rzqd 11	0.20	0.17	0.17	0.24	0.15	0.23	0.24	0.20
Rzqd 17	0.19	0.13	0.17	0.19	0.18	0.15	0.20	0.17
Rzqd 23	0.17	0.14	0.12	0.19	0.14	0.16	0.10	0.15
Średnia	0.20	0.18	0.17	0.18	0.15	0.19	0.21	0.18

IACC (80,+) strona prawa								
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Średnia
Rzqd 1	0.10	0.15	0.11	0.12	0.13	0.12	0.13	0.12
Rzqd 5	0.13	0.10	0.11	0.10	0.13	0.11	0.10	0.11
Rzqd 11	0.15	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11
Rzqd 17	0.12	0.13	0.14	0.12	0.12	0.14	0.13	0.13
Rzqd 23	0.13	0.10	0.15	0.12	0.10	0.11	0.09	0.11
Średnia	0.13	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12



Rys. II.4.39. Wpływ pozycji źródła dźwięku na BQI_{Late} . Siedem pozycji źródła dźwięku na estradzie. IACC uśrednione z wszystkich punktów na widowni. Średnia wartość $BQI_{Late} = 0.85$.



Rys. II.4.40. Średnia wartość BQI_{Late} przy zmianie pozycji punktu pomiarowego od pierwszego do 23-go rzędu, w środku i z boku przy przejściu. Średnie wartości BQI_{Late} w każdym punkcie obliczone z 7 pozycji źródła dźwięku. Wartość średnia IACC_{Early} z pomiarów w środkowych miejscach na widowni równa 0.82, średnia z pomiarów BQI_{Late} z boku obok przejścia równa 0.88. W obliczeniu średnich pominięto punkty w I rzędzie, w małej odległości od źródła dźwięku.

Z pomiarów wynika, że średnia wartość wskaźnika dwuusznej oceny jakości akustycznej BQI Sali Koncertowej nie zależy od pozycji źródła dźwięku na estradzie.

4.2.11. Siła dźwięku G w pustej Sali Koncertowej

Siła dźwięku G, dB, jest miarą wrażenie głośności muzyki docierającej do słuchaczy. W miernictwie akustycznym siła dźwięku G jest obliczana jako różnica między poziomem ekspozycji LpE, dB, wszechkierunkowego źródła dźwięku (energii dźwięku) w badanym pomieszczeniu, a poziomem ekspozycji tego samego źródła LpE10, dB, w polu swobodnym, w odległości 10 m, według poniższego wzoru.

$$G = 10 \cdot \log \frac{\int_0^\infty p^2(t) dt}{\int_0^\infty p_{10}^2(t) dt} = LpE - LpE_{10}, \text{ dB}$$

p(t) – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego odpowiedzi impulsowej w punkcie pomiaru,

p₁₀(t) – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego odpowiedzi impulsowej w polu swobodnym, w odległości 10 m od źródła dźwięku.

Podobnie jak w pomiarach IACC, siła dźwięku G obliczana jest w pasmach oktaowych, w dwóch przedziałach czasu trwania odpowiedzi impulsowej: wczesnych odbić dźwięku, w okienku czasowym odpowiedzi impulsowej 0-80 ms i późnych odbić dźwięku, po 80 ms. Obliczane wskaźniki G oznaczone są jako wczesna siła dźwięku G_{Early} [0,80] i późna siła dźwięku G_w [80,+].

Zmierzone wartości parametrów G i IACC są składnikami liczbowej oceny parametrów charakteryzujących wrażenia przestrzenności dźwięku DSB i LEV, omówione w p. II.3.4 raportu:

Miarę wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment) obliczano z wzoru:

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{\text{mid}} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{\text{mid}})$$

oraz

Stopień zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening) obliczano z wzoru:

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

$G[0,80]$ oznacza wyniki obliczeń w okienku czasowym 0 – 80 ms, w oktawach 500 i 1000 Hz.

Zalecane wartości G dla małych sal koncertowych (liczba słuchaczy mniejsza niż 1000) $G = +6 - +10$ dB, dla większych sal koncertowych $G = +3 - +5$ dB. Zalecana dla małych sal koncertowych wartość IACC = 0.23 – 0.33.

Pomiary siły dźwięku rejestrowano w 28 miejscach na widowni - 14 pozycji w środkowej części rzędów oraz 14 pozycji w części bocznej widowni, przy trzech lokalizacjach źródła dźwięku S1, S2 i S3. Źródło S1 ustawione było w odległości 1.5 m od krawędzi estrady, S3 w odległości 4 m i S2 w odległości 6.5 m od krawędzi estrady.

Rozmieszczenie punktów pomiarowych w tej serii pomiarów pokazane jest na rys. II.4.15.

4.2.12. Wyniki pomiarów siły dźwięku G_{Total}

W tabeli II.4.30 zestawiono wartości średnie z pomiarów siły dźwięku G_{Total} z pełnej odpowiedzi impulsowej. Charakterystyki widmowe w pasmach oktawowych pokazano na rys. II.4.40.

Tabela II.4.30 Widma oktawowo siły dźwięku G_{Total} , dBi z pełnej odpowiedzi impulsowej

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G_{Total} , dBi Środek	6	15	9	8	7	9	6	2
G_{Total} , dBi Z boku	2	11	6	6	7	8	6	2

W tabeli II.4.31 zestawiono wartości średnie G_{Total} , z oktaf 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Total} .

W tabeli II.4.32 zestawiono wartości średnie G_{Total} z oktaf 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny tabeli, to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Total} .

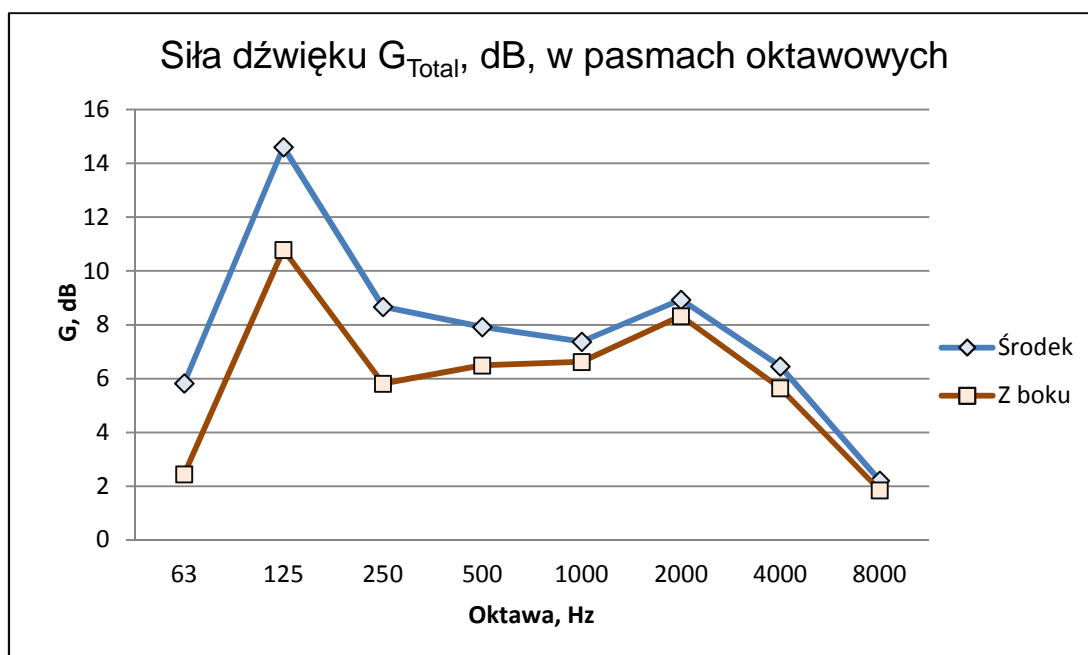
Wykres zależności G_{Total} od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.42 i II.4.43.

Tabela II.4.31. Wartości średnie G_{Total} , dB z oktaf 500 -1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	11.0	5.9	8.1	8.3	8.0
4.9	9.4	7.4	8.0	9.9	8.5
6.7	8.4	9.2	8.3	11.7	7.5
8.4	8.5	10.9	8.0	13.4	7.6
10.3	8.3	12.8	7.2	15.3	6.5
11.7	8.3	14.2	7.5	16.7	8.0
13.4	7.7	15.9	6.4	18.4	8.0
15.2	7.8	17.8	6.6	20.2	7.9
17.0	7.4	19.6	6.1	22.0	7.7
18.9	7.2	21.4	6.6	23.1	8.3
20.6	7.0	23.1	6.2	23.9	7.2
22.6	6.9	25.0	6.8	26.9	7.4
24.4	6.5	26.9	6.2	27.4	8.0
25.4	7.7	27.9	7.6	30.3	8.5

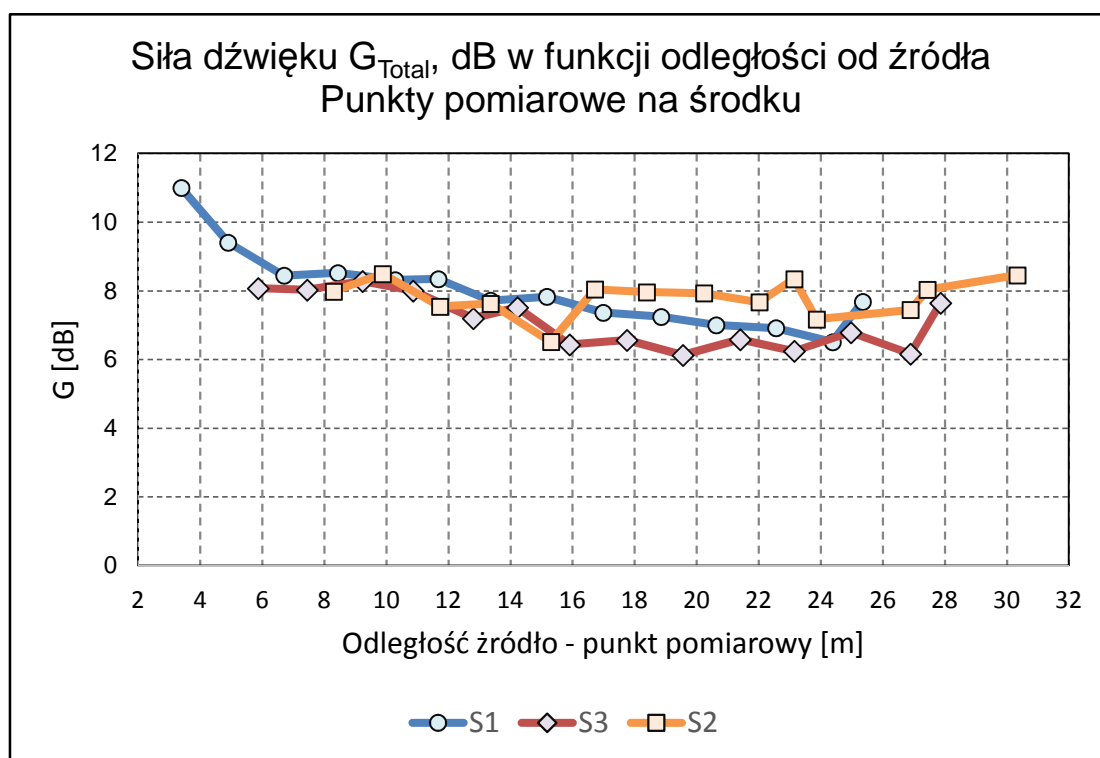
Tabela II.4.32. Wartości średnie G_{Total} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	8.4	8.0	7.4	9.8	7.2
7.7	8.3	9.5	7.9	11.4	6.8
9.2	7.4	11.1	7.7	13.1	6.2
10.8	7.0	12.9	7.4	14.9	6.6
12.4	6.7	14.5	6.8	16.7	6.3
13.7	6.5	16.0	6.8	18.2	7.0
15.2	6.4	17.6	6.1	19.8	6.3
16.9	6.3	19.3	6.1	21.5	6.4
18.5	5.8	20.9	5.8	23.2	6.3
20.2	6.5	22.6	6.6	25.0	6.6
21.9	5.9	24.4	5.9	26.8	6.3
24.0	5.4	26.4	6.7	28.8	6.3
25.2	5.0	27.7	5.9	30.1	6.6
26.2	5.9	28.7	5.9	31.1	6.4

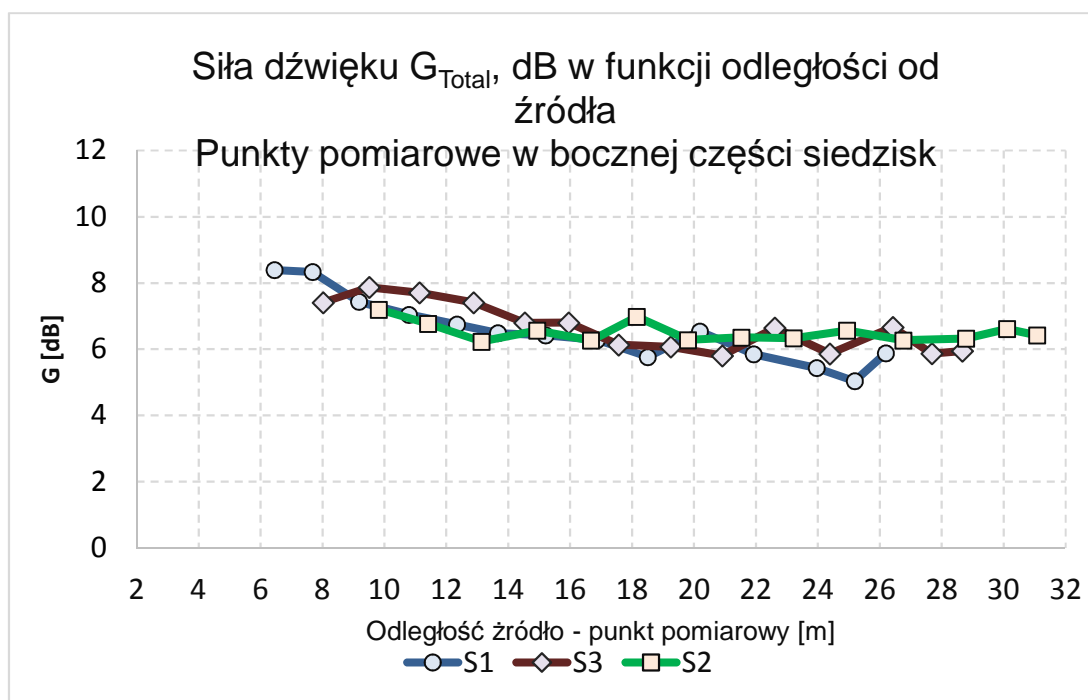


Rys. II.4.41. Widma oktaowe siły dźwięku G_{Total} , dB. Punkty pomiarowe na środku i z boku widowni.

G_{Total} (500 – 1000 Hz) = 7,0 dB. G_{Total} (125 Hz) = 13 dB



Rys. II.4.42. Zależność siły dźwięku G_{Total} , dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3, w punktach pomiarowych w środku rzędów, wzdłuż osi sali. Siła dźwięku G_{Total} ma średnią wartość 7 dB (pominięto punkty w pobliżu źródła dźwięku)



Rys. II.4.43. Zależność siły dźwięku G_{Total} , dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk. Siła dźwięku G_{Total} ma wartości od 7 dB

4.2.13. Wyniki pomiarów siły dźwięku G80

W tabeli II.4.33 zestawiono wartości średnie siły dźwięku G80, dB dla pierwszych 80 ms. Charakterystyki widmowe w pasmach oktaowych pokazano na rys. II.4.44.

Tabela II.4.33. Widma oktaowe siły dźwięku G80 odbić w czasie 0 – 80 ms

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G80, dB środek	3.7	11.0	5.2	4.5	4.3	6.0	4.4	0.9
G80, dB z boku	0.7	7.9	2.2	3.2	3.2	4.9	3.1	0.5

W tabeli II.4.34 zestawiono wartości średnie G80, dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G80.

W tabeli II.4.35 zestawiono wartości średnie G80, dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G80.

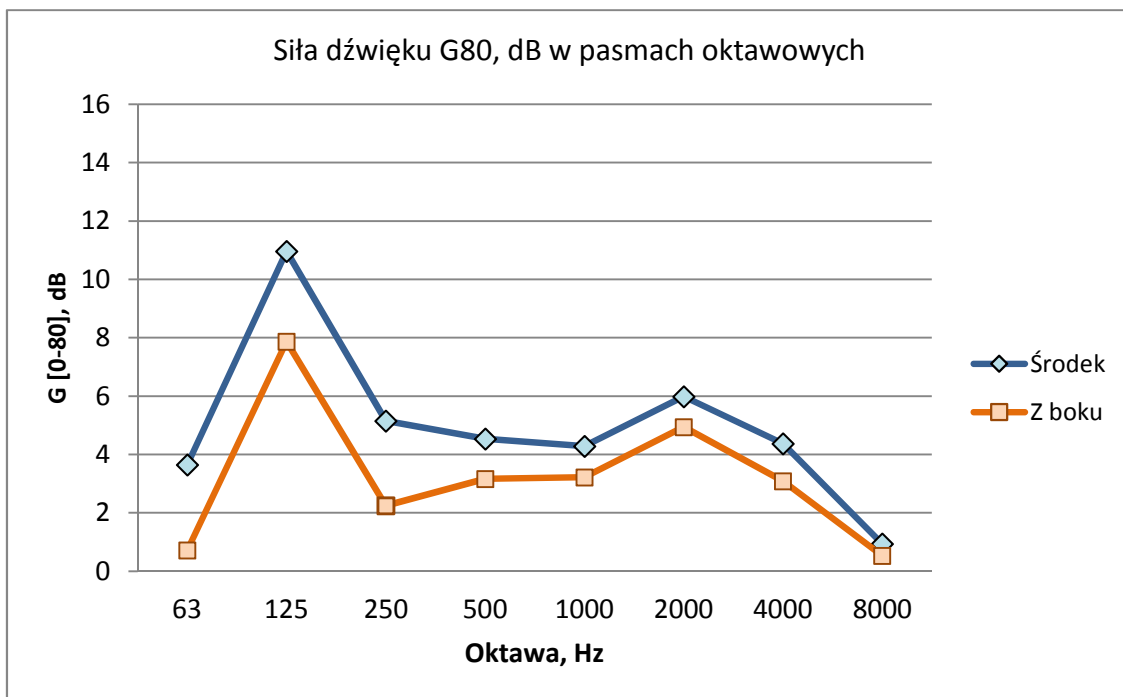
Wykres zależności G_{80} , dB od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.45 i II.4.46.

Tabela II.4.34. Wartości średnie G_{80} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

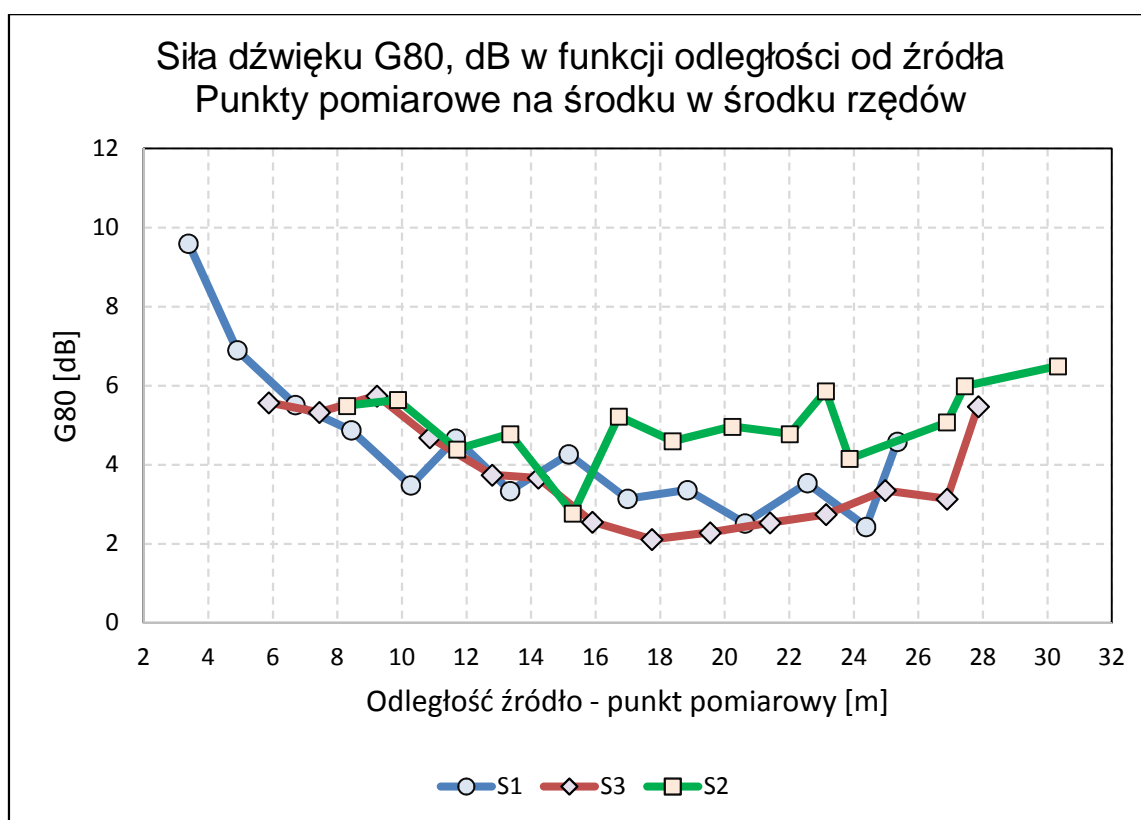
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	9.6	5.9	5.6	8.3	5.5
4.9	6.9	7.4	5.3	9.9	5.6
6.7	5.5	9.2	5.7	11.7	4.4
8.4	4.9	10.9	4.7	13.4	4.8
10.3	3.5	12.8	3.7	15.3	2.8
11.7	4.7	14.2	3.7	16.7	5.2
13.4	3.3	15.9	2.6	18.4	4.6
15.2	4.3	17.8	2.1	20.2	5.0
17.0	3.1	19.6	2.3	22.0	4.8
18.9	3.4	21.4	2.5	23.1	5.9
20.6	2.5	23.1	2.7	23.9	4.2
22.6	3.5	25.0	3.4	26.9	5.1
24.4	2.4	26.9	3.1	27.4	6.0
25.4	4.6	27.9	5.5	30.3	6.5

Tabela II.4.35. Wartości średnie G_{80} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

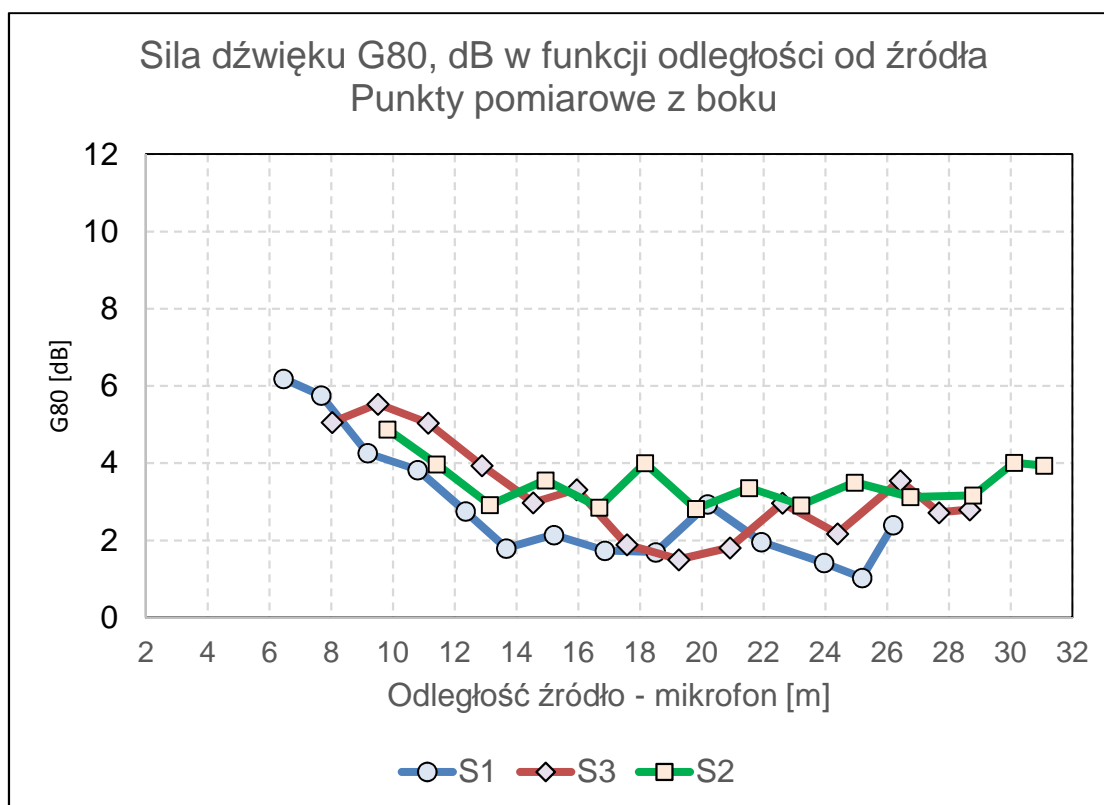
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	6.2	8.0	5.1	9.8	4.9
7.7	5.8	9.5	5.5	11.4	4.0
9.2	4.3	11.1	5.0	13.1	2.9
10.8	3.8	12.9	3.9	14.9	3.6
12.4	2.8	14.5	3.0	16.7	2.9
13.7	1.8	16.0	3.3	18.2	4.0
15.2	2.1	17.6	1.9	19.8	2.8
16.9	1.7	19.3	1.5	21.5	3.4
18.5	1.7	20.9	1.8	23.2	2.9
20.2	2.9	22.6	3.0	25.0	3.5
21.9	2.0	24.4	2.2	26.8	3.1
24.0	1.4	26.4	3.6	28.8	3.2
25.2	1.0	27.7	2.7	30.1	4.0
26.2	2.4	28.7	2.8	31.1	3.9



Rys. II.4.44. Widma oktaowe siły dźwięku G80, dB. Punkty pomiarowe na środku rzędów i z boku widowni. G80 (500 – 1000 Hz) = 3.8 dB. G80 (125 Hz) = 9.5 dB



Rys. II.4.45. Zależność siły dźwięku G80, dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Średnia wartość G80 = 3.8 dB.



Rys. II.4.46. Zależność siły dźwięku G80, dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk

4.2.14. Wyniki pomiarów siły dźwięku G_{Late}

W tabeli II.4.36 zestawiono wartości średnie siły dźwięku G_{Late} , dB dla odpowiedzi impulsowej po 80 ms. Charakterystyki widmowe w pasmach oktaowych pokazano na rys. II.4.47.

Tabela II.4.36. Widma oktaowe siły dźwięku G_{Late} odpowiedzi impulsowej po 80 ms

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G_{Late} , środek	1.8	11.9	5.9	5.1	4.3	5.7	2.1	-3.9
G_{Late} , Z boku	-2.1	7.4	3.1	3.7	3.9	5.6	2.0	-4.1

W tabeli II.4.37 zestawiono wartości średnie pomiarów G_{Late} , dB z oktaw 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w środku rzędów, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3 na estradzie. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Late} .

W tabeli II.4.38 zestawiono wartości średnie G_{Late} , dB z oktav 500-1000 Hz. Punkty pomiarowe w miejscach bocznych, źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3. Kolejne kolumny to odległości punktu pomiarowego od źródła dźwięku na estradzie i średnie wartości G_{Late} , dB.

Wykres zależności G_{Late} , dB od odległości do źródeł dźwięku - rys. II.4.48 i II.4.49

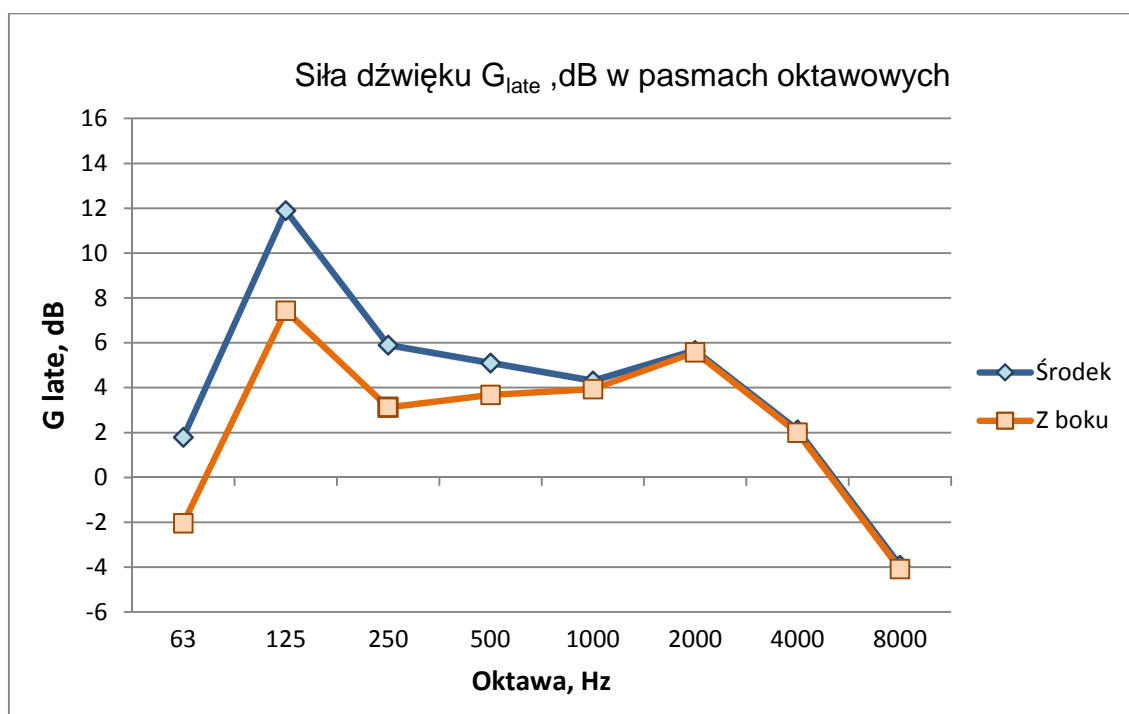
Tabela II.4.37. Wartości średnie G_{Late} , dB z oktav 500-1000 Hz w punktach pomiarowych w środku rzędów. Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

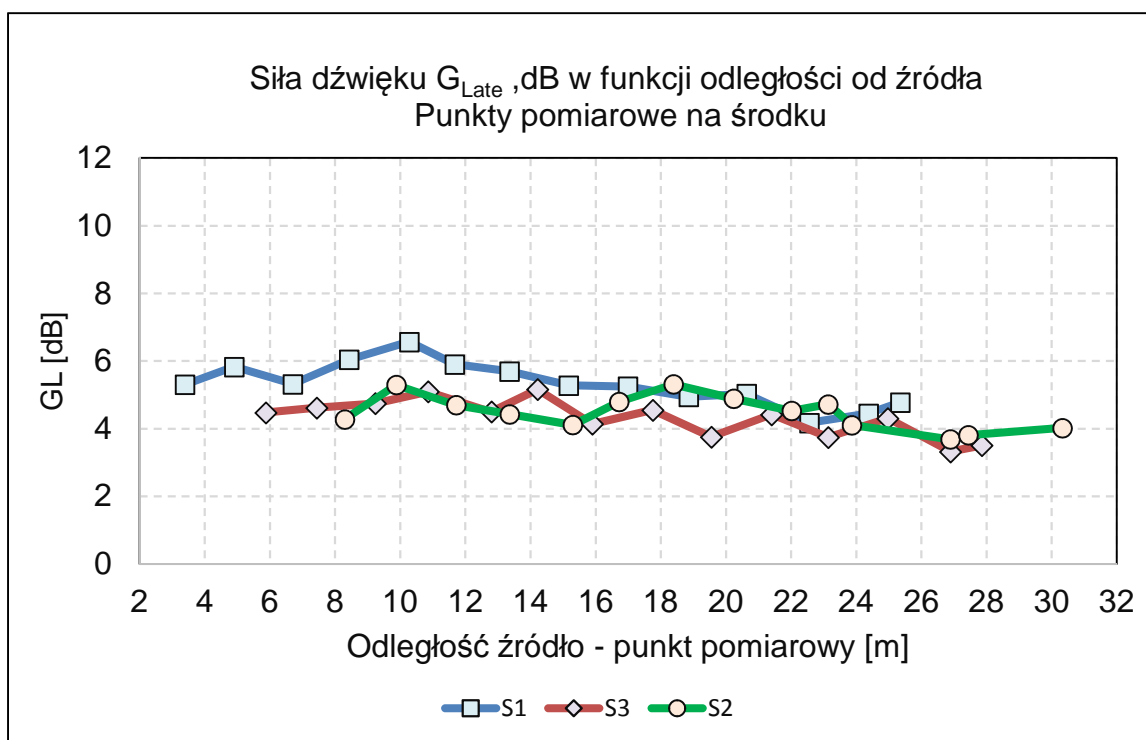
S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
3.4	5.30	5.9	4.48	8.3	4.28
4.9	5.83	7.4	4.62	9.9	5.29
6.7	5.32	9.2	4.75	11.7	4.70
8.4	6.04	10.9	5.10	13.4	4.43
10.3	6.57	12.8	4.50	15.3	4.11
11.7	5.90	14.2	5.16	16.7	4.79
13.4	5.70	15.9	4.14	18.4	5.31
15.2	5.28	17.8	4.55	20.2	4.89
17.0	5.25	19.6	3.76	22.0	4.53
18.9	4.94	21.4	4.42	23.1	4.72
20.6	5.03	23.1	3.75	23.9	4.11
22.6	4.17	25.0	4.31	26.9	3.69
24.4	4.45	26.9	3.32	27.4	3.81
25.4	4.78	27.9	3.51	30.3	4.02

Tabela II.4.38. Wartości średnie G_{Late} , dB z oktaf 500-1000 Hz w punktach pomiarowych z boku sali.

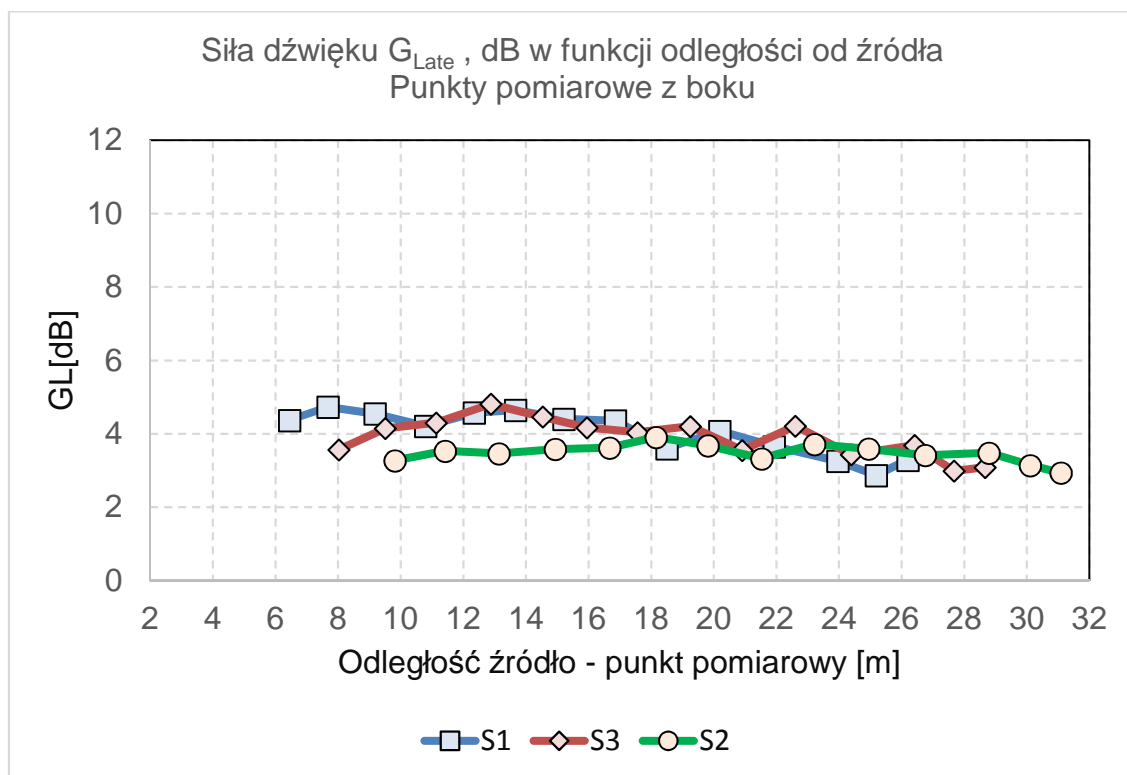
Źródła dźwięku w pozycji S1, S2 i S3

S1		S2		S3	
dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB	dist, m	Gsr, dB
6.5	4.37	8.0	3.57	9.8	3.27
7.7	4.73	9.5	4.15	11.4	3.53
9.2	4.55	11.1	4.30	13.1	3.46
10.8	4.21	12.9	4.81	14.9	3.58
12.4	4.57	14.5	4.46	16.7	3.62
13.7	4.64	16.0	4.17	18.2	3.91
15.2	4.40	17.6	4.04	19.8	3.68
16.9	4.36	19.3	4.20	21.5	3.32
18.5	3.60	20.9	3.55	23.2	3.71
20.2	4.07	22.6	4.21	25.0	3.59
21.9	3.65	24.4	3.43	26.8	3.41
24.0	3.26	26.4	3.69	28.8	3.48
25.2	2.87	27.7	2.99	30.1	3.14
26.2	3.29	28.7	3.09	31.1	2.93

Rys. II.4.47. Widma oktafowe siły dźwięku G_{Late} , dB. Punkty pomiarowe na środku rzędów i z boku widowni. Średnia wartość G_{Late} = 4.3 dB



Rys. II.4.48. Zależność siły dźwięku G_{Late} , dB od odległości do źródeł dźwięku S1, S2 i S3, w punktach pomiarowych w środku rzędów, wzdłuż osi sali. Siła dźwięku G_{Late} ma wartości od 3.5 do 6 dB i średnią 4.3 dB.



Rys. II.4.49. Zależność siły dźwięku G_{Late} , dB od odległości od źródeł dźwięku S1, S2 i S3. Punkty pomiarowe w bocznej części siedzisk. Siła dźwięku średnia $G_{Late} = 4.3$ dB

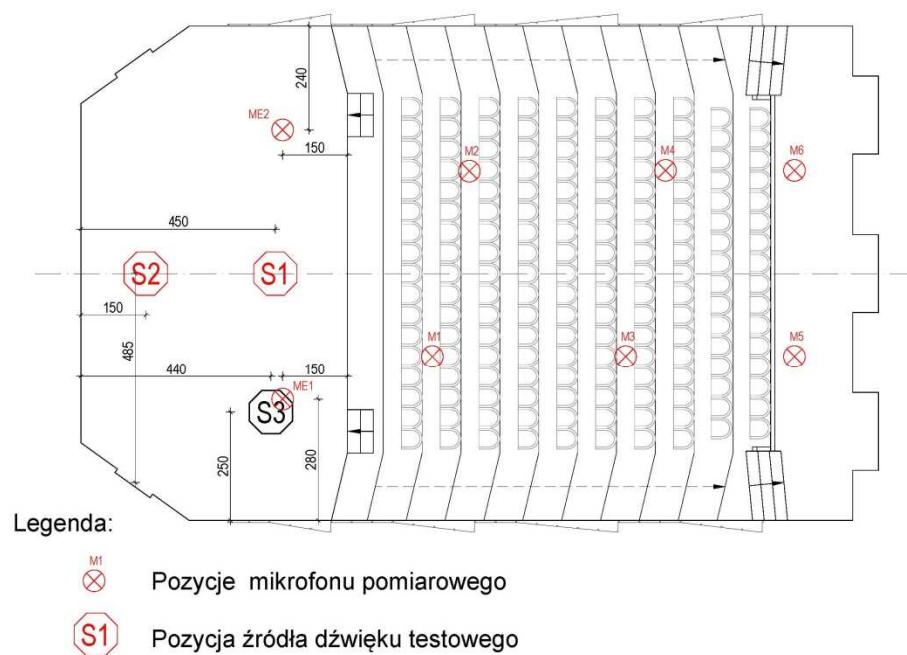
4.3. Wyniki pomiarów Sali Kameralnej

Zakres pomiarów akustycznych Sali Kameralnej obejmował:

- czas wczesnego zaniku dźwięku EDT,
- czas pogłosu T30,
- wskaźnik przejrzystości dźwięku C80,
- wskaźnik czytelności dźwięku C50,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI,
- izolacyjność akustyczną od źródeł hałasu w foyer Sali Kameralnej.

Pomiary wykonano w Sali bez publiczności.

4.3.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych



FILHARMONIA POMORSKA
SALA KAMERALNA
PUNKTY POMIAROWE - 6.10.2017

Rys. II.4.50. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w Sali Kameralnej. Usytuowanie źródeł dźwięku S1, S2, S3 i punktów pomiarowych M1 – M6 i ME1- ME2.

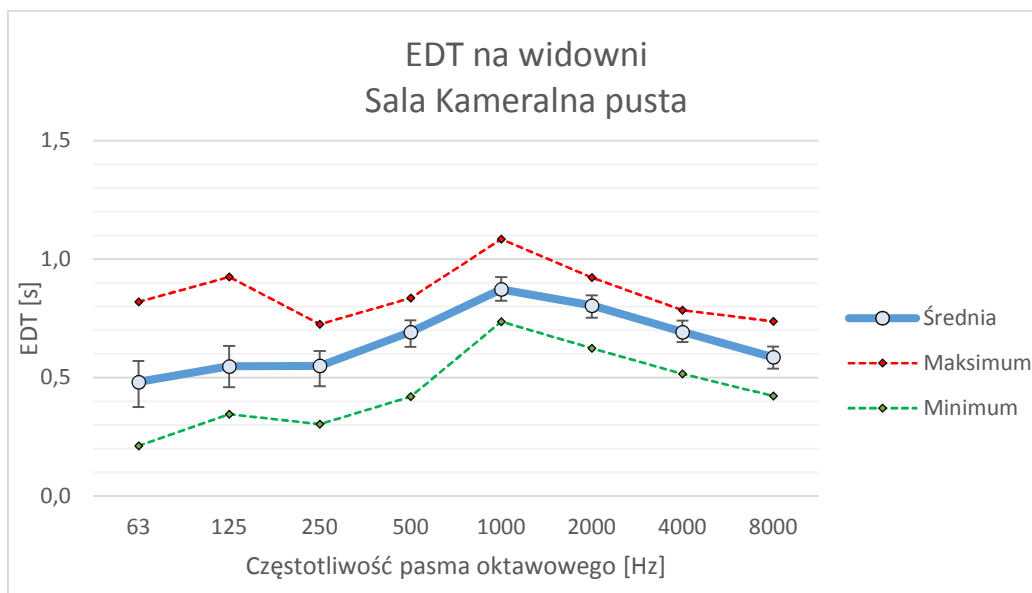
4.3.2. Charakterystyki częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT w Sali Kameralnej

W tabeli II 4.39 podano średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

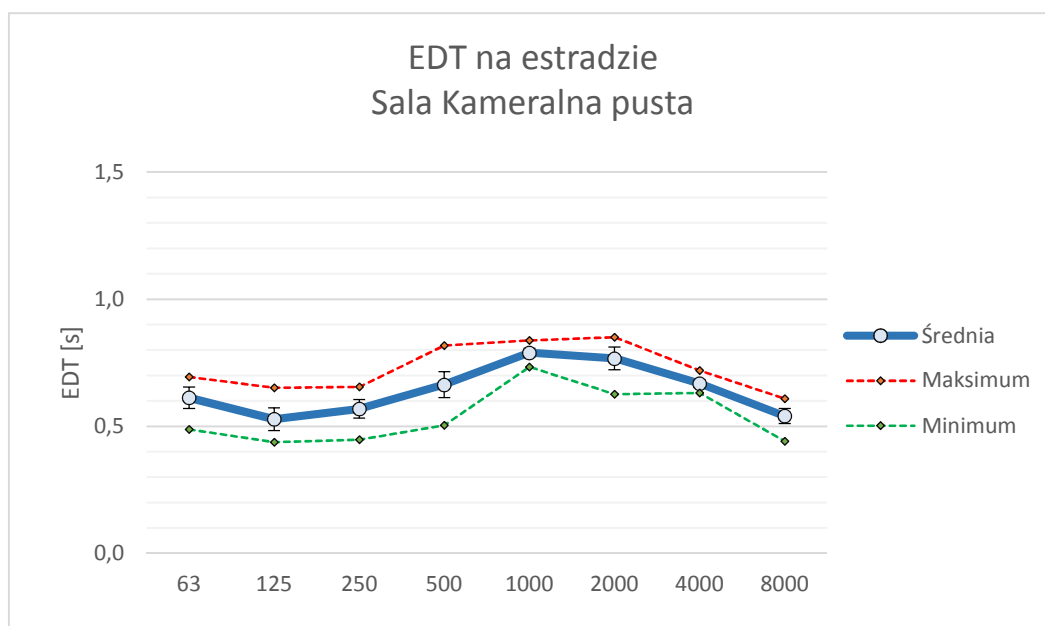
Tabela II 4.39. Średnie wartości czasu wczesnego zaniku dźwięku EDT w pasmach oktaowych, na estradzie i widowni

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT Widownia, dB	0.48	0.55	0.55	0.69	0.87	0.80	0.69	0.59
EDT Estrada, dB	0.61	0.53	0.57	0.66	0.79	0.77	0.67	0.54

Wykres charakterystyk częstotliwościowych EDT, dB - rys. II. 4.51 i II.4.52.



Rys. II.4.51. Charakterystyka częstotliwościowe czasu wczesnego zaniku EDT, s, na widowni, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na widowni wynosi 0.8 s (średnia z okta 500 – 1000 Hz)



Rys. II.4.52. Charakterystyka częstotliwościowa czasu wczesnego zaniku EDT, s, na estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w sali pustej. Czas wczesnego zaniku dźwięku na estradzie wynosi 0.7 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz)

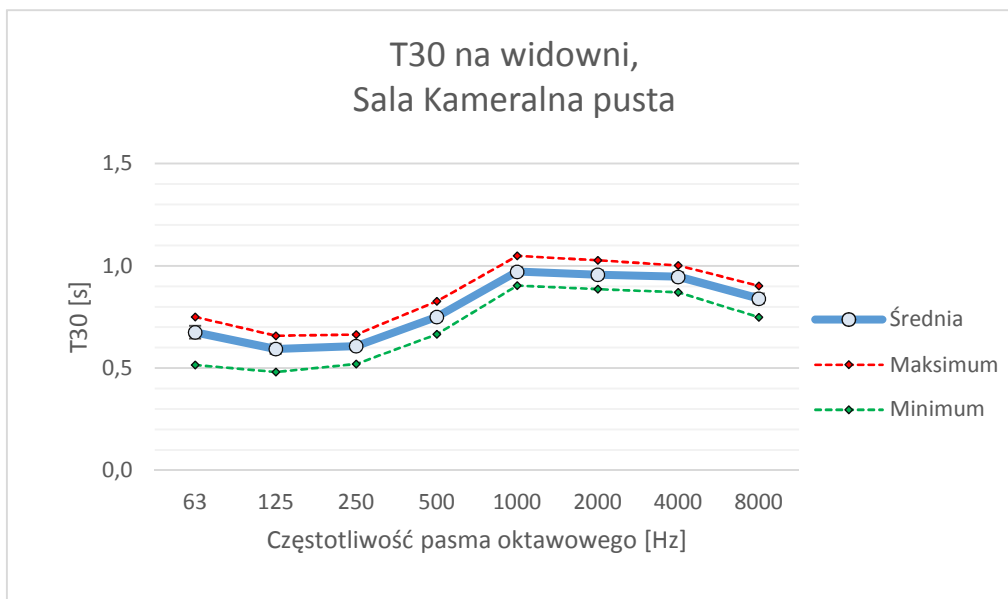
4.3.3. Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu T30 w Sali Kameralnej

W tabeli II 4.40 podano średnie wartości czasu pogłosu T30 na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 63 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

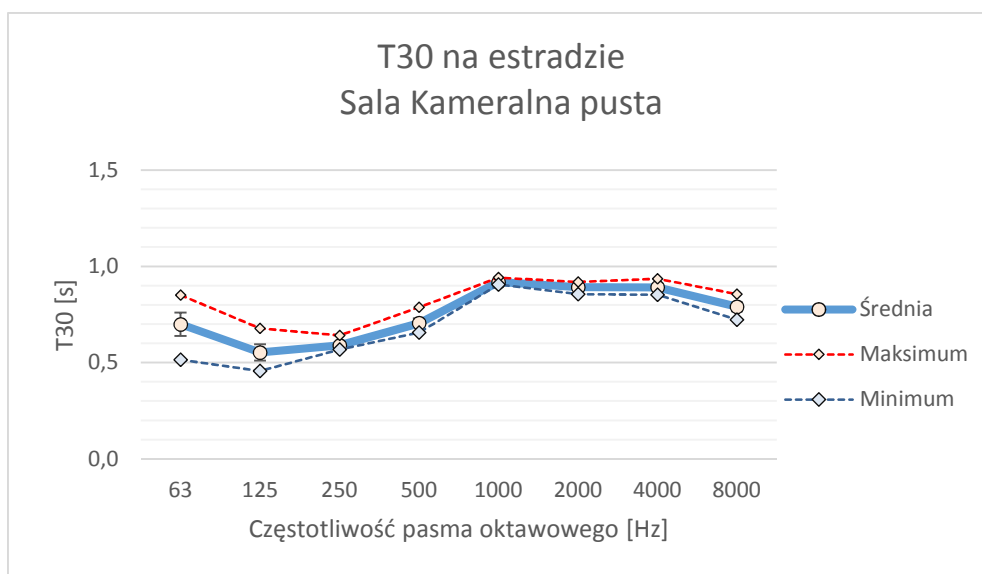
Tabela II 4.40. Średnie wartości czasu pogłosu T30 w pasmach oktawowych, na widowni i estradzie

f, Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 Widownia, dB	0.68	0.59	0.61	0.75	0.97	0.96	0.95	0.84
T30 Estrada, dB	0.70	0.55	0.59	0.70	0.92	0.89	0.89	0.79

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych T30 - rys. II. 4.53 i II.4.54.



Rys. II.4.53. Charakterystyka częstotliwościowe czasu pogłosu T30, s, na widowni, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas pogłosu na widowni wynosi 0.9 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz).



Rys. II.4.54. Charakterystyka częstotliwościowe czasu pogłosu T30, s, na estradzie, w oktawach 63 Hz – 8 kHz, w Sali pustej. Czas pogłosu dźwięku na estradzie wynosi 0.8 s (średnia z oktaw 500 – 1000 Hz).

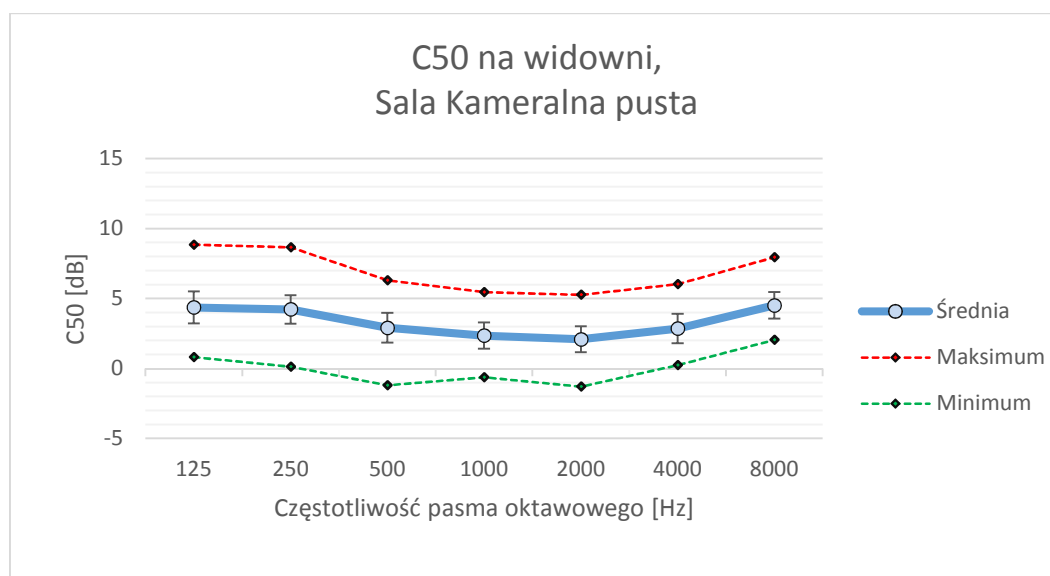
4.3.4. Charakterystyki częstotliwościowe czytelności dźwięku C50 w Sali Kameralnej

W tabeli II.4.41. podano średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50 na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

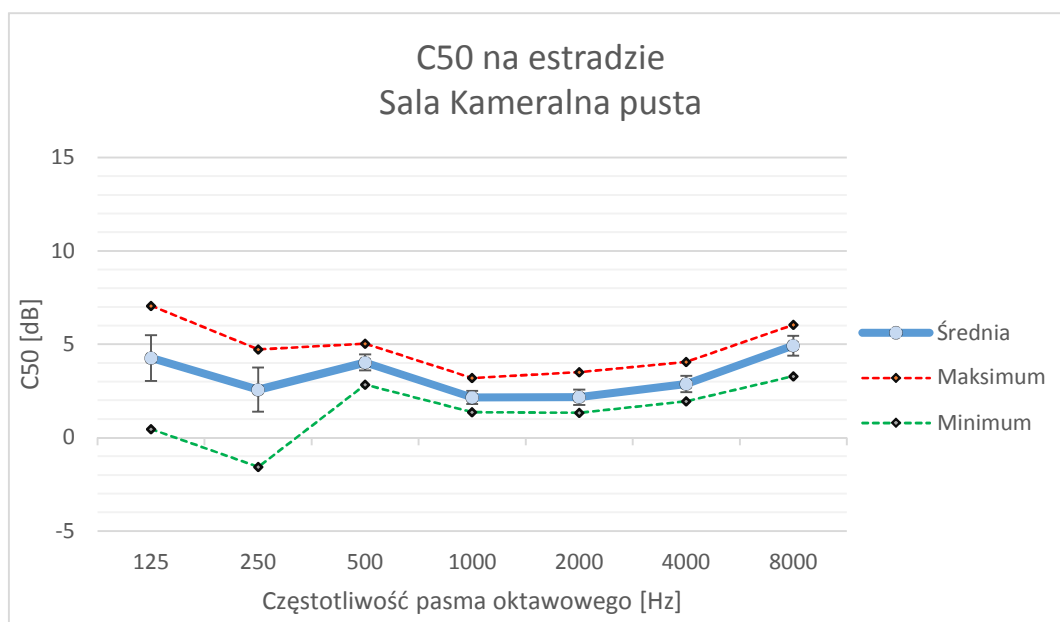
Tabela II.4.41 Średnie wartości wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni i estradzie, w pasmach oktaowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 Widownia, dB	4.4	4.2	2.9	2.3	2.1	2.8	4.5
C50 Estrada, dB	4.3	2.6	4.0	2.2	2.2	2.9	4.9

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C50 - rys. II.4.55 i II.4.56.



Rys. II.4.55. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na widowni, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik czytelności C50 dla widowni wynosi 2.5 dB



Rys. II.4.56. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika czytelności dźwięku C50, dB, na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik czytelności C50 na estradzie wynosi 3.1 dB

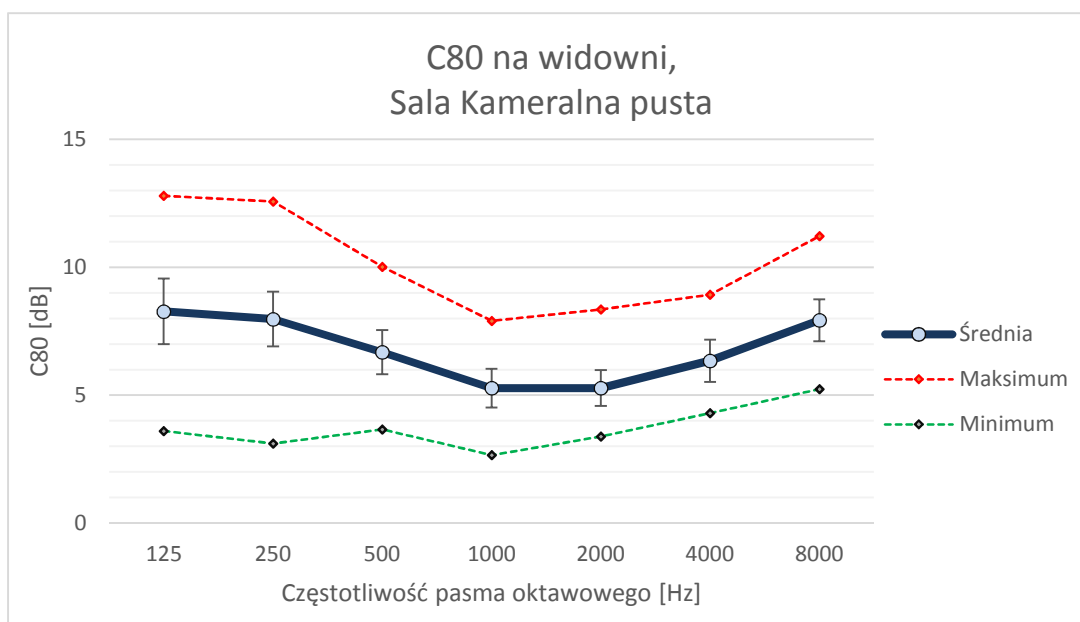
4.3.4. Charakterystyki częstotliwościowe przejrzystości dźwięku C80 w Sali Kameralnej

W tabeli II.4.42. podano średnie wartości wskaźnika przejrzystości dźwięku C80 na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz. Wartości średnie obliczono oddzielnie z punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

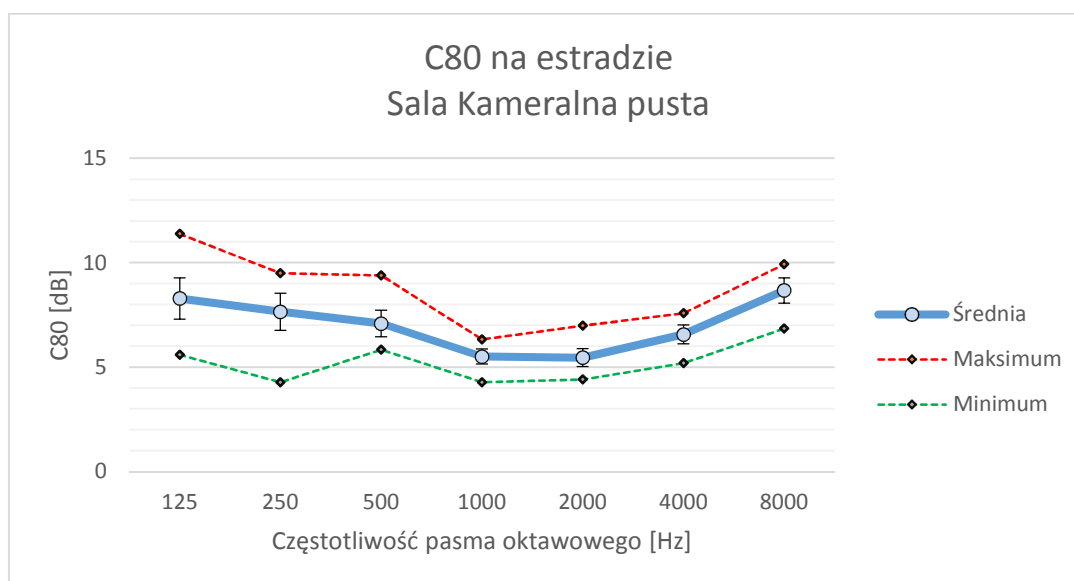
Tabela II.4.42 Średnie wartości wskaźnika przejrzystości i dźwięku C80, dB, na widowni i estradzie, w pasmach oktawowych 125 Hz – 8 kHz

f, Hz	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 Widownia, dB	8.3	8.0	6.7	5.3	5.3	6.3	7.9
C80 Estrada, dB	8.3	7.7	7.1	5.5	5.5	6.6	8.7

Wykresy charakterystyk częstotliwościowych C80 - rys. II.4.57 i II.4.58.



Rys. II.4.57. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na widowni, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik przejrzystości C80 dla widowni wynosi 6.0 dB



Rys. II.4.58. Charakterystyki częstotliwościowe wskaźnika przejrzystości dźwięku C80, dB, na estradzie, w oktawach 125 Hz – 8 kHz. Wskaźnik przejrzystości i C80 na estradzie wynosi 6.3 dB

4.3.5. Charakterystyki wskaźnika zrozumiałości mowy STI w Sali Kameralnej

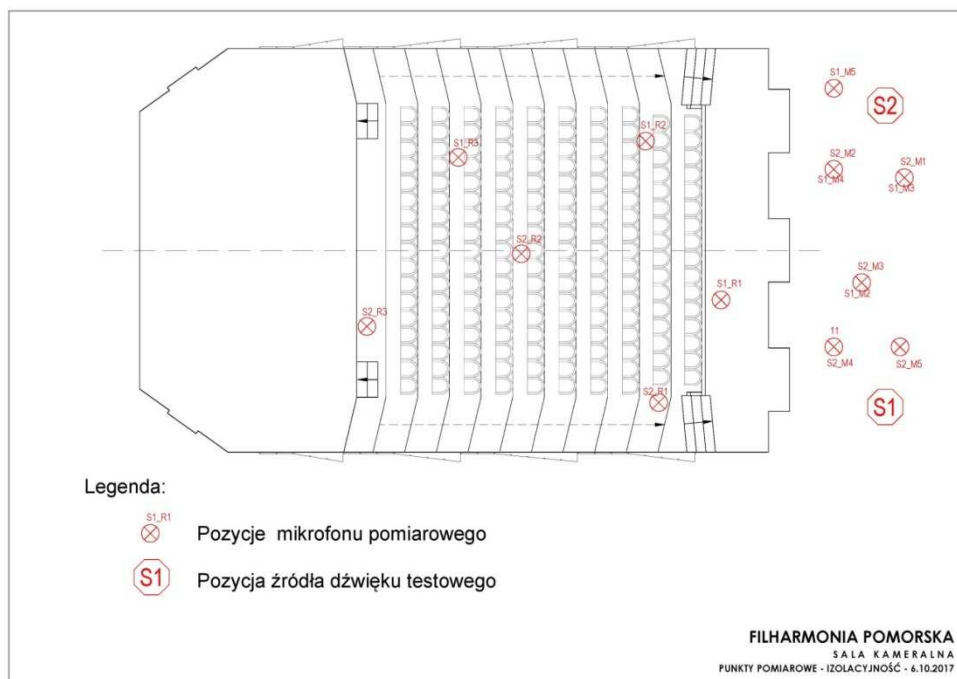
W tabeli II.4.43 podano średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i widowni. Wartości średnie obliczono oddzielnie z wszystkich punktów pomiarowych na widowni i na estradzie.

Tabela II.4.43 Średnie wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na estradzie i na widowni

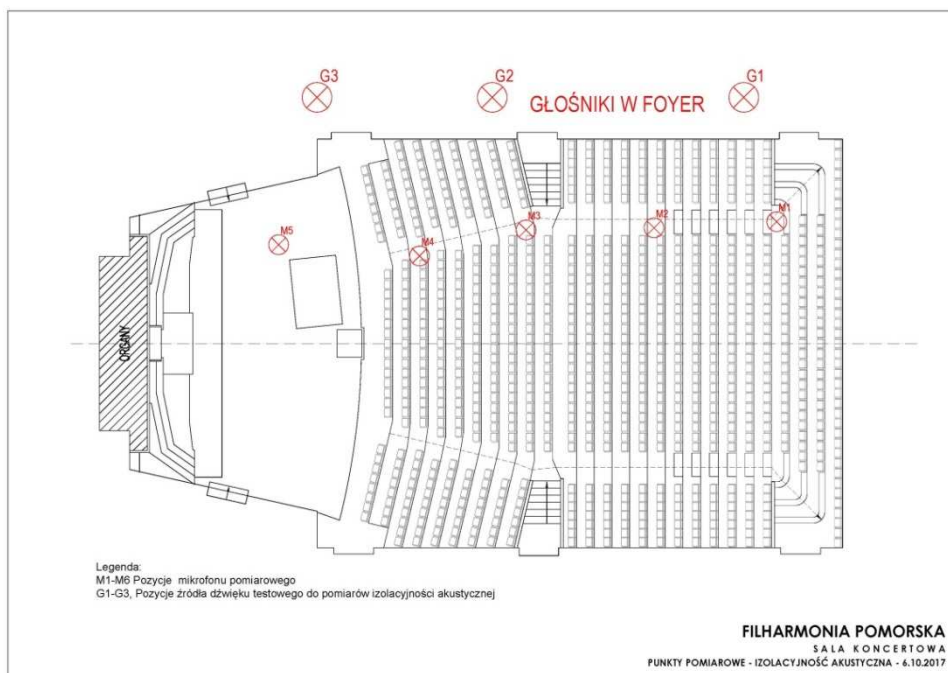
L.p.	Sala	Widownia	Estrada
1	Sala Kameralna bez publiczności	0.67	0.68

4.4. Charakterystyki izolacyjności akustycznej między salami koncertowymi i strefami korytarzy

4.4.1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych przy pomiarach izolacyjności akustycznej.



Rys. II.4.59. Punkty pomiarowe przy pomiarach izolacyjności między Salą Kameralną a foyer Sali Kameralnej.



Rys. II.4.60. Punkty pomiarowe przy pomiarach izolacyjności między Salą Koncertową a foyer Sali Koncertowej.

4.4.2. Izolacyjność akustyczna między Salą Kameralną i Salą Koncertową

Na rys. II.4.61. umieszczono wyniki pomiaru izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną i Salą Koncertową. Źródło sygnału testowego umieszczone było w Sali Kameralnej. Izolacyjność między salami określono na podstawie różnicy wartości poziomów ciśnienia akustycznego ΔL w pasmach tercjowych w Sali Kameralnej (średnia z 7 punktów pomiarowych) i w Sali Koncertowej (średnia z 15 punktów). Jednoliczbowy ważony wskaźnik standardowej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego DnT,w , dB, obliczono zgodnie z wytycznymi normy PN/EN ISO 717-1. Zmierzona izolacyjność między Salą Kameralną a Salą Koncertową wynosi $DnT,w = 53$ dB. W podobny sposób zmierzono izolacyjność między korytarzami a salami koncertowymi. Wyniki pomiarów :

- izolacyjność między Salą Koncertową a górnym foyer Sali Koncertowej (rys. II.4.62), $DnT,w = 43$ dB,
- izolacyjność między Salą Koncertową a dolnym foyer Sali Koncertowej (rys. II.4.63) $DnT,w = 40$ dB,
- izolacyjność między Salą Kameralną a foyer Sali Kameralnej (rys. II.4.64): $DnT,w = 28$ dB.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 06.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Sala Kameralna
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Koncertowa
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	31
63	34
80	38
100	41
125	39
160	37
200	32
250	38
315	43
400	49
500	49
630	54
800	56
1000	58
1250	58
1600	61
2000	62
2500	61
3150	62
4000	64
5000	65

IZOLACYJNOSC AKUSTYCZNA KAMERALNA=>KONCERTOWA N=>O

Wzorcowa różnica poziomów DnT, dB

DnT(C;Ctr) = 53 (-3.8;-8.7) dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB
— odniesienie wg ISO 717-1
— krzywa odnies. przesunięta

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1$ s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 53 (-3.8, -8.7) dB

Nr pomiaru: 1	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 06.10.2017	Podpis

Rys. II.4.61. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Salą Kameralną (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 53 (-3.8, -8.7)$ dB.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyer Górne Sali Koncertowej a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Górne Sali Koncertowej
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	31
63	34
80	38
100	37
125	46
160	46
200	40
250	41
315	41
400	44
500	45
630	46
800	45
1000	44
1250	41
1600	40
2000	39
2500	40
3150	43
4000	44
5000	44

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA, FOYER GÓRNE => KONCERTOWA N=>O

Wzorcowa różnica poziomów DnT, dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB
— krzywa odnies. przesunięta
--- odniesienie wg ISO 717-1

$DnT(C;Ctr) = 43 (-2.0; -1.4) \text{ dB}$

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1 \text{ s}$):	
$DnT,w(C;Ctr)$	= 43 (-2.0, -1.4) dB

Nr pomiaru: 2	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.62. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyerem Górnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednolitego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 43 (-2.0, -1.4) \text{ dB}$.

Charakterystyka izolacyjności akustycznej
między Foyer Dolne Sali Koncertowej a Salą Koncertową

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń:	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Dolne Sali Koncertowej
Objętość pomieszczenia nadawczego:	m ³ -
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Koncertowa
Objętość pomieszczenia odbiorczego:	m ³ 6300
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego:	s 2.15 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	34
63	32
80	29
100	32
125	37
160	35
200	38
250	38
315	39
400	40
500	42
630	42
800	41
1000	41
1250	38
1600	37
2000	37
2500	37
3150	40
4000	41
5000	41

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA, FOYER DOLNE => KONCERTOWA N=>O

DnT(C;Ctr) = 40 (-2.0; -1.8) dB

Wzorcowa różnica poziomów DnT, dB

1/3 oct freq, Hz

○ wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB
— krzywa odnies. przesunięta
--- odniesienie wg ISO 717-1

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1$ s):	
DnT,w(C;Ctr)	= 40 (-2.0, -1.8) dB

Nr pomiaru: 3	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.63. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyer Dolnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 40 (-2.0, -1.8)$ dB

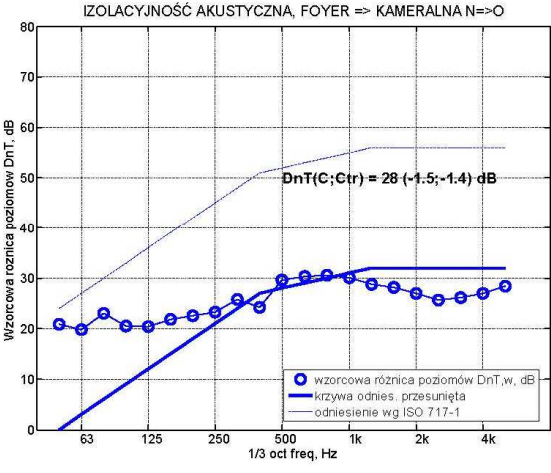
Charakterystyka izolacyjności akustycznej
Między Foyer Sali Kameralnej a Salą Kameralną

Izolacyjność akustyczna wg PN-EN-ISO-16283-1: 2014

Data badania: 07.10.2017

Opis badanego układu pomieszczeń	
Pomieszczenie nadawcze:	Foyer Sali Kameralnej
Objętość pomieszczenia nadawczego: m ³	-
Pomieszczenie odbiorcze:	Sala Kameralna
Objętość pomieszczenia odbiorczego: m ³	850
Czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego: s	0.86 (0.5 – 1 kHz)
Powierzchnia przegrody dzielącej pom.	m ² -

Częstotliwość, f, Hz	ΔL (1/3 okt.) dB
50	21
63	20
80	23
100	21
125	20
160	22
200	23
250	23
315	26
400	24
500	30
630	30
800	30
1000	30
1250	29
1600	28
2000	27
2500	26
3150	26
4000	27
5000	28



IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA, FOYER => KAMERALNA N=>O

$DnT,w(C;Ctr) = 28 (-1.5; -1.4) \text{ dB}$

Wzorcowa różnica poziomów DnT,w, dB

krzywa odnies. przesunięta

odniesienie wg ISO 717-1

Wskaźniki wg PN-EN-ISO-16283-1 ($T_0 = 1 \text{ s}$):	
$DnT,w(C;Ctr)$	= 28 (-1.5, -1.4) dB

Nr pomiaru: 4	Nazwa jednostki badawczej: MT
Data: 07.10.2017	Podpis

Rys. II.4.64. Charakterystyka izolacyjności akustycznej między Foyer Dolnym (pomieszczenie nadawcze) a Salą Koncertową (pomieszczenie odbiorcze). Wartość jednoliczbowego wskaźnika standardowej różnicy poziomów $DnT,w(C;Ctr) = 28 (-1.5, -1.4) \text{ dB}$

4.5. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Kameralnej i Sali Koncertowej

4.5.1. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Kameralnej

4.5.1.1 Dane architektoniczne

Liczba miejsc: 168,
 Kubatura: 890 m³,
 Powierzchnia: 200 m²,
 Długość: 17.8 m,
 Szerokość: 11.5 m,
 Wysokość max: 5 m.

4.5.1.2 Podstawowe dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Sala bez publiczności	Wartość rekomend.
Czas wczesnego zaniku dźwięku	EDT, s	0.75	0.7 – 0.9
Czas pogłosu	T30, s	0.84	0.8 - 1
Stosunek basów	BR	0.80	1.0
Wskaźnik przejrzystości dźwięku	C80, dB	6.2	4 - 6
Wskaźnik czytelności dźwięku	C50, dB	2.9	2 - 4
Wskaźnik zrozumiałości mowy	STI	0.68	> 0.5
Poziom hałasu	NC	28	15

4.5.2. Podsumowanie wyników pomiarów akustycznych Sali Koncertowej

4.5.2.1 Dane architektoniczne

Liczba miejsc:	886,
Kubatura:	6200 m ³ ,
Powierzchnia:	675 m ² ,
Powierzchnia estrady:	163 m ² ,
Długość:	35.5 m,
Szerokość:	20.7 m,
Wysokość max:	11.9 m.

4.5.2.2 Podstawowe dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Sala bez publiczności	Sala z publicznością	Wartość rekomend.
Czas wczesnego zaniku dźwięku	EDT, s	1.9	1.5	1.4 – 2.0
Czas pogłosu	T30, s	2.1	1.8	1.7 – 2.2
Stosunek basów	BR	0.86	0.80	1.1 - 1.25
Wskaźnik przejrzystości dźwięku	C80, dB	-0.1	0.2	-3 - 3
Wskaźnik czytelności dźwięku	C50, dB	-2.8	-2.6	-1 - -3
Wskaźniki wspomaganie akustycznego estrady	STearly / STlate, dB	-12.9 / -14.3	-	-13 - -11 -14 - -16
Wskaźnik zrozumiałości mowy	STI	0.51	0.53	> 0.5
Poziom hałasu	NC	25	-	15

4.5.2.3 Rozszerzone dane akustyczne

Parametr	Symbol, jednostka	Bez publiczności	Zalecana z publ.
Czas opóźnienia wczesnych odbić	ITDG, ms	21	15 - 20
Siła dźwięku (0.5 – 1 kHz)	G_{Total} , dB G_{Early} , dB G_{Late} , dB	7.0 3.8 4.3	3 – 5 5 – 8 (mniejsze sale)
Siła dźwięku (125 Hz)	G_{Total} , dB G_{Early} , dB G_{Late} , dB	13.0 9.5 9.7	0 - 3
Współczynnik korelacji międzyusznej	$IACC_{Early}$ $IACC_{Late}$	0.34 0.16	0.20 - 0.35
Wskaźnik jakości binauralnej	BQI_{Early} BQI_{Late}	0.66 0.84	0.65 – 0.80
Miara wrażenia otoczenia dźwiękiem (Listener Envelopment)	LEV	1.39	1 - 2
Stopień rozszerzenia pozornej szerokości źródła dźwięku (Degree of Source Broadening)	DSB	26.8	> 18
Wskaźnik basów (Bass Index)	BI, dB	6	-0.5 - 3
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Sali Kameralnej	D_{nTw} , dB	53	85
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Foyer Górnego Sali Koncertowej	D_{nTw} , dB	43	55
Izolacyjność akustyczna Sali Koncertowej od Foyer Dolnego Sali Koncertowej	D_{nTw} , dB	40	55
Izolacyjność akustyczna Sali Kameralnej od Foyer Sali Kameralnej	D_{nTw} , dB	28	55

Przedstawione dane wskazują, że Sala spełnia większość podstawowych kryteriów jakości akustycznej dla średniej wielkości sal symfonicznych, takich jak czas pogłosu, wskaźniki czytelności i przejrzystości dźwięku. Wśród parametrów, które należałoby poprawić jest izolacyjność akustyczna między Salą Koncertową a korytarzami i Salą Kameralną oraz nadmierny poziom hałasu w Sali, związany z niedostateczną izolacyjnością.

Wśród parametrów, jeden znacząco odbiega od zaleceń opisywanych w literaturze akustycznej, to jest wskaźnik BR – *bass ratio*, czyli stosunek basów. W polskim języku służy on jako miara wrażenia określanego jako ciepło brzmienia. Zmierzona wartość BR wynosi 0.8, czyli o 30 - 40 % mniej niż wartość zalecana 1.1 – 1.25. Właściwość ta wynika z koncepcji akustycznej Autora projektu akustycznego Sali, która opiera się na zastosowaniu drewnianej boazerii, silnie pochłaniającej dźwięk w zakresie małych częstotliwości. Boazeria ta pokrywa większość ścian w Sali. Ponadto, w badaniach materiałów dźwiękochłonnych in-situ stwierdzono, że stosunkowo silnie pochłaniającą dźwięk strukturą w zakresie małych częstotliwości jest także sufit i podłoga widowni.

Z kolei, w ocenach słuchowych brzmienia orkiestr, nie odnoszono się krytycznie do właściwości sali, która dotyczy zakresu małych częstotliwości. W celu wyjaśnienia istoty tego zjawiska przeprowadzono serię dodatkowych pomiarów Sali z użyciem bardziej zaawansowanych narzędzi do diagnostyki akustycznej sal, umożliwiających analizę struktury widmowej i czasowej odpowiedzi akustycznej sali. Interesujący fragment badań dotyczył wyznaczenia opisanych w opracowaniu wskaźników przestrzenności dźwięku LEV, BSD i wskaźnika basów BI. Wskaźnik BI bardziej adekwatnie niż BR charakteryzuje brzmienie sal koncertowych w zakresie małych częstotliwości. Stwierdzono, że wyznaczony z pomiarów Sali wskaźnik BI ma wartość 6 dB i wskazuje, że salę charakteryzuje wyrównane brzmienie, wraz ze składowymi dźwiękami w zakresie małych częstotliwości. Stosunkowo duża wartość siły dźwięków niskoczęstotliwościowych wynika przypuszczalnie z właściwej konstrukcji podłogi i zabudowy estrady, które przenoszą drogą materiałową dźwięk instrumentów smyczkowych opieranych na podłodze estrady.

CZĘŚĆ III– INWENTARYZACJA AKUSTYCZNA SAL

1. Sala Koncertowa

Poniższa część opracowania przedstawia informacje dotyczące Sali Koncertowej zebrane na podstawie architektonicznej dokumentacji archiwalnej będącej w posiadaniu Filharmonii Pomorskiej. Nie znaleziono opracowania akustyki wnętrz, dlatego informacje pochodzą z rysunków wnętrzarskich, które zostały zweryfikowane w czasie wizji lokalnej i odkrywek.

1.1. Dane architektoniczne

Dane ogólne

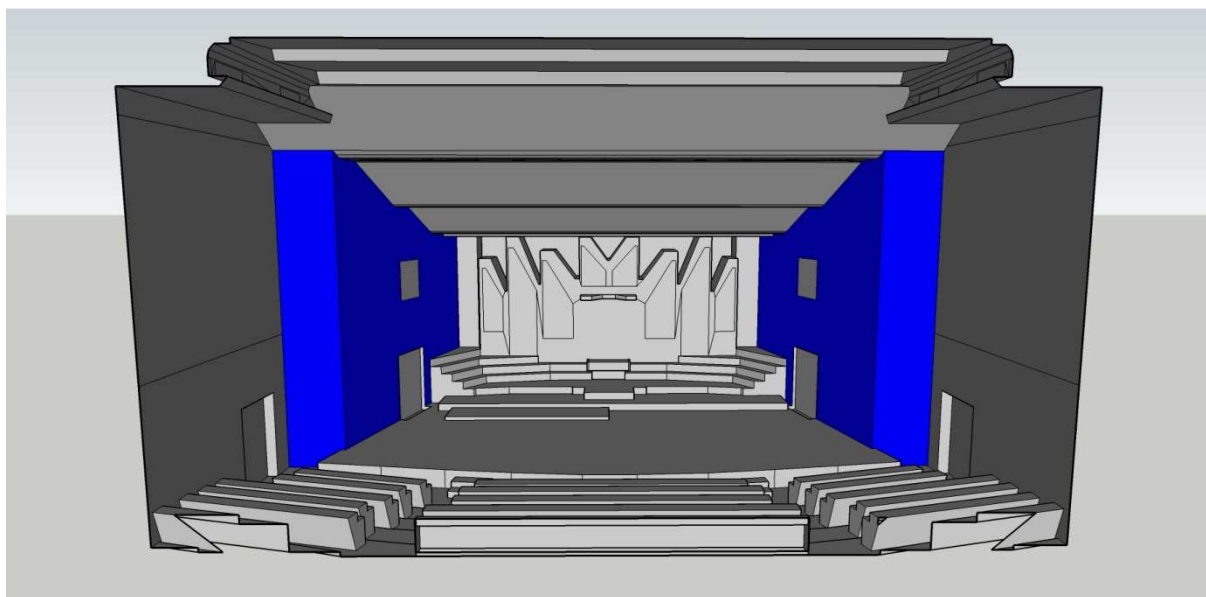
Sala Koncertowa mieści się na 1. piętrze budynku siedziby Filharmonii Pomorskiej.

Wejścia na estradę oraz boczne przednie na widownię są zrealizowane z poziomu 1. piętra. Tylne wyjścia z wyższych rzędów widowni usytuowane są na poziomie 2. piętra. Nad salą jest stropodach. Poniżej, pod widownią zlokalizowana jest Sala Kameralna Filharmonii Pomorskiej.

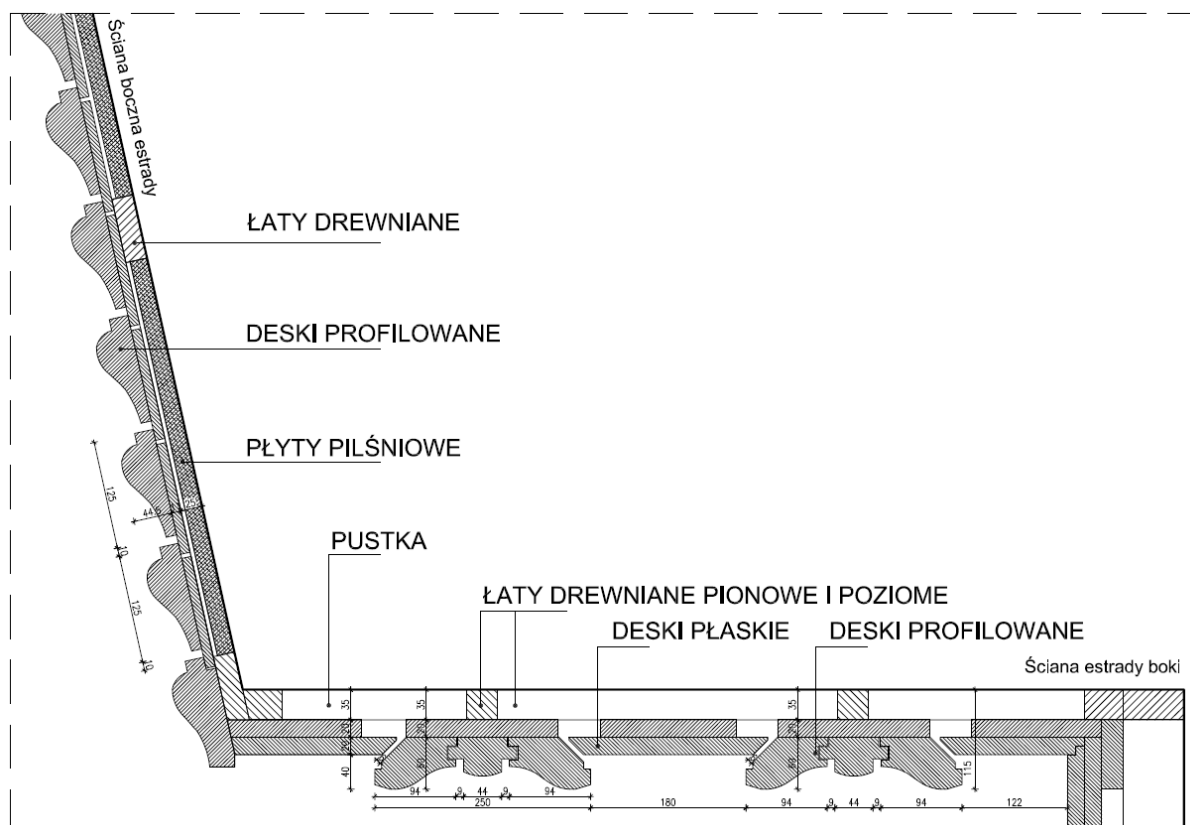
- Długość – 35,5m
- Szerokość – 20,7m
- Wysokość – max 11,9m
- Powierzchnia – 675m²
- Kubatura – 6200m³

1.2. Elementy adaptacji akustycznej

Ściany boczne estrady

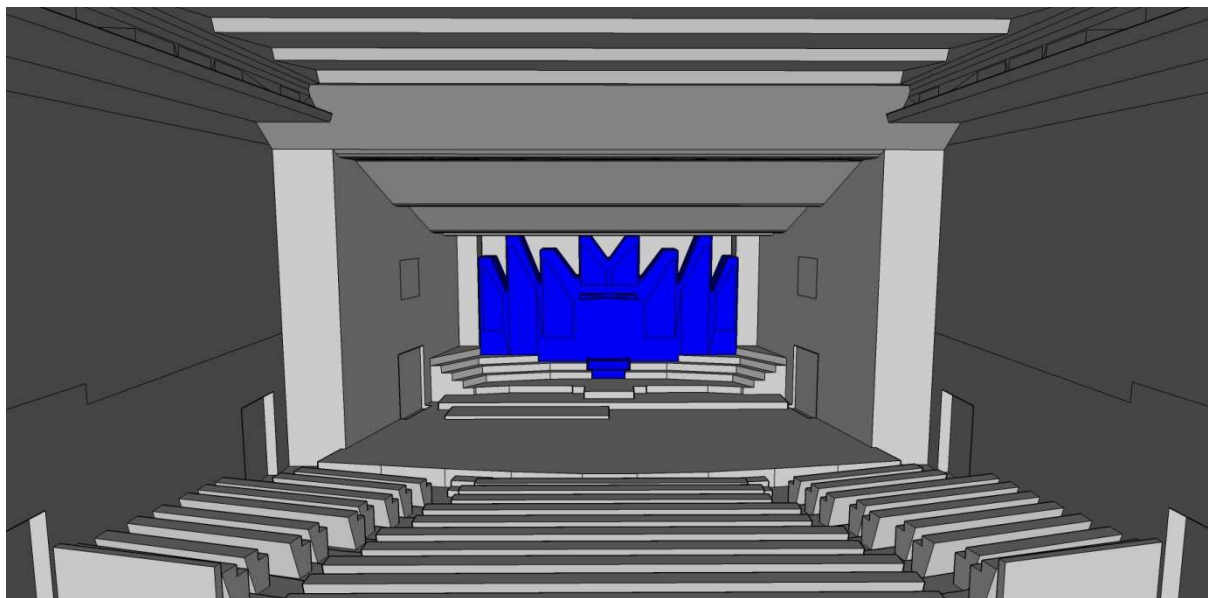


Rys. III.1.1. Widok ścian bocznych estrady



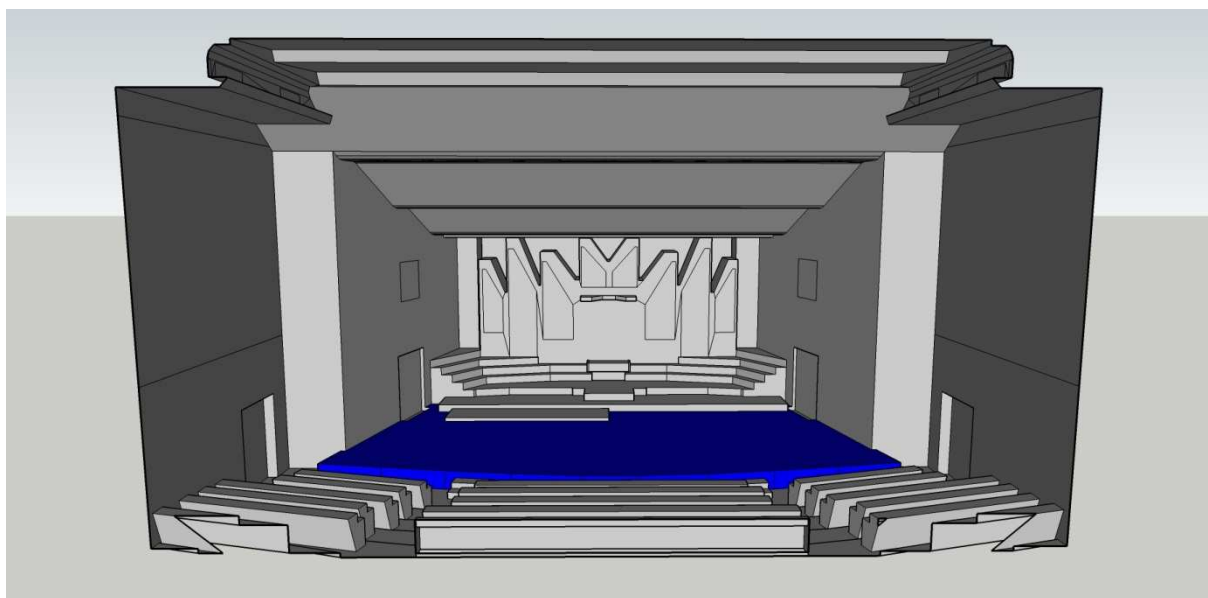
Rys. III.1.2. Zasada budowy ustroju akustycznego na bocznych ścianach estrady.

Ściana frontowa



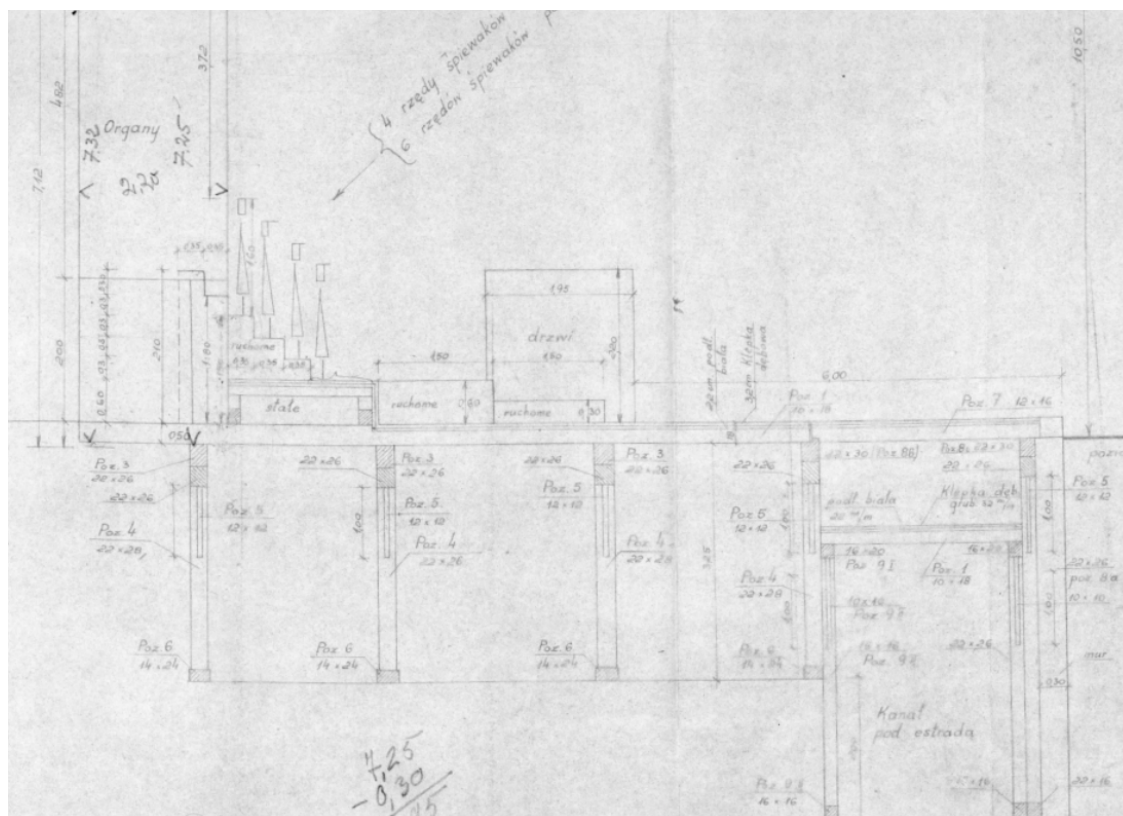
Rys. III.1.3. Widok na ścianę frontową – organową.

Podłoga estrady



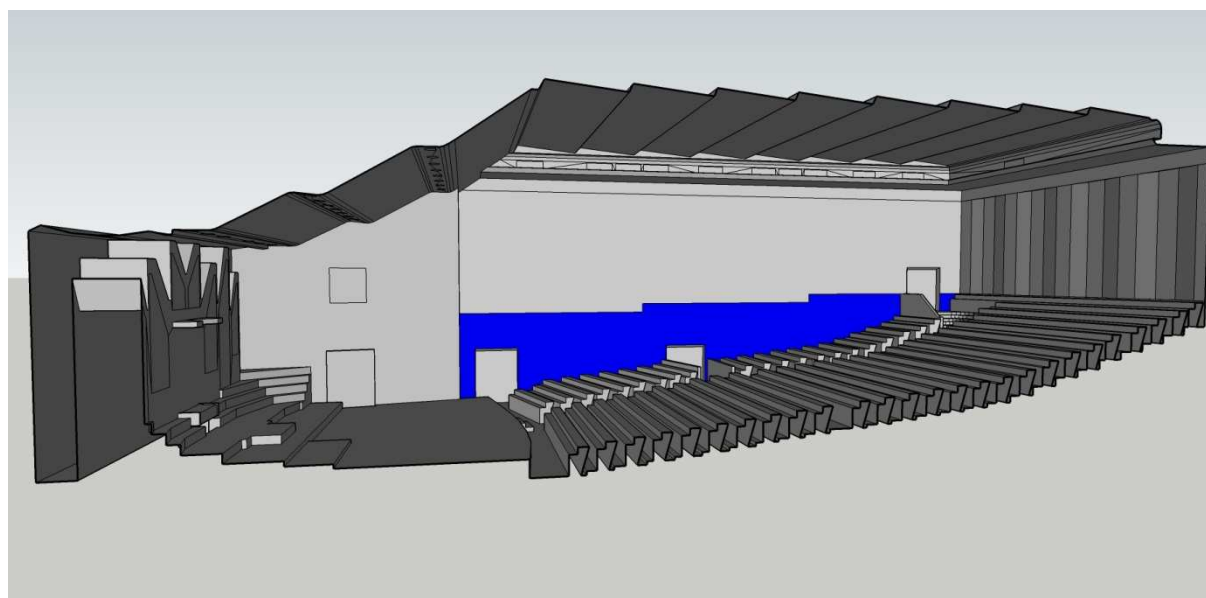
Rys. III.1.4. Widok na ścianę frontową – estrada

Estrada Sali Koncertowej zbudowana jest z klepki dębowej grub. 32mm na białej podłodze z desek 22mm. Konstrukcja estrady drewniana z oryginalną pustką głębokości 3,25m, która przeznaczona była na zapadnie. Obecnie od spodu cała konstrukcja ze względów p.poż. została obudowana płytami GKF.

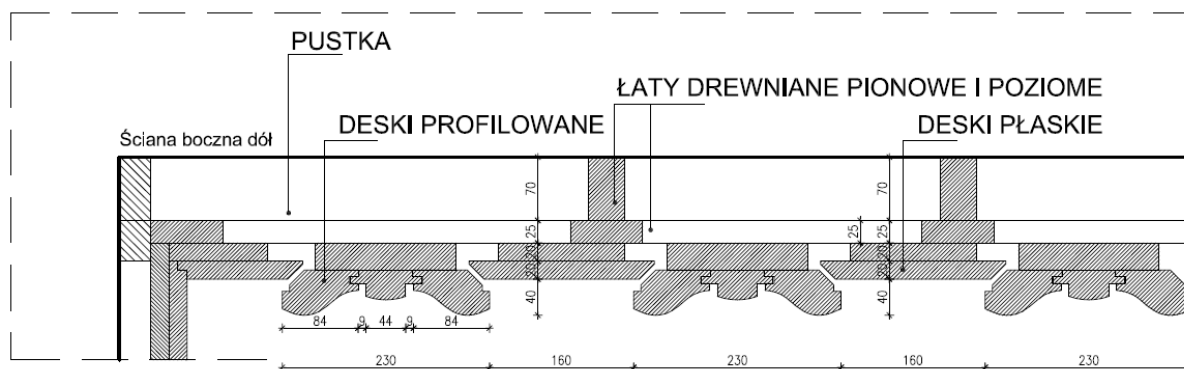


Rys. III.1.5. Schemat budowy estrady z materiałów archiwalnych.

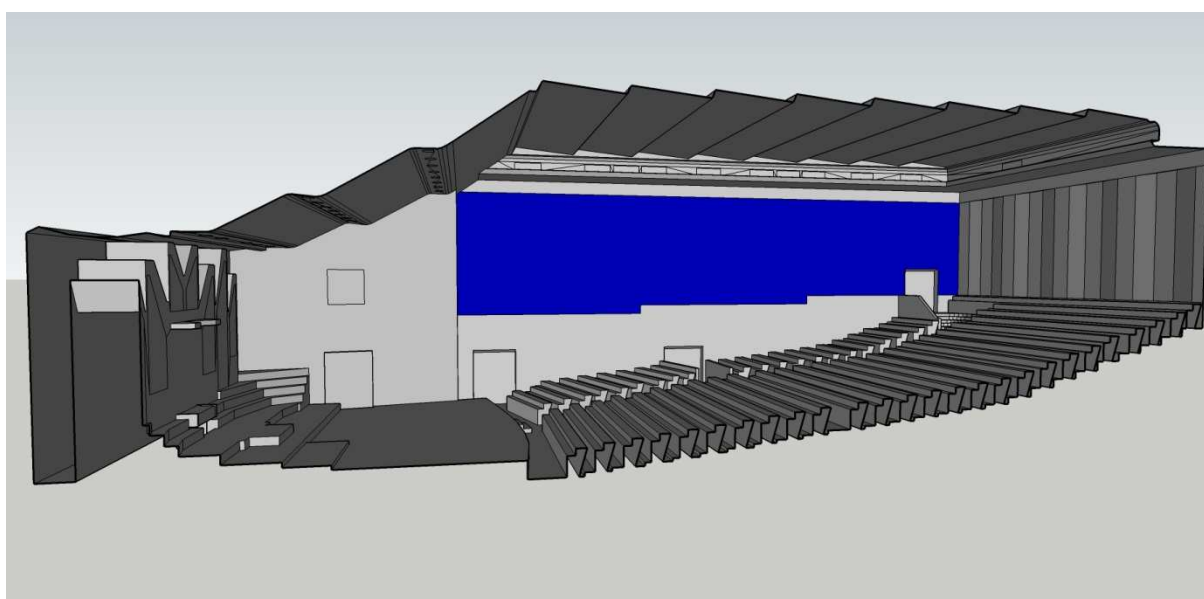
Ściany boczne widowni



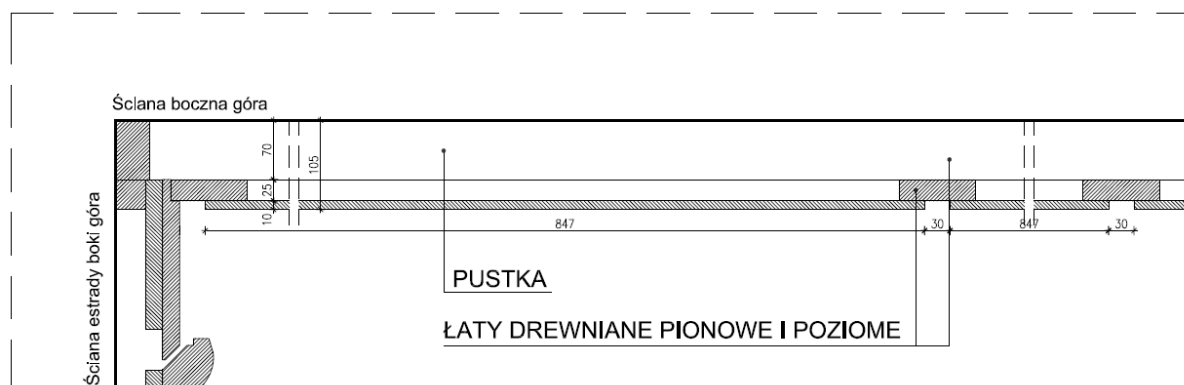
Rys. III.1.6. Widok ściany bocznej – część dolna



Rys. III.1.7. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany bocznej część dolna

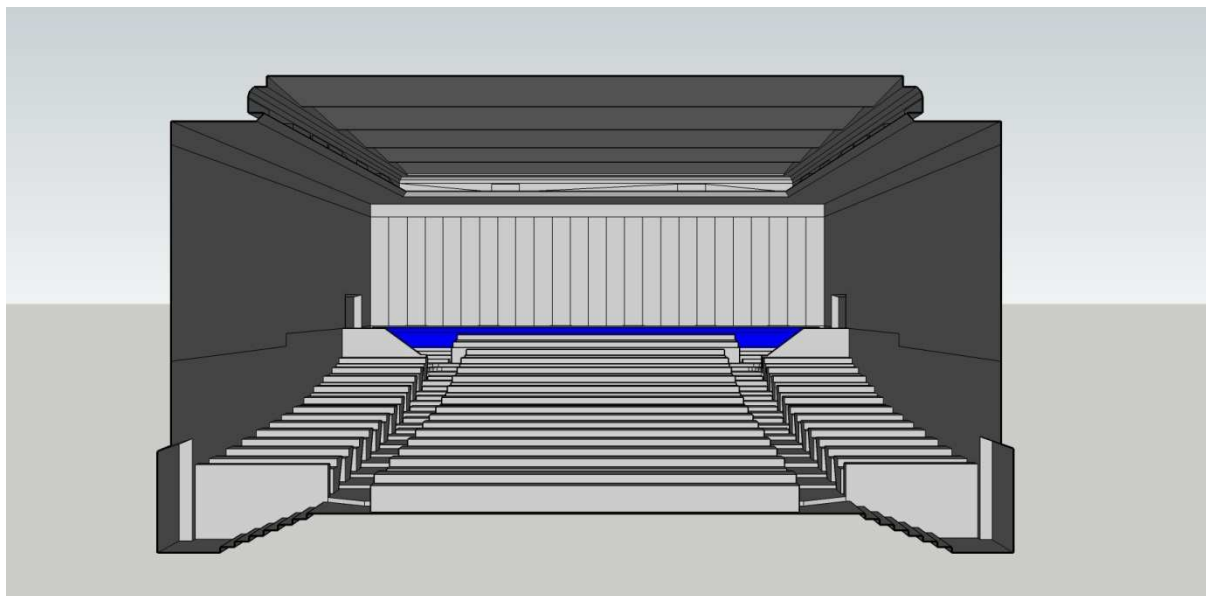


Rys. III.1.8. Widok ściany bocznej – część górna

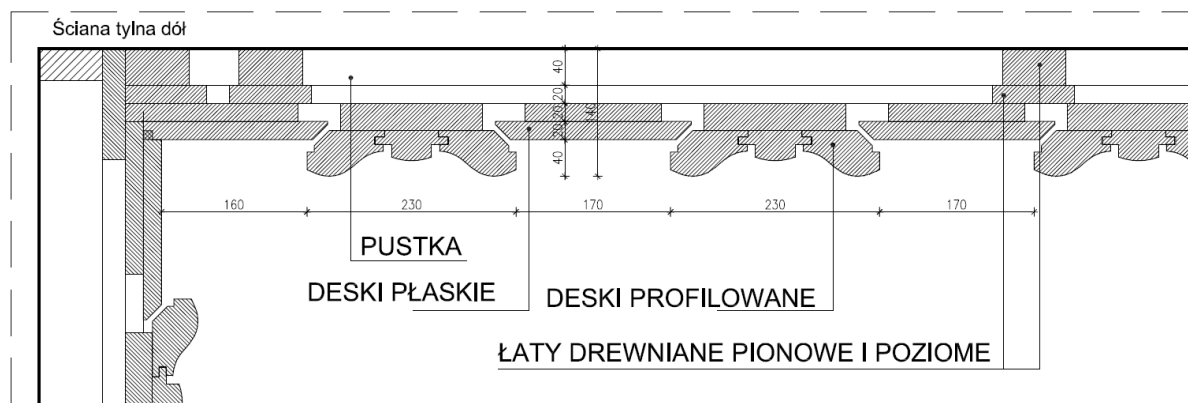


Rys. III.1.9. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany bocznej część górna

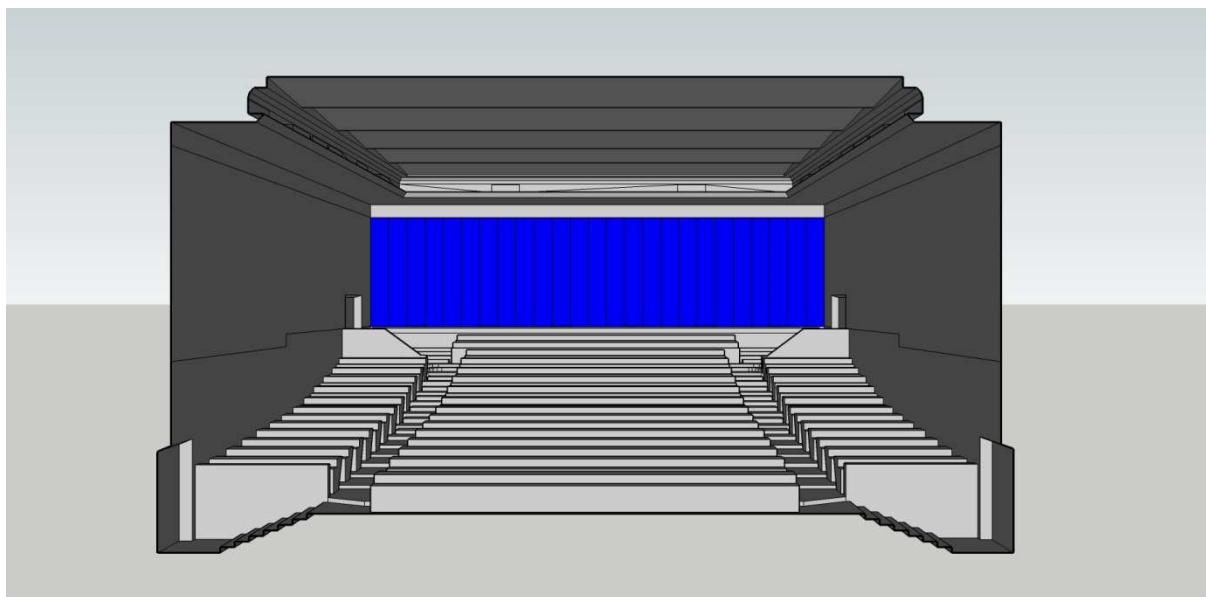
Ściana tylna widowni



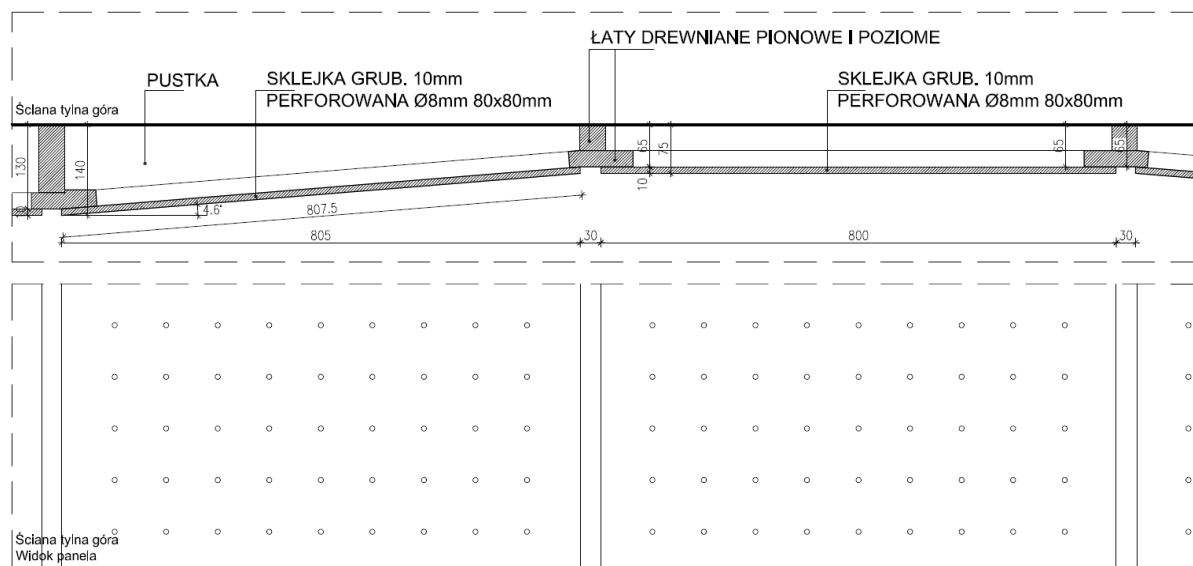
Rys. III.1.10. Widok ściany tylnej – część dolna



Rys. III.1.11. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany tylnej – część dolna

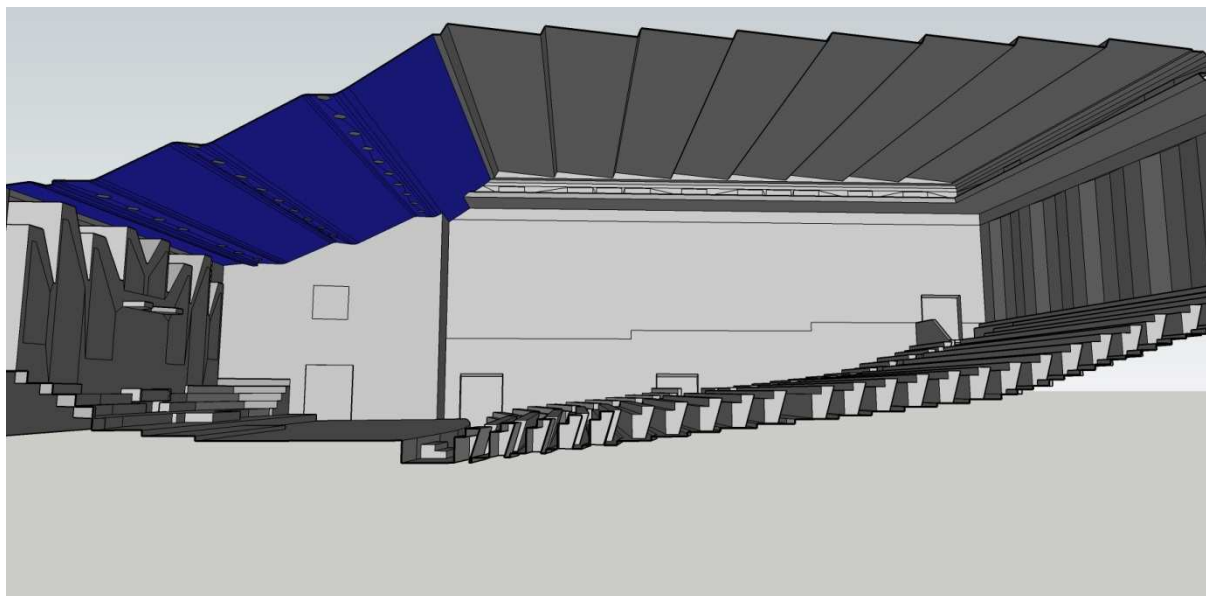


Rys. III.1.12. Widok ściany tylnej – część górna

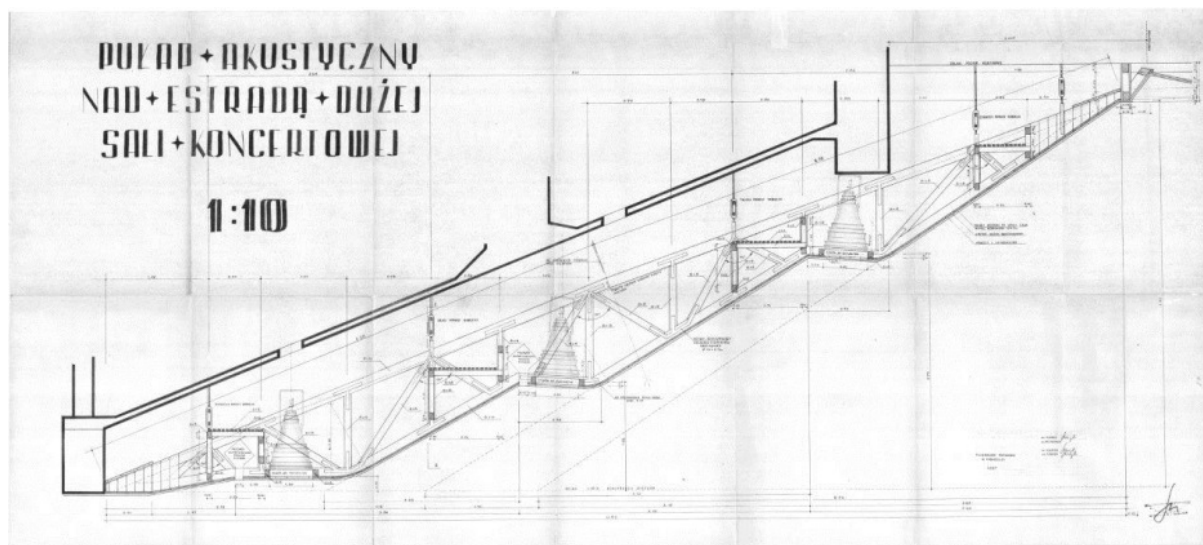


Rys. III.1.13. Zasada budowy ustroju akustycznego ściany tylnej – część górna

Sufit nad estradą



Rys. III.1.14. Widok pułapu akustycznego nad estradą

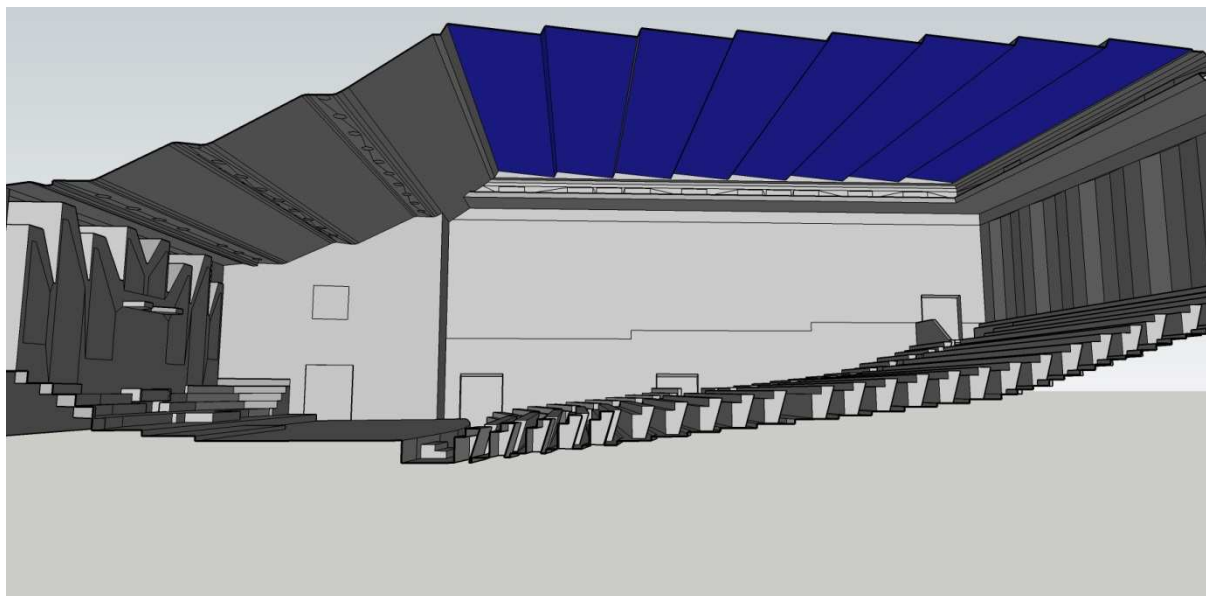


Rys. III.1.15. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą

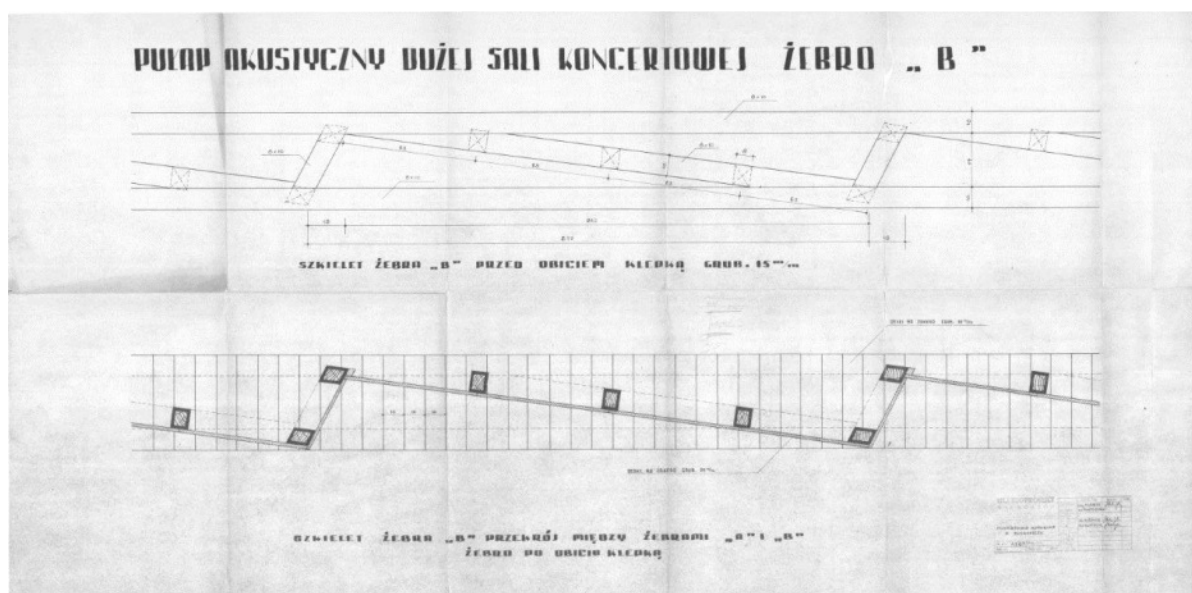
Warstwy pułapu akustycznego:

- więzary drewniane,
- deski grub. 20mm szerokości 120mm łączone na pióro i wpust,
- siatka gęsto gwoździowana,
- narzut i sztablatura 20mm,
- sufit nad estradą.

Sufit nad widownią



Rys. III.1.16. Widok pułapu akustycznego nad estradą

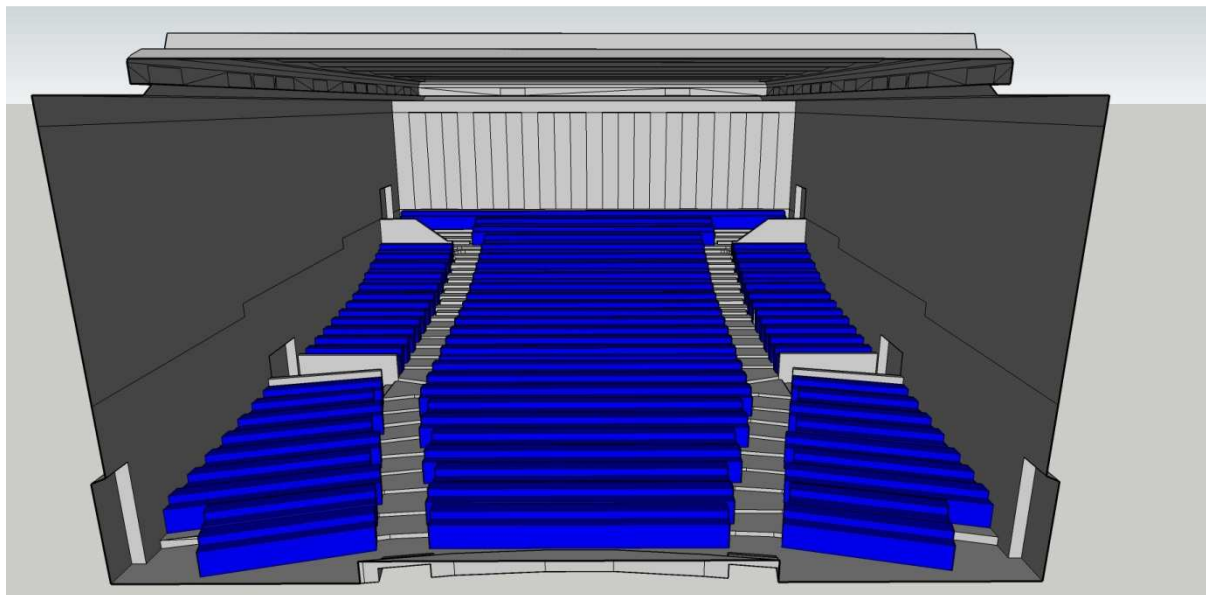


Rys. III.1.17. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą

Budowa pułapu akustycznego nad widownią:

- więzary drewniane,
- deski grub. 20mm łączone na pióro i wpust,
- siatka Rabița,
- sztablatura 20mm.

Widownia



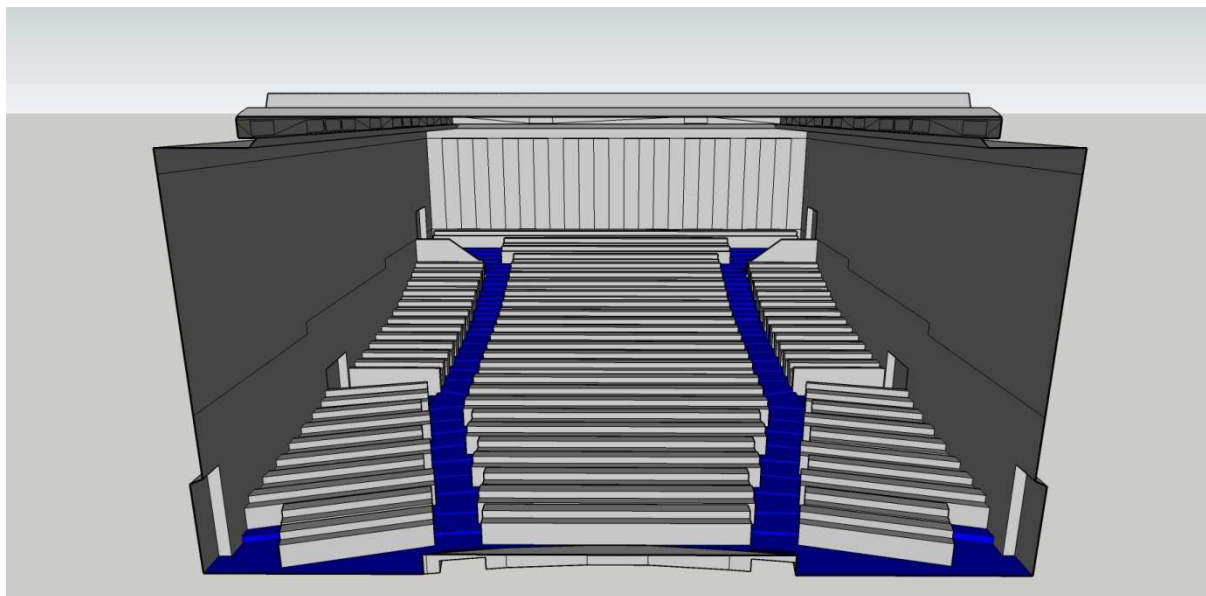
Rys. III.1.18. Widok foteli widowni

Fotele w Sali Koncertowej zostały wymienione w 2008r. na model Luksor firmy Megan Seating.



Rys. III.1.19. Widok fotela Luksor (ze strony Megan Seating)

Podłoga widowni



Rys. III.1.20. Widok podłogi widowni

Warstwy podłogi amfiteatru widowni:

- parkiet,
- asfalt,
- żużlobeton,
- beton konstrukcyjny 5cm,
- strop akermana,
- wata szklana.

2. Sala Kameralna

Poniższa część opracowania przedstawia informacje dotyczące Sali Kameralnej zebrane na podstawie architektonicznej dokumentacji archiwalnej będącej w posiadaniu Filharmonii Pomorskiej. Nie znaleziono opracowania akustyki wnętrza, dlatego informacje pochodzą z rysunków wnętrzarskich, które zostały zweryfikowane w czasie wizji lokalnej i odkrywek.

2.1. Dane architektoniczne

Dane ogólne

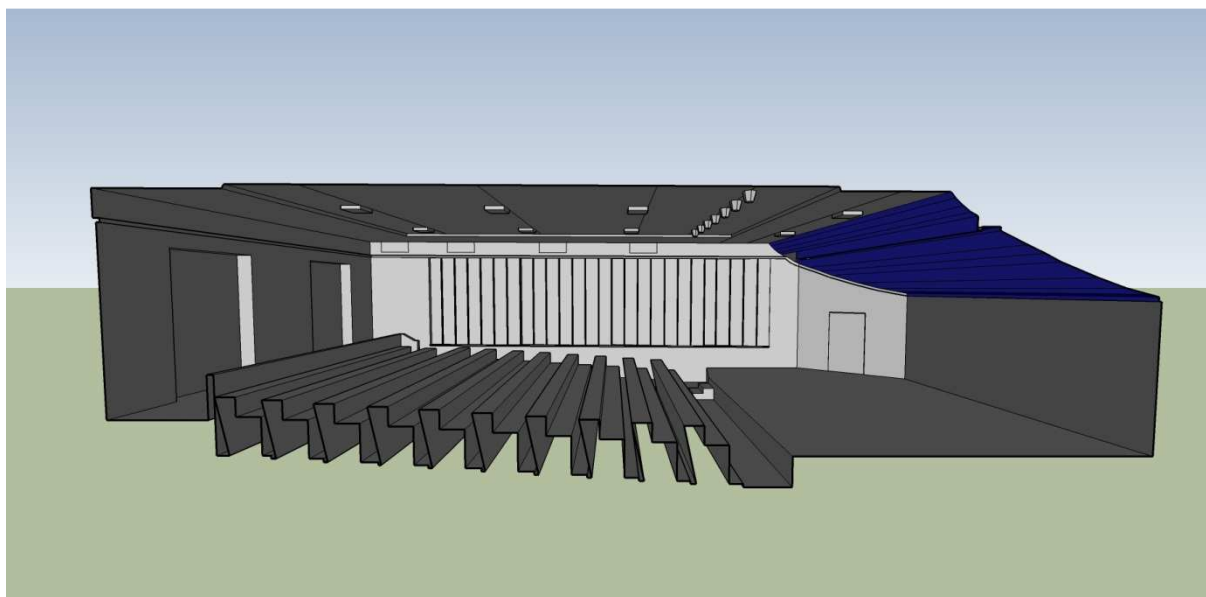
Sala Kameralna mieści się na parterze budynku Filharmonii Pomorskiej.

Wejścia na estradę znajdują się z poziomu piwnicy. Wejście na widownię zlokalizowane jest w tylnej ścianie z poziomu parteru. Nad salą jest widownia Sali Koncertowej.

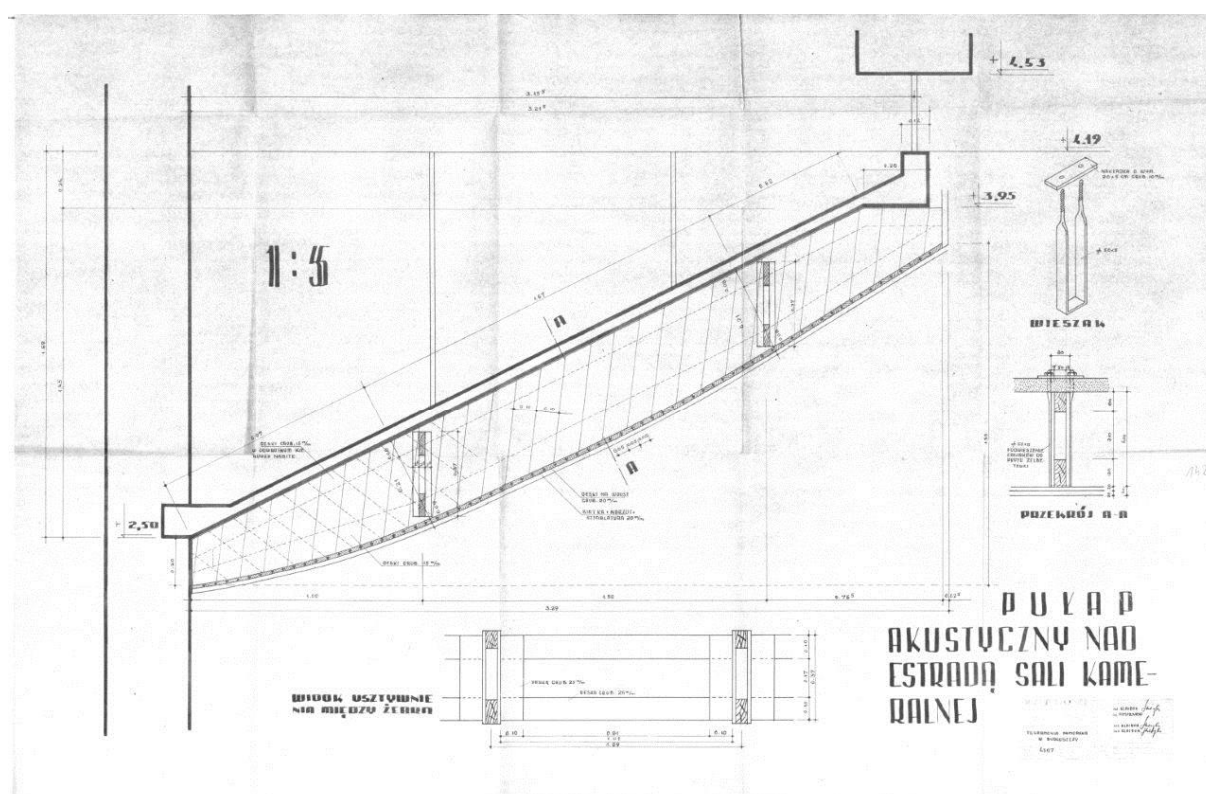
- Długość – 17,8m
- Szerokość – 11,5m
- Wysokość – max 5m
- Powierzchnia – 200m²
- Kubatura – 890m²

2.2. Elementy adaptacji akustycznej

Sufit Sali Kameralnej



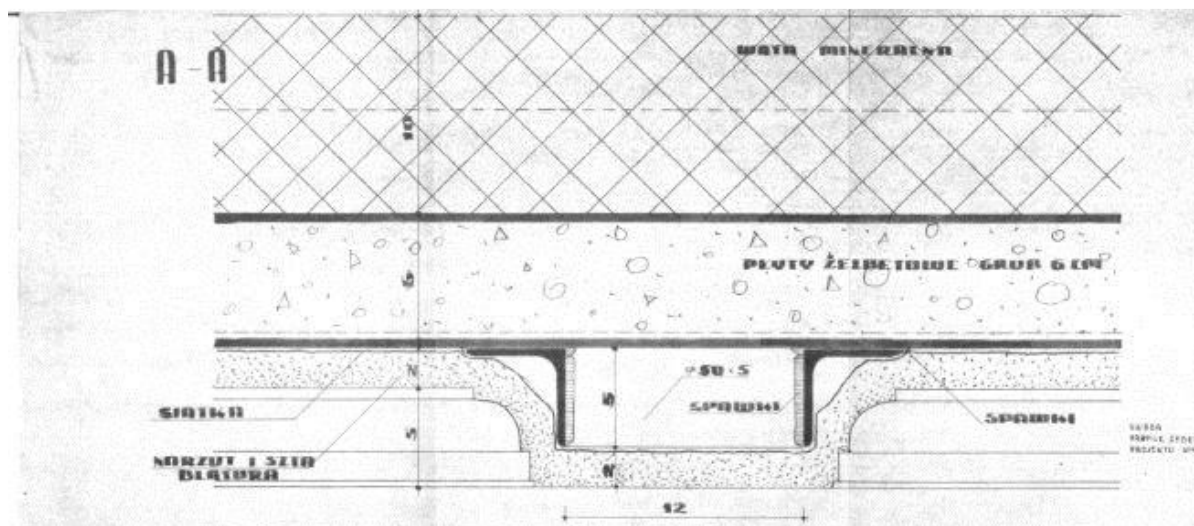
Rys. III.2.1. Widok pułapu akustycznego nad estradą



Rys. III.2.2. Zasada budowy pułapu akustycznego nad estradą



Rys. III.2.3. Widok pułapu akustycznego nad widownią

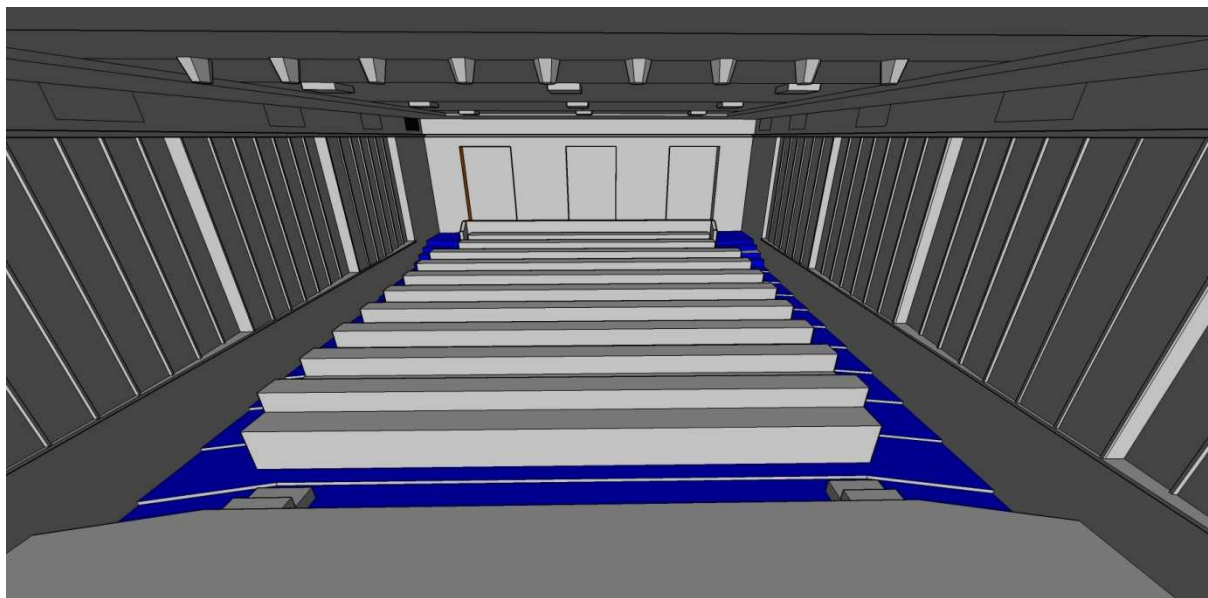


Rys. III.2.4. Zasada budowy sufitu kasetonowego nad widownią Sali Kameralnej. (Aktualnie zastąpiony płytami GK)

Warstwy sufitu nad salą kameralną:

- mata z waty szklanej,
- prefabrykowane płyty żelbetowe gr. 6cm ułożone na podwieszonym ruszcie,
- kasetony ze sztablatury gipsowej 20mm na siatce na konstrukcji stalowej,
- podwieszony sufit z płyt GK 12,5mm (podwieszony by zasłonić kruszący się sufit oryginalny),
- obudowa GK kanałów na obwodzie sali pod sufitem.

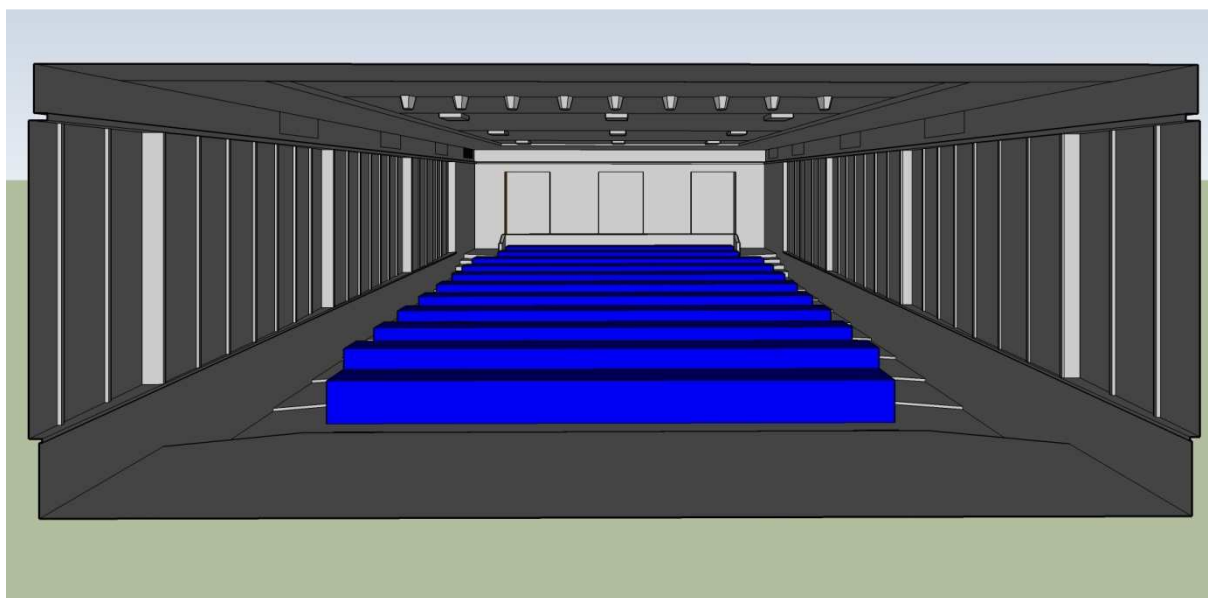
Podłoga Sali Kameralnej



Rys. III.2.5. Widok pułapu akustycznego nad estradą

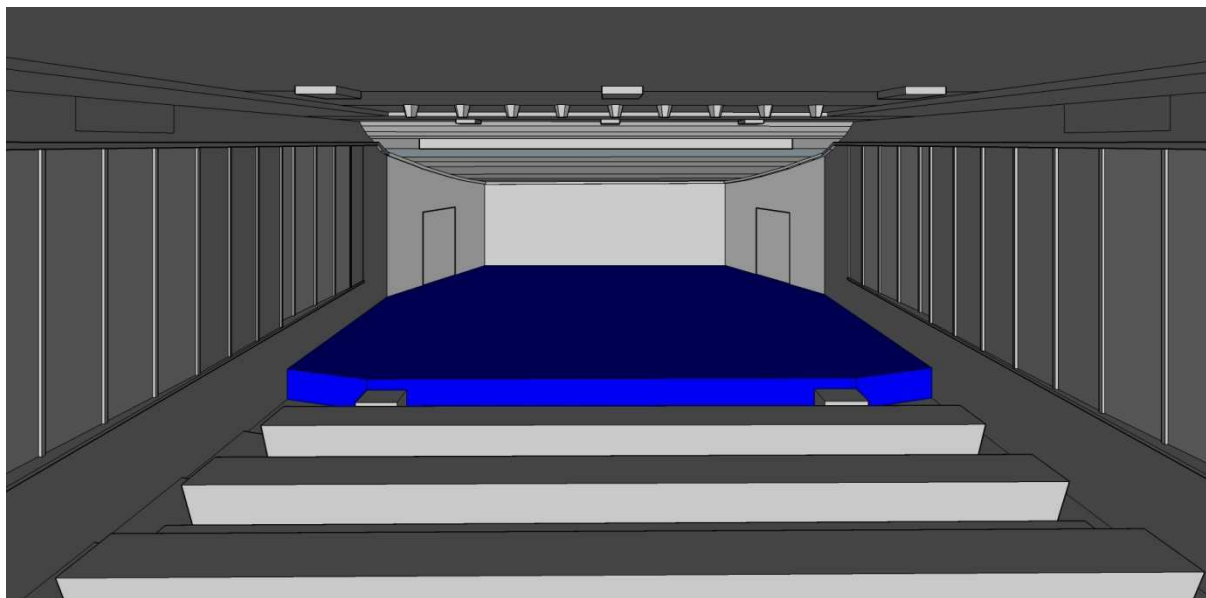
Warstwy podłogi widowni:

- parkiet na asfalcie,
- wyrobione stopnie w żużlobetonie,
- prefabrykowane płyty żelbetowe gr. 20cm.



Rys. III.2.6. Widok foteli

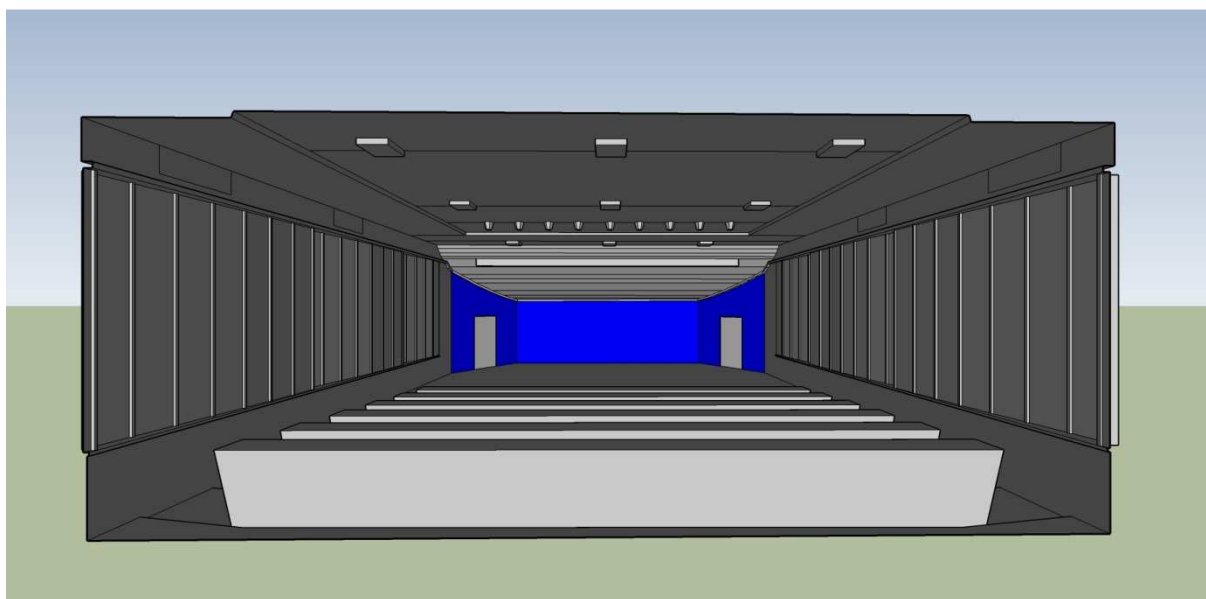
Estrada Sali Kameralnej



Rys. III.2.7. Widok foteli

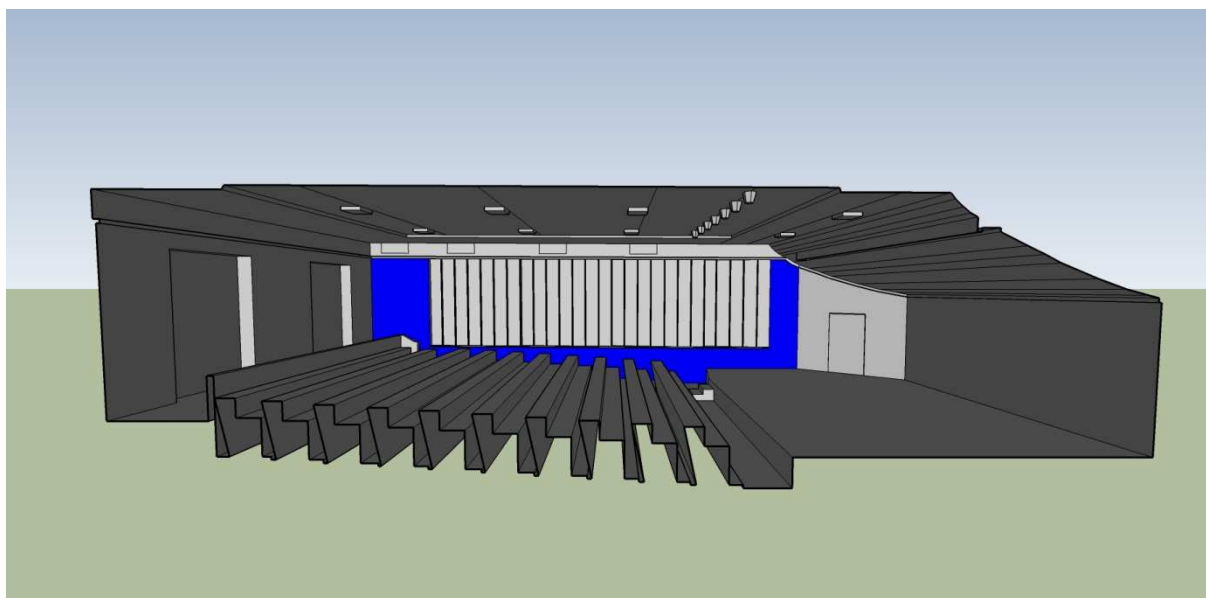
Podłoga estrady:

- klepka 22mm,
- deski 25mm.

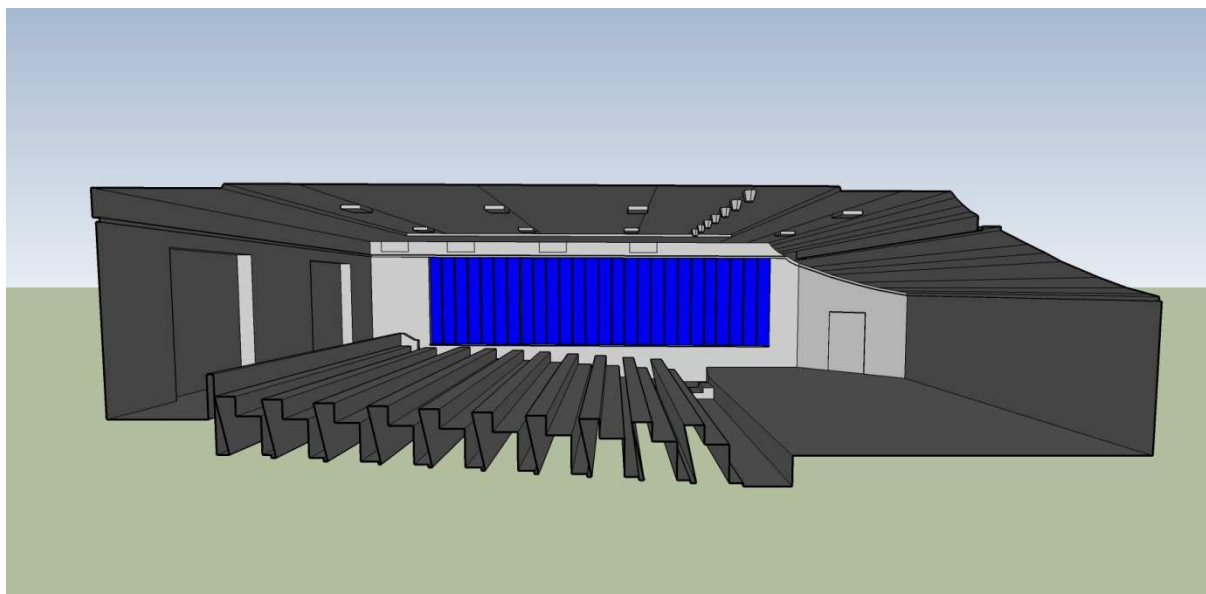


Rys. III.2.8. Widok ścian estrady

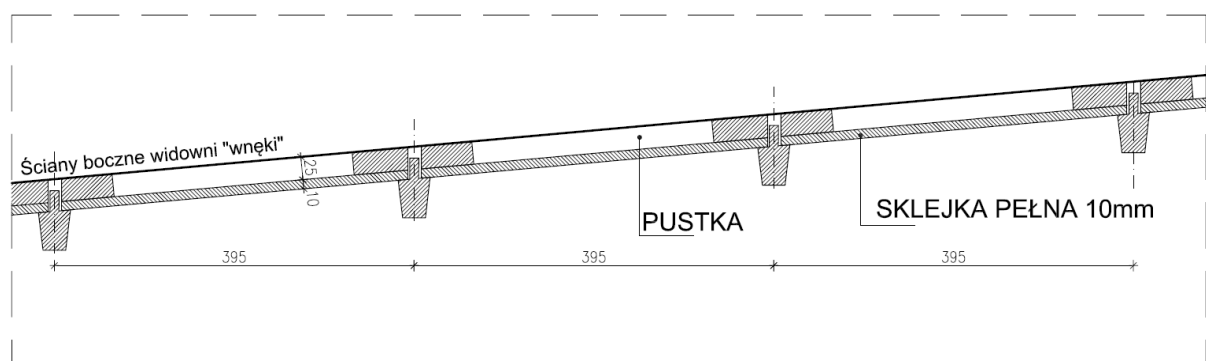
Ściany boczne Sali Kameralnej

[illegible]

123

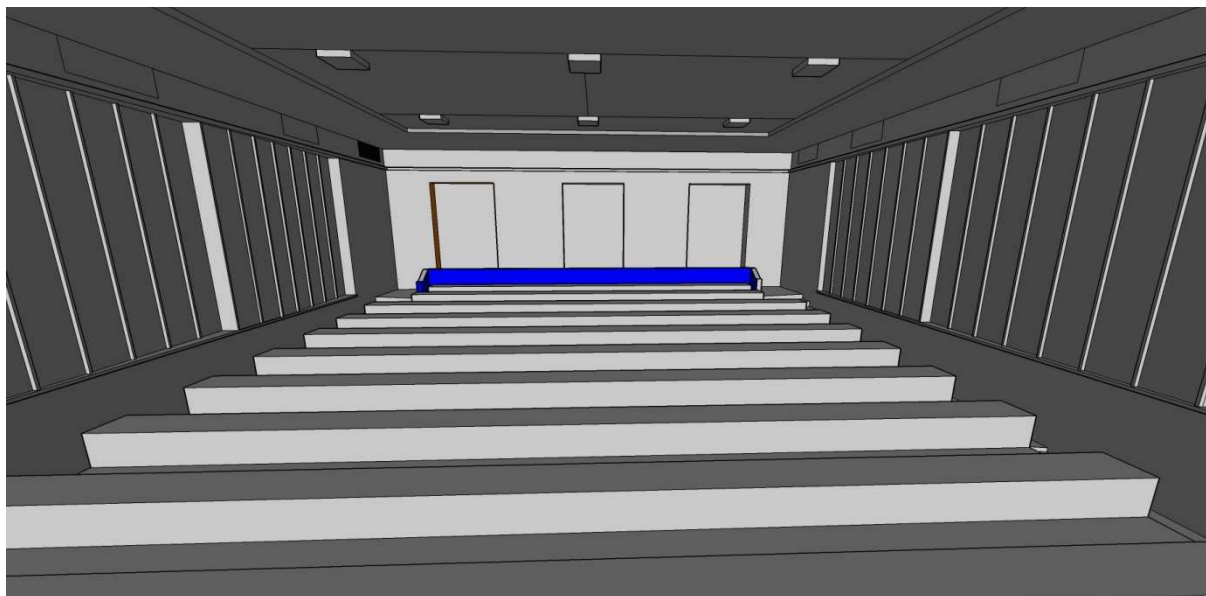


Rys. III.2.12. Widok ściany bocznej – część 2.

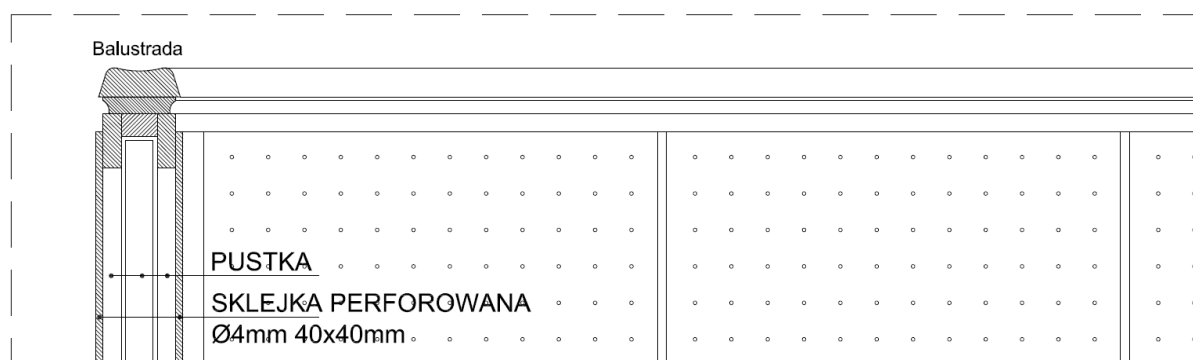


Rys. III.2.13. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianach bocznych część 2

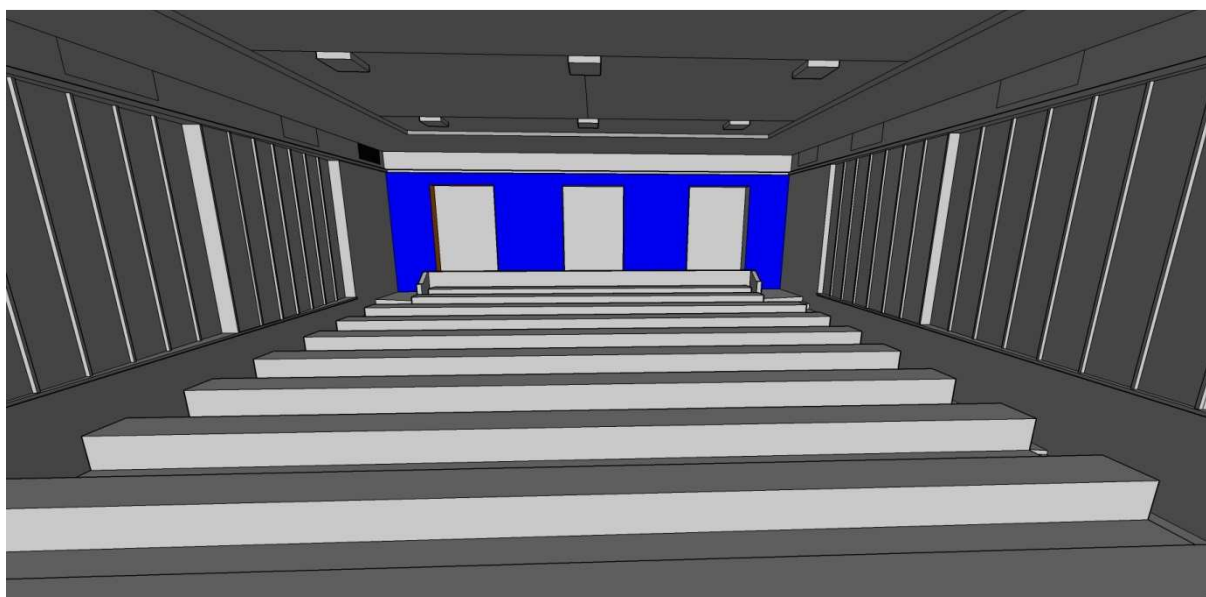
Ściana tylna Sali Kameralnej



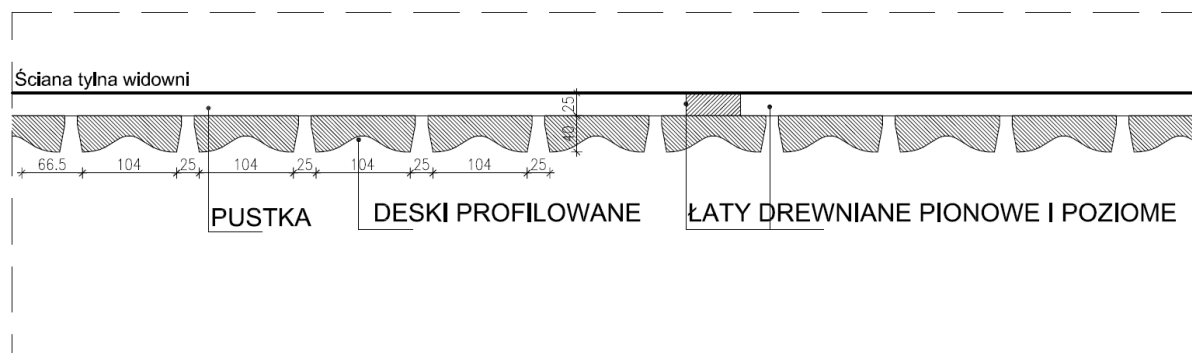
Rys. III.2.14. Widok balustrady



Rys. III.2.15. Zasada budowy balustrady



Rys. III.2.16. Widok ściany tylnej



Rys. III.2.17. Zasada budowy ustroju akustycznego na ścianie tylnej

3. Skaniny komputerowy

3.1. Cel opracowania

Stworzenie modelu 3D dwóch Sal Koncertowej i Kameralnej w postaci cyfrowego obiektu trójwymiarowego o strukturze płaszczyznowej.

3.2. Zakres prac pomiarowych

Prace pomiarowe zostały przeprowadzone w dniu 02.11.2017r. Polegały one na zebraniu maksymalnej ilości danych z wykorzystaniem technologii skanowania laserowego. W tym celu wykorzystano następujące urządzenia:

- skaner laserowy Leica P20 (rys. III.3.1) - urządzenie służące do zbierania danych przestrzennych w postaci gęstej chmury punktów. Pomiar odległości do każdego punktu odbywa się metodą impulsową z dokładnością 2mm oraz prędkością 1 000 000 punktów/sekundę;
- tachimetr TS09 R1000 (rys. III.3.2) - urządzenie służące do pomiaru współrzędnych konkretnych elementów, wskazanych przez użytkownika. Pomiar odbywa się z nieco lepszą dokładnością niż podczas skanowania, przez co uzyskiwane współrzędne punktów posiadają większą wiarygodność;
- aparat Ricoh Theta (rys. III.3.3) – służący do wykonywania zdjęć panoramicznych 360°;



Rys. III.3.1. Skaner Leica P20



Rys. III.3.2. Tachimetr TS09
R1000



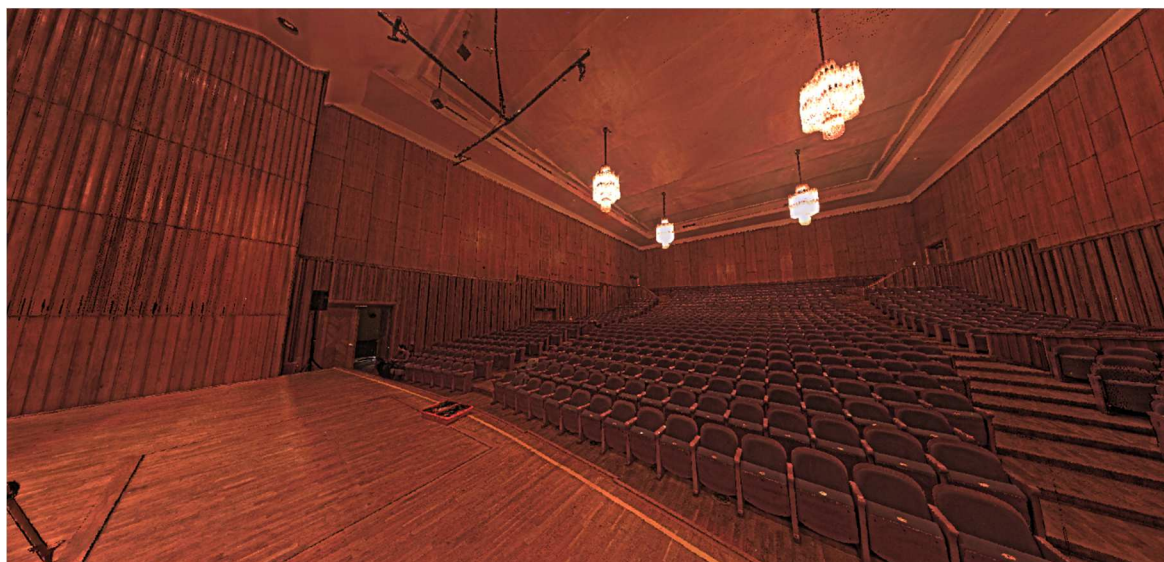
Rys. III.3.3. Ricoh
Theta

Prace pomiarowe zostały przeprowadzone w sposób identyczny dla obu skanowanych sal (Koncertowej i Kameralnej). Skanowanie laserowe wykonano z rozdzielczością 6mm/10m, co docelowo pozwoliło na uzyskanie chmury o gęstości 2mm. Wykonano łącznie 29 skanów – 19 w Sali Koncertowej oraz 10 w Kameralnej. Na obszarze skanowanych sal zostały rozmieszczone tarcze pomiarowe, które posłużyły jako punkty łączące skanów. Współrzędne środków tych tarcz zostały zmierzone w lokalnym układzie współrzędnych za pomocą tachimetru. Dla każdego skanu zapewniono widoczność przynajmniej 3 tarcz pomiarowych, aby precyzyjnie określić lokalizację punktu centralnego każdego skanu na podstawie przestrzennego wcięcia wstecz.

Podczas pomiaru skaner jest zdolny pozyskać 3 rodzaje informacji dla każdego punktu, tj:

- współrzędne x, y, z,
- intensywność odbicia lasera (zależna od rodzaju powierzchni oraz kąta padania wiązki lasera),
- kolor RGB obiektu.

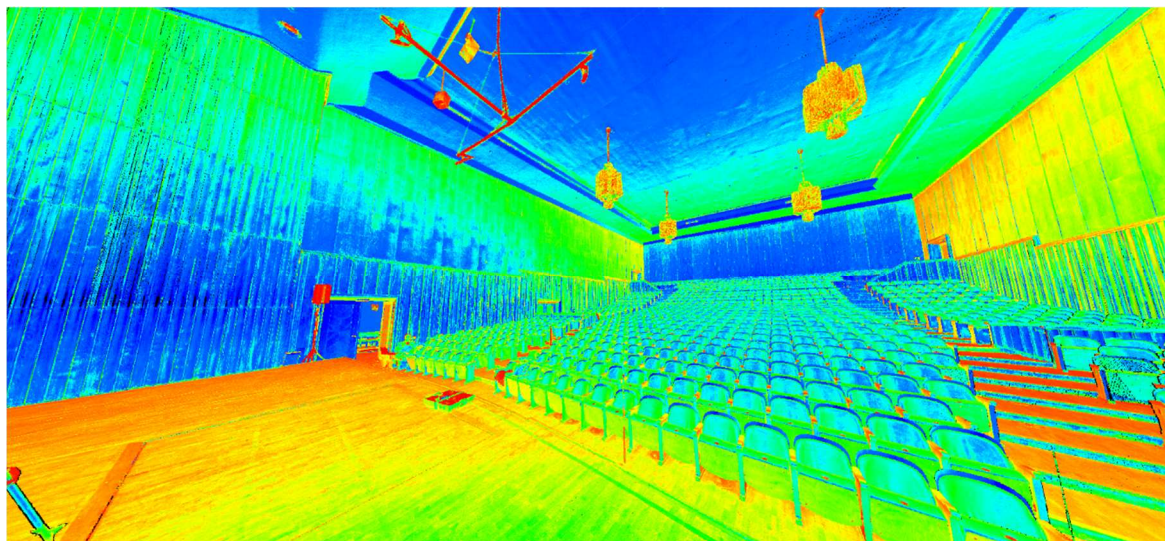
Poniżej przedstawiono wygląd chmury punktów zwizualizowanej poprzez kolor oraz intensywność.



Rys. III.3.4. Chmura punktów – kolor RGB

Oprócz pomiaru geometrii sal, wykonano również zdjęcia panoramiczne, które zapewniają pełny pogląd na wszystkie elementy obiektu.

Prace kameralne polegały na połączeniu zarejestrowanych skanów w dwie gęste chmury punktów, które precyzyjnie odwzorowują geometrię obu sal. Po wyczyszczeniu, filtrowaniu oraz unifikacji (przerzedzeniu) chmury, uzyskano chmurę punktów o gęstości punktów ok. 2mm. Pozwoliło to na dokładne odwzorowanie każdego typu powierzchni.



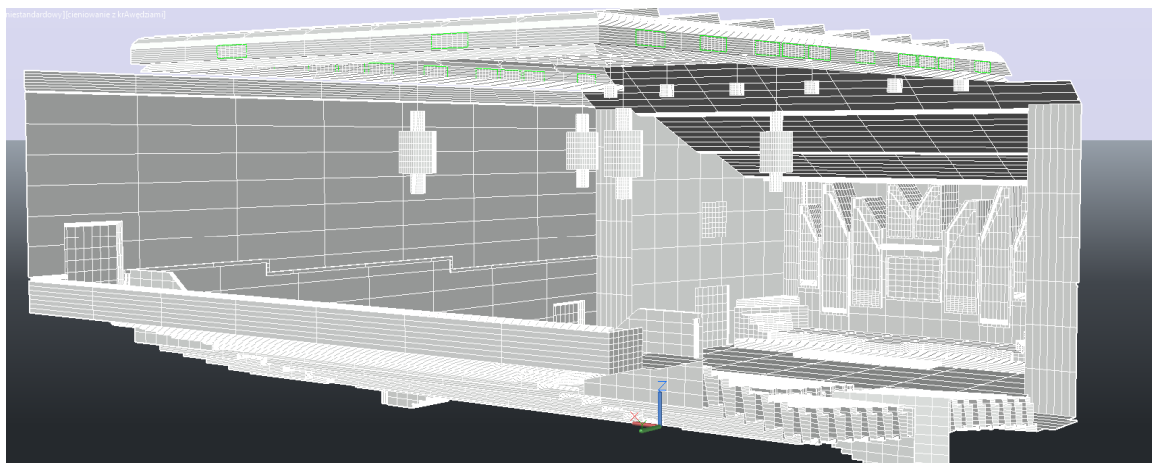
Rys. III.3.1. Chmura punktów – intensywność odbicia

Chmurę punktów wyeksportowano w formacie rcp i zaimportowano do środowiska CAD, gdzie wykonano dalszą część prac.

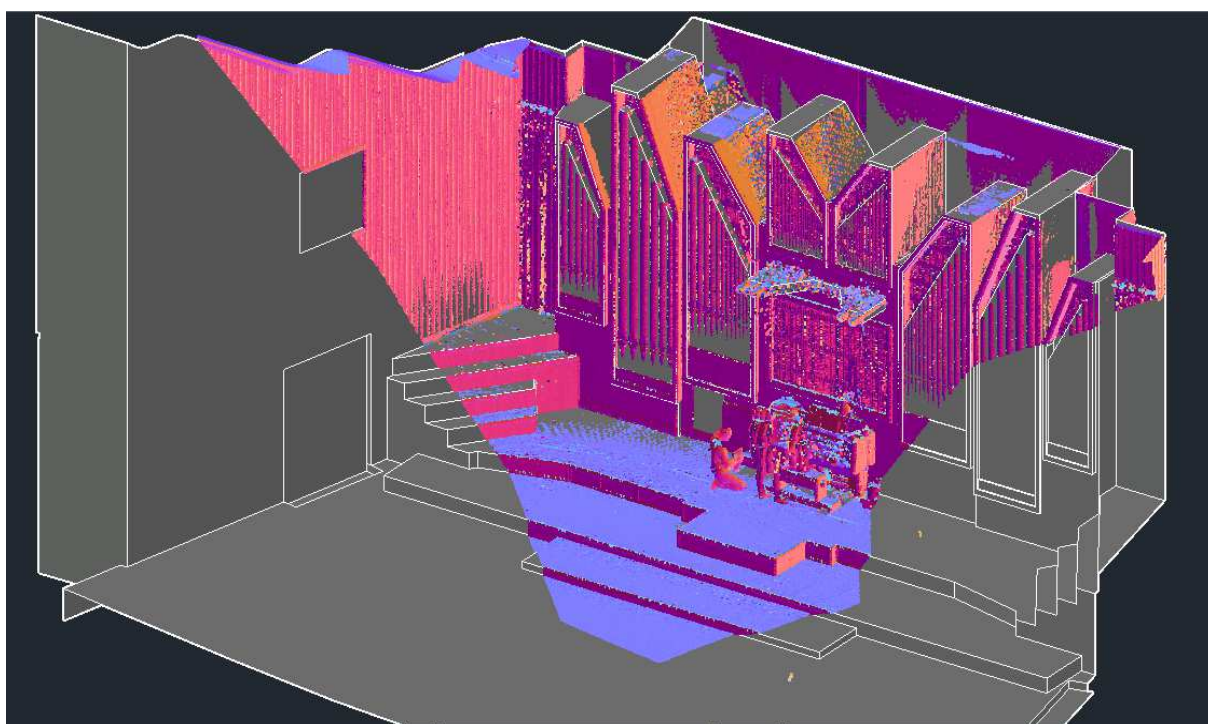
Właściwe modelowanie 3D polegało na wpasowywaniu płaszczyzn w siatkę punktów oraz przycinaniu tych płaszczyzn w celu stworzenia spójnego modelu. Modelowanie wykonywano na dwa sposoby:

- automatycznego wykrywania krawędzi, które po skontrolovaniu poprawności łączono w jednolite powierzchnie,
- „wyciągania” obiektów 2D do 3D na podstawie przekrojów.

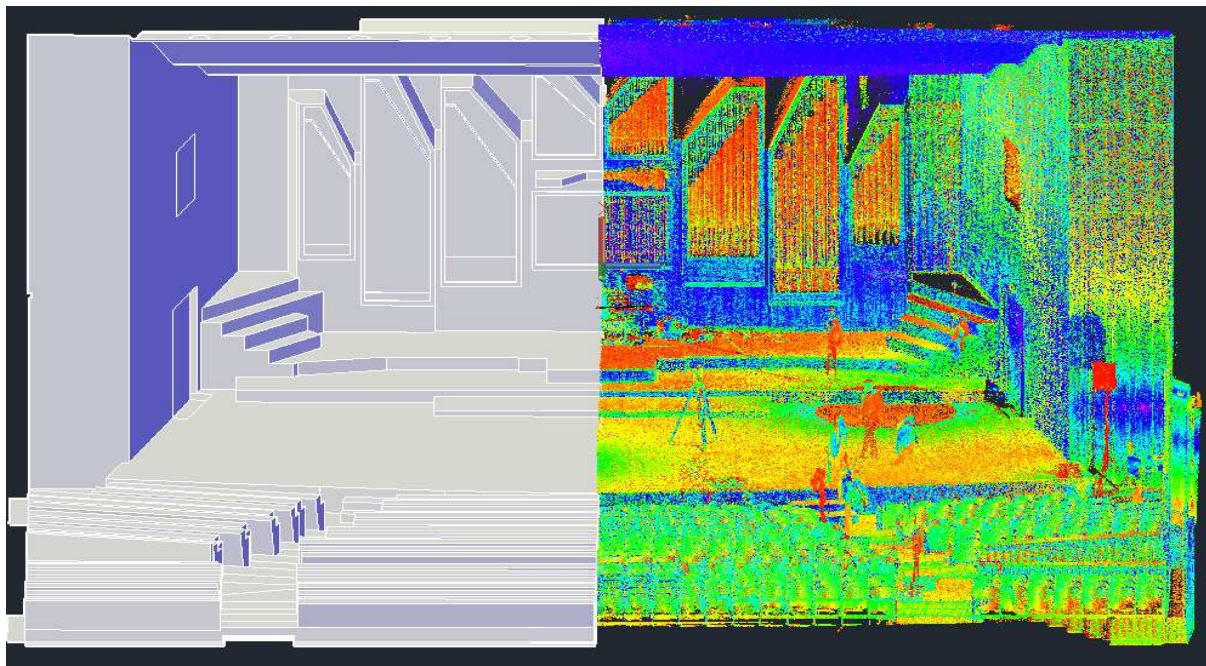
Poniżej przedstawiono fragment wykończonego modelu przestrzennego Sali Koncertowej.



Rys. III.3.2. Fragment modelu płaszczyznowego Sali Koncertowej



Rys. III.3.3. Widok płaszczyzn przenikających przez chmurę punktów.



Rys. III.3.4. Widok płaszczyzn przenikających przez chmurę punktów.

Po wymodelowaniu obu sal, obiekty 3D w postaci płaszczyznowej zostały wyeksportowane do formatu SKP, który następnie został wykorzystywany do modelowania i analiz akustycznych.

4. Wyniki pomiarów *in-situ*

Pomiar *in situ*, czyli w miejscu zamontowania elementu, stanowi nowoczesną i innowacyjną, ale wciąż jedynie okazjonalnie stosowaną, metodę określenia wartości współczynnika pochłaniania materiałów i ustrojów już zastosowanych w sali. W przypadku sal historycznych, takich jak sale Koncertowa i Kameralna Filharmonii Pomorskiej użycie takiego sposobu określenia współczynników pochłaniania w celu inwentaryzacji właściwości materiałów zamontowanych kilkadziesiąt lat temu jest szczególnie uzasadnione. Metoda pomiarów *in situ* umożliwia określenie wartości współczynników pochłaniania w sytuacji, w której nie ma stosownej dokumentacji, a jest dobrą alternatywą w miejsce korzystania z arbitralnie dobranych wartości współczynników pochłaniania na podstawie dostępnych tabel podobnych materiałów. Ponadto pomiar *in situ* określa wartości współczynników pochłaniania w rzeczywistych warunkach zamontowania elementów konstrukcyjnych sali.

4.1. Metoda pomiarowa i aparatura badawcza

W pomiarach zastosowano sondę pomiarową firmy Microflown Technologies (Rys. III.4.1), przy użyciu której współczynnik pochłaniania określany jest na podstawie pomiaru współczynnika odbicia fali akustycznej od powierzchni elementu. Sonda składa się z próbnika pomiarowego zawierającego scalone – czujnik pomiaru prędkości akustycznej oraz mikrofon pomiarowy – oraz z głośnika stanowiącego źródło sygnału pomiarowego. Jednoczesny pomiar ciśnienia i prędkości akustycznej pozwala na wyznaczenie współczynnika odbicia, następnie przeliczanego na wartości natężenia dźwięku fali padającej i odbitej, z których ostatecznie następuje wyznaczenie energetycznego współczynnika pochłaniania ściany, ustroju lub elementu wyposażenia sali.



Rys. III.4.1. Sonda do pomiaru energetycznego współczynnika pochłaniania *in situ* firmy Microflown Technologies (źródło: materiały informacyjne Microflown Technologies).

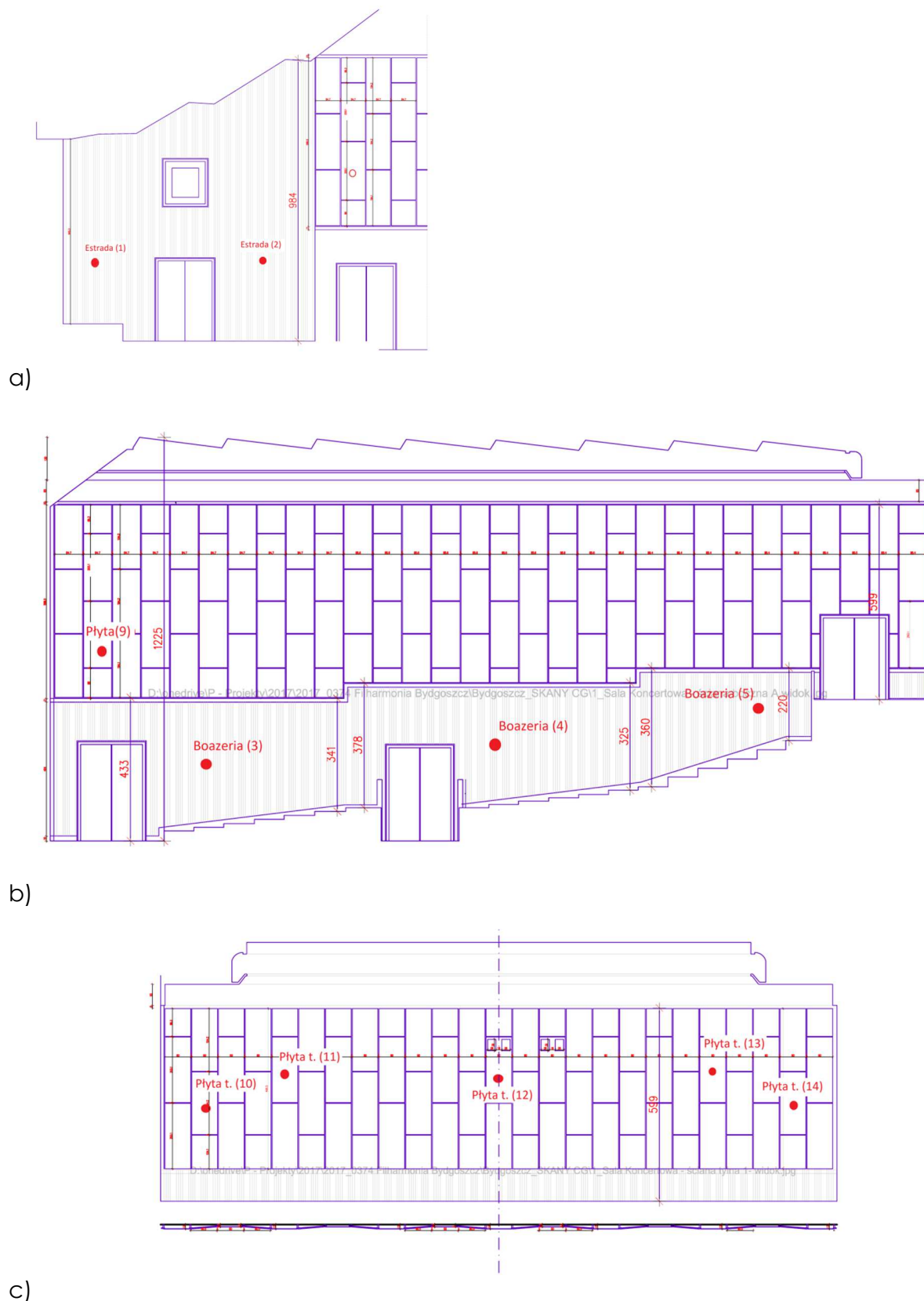
Wybór punktów pomiarowych w salach Koncertowej i Kameralnej Filharmonii został przeprowadzony w taki sposób, aby możliwe było scharakteryzowanie podstawowych materiałów i ustrojów zastosowanych w obu salach. Pomiary obejmowały w Sali Koncertowej wszystkie powierzchnie boazerii (estrady i widowni), powierzchnie górnych paneli drewnianych ścian widowni, sufit nad estradą i widownią, podłogi estrady i widowni, drzwi wyjściowe do foyer, miękką powierzchnię siedziska foteli oraz prospekt organowy. W Sali Kameralnej pomiarom podlegały ściany, podłoga i sufit estrady, boazeria i panele ściany bocznej i tylnej, podłoga widowni i siedzisko foteli widowni.

Szczegółowe położenie punktów pomiarowych podane jest w punktach zawierających opisy pomiarów w obu salach.

4.2. Pomiary Sali Koncertowej

4.2.1. Usytuowanie punktów pomiarowych

Wybór punktów pomiarowych na ścianach Sali Koncertowej przedstawia Rys. III.4.2.



Rys. III.4.2. Widok prawej ściany bocznej i ściany tylnej Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej z zaznaczonymi punktami pomiaru współczynnika pochłaniania metodą in situ; a) ściana boczna estrady, b) ściana boczna widowni, c) ściana tylna.

Pomiary ściany bocznej sali obejmowały dwa punkty pomiarowe na ścianie estrady pokrytej boazerią, trzy punkty pomiarowe na boazerii ściany widowni oraz jeden punkt pomiarowy w obszarze paneli nad boazerią. Na ścianie tylnej widowni przyjęto pięć punktów pomiarowych na poziomie paneli perforowanych. Poza punktami uwidocznionymi na Rys. III.4.2, pomiary przeprowadzono w dwóch punktach podłogi estrady, dwóch punktach podłogi widowni, na środku powierzchni sufitu na estradę, na suficie nad widownią w odległości 1/4 długości sali od ściany tylnej widowni. Ponadto przeprowadzono pomiary drzwi foyer, miękkiego siedziska foteli widowni oraz czterech sekcji prospektu organowego – sekcji środkowej oraz trzech bocznych sekcji po prawej stronie instrumentu patrząc od strony widowni.

4.2.2. Zbiórce wyniki pomiarów

Średnie współczynniki pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych i 1/3 oktaawowych odpowiadające podstawowym powierzchniom i elementom wyposażenia Sali Koncertowej Filharmonii przedstawiono odpowiednio w tabelach III.4.1 i III.4.2. Tabele podają współczynniki pochłaniania ścian estrady i widowni dla boazerii i płyty w górnej części ściany bocznej oraz płyty perforowanej na ścianie tylnej. Do opisu ścian bocznych włączono pochłanianie drzwi prowadzących do foyer Sali Koncertowej. Kolejne kolumny tabel przedstawiają współczynniki pochłaniania powierzchni sufitu i podłogi oraz foteli widowni. W odniesieniu do organów przedstawiono średni współczynnik pochłaniania trzech sekcji bocznych piszczałek prospektu instrumentu oraz niezależnie sekcji środkowej instrumentu, dla której uzyskana wartość współczynnika pochłaniania przekraczała wartość 0,99.

Tabela III.4.1. Sala Koncertowa. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych w pomiarze *in situ*. Nagłówek „Organy 4” oznacza sekcję środkową instrumentu, kolumna „Organy 123” zawiera średnią trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta									
	Estr,	Wid,	Górna	Tylna	Foyer	Estr,	Wid,	Estr,	Wid,		123	4
125	0,64	0,38	0,46	0,45	0,31	0,29	0,34	0,45	0,60	0,22	0,94	1,00
250	0,39	0,33	0,42	0,43	0,28	0,22	0,25	0,28	0,42	0,07	0,86	1,00
500	0,28	0,24	0,27	0,35	0,24	0,19	0,20	0,27	0,31	0,40	0,76	1,00
1000	0,23	0,09	0,27	0,28	0,22	0,15	0,16	0,22	0,15	0,49	0,70	1,00
2000	0,11	0,36	0,21	0,25	0,16	0,13	0,13	0,17	0,17	0,89	0,86	1,00
4000	0,07	0,64	0,17	0,31	0,05	0,02	0,03	0,11	0,07	0,97	0,92	1,00
8000	0,89	0,30	0,46	0,55	0,27	0,20	0,14	0,32	0,14	0,96	0,93	1,00

Tabela III.4.2. Sala Koncertowa. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze *in situ*. Nagłówek „Organy 4” oznacza sekcję środkową instrumentu, kolumna „Organy 123” zawiera średnią trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

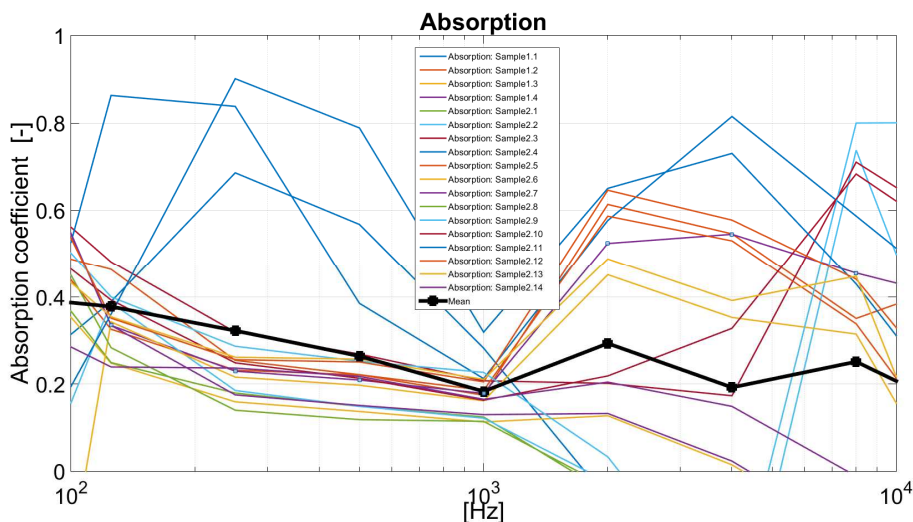
Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta			Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna								
100	0,63	0,39	0,51	0,52	0,46	0,32	0,83	0,55	0,52	0,10	0,86	1,00
125	0,67	0,35	0,47	0,50	0,26	0,27	0,31	0,51	0,32	0,37	0,94	1,00
160	0,63	0,45	0,42	0,50	0,26	0,27	0,25	0,29	0,52	0,14	0,91	1,00
200	0,52	0,37	0,42	0,46	0,21	0,22	0,24	0,29	0,34	0,06	0,89	1,00
250	0,37	0,34	0,44	0,44	0,39	0,24	0,26	0,30	0,37	0,15	0,85	1,00
315	0,33	0,28	0,39	0,39	0,27	0,21	0,25	0,24	0,55	0,21	0,83	1,00
400	0,28	0,24	0,26	0,35	0,31	0,20	0,22	0,26	0,48	0,47	0,78	1,00
500	0,29	0,23	0,17	0,32	0,19	0,17	0,19	0,28	0,28	0,41	0,70	1,00
630	0,24	0,19	0,22	0,30	0,15	0,16	0,16	0,26	0,22	0,32	0,64	1,00
800	0,24	0,17	0,33	0,29	0,22	0,14	0,17	0,22	0,22	0,31	0,61	1,00
1000	0,20	0,04	0,13	0,25	0,17	0,15	0,15	0,22	0,22	0,45	0,66	1,00
1250	0,23	0,04	0,32	0,25	0,24	0,12	0,15	0,21	0,07	0,65	0,73	1,00
1600	0,16	0,04	0,16	0,23	0,15	0,13	0,12	0,16	0,22	0,64	0,76	1,00
2000	-0,02	0,04	0,24	0,24	0,15	0,12	0,12	0,17	0,09	0,83	0,86	1,00
2500	0,07	0,03	0,22	0,24	0,18	0,12	0,12	0,16	0,19	0,96	0,89	1,00
3150	-0,02	0,24	0,10	0,24	0,00	0,05	0,08	0,11	0,08	0,97	0,92	1,00
4000	0,14	0,34	0,15	0,24	0,07	0,03	0,01	0,10	0,06	0,91	0,92	1,00
5000	0,01	0,71	0,22	0,38	0,07	0,13	0,08	0,09	0,08	0,83	0,92	1,00
6300	-0,06	0,70	0,37	0,42	0,22	0,23	0,15	0,30	0,20	0,86	0,91	1,00
8000	0,97	0,70	0,29	0,49	0,33	0,26	0,14	0,33	0,27	0,99	0,90	1,00
10000	0,92	0,70	0,62	0,56	0,20	0,11	0,11	0,26	0,20	0,93	0,94	1,00

4.2.3. Szczegółowe wyniki pomiarów

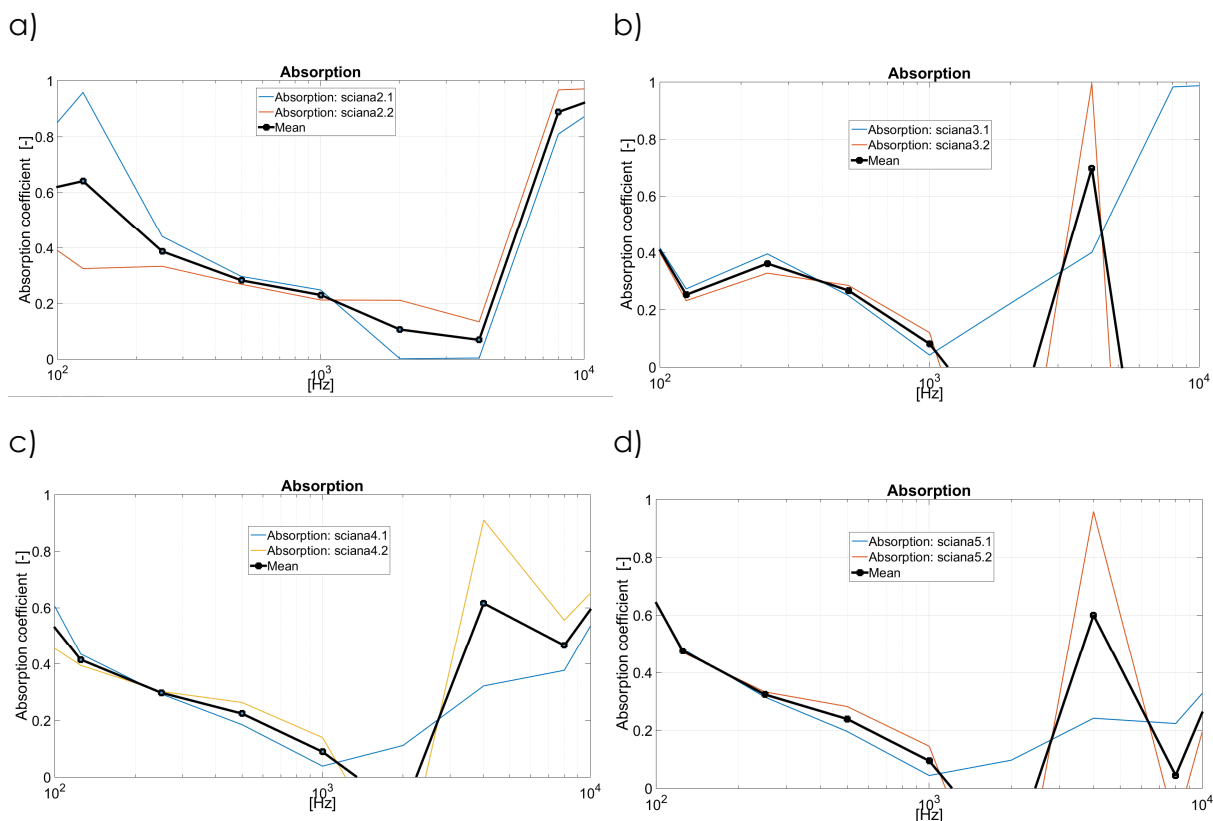
Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania *in situ* przedstawiają wykresy na rys. III.4.3, III.4.4 oraz III.4.7÷III.4.11. Na fotografiach, rys. III.4.12÷III.4.14, pokazano niektóre szczegóły umieszczenia sondy pomiarowej podczas przeprowadzanych pomiarów.

Na rys. III.4.3 przedstawiono zbiorczo wyniki pomiarów przeprowadzonych w punkcie (1) na ścianie bocznej estrady wykonanej, jako głęboko profilowana boazeria drewniana (szkic na rys. III.4.5). Ponieważ profilowanie boazerii znacząco wpływa na lokalnie rejestrowany współczynnik pochłaniania pomiary przeprowadzono w 18-u punktach w poziomie w odstępach 2 cm od siebie. Rys. III.4.3 przedstawia indywidualne wyniki pomiarów we wspomnianych punktach oraz wyznaczony średni współczynnik pochłaniania.

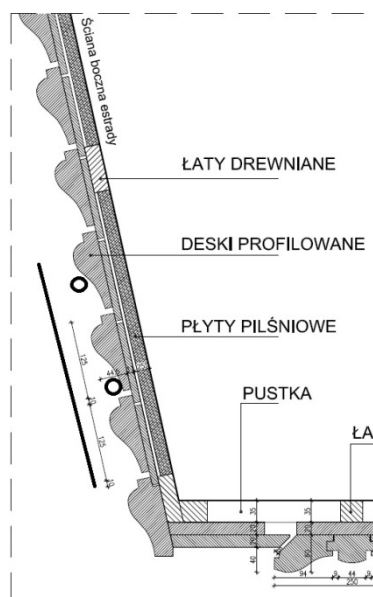
Szkic na rys. III.4.5 pokazuje falisty kształt boazerii ściennej w rejonie estrady oraz zakres przemieszczania mikrofonu, a także dwa miejsca pomiaru (odpowiadające wykresom 2.1 i 2.2, rys. III.4.4 a) stosowane w punkcie pomiarowym (2).



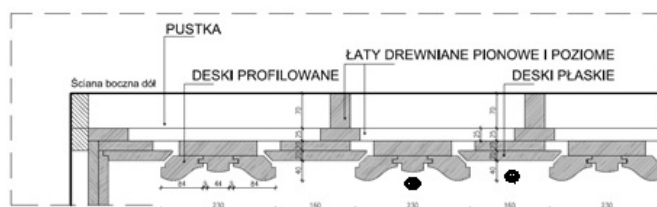
Rys. III.4.3. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktafowych zmierzony in situ. Punkt pomiarowy (1): boczna ściana estrady. Uśrednienie pomiarów w 18 punktach odległych o 2 cm w kierunku poziomym. Falista boazeria listwowa.



Rys. III.4.4. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktafowych zmierzony in situ; a) estrada – punkt (2); b) widownia – punkt (3); c) widownia – punkt (4); d) widownia – punkt (5).



Rys. III.4.5. Boazeria ściany bocznej estrady. Linia pokazuje zakres ustawień mikrofonu na 18 pozycjach w odstępach 2 cm. Punkty pokazują dwa stosowane położenia mikrofonu w punkcie pomiarowym (2).



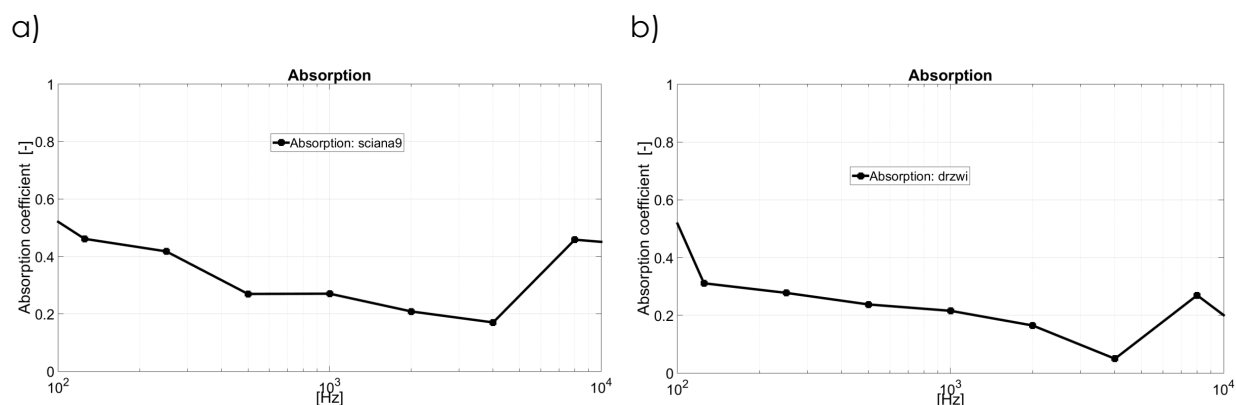
Rys. III.4.6. Boazeria ściany bocznej widowni. Punkty pokazują dwa stosowane położenia mikrofonu w punktach pomiarowych (3), (4) i (5).

Na rys. III.4.4 przedstawiono pomiary przeprowadzone w punktach (2)÷(5) w dolnym obszarze boazerii drewnianej ściany bocznej sali. Rysunek III.4.4a przedstawia pomiar w punkcie (2) boazerii bocznej ściany estrady, której falisty profil jest pokazany na rys. III.4.3 (z uwidocznieniem dwóch położów sondy odpowiadającym wynikom przedstawionym na rys. III.4.4a). Wykresy na rys. III.4.4b,c,d przedstawiają wyniki pomiarów w punktach (3), (4), i (5) boazerii bocznej ściany widowni, której głębokie profilowanie jest pokazane na rys. III.4.6. Fotografia na rys. III.4.12 przedstawia ustawienie sondy pomiarowej przy boazerii ściany widowni. Wykresy przedstawione na rys. III.4.4 pokazują jak dalece kształt profilu boazerii wpływa na zmierzone wartości współczynnika pochłaniania. Uwidaczniają się znacząco różne wartości

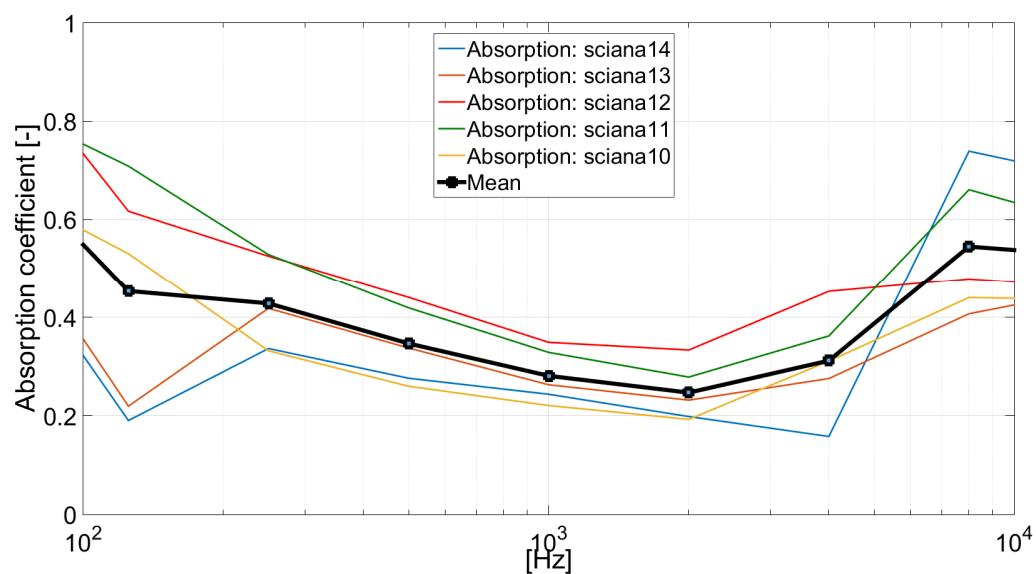
współczynnika pochłaniania dla ściany estrady (wykres na rys. III.4.a) względem wzajemnie zbliżonych wykresów odnoszących się do trzech punktów pomiaru na ścianie widowni, o innym profilu boazerii (rys. III.4.4b,c,d).

Na rys. III.4.7a przedstawiono współczynnik pochłaniania górnych paneli ze sklejkі ściany bocznej zmierzony w punkcie pomiarowym (9), a na rys. III.4.7.b współczynnik pochłaniania drzwi prowadzących do foyer Sali Koncertowej.

Wyniki pomiarów paneli perforowanych ze sklejkі na ścianie tylnej sali, przeprowadzone w punktach pomiarowych (10)÷(14) (patrz rys. III.4.2) zbiorczo przedstawiono na rys. III.4.8. Na uwagę zwraca spójność przebiegu wartości współczynnika pochłaniania w funkcji częstotliwości, co wskazuje na jednorodność właściwości ściany tylnej sali.

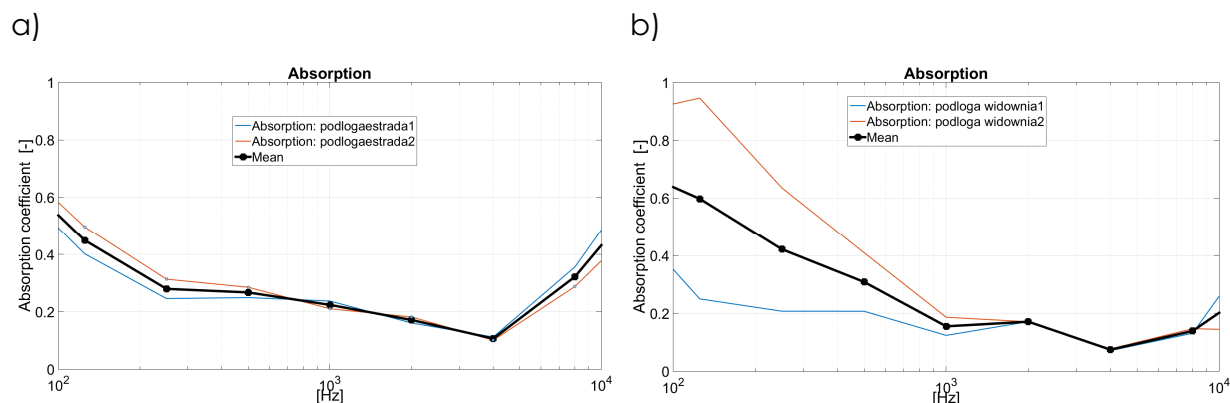


Rys. III.4.7. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych zmierzony *in situ*; a) górna płyta drewniana ściany bocznej, punkt pomiarowy (9), b) drzwi foyer.

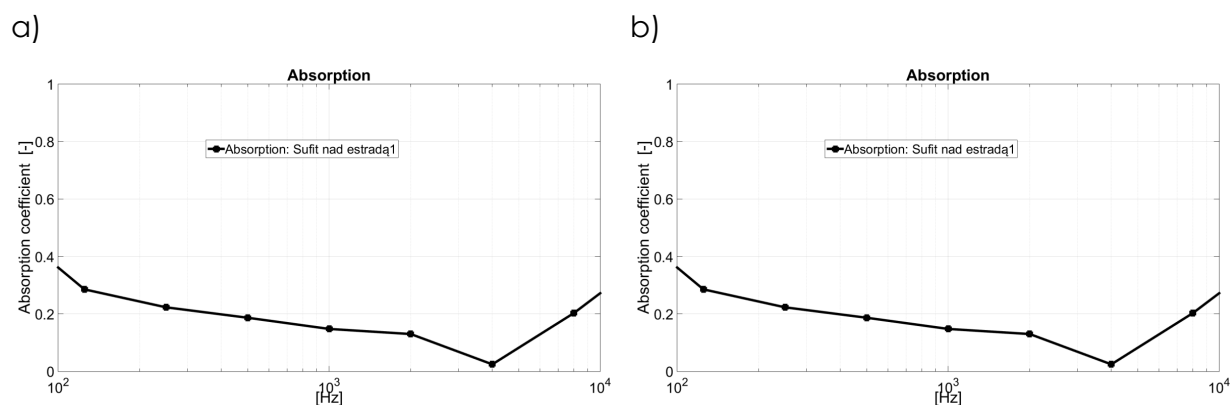


Rys. III.4.8. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Punkt pomiarowe (10)÷(14): tylna ściana widowni. Płyty perforowane.

Wyniki pomiarów przeprowadzonych w odniesieniu do podłogi estrady i podłogi widowni przedstawiono na rys. III.4.9.



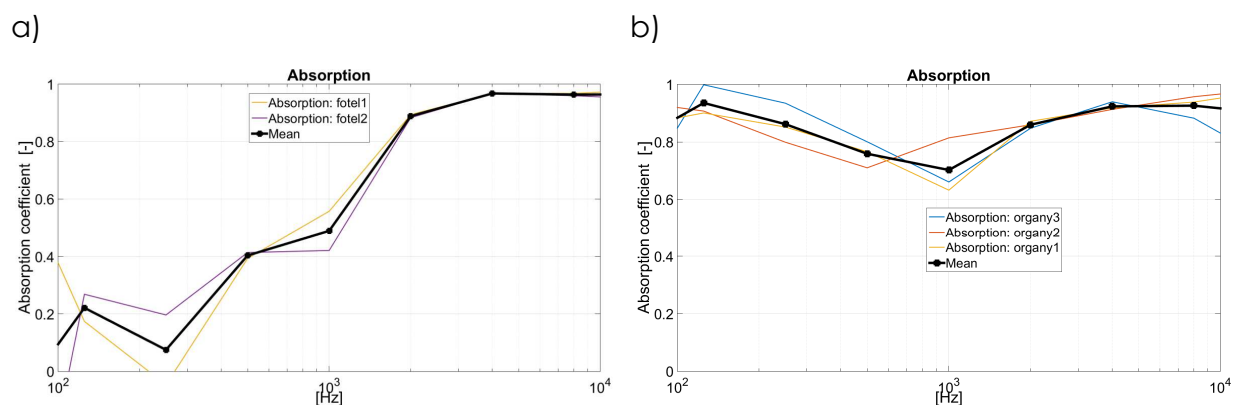
Rys. III.4.9. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.



Rys. III.4.10. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*. a) sufit nad estradą, b) sufit nad widownią.

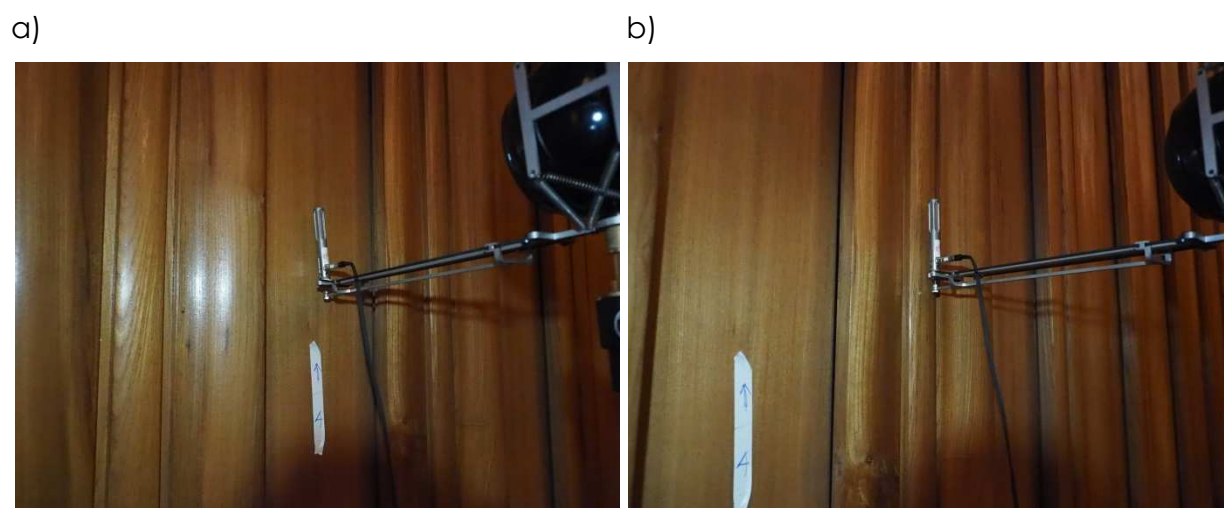
Wyniki pomiarów sufitu estrady i widowni przedstawiono na rys. III.4.10. Punkt pomiarowy sufitu estrady znajdował się na środku dużej powierzchni odbijającej sufitu w miejscu w przybliżeniu odpowiadającym środkowi estrady. Punkt pomiarowy na suficie widowni znajdował się na środku drugiej dużej powierzchni odbijającej licząc od ściany tylnej widowni (druga od tyłu sali powierzchnia ukośna). Położenie sondy pomiarowej podczas pomiaru sufitu estrady przedstawione jest na rys. III.4.13.

Wyniki pomiarów fotelu widowni przedstawiono na rys. III.4.11a.



Rys. III.4.11. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych zmierzony *in situ*; a) fotel widowni, b) organy: sekcja zewnętrzna po prawej stronie (1), sekcja druga od prawej strony (2), sekcja trzecia od prawej strony (3) oraz średnia.

Rys. III.4.11b przedstawia wynik pomiaru trzech sekcji organów po prawej stronie osi symetrii instrumentu. Pomiar organów przeprowadzono metodą skanowania przesuwając sondę pomiarową w poprzek wybranej sekcji piszczałek prospektu organowego z uśrednieniem w czasie 15 sekund pomiaru. Przedstawione wyniki stanowią zatem uśrednienie przestrzenne obejmujące całą szerokość sekcji piszczałek organowych. Położenie sondy pomiarowej w czasie pomiarów organów wspomnianą metodą skaningu przedstawia fotografia na rys. III.4.14.



Rys. III.4.12. Położenie sondy pomiarowej przy ścianie bocznej widowni pokrytej boazerią; a) w obszarze płaskiej części profilu, b) w obszarze żłobień profilu.



Rys. III.4.13. Położenie sondy pomiarowej przy suficie nad tylną częścią widowni Sali Koncertowej.

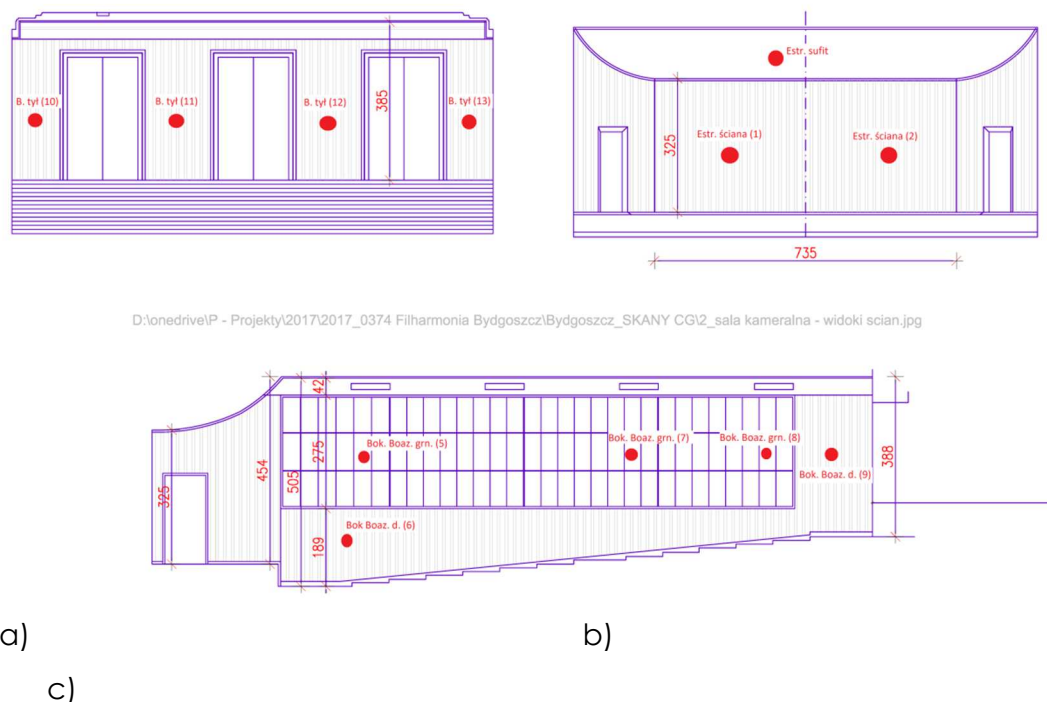


Rys. III.4.14. Położenie sondy pomiarowej w czasie skanowania prospektu organowego. Sekcja 3.

4.3. Pomiary Sali Kameralnej

4.3.1. Usytuowanie punktów pomiarowych

Wybór punktów pomiarowych na ścianach Sali Kameralnej przedstawia rys. III.4.15.



Rys. III.4.15. Widok ściany bocznej prawej i ściany tylnej Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej z zaznaczonymi punktami pomiaru współczynnika pochłaniania metodą *in situ*; a) ściana tylna widowni, b) ściana tylna estrady, c) ściana boczna.

Dwa punkty pomiarowe położone są na tylnej ścianie estrady, trzy punkty pomiarowe na płytach górnych ściany bocznej widowni, dwa na boazerii pokrywającej dół ściany bocznej widowni oraz cztery punkty pomiarowe na boazerii szczelinowej ściany tylnej. Ponadto przeprowadzono pomiar w punkcie na suficie nad estradą, na podłodze estrady i na podłodze widowni. Dodatkowo zmierzono zostało pochłanianie siedziska fotelu widowni.

4.3.2. . Zbiorcze wyniki pomiarów

Średnie współczynniki pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych i 1/3 oktaawowych odpowiadające podstawowym powierzchniom i elementom wyposażenia Sali Kameralnej Filharmonii przedstawiono odpowiednio w tabelach III.4.3 i III.4.4. Struktura tabel jest podobna do tabel III.4.1. i III.4.2. Tabele obejmują wartości zmierzone dla sufitu i ścian estrady sali, boazerii i płyt sciany bocznej, boazerii szczelinowej ściany tylnej, podłogi estrady i podłogi widowni oraz siedziska fotelu widowni.

Tabela III.5.3. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych w pomiarze *in situ*.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria			
	Sufit	Ściana.	Panel górny	Boazeria dolna	tylna	Estrada	Widownia	
125.00	0.33	0.63	0.53	0.35	0.65	0.41	0.36	0.10
250.00	0.25	0.51	0.38	0.22	0.64	0.32	0.35	0.09
500.00	0.21	0.40	0.24	0.17	0.55	0.29	0.34	0.55
1000.00	0.19	0.35	0.26	0.14	0.39	0.26	0.27	0.77
2000.00	0.20	0.35	0.13	0.15	0.43	0.22	0.34	0.68
4000.00	0.17	0.83	0.10	0.15	0.03	0.24	0.32	0.57
8000.00	0.52	0.66	0.03	0.15	0.07	0.47	0.30	0.64

Tabela III.4.4. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze *in situ*.

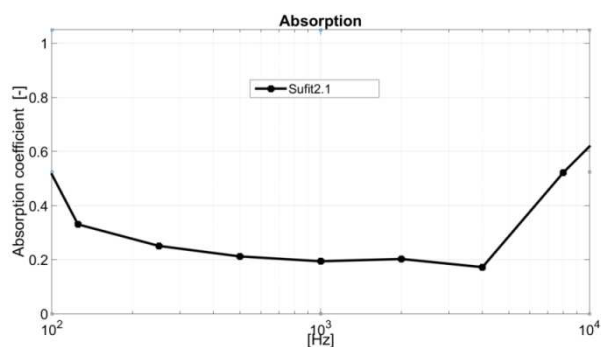
Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria	Estrada	Widownia	
	Sufit	Ściana.	Panel górny	Boazeria dolna	tylna			
100	0.61	0.68	0.57	0.68	0.68	0.54	0.49	0.56
125	0.23	0.56	0.57	0.36	0.66	0.36	0.37	0.27
160	0.26	0.57	0.41	0.28	0.63	0.36	0.30	0.25
200	0.26	0.52	0.42	0.24	0.61	0.32	0.27	0.23
250	0.29	0.49	0.40	0.23	0.60	0.31	0.37	0.19
315	0.21	0.44	0.33	0.20	0.65	0.31	0.39	0.11
400	0.21	0.41	0.26	0.18	0.64	0.32	0.37	0.34
500	0.20	0.35	0.25	0.15	0.52	0.25	0.32	0.57
630	0.19	0.29	0.17	0.12	0.49	0.24	0.31	0.71
800	0.19	0.33	0.18	0.14	0.39	0.28	0.29	0.84
1000	0.19	0.32	0.36	0.15	0.36	0.25	0.34	0.66
1250	0.18	0.31	0.23	0.12	0.34	0.23	0.04	0.71
1600	0.20	0.28	0.30	0.19	0.39	0.23	0.40	0.77
2000	0.20	0.26	0.37	0.23	0.35	0.19	0.21	0.65
2500	0.19	0.46	0.10	0.20	0.35	0.23	0.36	0.56
3150	0.15	0.65	0.10	0.20	0.25	0.20	0.26	0.57
4000	0.15	0.65	0.09	0.20	0.10	0.19	0.31	0.47
5000	0.19	0.56	0.08	0.18	0.10	0.28	0.35	0.54
6300	0.40	0.51	0.07	0.18	0.05	0.31	0.33	0.65
8000	0.45	0.32	0.06	0.15	0.05	0.35	0.43	0.58
10000	0.47	0.60	0.10	0.15	0.10	0.59	0.07	0.59

4.3.3. Szczegółowe wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów współczynnika pochłaniania *in situ* Sali Kameralnej przedstawiają wykresy na rys. III.4.16÷III.4.21. Na rys. III.4.16a zamieszczono wynik pomiaru sufitu nad estradą. Położenie sondy pomiarowej przy tym pomiarze pokazuje rys. III.4.16b. Wyniki pomiarów w dwóch punktach pomiarowych ściany tylnej estrady przedstawia rys. III.4.17.

Rysunki III.4.18 i III.4.19 przedstawiają wyniki pomiarów w punktach położonych na ścianach bocznych widowni, odpowiednio w dwóch miejscach dla boazerii dolnej i w trzech miejscach w przypadku paneli ze sklejk w górnej części ściany.

a)

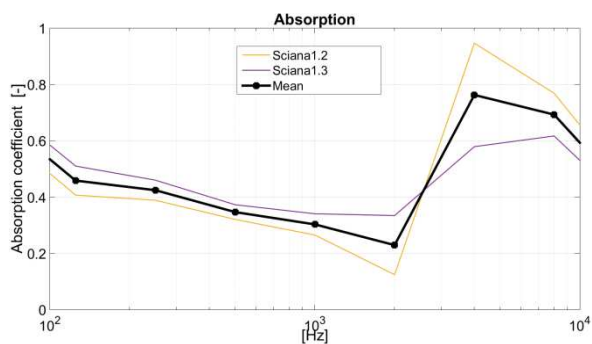


b)

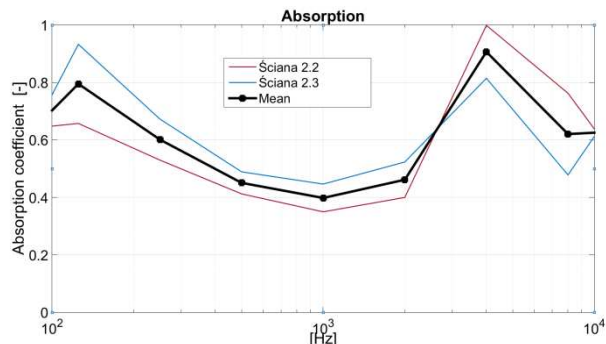


Rys. III.4.16. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*; a) sufit nad estradą, b) położenie sondy pomiarowej przy pomiarze sufitu estrady Sali Kameralnej.

a)

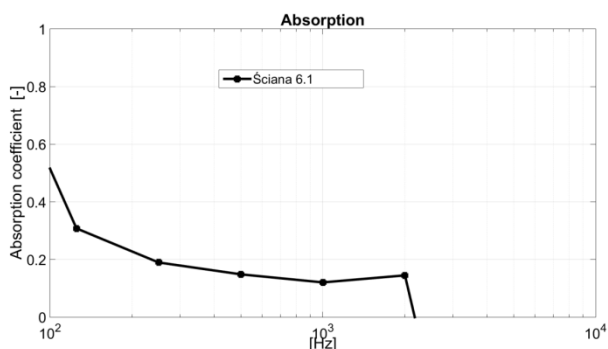


b)

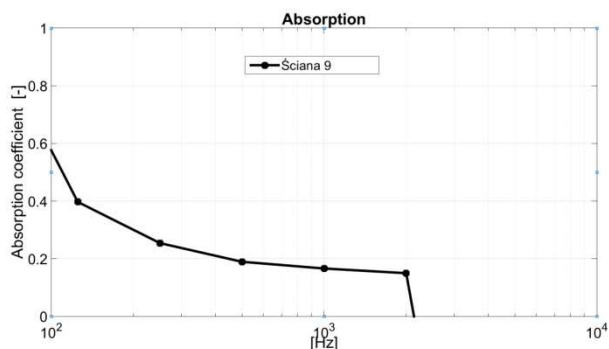


Rys. III.4.17. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Ściana estrady; a) punkt (1), b) punkt (2).

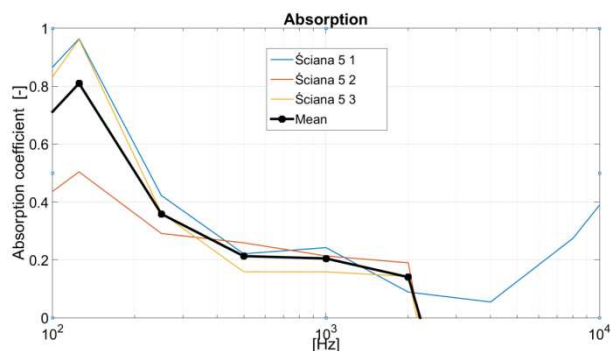
a)



b)

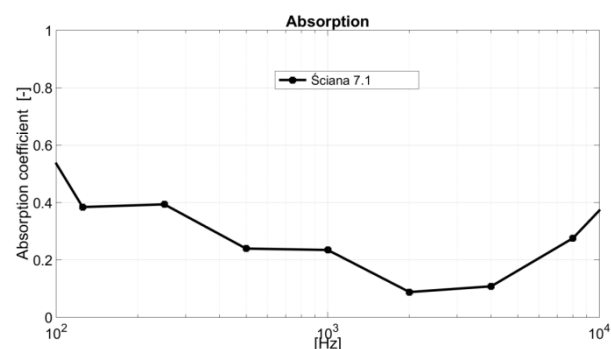


Rys. III.4.18. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Ściana boczna widowni, boazeria dolna; a) punkt (6), b) punkt (9).

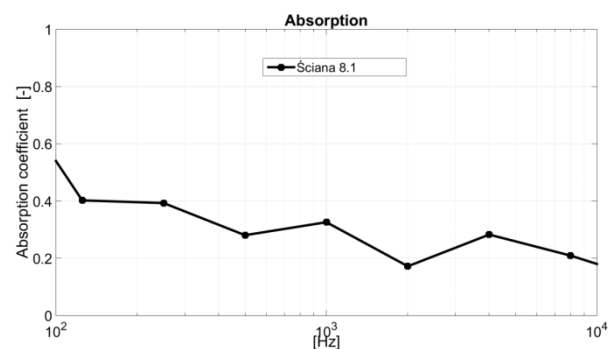


a)

b)

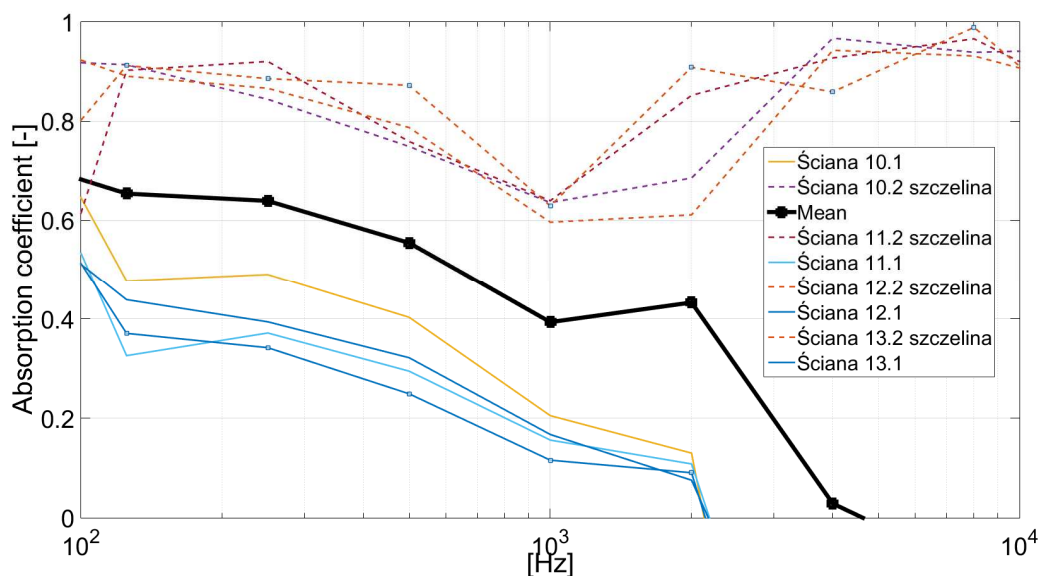


c)



Rys. III.4.19. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych zmierzony *in situ*. Płyta górna ze sklejek ściany bocznej widowni; a) punkt (5), b) punkt (7), c) punkt (8).

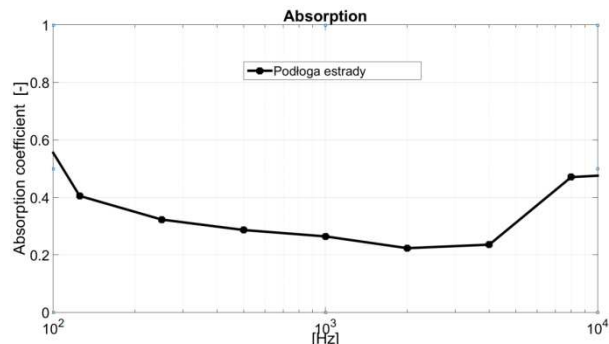
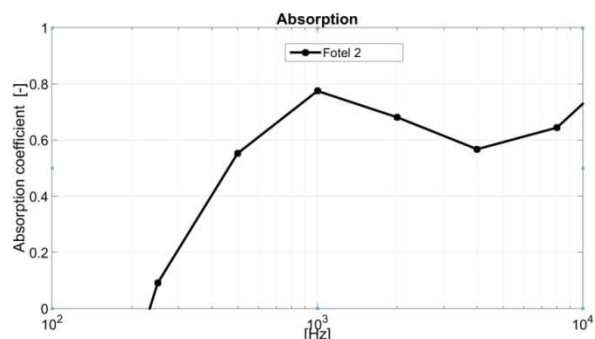
Wyniki pomiarów ściany tylnej Sali Kameralnej w punktach pomiarowych 10÷13 zbiorczo przedstawiono na rys. III.4.20. Podobnie jak w przypadku Sali Koncertowej ma miejsce spójność przebiegu wartości współczynnika pochłaniania w funkcji częstotliwości. Głęboko profilowana boazeria tylnej ściany Sali Kameralnej jest boazerią szczelinową z pustką głębokości do 10 cm. Charakterystyczne jest zróżnicowanie wyniku pomiaru w przypadku umieszczenia sondy nad deską boazerii (punkty pomiarowe z etykietą '.1') oraz w położeniu na d szczeliną prowadząca do pustki pod boazerią (punkty pomiarowe z etykietą '.2').



Rys. III.4.20. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych zmierzony *in situ*. Boazeria tylnej ściany widowni, zbiorcze przedstawienie pomiarów w punktach (10)÷(13).

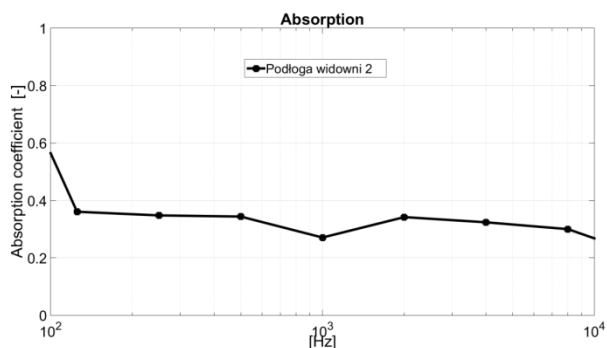
Na rys. III.4.21 zamieszczono wyniki pomiarów siedziska fotelu widowni oraz podłogi estrady i podłogi widowni.

a)



b)

c)



Rys. III.4.21. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych zmierzony *in situ*; a) fotel widowni, b) podłoga estrady, c) podłoga widowni.

4.4. Korekcja energetycznych współczynników zmierzonych *in situ*

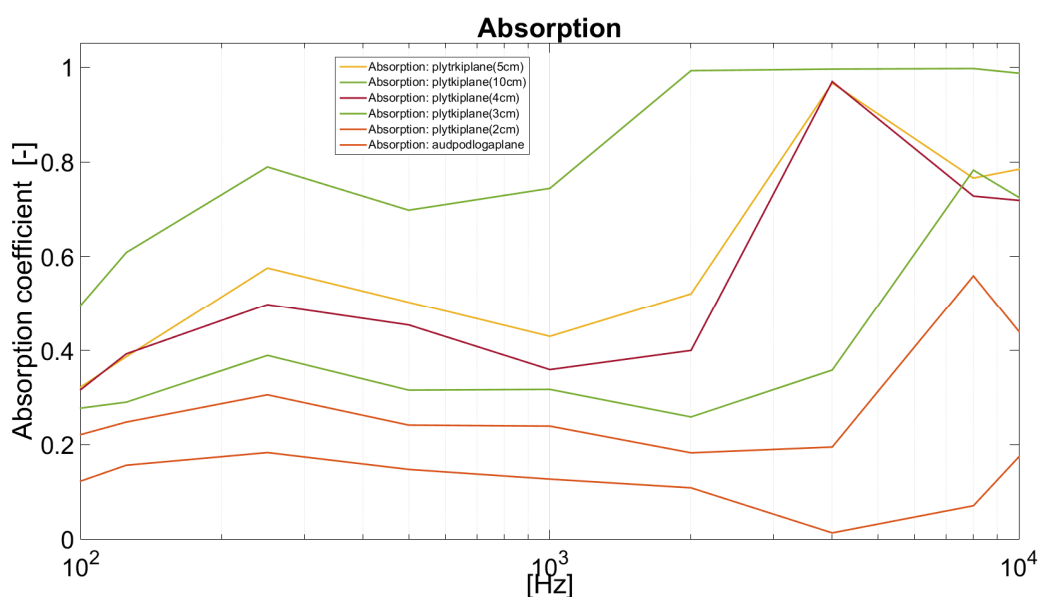
Pomiar współczynników pochłaniania *in situ* sondą Microflown jest obciążony ograniczeniami, które mają swoje źródła w tym, że: (1) przeprowadzany jest punktowy pomiar w miejscu położenia czujnika sondy pomiarowej, (2) pomiar współczynnika odbicia przeprowadza się wyłącznie w kierunku prostopadłym do powierzchni, oraz (3) oddalenia sondy od ściany (obiektu mierzonego) wprowadza błąd pomiarowy polegający na pozornym zwiększeniu wartości współczynnika pochłaniania.

W pierwszym przypadku, z powodu braku uśredniania pomiaru na większej powierzchni, występuje trudność prawidłowego zmierzenia współczynnika pochłaniania w przypadku powierzchni niejednorodnej, zwłaszcza znacząco urzeźbionej. Był to przypadek boazerii estrady, oraz odmiennych boazerii ścian bocznych widowni (część dolna), zarówno w Sali Koncertowej, jak i Kameralnej. Wyniki przedstawione wcześniej odnoszące się do charakterystycznych położzeń sondy przy boazerii, takich jak szczelina lub fragment łagodnej krzywizny deski i pokazują znaczące różnice (por. rys. III.4.4 i III.4.19). W celu uśrednienia pomiaru współczynnika pochłaniania na większej powierzchni możliwe jest skanowanie powierzchni sondą, co było przeprowadzane w przypadku prospektu organowego. Przy ręcznym skanowaniu, technika ta może prowadzić lecz prowadzi to do zwiększenia błędu wynikającego z nadmiernego odsunięcia sondy od obiektu mierzonego.

Pomiar składowej prostopadłej fali (prędkości akustycznej) różni jakościowo i pod względem uzyskanych wartości otrzymane współczynniki pochłaniania *in situ* od tzw. pogłosowych współczynników pochłaniania powszechnie stosowanych w obliczeniach akustycznych. Te ostatnie pochodzą z pomiaru w polu rozproszonym akustycznej komory pogłosowej, a więc są współczynnikami uśrednionymi dla wszystkich kątów kierunku padania fali akustycznej na daną powierzchnię.

Natomiast trudnym do uniknięcia źródłem błędu pomiarowego jest zwiększanie odległości próbnika sondy od powierzchni mierzonej. Zwiększenie odległości powoduje pozorne zwiększenie współczynnika pochłaniania. Wzrost wartości jest bardzo znaczący i nieproporcjonalnie duży w przypadku powierzchni odbijających o współczynniku pochłaniania poniżej 0,3, a istotny, ale procentowo mniej znaczący dla materiałów pochłaniających (wartości współczynnika pochłaniania powyżej

0,7). Błąd odległości jest jednostronny, tj. zawsze powoduje, że zmierzone wartości współczynnika pochłaniania przyjmują większe wartości niż wartości prawdziwe. Jest to zjawisko znane w literaturze¹, które prowadzi do zawyżonych wartości współczynników pochłaniania i w konsekwencji niedoszacowanie przy modelowaniu takich parametrów akustyki sali, jak T30 lub EDT, a także możliwe jest uzyskanie zawyżonych wskaźników zrozumiałości mowy takich jak STI.



Rys. III.4.22. Pozorny wzrost wartości współczynnika pochłaniania zmierzonego *in situ* przy wzroście odległości sondy od mierzonej powierzchni. Pomiar w odległości 1 cm stanowi najlepsze oszacowanie (<0.2) rzeczywistej wartości współczynnika pochłaniania. Dane dotyczą szlifowanej posadzki kamiennej.

W przypadku aparatury stosowanej w niniejszych pomiarach wcześniej przeprowadzono laboratoryjne oszacowanie skutków zwiększenia odległości położenia sondy od powierzchni mierzonej. Oszacowanie polegało na przeprowadzeniu pomiarów przy standardowej odległości 1 cm, a następnie przy zwiększonej odległości od powierzchni mierzonej do 2, 3, 4, 5 i 10 cm. Wartości oszacowania energetycznego współczynnika pochłaniania pokazane na rys. III.5.22 informują jak wrażliwy jest pomiar na niezachowanie minimalnej odległości sondy od powierzchni mierzonej. Już zmiana odległości z 1 na 2 cm powoduje pozorny wzrost wartości współczynnika pochłaniania *in situ* o ponad 50%. Dalsze odsunięcie sondy

¹ L. Yule, B. Ford. Investigating how predictions of reverberation time can be affected by incorrect absorption coefficient assumptions. 24th ICSV, Londyn, 23-27 July 2017. Materiały konferencyjne.

prowadzi do wielokrotnego zwiększenia wartości współczynnika pochłaniania, a więc daje wyniki całkowicie niemiernodajne.

Podsumowując, można liczyć się z pewnym przeszacowaniem wartości współczynników pochłaniania zmierzonych *in situ* z użyciem sondy z uwagi na trudność zachowania właściwej odległości sondy od nieregularnych powierzchni boazerijnych ścian obu sal. Trudne do oszacowania, ale istotne, są odstępstwa od wartości tzw. pogłosowych współczynników pochłaniania stosowanych w praktyce akustyki pomieszczeń, a także odstępstwa wynikające z punktowego pomiaru sondą *Microflown*. W związku z powyższymi trudnościami modelowanie przeprowadzone z użyciem zmierzonych współczynników *in situ* ścian sali zostało uzupełnione ponownym modelowaniem sal przy zastosowaniu współczynników skorygowanych. Korekcja polegała na zmodyfikowaniu wartości współczynników pochłaniania na podstawie wzoru Sabina odwrotnie proporcjonalnie do czasów pogłosu uzyskanych w modelu (pierwszym, przed korekcją) i otrzymanym w pomiarach obu sal.

4.4.1. Korekcja współczynników pochłaniania Sali Koncertowej

Korekcję współczynników pochłaniania *in situ* przeprowadzono w oparciu o wzór Sabina wiążący czas pogłosu z chłonnością akustyczną występującą w sali i jej objętością. Na podstawie tego wzoru, przy założeniu proporcjonalnej zmiany chłonności wszystkich materiałów, można wyznaczyć skorygowany współczynnik pochłaniania jako

$$\alpha_{InsituKor} = \frac{T_m}{T_p} \alpha_{Insitu},$$

gdzie T_m i T_p to czas pogłosu T30 odpowiednio uzyskany w modelowaniu z użyciem współczynników bez korekcji i uzyskany w pomiarach. Tabele III.4.5 i III.4.6 przedstawiają odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktawowych wyznaczone współczynniki korekcji zastosowane w odniesieniu do współczynników pochłaniania w Sali Koncertowej. Tabele III.4.7 i III.4.8 przedstawiają zbiorczo, odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktawowych, skorygowane współczynniki pochłaniania zastosowane w modelowaniu sali. Porównanie wartości skorygowanych i współczynników zmierzonych przedstawiono w rozdziale 4.5.2 na rys. III.4.24-III.4.33.

Tabela III.4.5. Sala Koncertowa. Wartości współczynników korekcyjnych dla współczynnika pochłaniania. Pasma 1/1 oktauwowe.

Pasma [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]	68,9	71,4	70,4	77,3	94,1	100,0	68,7

Tabela III.4.6. Sala Koncertowa. Wartości współczynników korekcyjnych dla współczynnika pochłaniania. Pasma 1/3 oktauwowe.

Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]					Pasma [Hz]							
					100	125	160	200	250	315	400	500
					57,2	71,8	73,7	79,5	67,6	68,3	69,4	74,2
Pasma [Hz]												
630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
75,9	72,5	83,6	83,3	93,6	91,0	89,9	104,2	108,2	96,8	73,9	63,7	63,9

Tabela III.4.7. Sala Koncertowa. Skorygowane wartości współczynników pochłaniania w pasmach 1/1 oktauwowych w pomiarze in situ. Nagłówek „Organy 4”: sekcja środkowa instrumentu, „Organy 123” - średnia trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta			Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna								
125	0,44	0,26	0,31	0,31	0,21	0,20	0,23	0,31	0,41	0,15	0,64	0,68
250	0,28	0,24	0,31	0,31	0,20	0,16	0,18	0,20	0,31	0,05	0,62	0,73
500	0,20	0,17	0,19	0,25	0,17	0,14	0,14	0,19	0,22	0,29	0,55	0,72
1000	0,18	0,07	0,21	0,22	0,17	0,12	0,13	0,17	0,12	0,38	0,55	0,79
2000	0,10	0,33	0,19	0,23	0,15	0,12	0,12	0,16	0,16	0,81	0,79	0,91
4000	0,07	0,66	0,18	0,32	0,05	0,02	0,03	0,11	0,07	1,00	0,95	1,00
8000	0,60	0,20	0,31	0,37	0,18	0,14	0,09	0,22	0,09	0,65	0,63	0,68

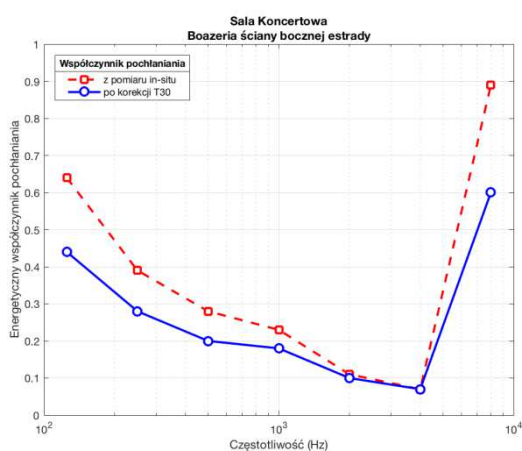
Tabela III.4.8. Sala Koncertowa. Skorygowane wartości współczynników pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze in situ. Nagłówek „Organy 4”: sekcja środkowa instrumentu, „Organy 123” - średnia trzech sekcji po prawej stronie instrumentu.

Pasma [Hz]	Ściany				Drzwi Foyer	Sufit		Podłoga		Fotele	Organy	
	Boazeria		Płyta			Estr.	Wid.	Estr.	Wid.		123	4
	Estr.	Wid.	Górna	Tylna								
100	0,36	0,22	0,29	0,30	0,26	0,18	0,47	0,31	0,30	0,06	0,49	0,57
125	0,48	0,25	0,34	0,36	0,19	0,19	0,22	0,37	0,23	0,27	0,67	0,72
160	0,46	0,33	0,31	0,37	0,19	0,20	0,18	0,21	0,38	0,10	0,67	0,74
200	0,41	0,29	0,33	0,37	0,17	0,17	0,19	0,23	0,27	0,05	0,71	0,79
250	0,25	0,23	0,30	0,30	0,26	0,16	0,18	0,20	0,25	0,10	0,57	0,68
315	0,23	0,19	0,27	0,27	0,18	0,14	0,17	0,16	0,38	0,14	0,57	0,68
400	0,19	0,17	0,18	0,24	0,22	0,14	0,15	0,18	0,33	0,33	0,54	0,69
500	0,22	0,17	0,13	0,24	0,14	0,13	0,14	0,21	0,21	0,30	0,52	0,74
630	0,18	0,14	0,17	0,23	0,11	0,12	0,12	0,20	0,17	0,24	0,49	0,76
800	0,17	0,12	0,24	0,21	0,16	0,10	0,12	0,16	0,16	0,22	0,44	0,73
1000	0,17	0,03	0,11	0,21	0,14	0,13	0,13	0,18	0,18	0,38	0,55	0,84
1250	0,19	0,03	0,27	0,21	0,20	0,10	0,12	0,17	0,06	0,54	0,61	0,83
1600	0,15	0,04	0,15	0,22	0,14	0,12	0,11	0,15	0,21	0,60	0,71	0,94
2000	0,10	0,04	0,22	0,22	0,14	0,11	0,11	0,15	0,08	0,75	0,78	0,91
2500	0,06	0,03	0,20	0,22	0,16	0,11	0,11	0,14	0,17	0,86	0,80	0,90
3150	0,10	0,25	0,10	0,25	0,00	0,05	0,08	0,11	0,08	1,00	0,96	1,00
4000	0,15	0,37	0,16	0,26	0,08	0,03	0,01	0,11	0,06	0,98	1,00	1,00
5000	0,01	0,69	0,21	0,37	0,07	0,13	0,08	0,09	0,08	0,80	0,89	0,97
6300	0,63	0,52	0,27	0,31	0,16	0,17	0,11	0,22	0,15	0,64	0,67	0,74
8000	0,62	0,45	0,18	0,31	0,21	0,17	0,09	0,21	0,17	0,63	0,57	0,64
10000	0,59	0,45	0,40	0,36	0,13	0,07	0,07	0,17	0,13	0,59	0,60	0,64

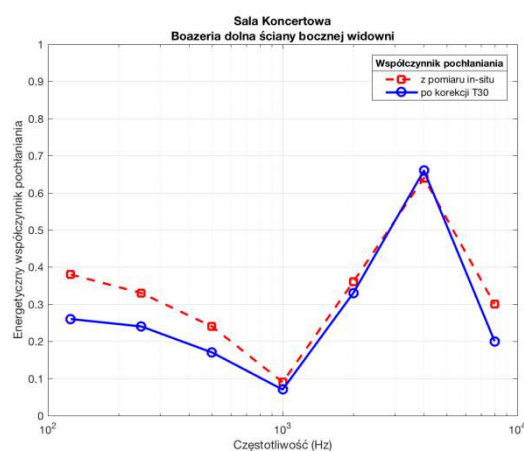
4.4.2. Szczegółowe porównanie współczynników pochłaniania przed i po korekcy. Sala Koncertowa

Na rys. III.4.23÷III.4.27 pokazano współczynniki pochłaniania skorygowane (linia ciągła, symbole okręgu) w porównaniu do współczynników pochłaniania przed korekcją (linia przerywana symbole kwadratu) w Sali Koncertowej. Na rys. III.4.23 Przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania a) ściany bocznej estrady, b) i c) dolnej i górnej części ściany bocznej widowni, d) sklejki perforowanej ściany tylnej widowni.

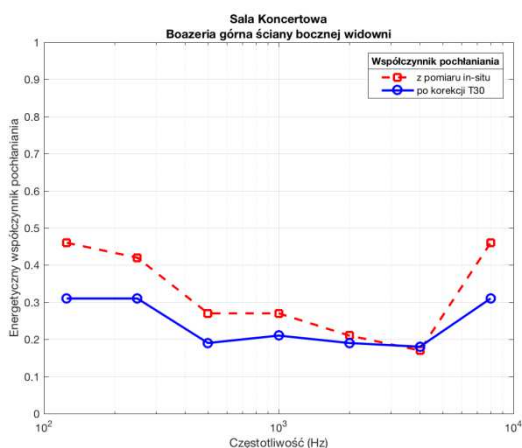
a)



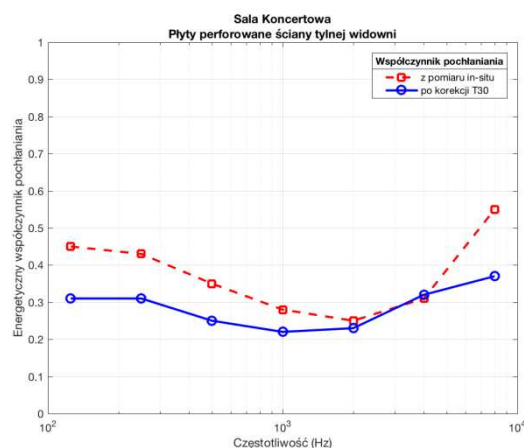
b)



c)



d)

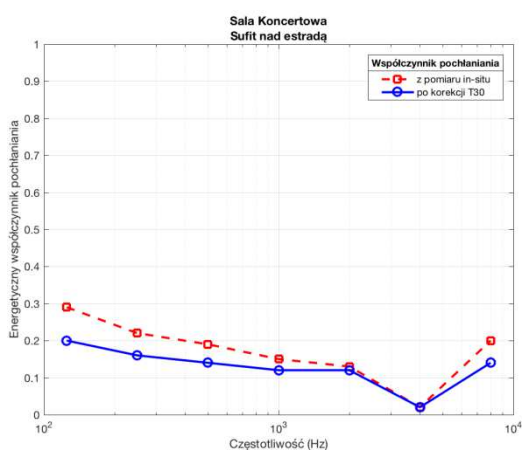


Rys. III.4.23. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych in situ. Przed korekcją i po korekcji; a) boazeria estrady, b) boazeria dolna ściany bocznej widowni, c) panele ze sklejki u góry ściany bocznej widowni, d) panele perforowane ściany tylnej widowni.

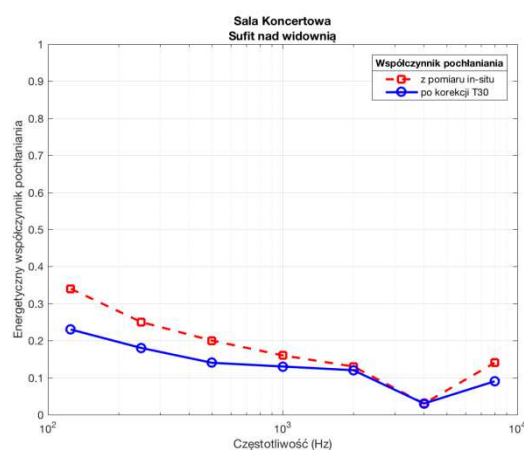
Na rys. III.4.24 III.4.25 i III.4.26 przedstawiono skorygowane współczynniki pochłaniania odpowiednio a) sufitu nad estradą i b) sufitu nad widownią; a) podłogi nad estradą i b) podłogi nad widownią; oraz a) siedzisk foteli i b) drzwi foyer.

W przypadku siedzisk foteli (rys. III.4.26a) dane uzupełniono przeciętnymi współczynnikami pochłaniania z literatury (linia ciągła czarna z symbolami trójkąta) i te dane zostały użyte w modelowaniu.

a)

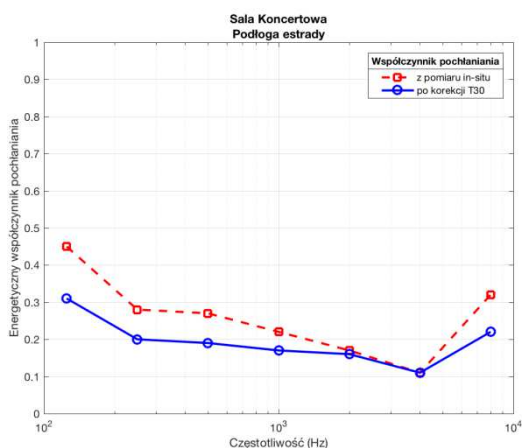


b)

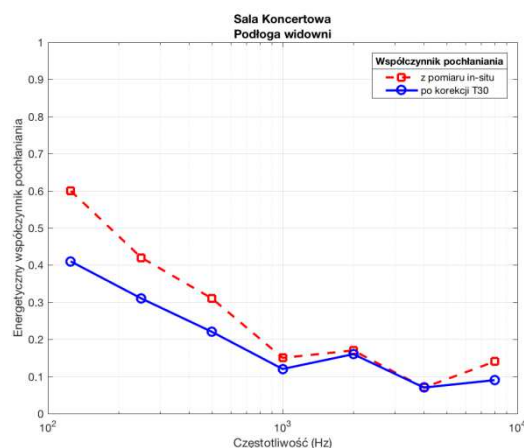


Rys. III.4.24. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) sufit nad estradą, b) sufit nad widownią.

a)

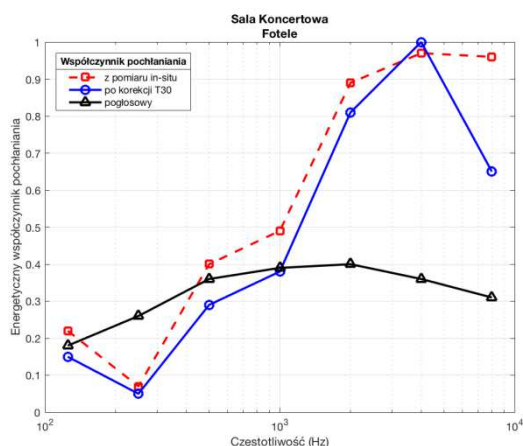


b)

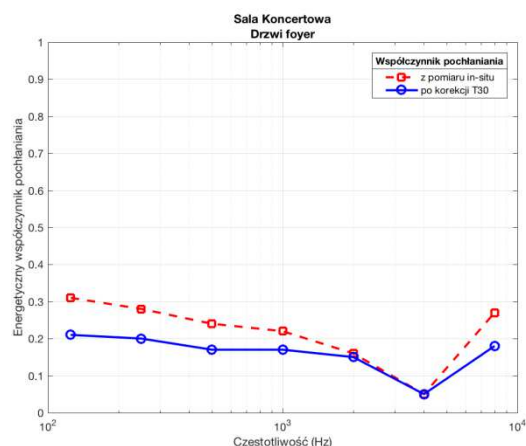


Rys. III.4.25. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.

a)



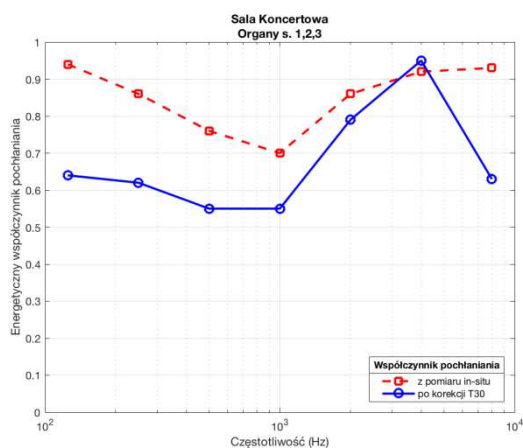
b)



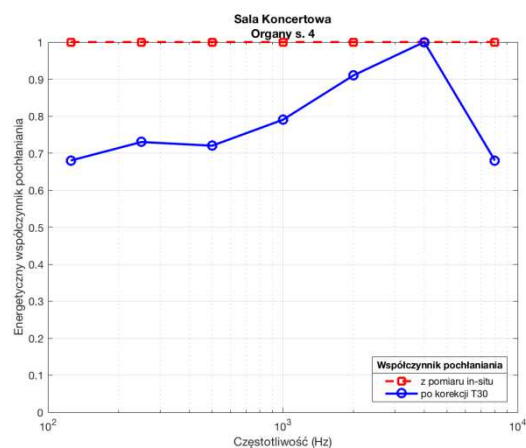
Rys. III.4.26. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) siedziska foteli, b) drzwi foyer.

Na rys. III.4.27, przedstawiono skorygowane współczynniki pochłaniania a) sekcji 1, 2 i 3 organów oraz i b) sekcji 4 organów.

a)



b)



Rys. III.4.27. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) organy sekcje 1, 2, i 3, b) organy sekcja 4.

4.4.3. Korekcja współczynników pochłaniania Sali Kameralnej

Tabele III.4.9 i III.4.10 przedstawiają odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktaawowych współczynniki korekcji zastosowane w odniesieniu do współczynników pochłaniania w Sali Kameralnej. Tabele III.4.11 i III.4.12 przedstawiają zbiorczo, odpowiednio w pasmach 1/1 i 1/3 oktaawowych, skorygowane współczynniki pochłaniania zastosowane w modelowaniu sali. Współczynniki pochłaniania zmierzone i skorygowane są przedstawione dalej na wykresach na rys. III.4.28-III.4.30.

Tabela III.4.9. Sala Kameralna. Wartości współczynników korekcyjnych dla energetycznego współczynnika pochłaniania. Pasma 1/1 oktaawowe.

Pasma [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]	87,9	112,0	119,0	100,0	90,0	88,2	78,8

Tabela III.4.10. Sala Kameralna. Wartości współczynników korekcyjnych dla energetycznego współczynnika pochłaniania. Pasma 1/3 oktaawowe.

Korekcja energetycznego współczynnika pochłaniania [%]					Pasma [Hz]							
					100	125	160	200	250	315	400	500
					67,7	89,8	102,2	109,4	108,2	111,2	110,9	120,0
Pasma [Hz]												
630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
121,5	109,3	87,6	111,7	88,2	88,5	95,1	92,3	92,6	89,8	85,6	81,0	68,5

Tabela III.4.11. Sala Kameralna. Wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/1 oktaawowych w pomiarze in situ.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria tylna			
	sufit	ściana	panel górny	boazeria dolna				
125	0,31	0,60	0,50	0,33	0,62	0,39	0,34	0,09
250	0,31	0,62	0,47	0,27	0,78	0,39	0,43	0,11
500	0,23	0,43	0,26	0,18	0,60	0,31	0,37	0,60
1000	0,16	0,30	0,23	0,12	0,34	0,23	0,23	0,67
2000	0,19	0,33	0,12	0,14	0,41	0,21	0,32	0,64
4000	0,14	0,66	0,08	0,12	0,02	0,19	0,26	0,46
8000	0,33	0,42	0,02	0,10	0,04	0,30	0,19	0,41

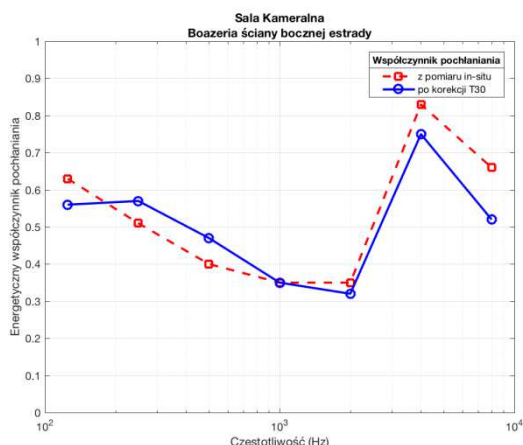
Tabela III.4.12. Sala Kameralna. Skorygowane wartości współczynnika pochłaniania w pasmach 1/3 oktawowych w pomiarze in situ.

Pasma [Hz]	Ściany					Podłoga		Fotel
	Estrada		Ściana boczna widowni		Boazeria tylna			
	Sufit	Ściana	Panel górny	Boazeria dolna				
100	0,41	0,46	0,39	0,46	0,46	0,37	0,33	0,38
125	0,21	0,50	0,51	0,32	0,59	0,32	0,33	0,24
160	0,27	0,58	0,42	0,29	0,64	0,37	0,31	0,26
200	0,28	0,57	0,46	0,26	0,67	0,35	0,30	0,25
250	0,31	0,53	0,43	0,25	0,65	0,34	0,40	0,21
315	0,23	0,49	0,37	0,22	0,72	0,34	0,43	0,12
400	0,23	0,45	0,29	0,20	0,71	0,35	0,41	0,38
500	0,24	0,42	0,30	0,18	0,62	0,30	0,38	0,68
630	0,23	0,35	0,21	0,15	0,60	0,29	0,38	0,86
800	0,21	0,36	0,20	0,15	0,43	0,31	0,32	0,92
1000	0,17	0,28	0,32	0,13	0,32	0,22	0,30	0,58
1250	0,20	0,35	0,26	0,13	0,38	0,26	0,04	0,79
1600	0,18	0,25	0,26	0,17	0,34	0,20	0,35	0,68
2000	0,18	0,23	0,33	0,20	0,31	0,17	0,19	0,58
2500	0,18	0,44	0,10	0,19	0,33	0,22	0,34	0,53
3150	0,14	0,60	0,09	0,18	0,23	0,18	0,24	0,53
4000	0,14	0,60	0,08	0,19	0,09	0,18	0,29	0,44
5000	0,17	0,50	0,07	0,16	0,09	0,25	0,31	0,48
6300	0,34	0,44	0,06	0,15	0,04	0,27	0,28	0,56
8000	0,36	0,26	0,05	0,12	0,04	0,28	0,35	0,47
10000	0,32	0,41	0,07	0,10	0,07	0,40	0,05	0,40

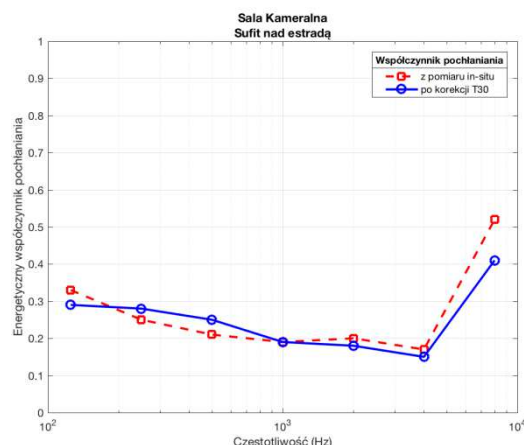
4.4.4. Szczegółowe porównanie współczynników pochłaniania przed i po korekcji. Sala Kameralna

Na rys. III.4.28÷III.4.30 pokazano współczynniki pochłaniania skorygowane (linia ciągła, symbole okręgu) w porównaniu do współczynników pochłaniania przed korekcją (linia przerywana symbole kwadratu) w Sali Kameralnej. Na rys. III.4.28 Przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania a) ściany bocznej estrady, b) sufitu estrady.

a)



b)

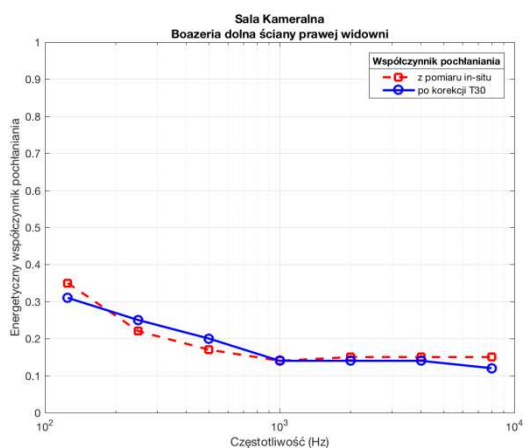


Rys. III.4.28. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktawowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcy; a) boazeria estrady, b) sufit nad estradą.

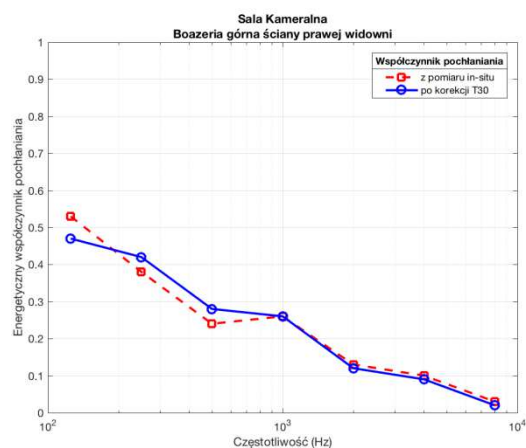
Na rys. III.4.29a,b,c, przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania ścian widowni, odpowiednio: a) boazerii dolnej ściany bocznej, b) paneli ze sklejki części górnej ściany bocznej, c) boazerii szczelinowej ściany tylnej estrady, b) sufitu estrady. Na rys. III.4.29d, przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania siedzisk foteli widowni. Podobnie jak w przypadku Sali Koncertowej, w przypadku siedzisk foteli (rys. III.4.26d) dane uzupełniono przeciętnymi współczynnikami pochłaniania z literatury (linia ciągła czarna z symbolami trójkąta) i te dane zostały użyte w modelowaniu.

Na rys. III.4.30 przedstawiono korekcję współczynników pochłaniania: a) podłogi estrady i b) podłogi widowni.

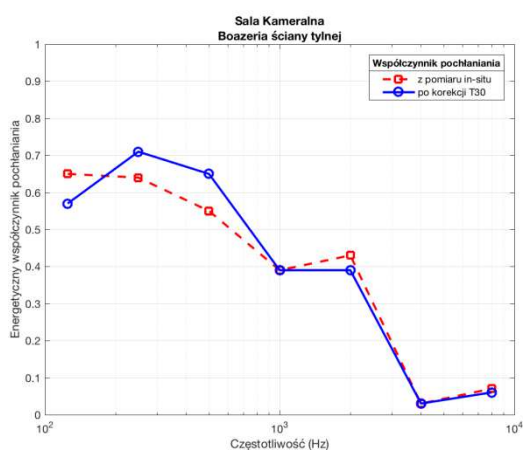
a)



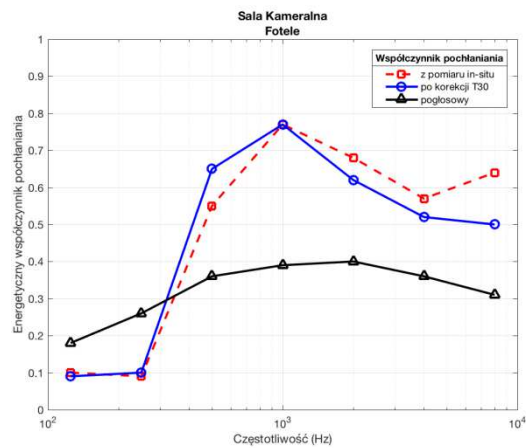
b)



c)

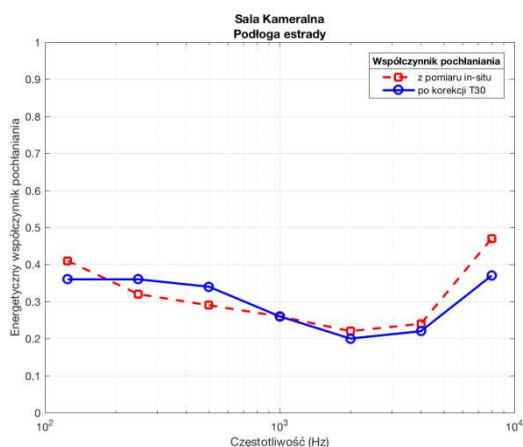


d)

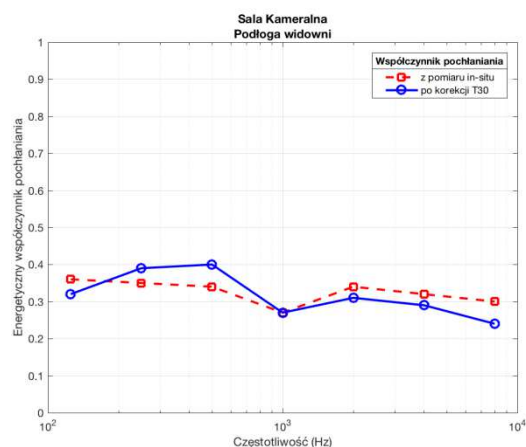


Rys. III.4.29. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) boazeria dolna ściany bocznej widowni, b) boazeria górna ściany bocznej widowni, c) boazeria tylnej ściany widowni, d) siedziska foteli.

a)



b)



Rys. III.4.30. Współczynnik pochłaniania w pasmach 1/1 oktaowych *in situ*. Przed korekcją i po korekcji; a) podłoga estrady, b) podłoga widowni.

4.5. Podsumowanie

Przedstawione pomiary *in situ* współczynnika pochłaniania najważniejszych powierzchni i elementów wyposażenia sal Koncertowej i Kameralnej Filharmonii stanowi rzeczywistą dokumentację materiałów i ustrojów akustycznych stosowanych w obecnie istniejącej konstrukcji obu sal, co nie byłoby możliwe do pozyskania innymi metodami bez ingerencji w strukturę sal. Otrzymane wartości współczynników wykorzystano w modelowaniu numerycznym sal w części IV opracowania. Modelowanie umożliwiło ich weryfikację poprzez porównanie wyników modelowania i wyników pomiarów zebranych w części II opracowania.

Wyniki modelowania wskazywały na konieczność korekcji zmierzonych współczynników pochłaniania. Stopień korekcji nie był znaczący i oznaczał średnio zmniejszenie współczynników pochłaniania do 80% zmierzonych wartości w Sali Koncertowej oraz do 95% zmierzonych wartości w Sali Kameralnej (przy niektórych częstotliwościach zwiększenie). Korekcję przeprowadzono przez odniesienie czasu pogłosu T30 uzyskanego z modelu, w którym zastosowano oryginalne zmierzone współczynniki pochłaniania (z wyjątkiem uznanego za niereprezentatywny współczynnika pochłaniania siedziska fotela widowni) do czasu pogłosu uzyskanego w pomiarach przedstawionych w Części II. Następnie modelowanie przeprowadzono ponownie z zastosowaniem skorygowanych współczynników pochłaniania zmierzonych *in situ*.

Ograniczenia pomiarów *in situ* wynikają z przeprowadzania punktowego pomiaru w miejscu położenia czujnika sondy pomiarowej oraz z pomiaru współczynnika odbicia w kierunku prostopadłym do powierzchni. Oba te czynniki są powodem różnic w otrzymywanych wartościach w stosunku do tzw. pogłosowego współczynnika pochłaniania, którego pomiar jest ściśle określony normą EN ISO 354.

Ograniczenia związane z pomiarami współczynnika pochłaniania *in situ* są znacząco kompensowane nową jakością, którą jest możliwość uzyskania rzeczywistych danych pomiarowych bezpośrednio w odniesieniu do materiałów i ustrojów zastosowanych oryginalnie w sali, bez jakiegokolwiek niszczenia, czy uszkodzania konstrukcji i substancji sali. Jest to istotna wartość w odniesieniu do pomiarów w salach Koncertowej i Kameralnej Filharmonii. Jedyłą alternatywą byłoby posłużenie się katalogowymi danymi odpowiednich materiałów, które niejednokrotnie podawane są ze znacznym rozrzutem wartości, albo poleganie na intuicji i doświadczeniu

zespołu pomiarowego przy doborze współczynników pochłaniania dla modelowania sali.

Pomiar współczynników pochłaniania *in situ* sondą Microflown jest ciągle rzadko stosowaną nowatorską metodą w akustyce pomieszczeń. Pomiary pozwalające na dokumentację elementów sali przeprowadzono innowacyjną metodą odpowiadającą najnowszej uznanej w świecie technice pomiarów współczynnika pochłaniania.

CZĘŚĆ IV – MODELOWANIE AKUSTYKI SALI

1. Założenia do wykonania modeli akustycznych sal

Komputerowy model akustyczny Sali Koncertowej utworzony został z 795 płaszczyzn. Model Sali Kameralnej zbudowano z 551 płaszczyzn. Dane geometryczne użyte do budowy modeli pochodzą z inwentaryzacji architektonicznej sal.

Każdej płaszczyźnie przypisano odpowiednią charakterystykę współczynnika pochłaniania dźwięku, uzyskaną z pomiarów akustycznych in situ. W kilku przypadkach dane akustyczne przyjęto z literatury.

Do obliczeń zastosowano algorytm AURA programu EASE 4.4. Umożliwia on obliczenie echogramów i parametrów akustycznych sal, jak czas pogłosu T30, czas wczesnego zaniku EDT, wskaźniki przejrzystości dźwięku C50 i C80, wskaźnik zrozumiałości mowy STI oraz siłę dźwięku G.

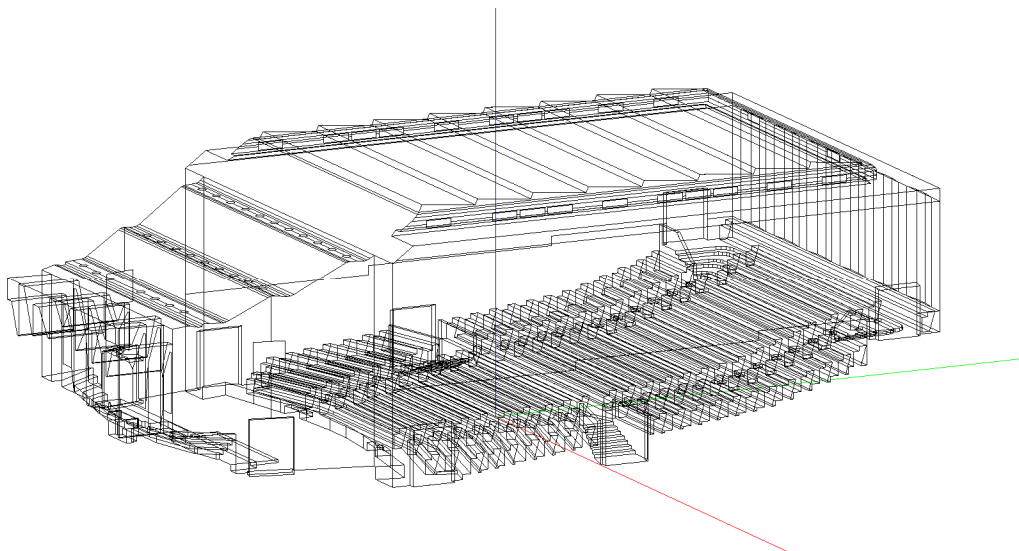
Badania symulacyjne prowadzono w dwóch etapach. Etap pierwszy polegał na wstępnym obliczeniu parametrów akustycznych sal i porównaniu wyników symulacji z danymi uzyskanymi w pomiarach akustycznych. Różnice między tymi danymi posłużyły do korekty zastosowanych na wstępnym etapie współczynników pochłaniania dźwięku. Procedura ta jest zwykle stosowana w modelowaniu komputerowym istniejących obiektów i określana jest jako strojenie modelu numerycznego.

W drugim etapie symulacji wykorzystano skorygowane dane współczynników pochłaniania dźwięku z pomiarów in situ. Jako satysfakcjonujący wynik strojenia modelu przyjęto różnicę pomiędzy wyliczonymi wartościami czasu pogłosu T30 a danymi z pomiarów nie przekraczającą 15%.

2. Sala Koncertowa

2.1. Model Sali Koncertowej

Na rys IV.2.1. pokazano model geometryczny Sali Koncertowej. Wszystkie powierzchnie podzielono na 16 grup, charakteryzujących się jednakowymi współczynnikami pochłaniania dźwięku. Każdej grupie materiałowej przypisany został określony kolor umożliwiający identyfikację powierzchni w modelu. Na rys. IV.2.2. pokazano pokolorowaną wersję modelu ilustrującą rozmieszczenie poszczególnych powierzchni w sali.

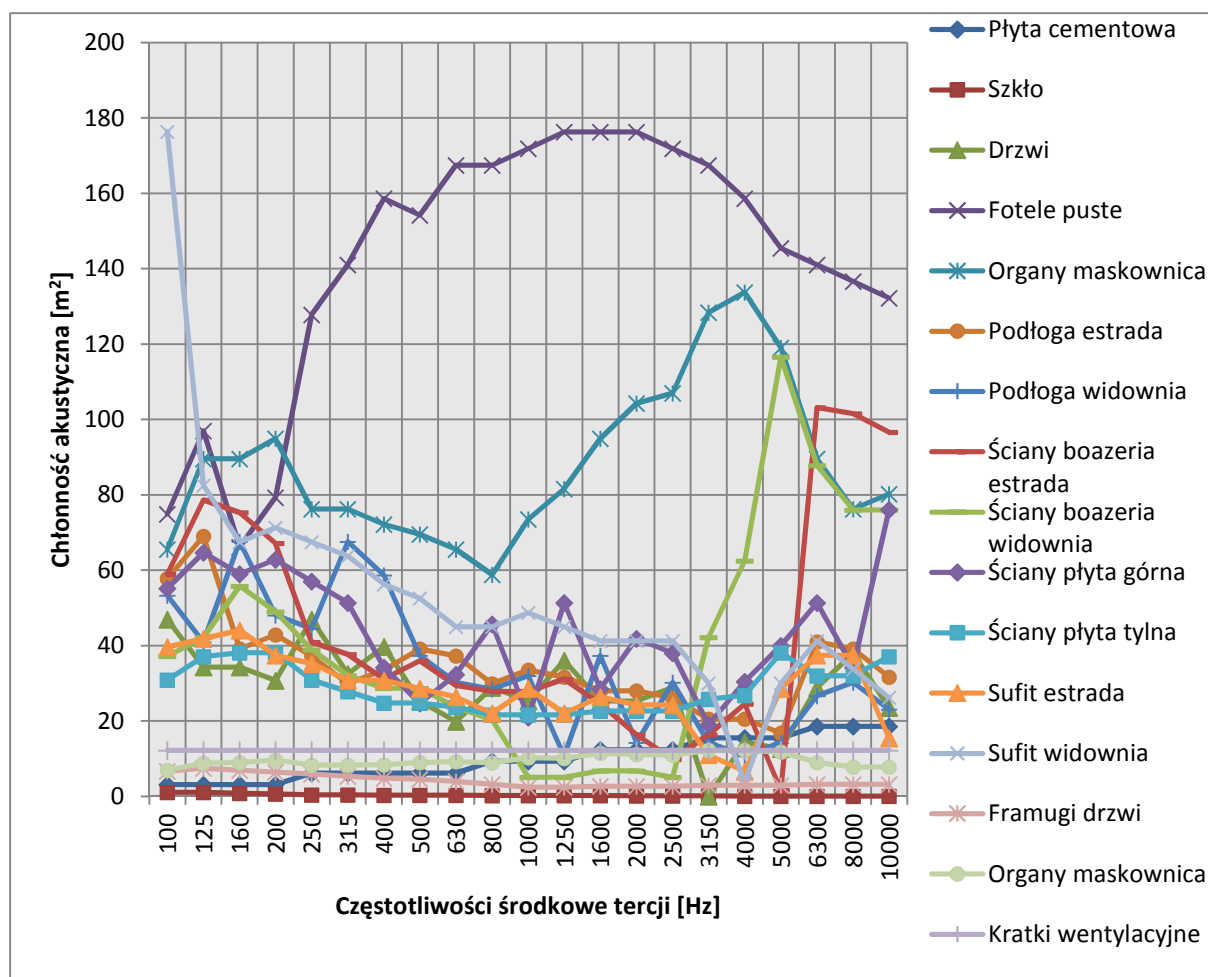


Rys. IV.2.1. Model Sali Koncertowej w programie do obliczeń parametrów akustycznych EASE 4.4



Rys. IV.2.2. Model Sali Koncertowej z zaznaczonymi powierzchniami o różnych materiałach

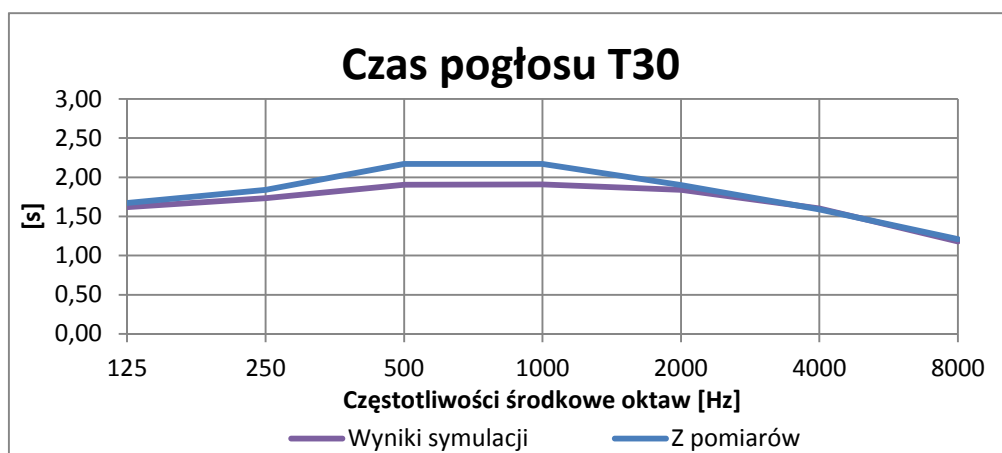
Poniżej, na rys. IV.2.3, przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe w pasmach tercjowych chłoności akustycznej materiałów przyjętych w modelu Sali Koncertowej.



Rys. IV.2.3. Charakterystyki częstotliwościowe chłoności akustycznej dla każdej grupy materiałów w Sali Koncertowej

2.2. Wyniki obliczeń parametrów akustycznych z modelu Sali Koncertowej

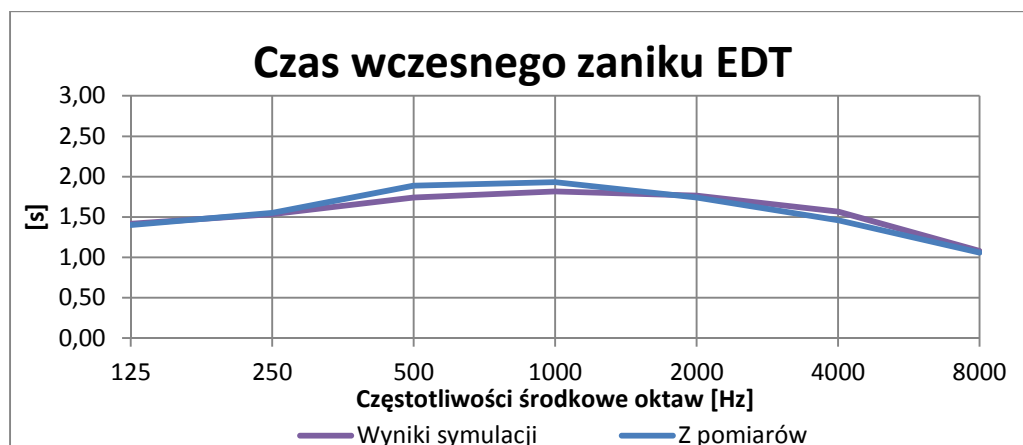
Wyniki symulacji parametrów akustycznych – czasu pogłosu T30, czasu wczesnego zaniku EDT, przejrzystości mowy C50, przejrzystości muzyki C80, siły dźwięku G oraz wskaźnika zrozumiałości mowy STI przedstawiono w tabelach IV.2.1-6 oraz na rysunkach IV.2.4-12. Symulację przeprowadzono dla pustej widowni Sali Koncertowej, uzyskane wartości uśredniono dla wszystkich konfiguracji źródło-odbiornik.



Rys. IV.2.4. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej w porównaniu do wyników pomiarów

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 z symulacji [s]	1,62	1,73	1,90	1,91	1,84	1,60	1,18
T30 z pomiarów [s]	1,67	1,84	2,17	2,17	1,90	1,59	1,21
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	-3,0	-5,7	-12,3	-12,0	-3,2	0,6	-2,5

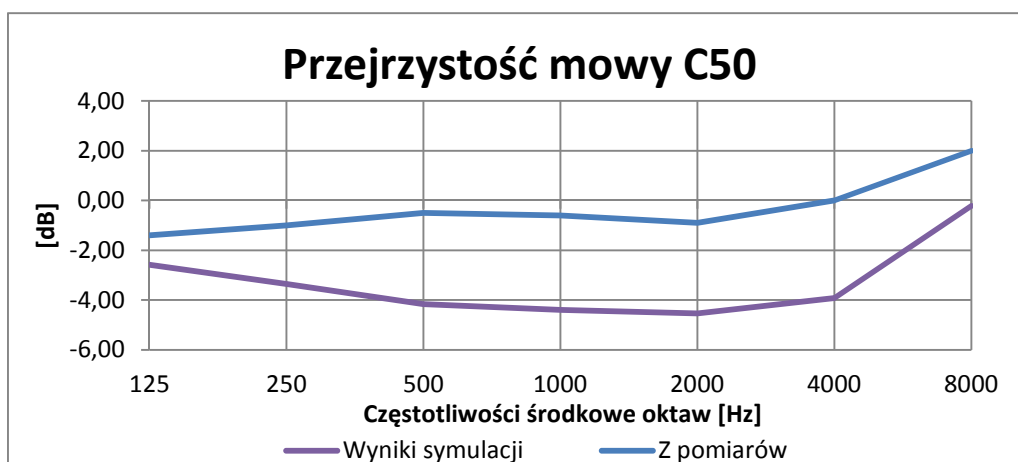
Tab. IV.2.1. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.5. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT z symulacji [s]	1,42	1,54	1,74	1,82	1,77	1,57	1,08
EDT z pomiarów [s]	1,40	1,55	1,89	1,93	1,74	1,46	1,06
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	1,2	-0,9	-7,8	-5,9	1,5	7,3	1,9

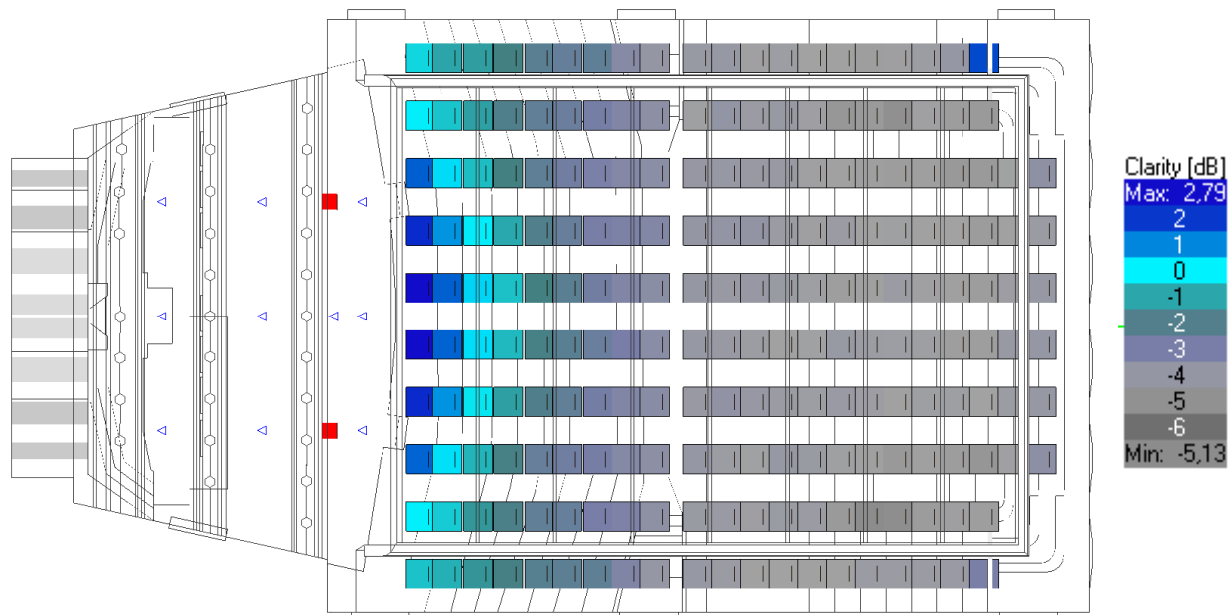
Tab. IV.2.2. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



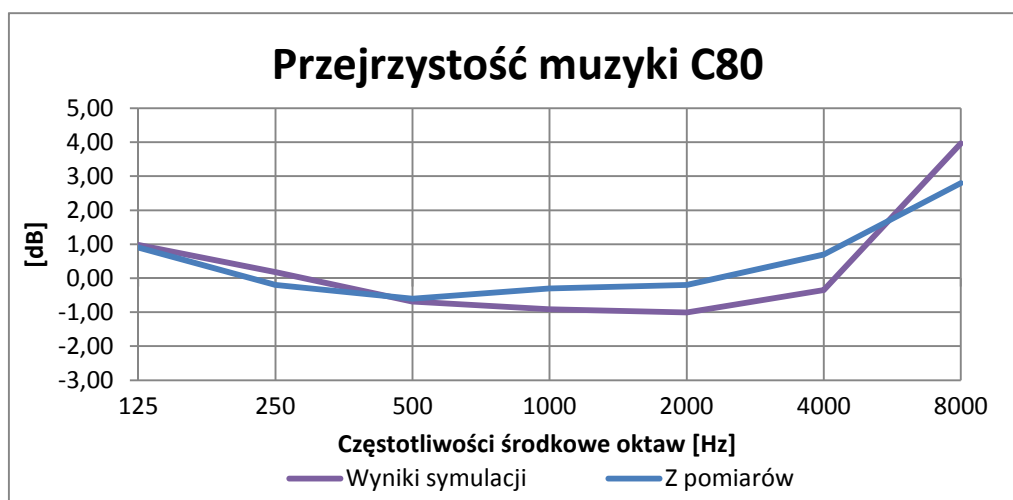
Rys. IV.2.6. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 z symulacji [dB]	-2,6	-3,4	-4,2	-4,4	-4,5	-3,9	-0,2
C50 z pomiarów [dB]	-1,4	-1,0	-0,5	-0,6	-0,9	0,0	2,0

Tab. IV.2.3. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



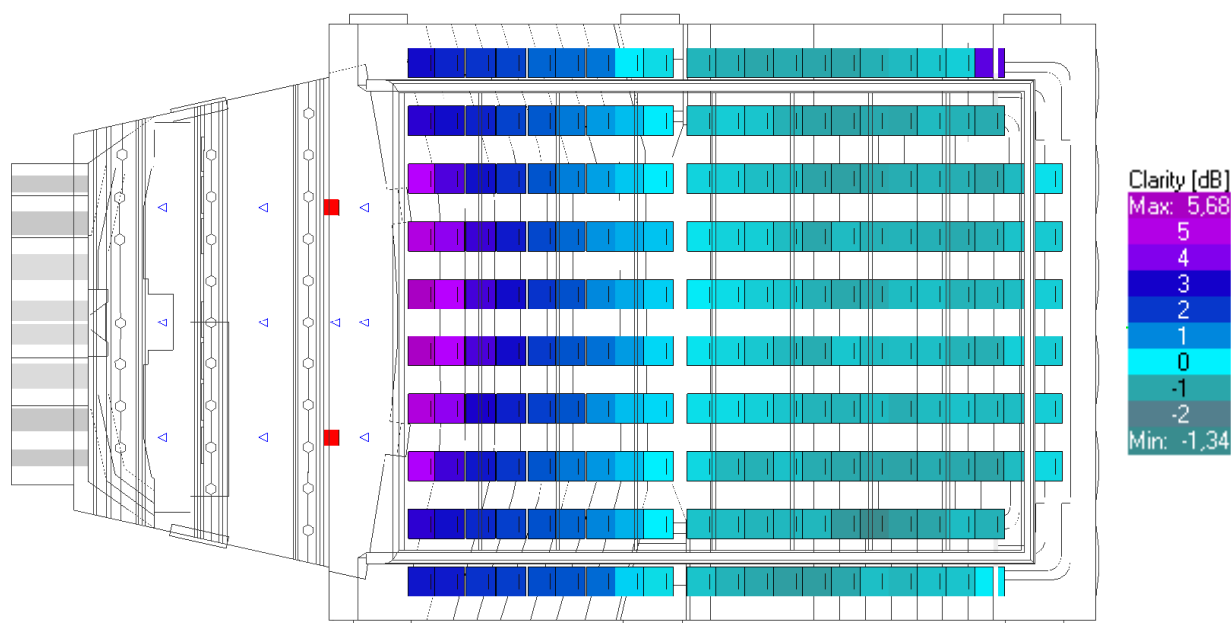
Rys. IV.2.7. Rozkład C50 na widowni Sali Koncertowej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone



Rys. IV.2.8. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

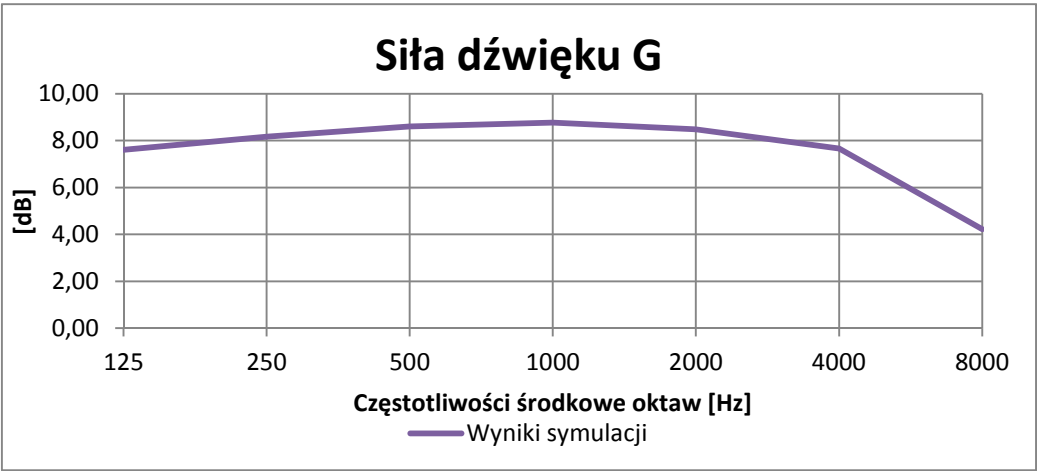
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 z symulacji [dB]	1,0	0,2	-0,7	-0,9	-1,0	-0,4	4,0
C80 z pomiarów [dB]	0,9	-0,2	-0,6	-0,3	-0,2	0,7	2,8

Tab. IV.2.4. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.9. Rozkład C80 na widowni Sali Koncertowej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone

Wskaźnik siły dźwięku G wyznaczono dla źródła umieszczonego z przodu estrady i w jej osi.

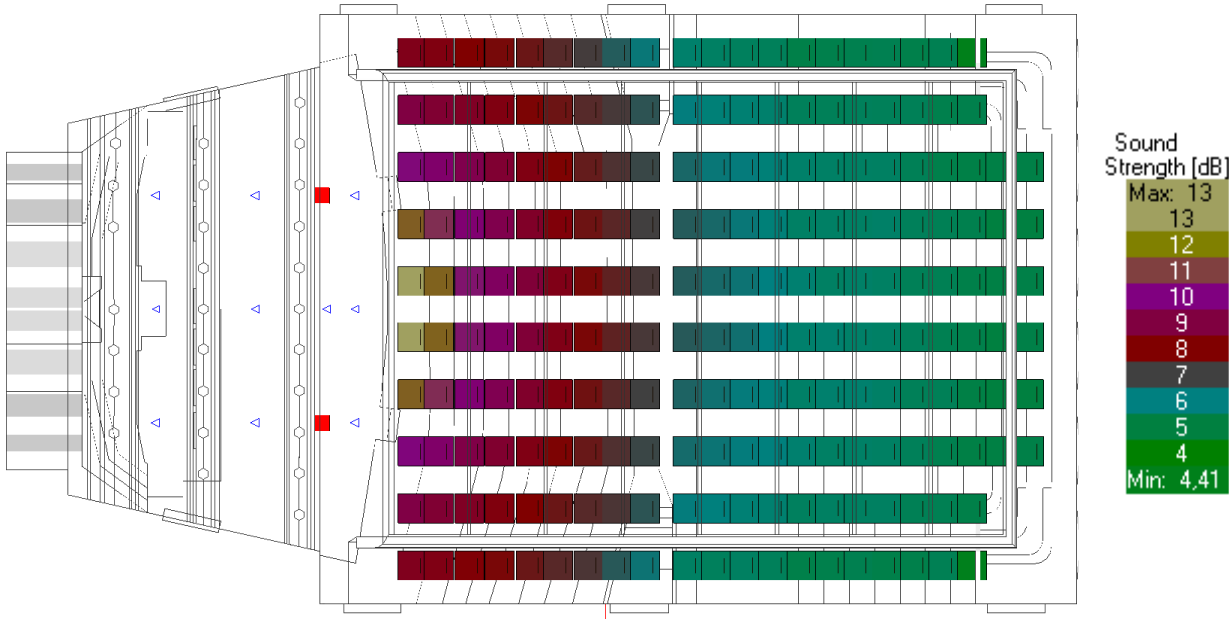


Rys. IV.2.10. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

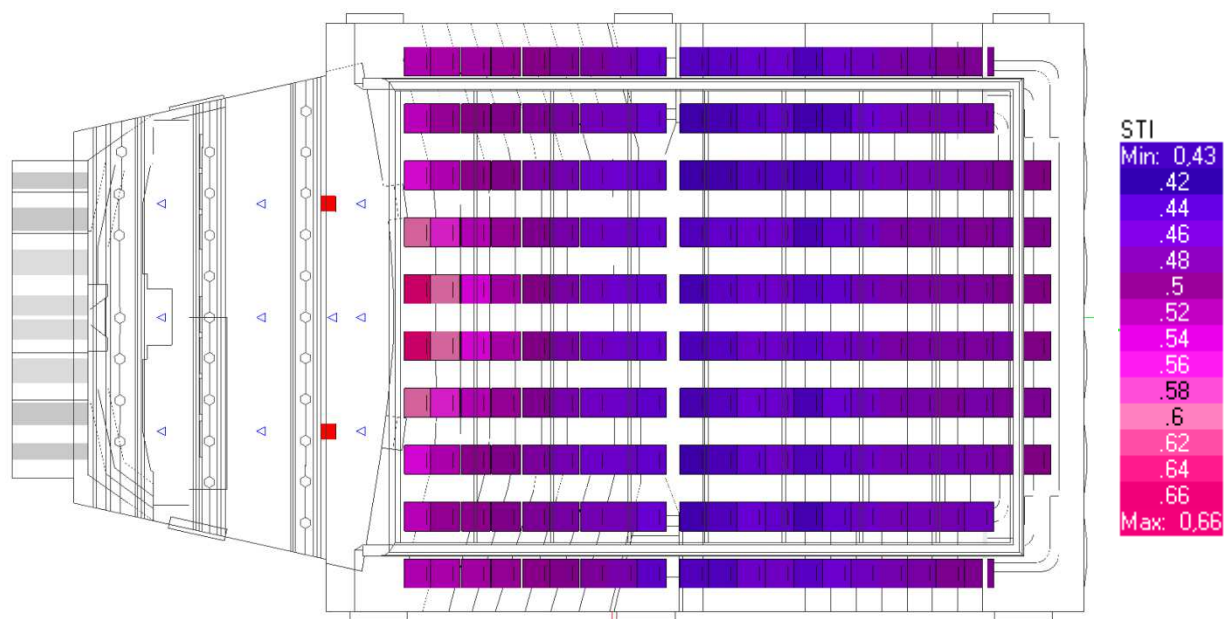
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G z symulacji [dB]	7,6	8,2	8,6	8,8	8,5	7,7	4,2
G z pomiarów [dB]							

Tab. IV.2.5. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

Wyznaczono rozkład siły dźwięku G na widowni Sali Koncertowej, dla sygnału generowanego przez jedno źródło, umieszczone z przodu estrady i w jej osi. Wyniki uśredniono dla zakresu 100 Hz – 10 kHz. Rysunek pokazuje rozkład wartości tego parametru na widowni Sali.



Rys. IV.2.11. Rozkład wartości siły dźwięku G na widowni Sali Koncertowej



Rys. IV.2.12. Rozkład wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni Sali Koncertowej

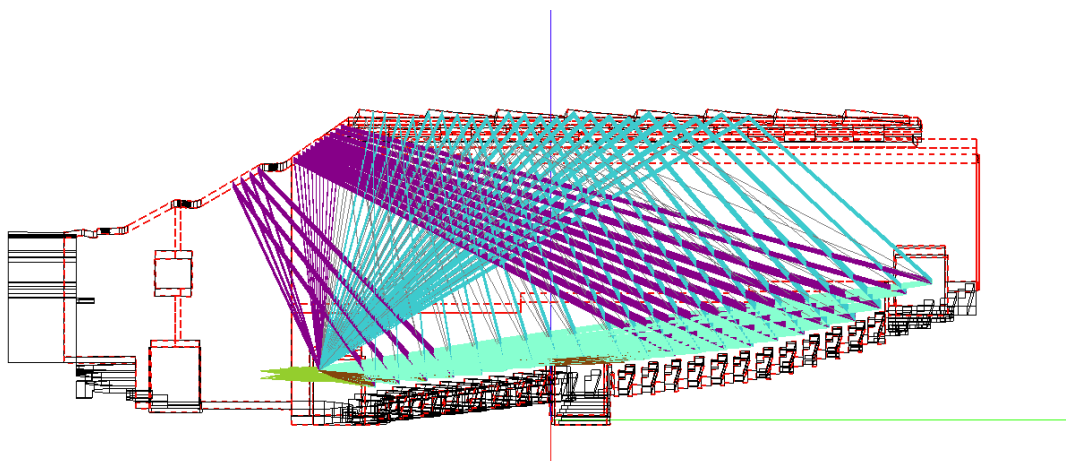
Wartość średnia ze wszystkich punktów	
STI z symulacji	0,49
STI z pomiarów	0,51

Tab. IV.2.6. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów wskaźnika zrozumiałości mowy STI uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Koncertowej

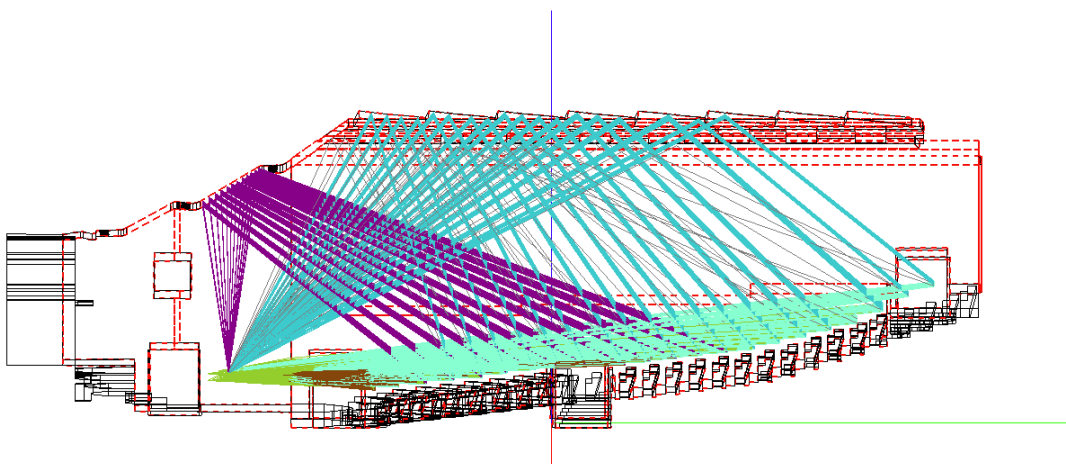
2.3. Analiza graficzna tras promieni w Sali Koncertowej

Dla Sali Koncertowej prześlędzono trasy promieni generowanych przez źródła umieszczone na estradzie w celu określenia rozkładu pierwszych odbić w pomieszczeniu. Dzięki temu możliwe było określenie tras promieni dla różnych konfiguracji źródło-odbiornik oraz zidentyfikowanie powierzchni mających największy wpływ na pierwsze odbicia.

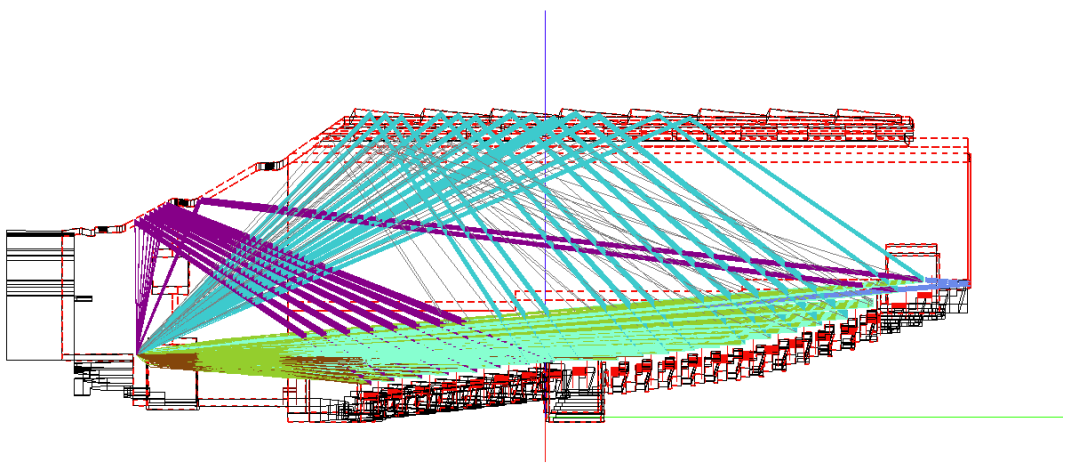
Trasy promieni wyznaczono dla wszystkich źródeł (9) i odbiorników (212). Parametry symulacji ograniczone były do analizy odbić pierwszego rzędu, promienie i odbicia w przedziale czasowym 0 – 150 ms, każde źródło generowało 35 000 promieni. Dla przejrzystości pominięte zostały promienie odbite od podłogi. Modele z wrysowanymi promieniami przedstawiają rysunki IV.2.13 – 15.



Rys. IV.2.13. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła na przedzie estrady

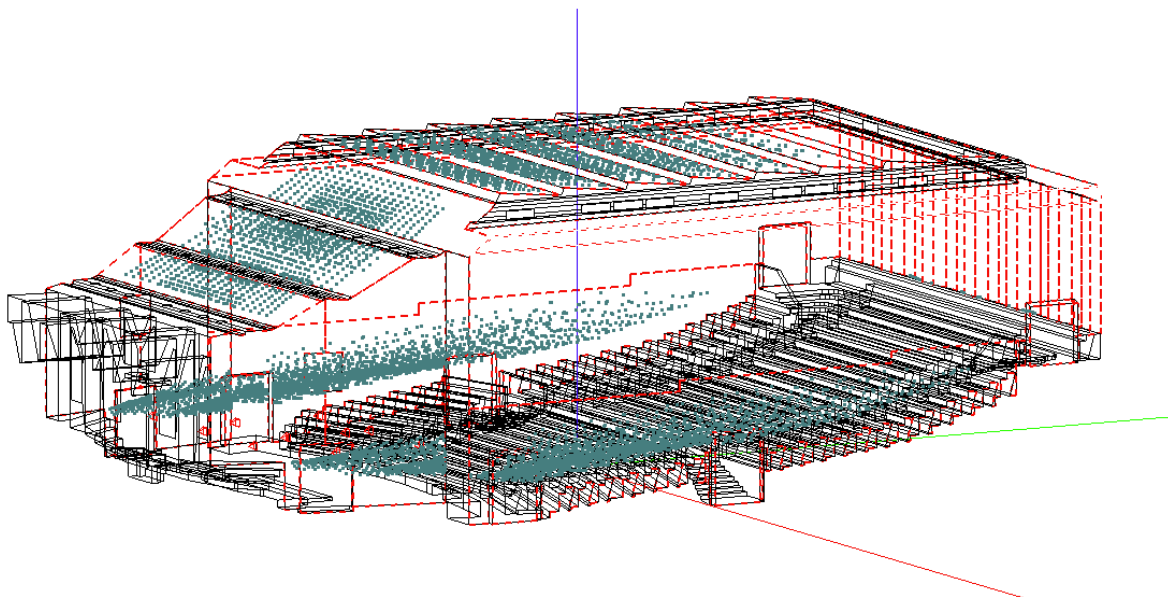


Rys. IV.2.14. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła na środku estrady

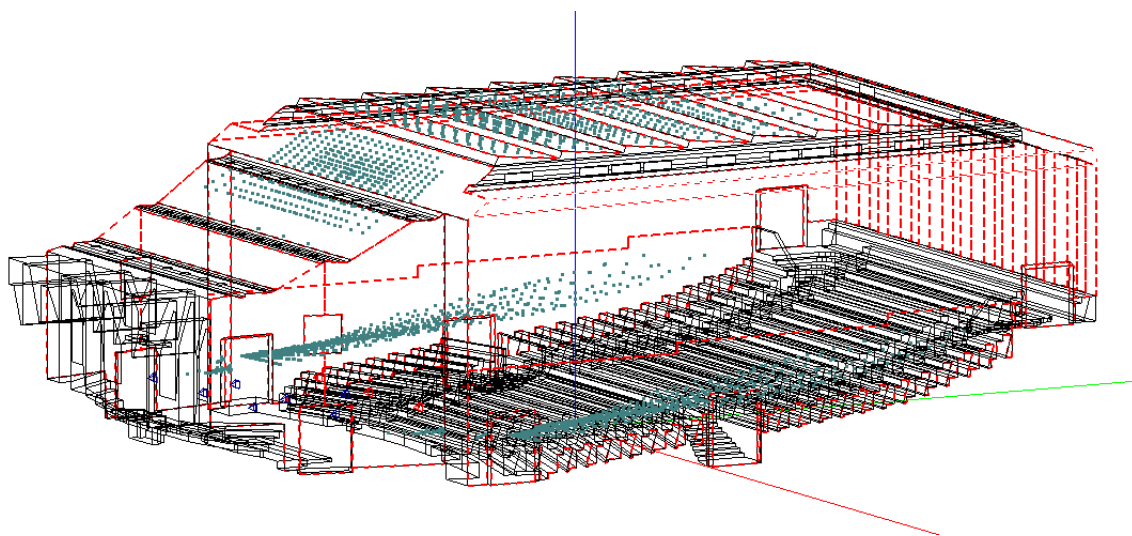


Rys. IV.2.15. Rzut wzdłużny Sali Koncertowej pokazujący trasy promieni generowane do wszystkich odbiorników przez trzy źródła z tyłu estrady

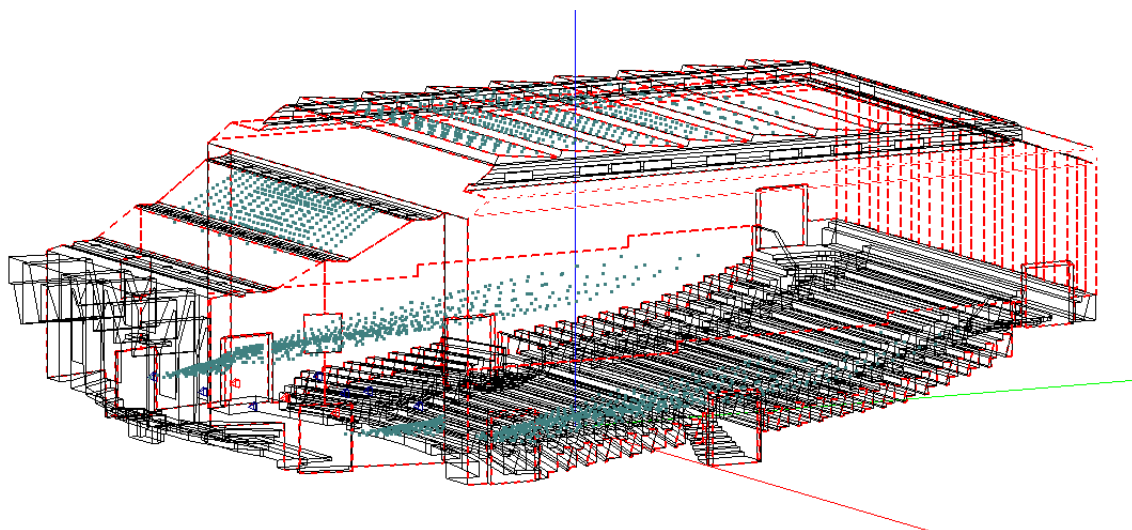
Poniżej zamieszczono rysunki przedstawiające miejsca pierwszych odbić w Sali Koncertowej (rys. IV.2.15 – 18). Dla przejrzystości pominięte zostały odbicia od podłogi oraz widowni.



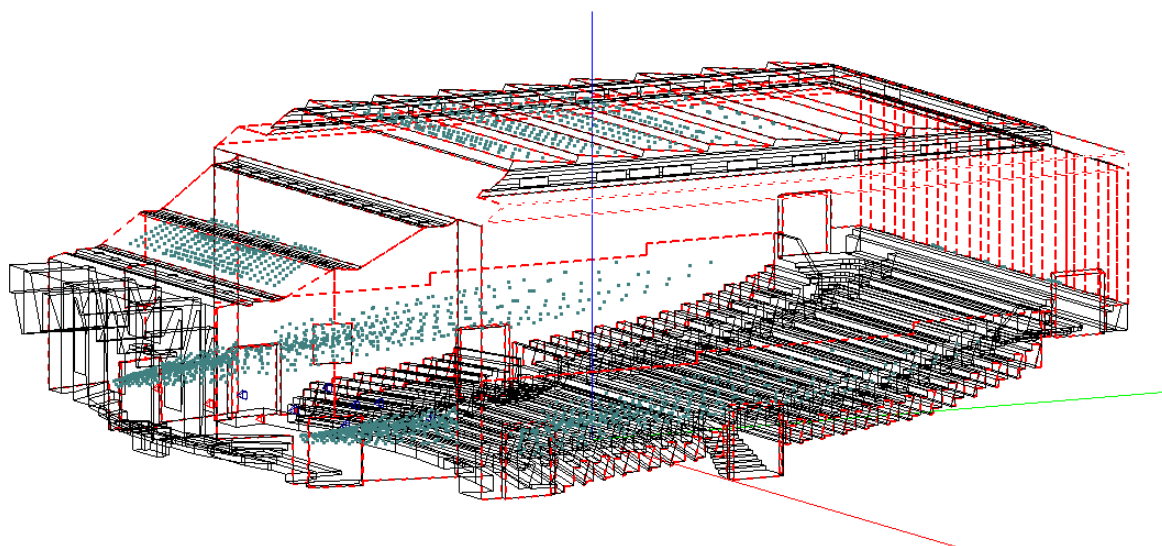
Rys. IV.2.16. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni ze wszystkich źródeł do wszystkich odbiorników



Rys. IV.2.17. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł na przedzie estrady do wszystkich odbiorników



Rys. IV.2.18. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł na środku estrady do wszystkich odbiorników

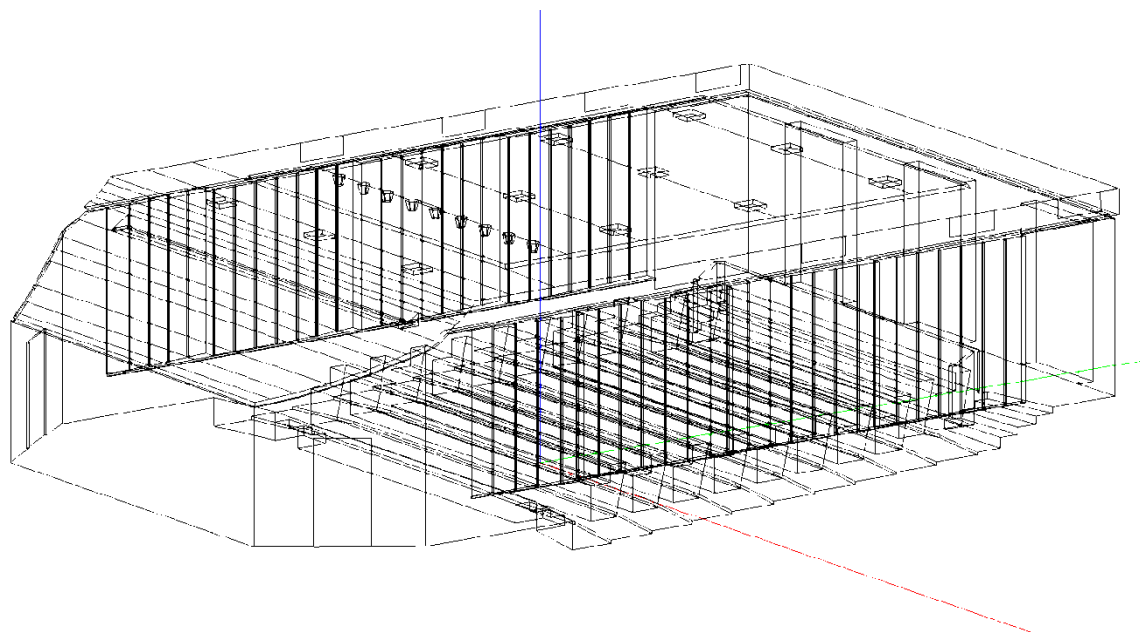


Rys. IV.2.19. Widok modelu Sali Koncertowej z zaznaczonymi miejscami pierwszych odbić promieni z trzech źródeł z tyłu estrady do wszystkich odbiorników

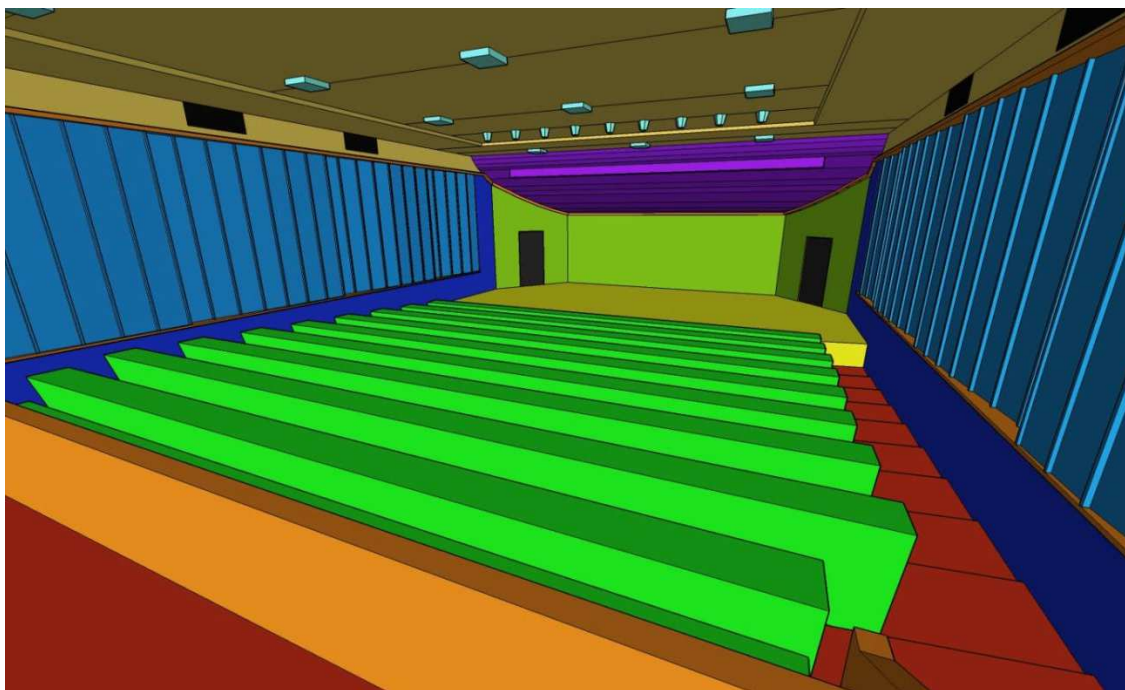
3. Sala Kameralna

3.1 Model Sali Kameralnej

Na rys. IV.3.1. pokazano model geometryczny Sali Kameralnej. Wszystkie powierzchnie podzielono na 18 grup, charakteryzujących się jednakowymi współczynnikami pochłaniania dźwięku. Każdej grupie materiałowej przypisany został określony kolor umożliwiający identyfikację powierzchni w modelu. Na rys. IV.3.2. pokazano pokolorowaną wersję modelu ilustrującą rozmieszczenie poszczególnych powierzchni w Sali.

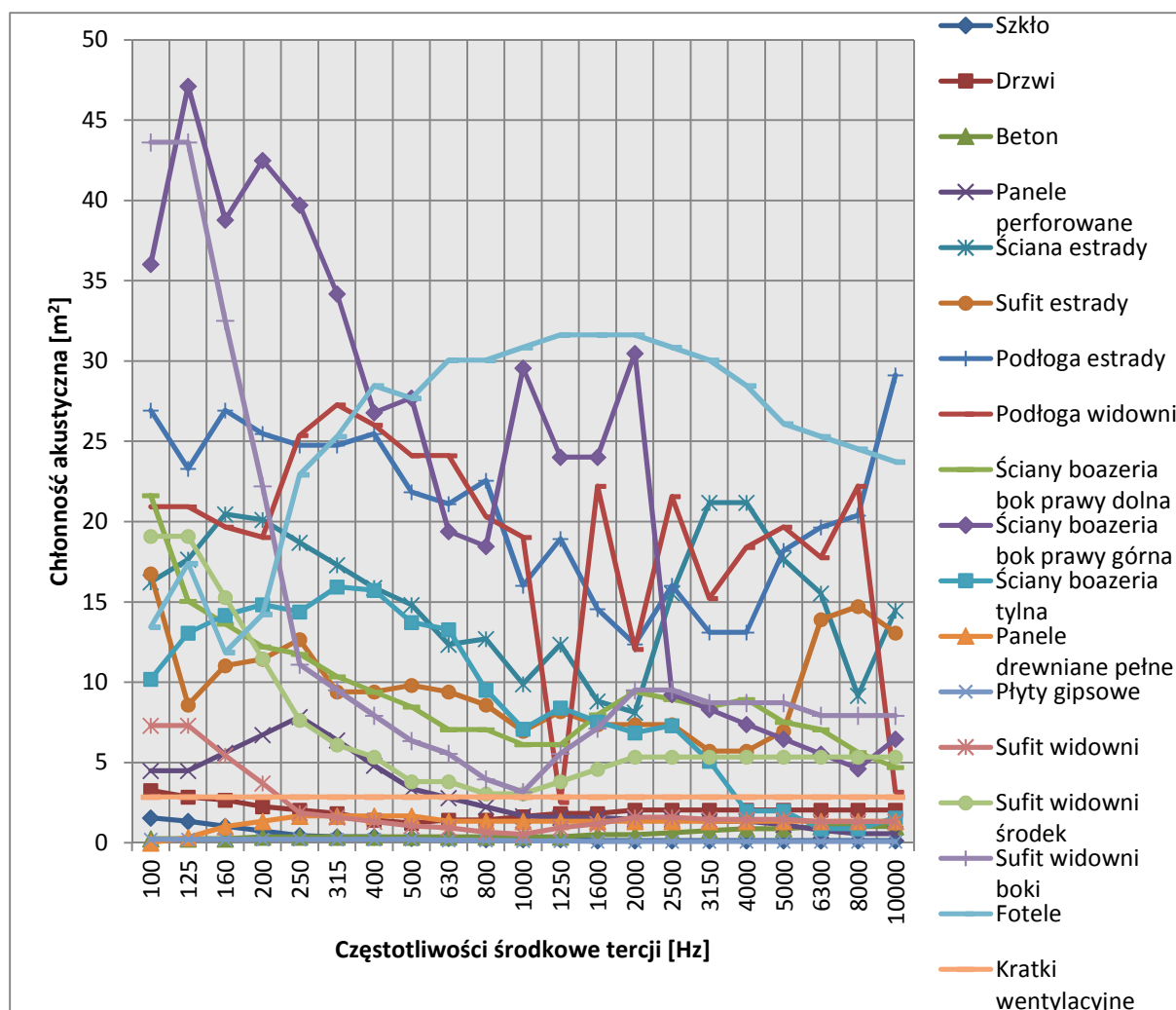


Rys. IV.3.1. Model Sali Kameralnej w programie do obliczeń parametrów akustycznych EASE 4.4.



Rys. IV.3.2. Model Sali Kameralnej z zaznaczonymi powierzchniami o różnych materiałach

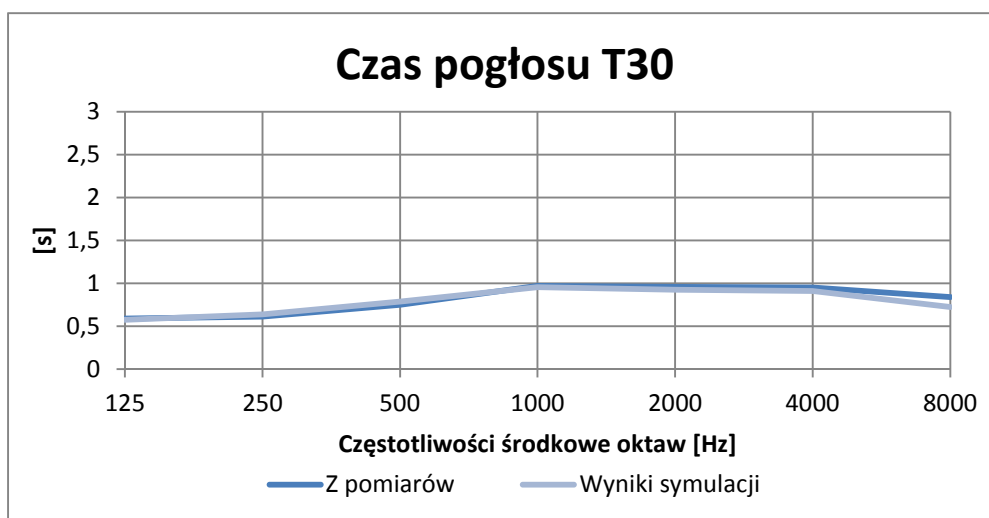
Poniżej przedstawiono charakterystyki chłonności akustycznej materiałów przyjętych w modelu Sali Kameralnej w odniesieniu do częstotliwości środkowych tercji.



Rys. IV.3.3. Charakterystyki częstotliwościowe chłonności akustycznej dla każdej grupy materiałów w Sali Kameralnej

3.2. Wyniki obliczeń parametrów akustycznych z modelu Sali Kameralnej

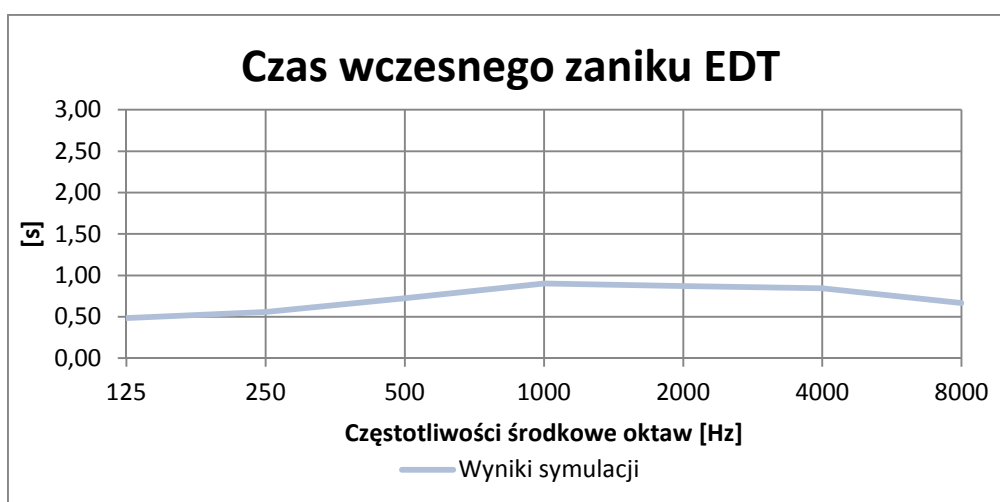
Wyniki symulacji parametrów akustycznych – czasu pogłosu T30, czasu wczesnego zaniku EDT, przejrzystości mowy C50, przejrzystości muzyki C80, siły dźwięku G oraz wskaźnika zrozumiałości mowy STI przedstawiono w tabelach IV.3.1-6 oraz na rysunkach VI.3.4-12. Symulację przeprowadzono dla pustej widowni Sali Kameralnej, uzyskane wartości uśredniono dla wszystkich konfiguracji źródło-odbiornik.



Rys. IV.3.4. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej w porównaniu do wyników zmierzonych w rzeczywistym pomieszczeniu

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T30 z symulacji [s]	0,57	0,64	0,79	0,95	0,93	0,91	0,72
T30 z pomiarów [s]	0,59	0,61	0,75	0,97	0,96	0,95	0,84
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	-2,8	4,4	4,9	-1,7	-3,5	-4,2	-13,9

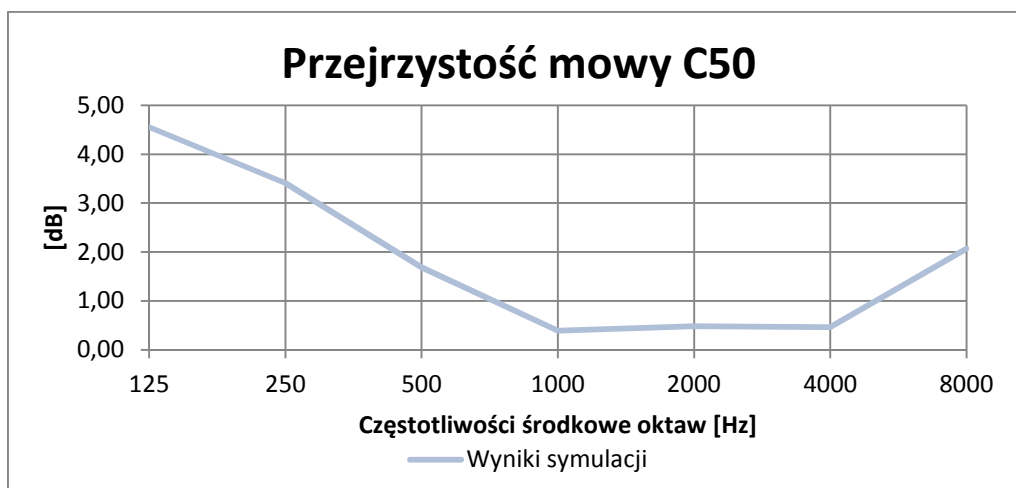
Tab. IV.3.1. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu pogłosu T30 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.5. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
EDT z symulacji [s]	0,48	0,56	0,72	0,90	0,87	0,84	0,67
EDT z pomiarów [s]	0,55	0,55	0,69	0,87	0,8	0,69	0,59
Różnica w odniesieniu do wartości z pomiarów [%]	12,7	1,8	4,3	3,4	8,8	21,7	20,3

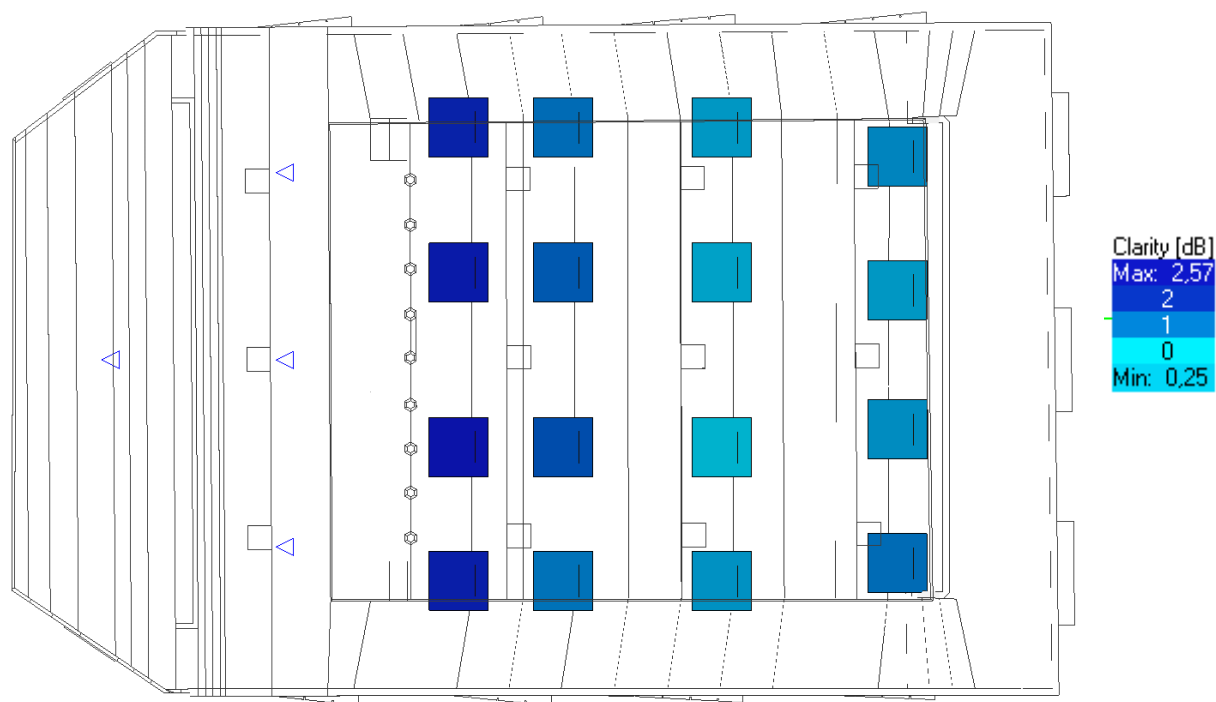
Tab. IV.3.2. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów czasu wczesnego zaniku EDT uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



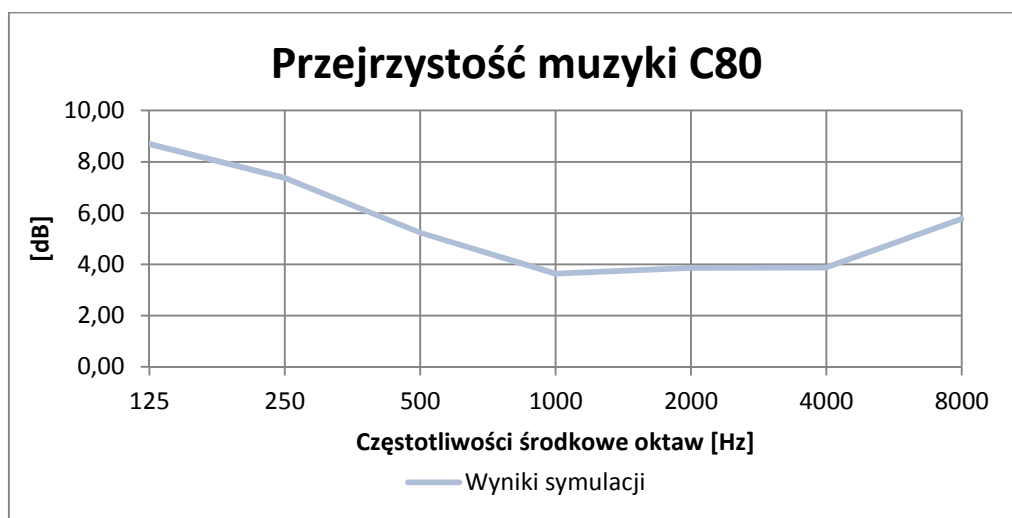
Rys. IV.3.6. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przeźrystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C50 z symulacji [dB]	4,6	3,4	1,7	0,4	0,5	0,5	2,1
C50 z pomiarów [dB]	4,4	4,2	2,9	2,3	2,1	2,8	4,5

Tab. IV.3.3. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przeźrystości mowy C50 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



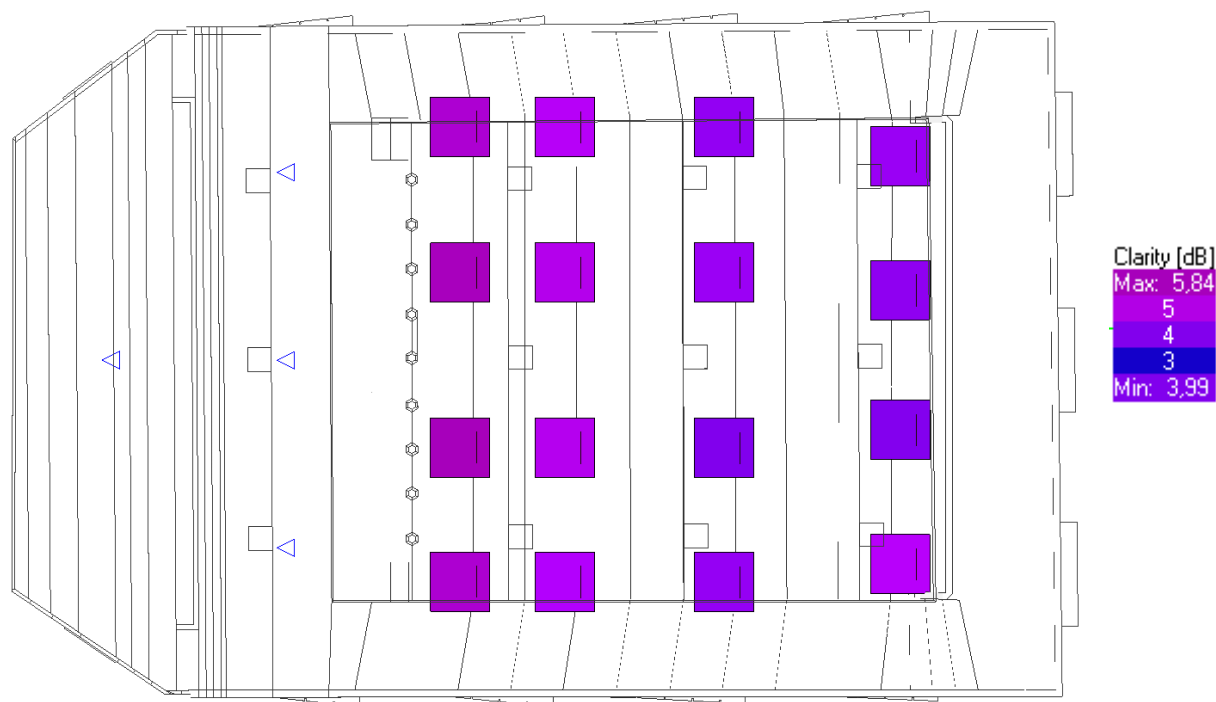
Rys. IV.3.7. Rozkład C50 na widowni Sali Kameralnej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone



Rys. IV.3.8. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń parametru przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

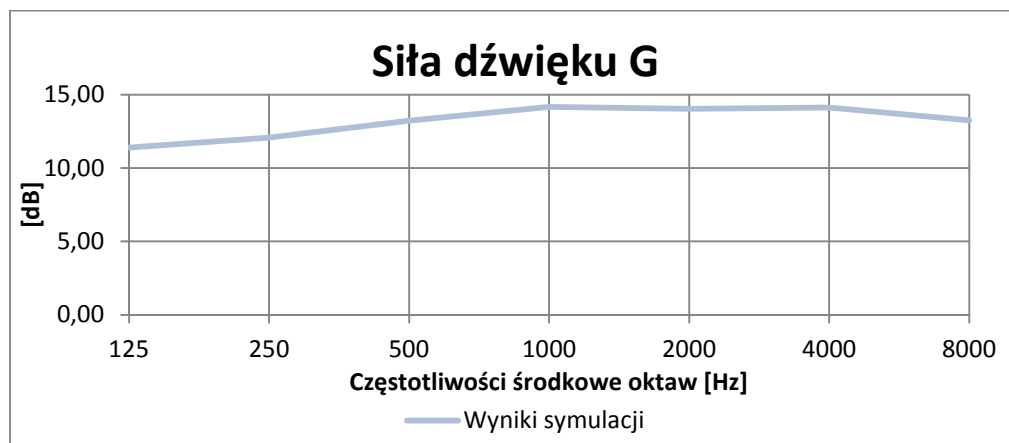
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
C80 z symulacji [dB]	8,7	7,4	5,2	3,6	3,9	3,9	5,8
C80 z pomiarów [dB]	8,3	8,0	6,7	5,3	5,3	6,3	7,9

Tab. IV.3.4. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów przejrzystości muzyki C80 uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.9. Rozkład C80 na widowni Sali Kameralnej, wyniki uśrednione w zakresie 100 Hz – 10 kHz, wszystkie źródła włączone

Wskaźnik siły dźwięku G wyznaczono dla źródła umieszczonego z przodu estrady i w jej osi.

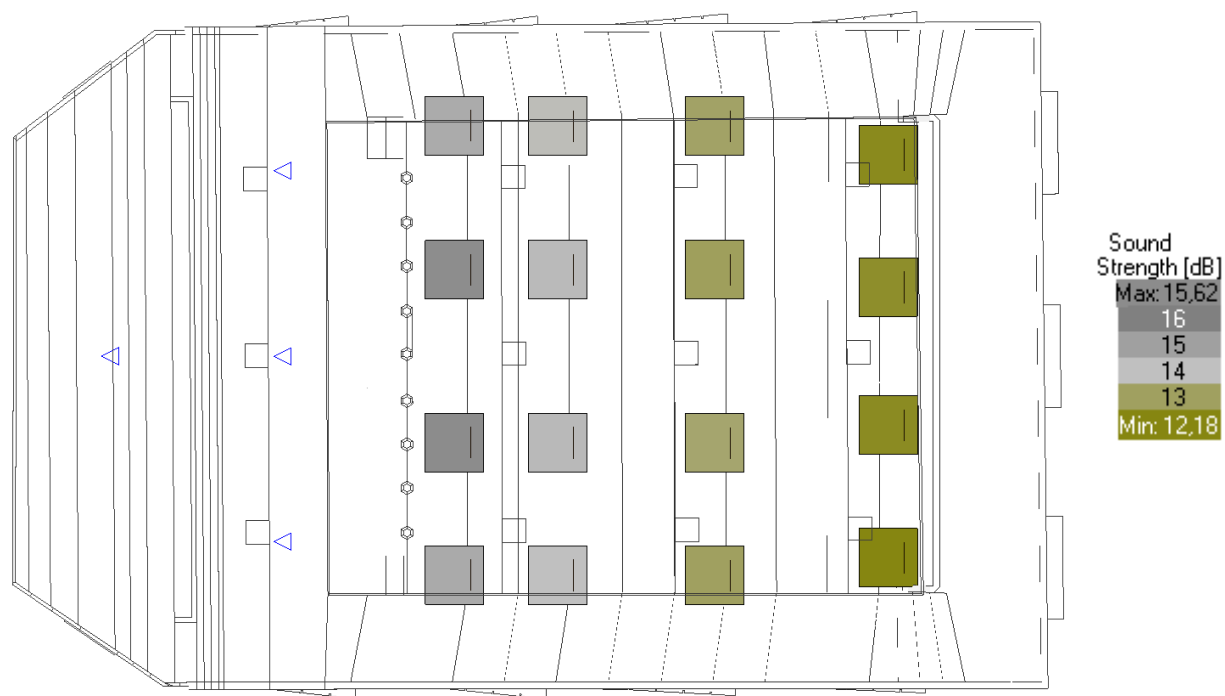


Rys. IV.3.10. Charakterystyka częstotliwościowa wyników obliczeń siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

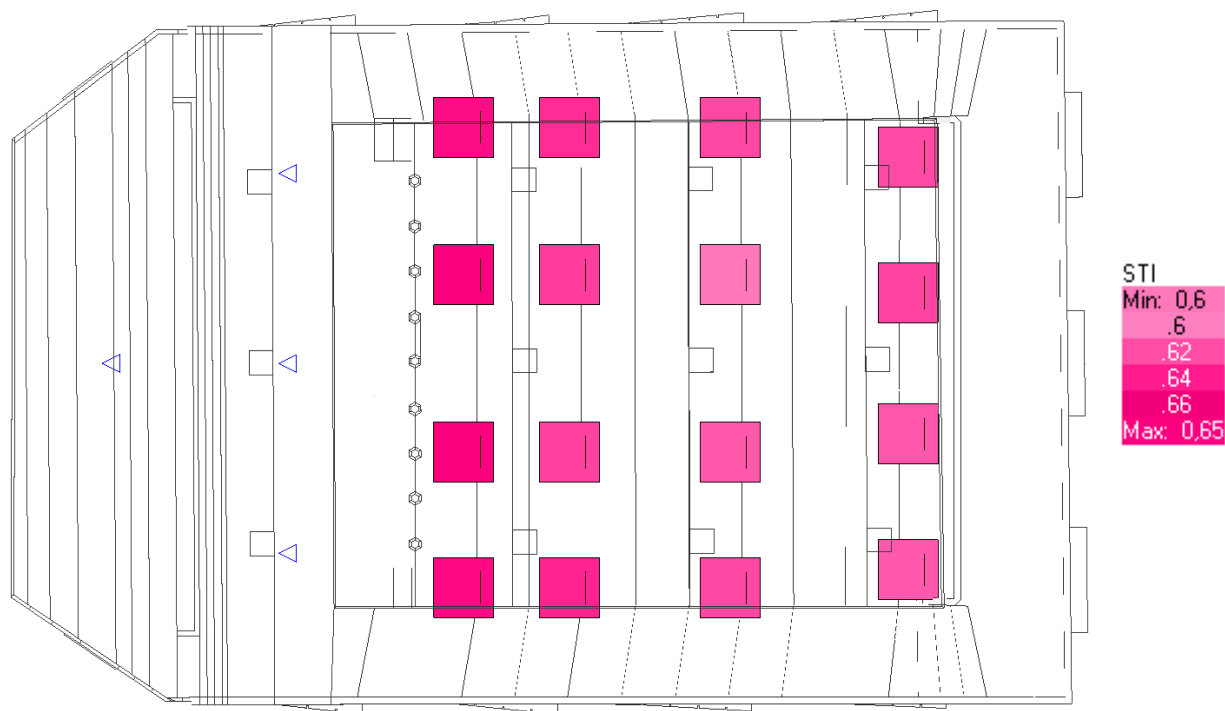
Częstotliwości środkowe oktaw [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
G z symulacji [dB]	11,4	12,1	13,2	14,2	14,0	14,1	13,3
G z symulacji [dB]	11,4	12,1	13,2	14,2	14,0	14,1	13,3

Tab. IV.3.5. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów siły dźwięku G uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

Wyznaczono rozkład siły dźwięku G na widowni Sali Kameralnej, dla sygnału generowanego przez jedno źródło umieszczone z przodu estrady i w jej osi. Wyniki uśredniono dla zakresu 100 Hz – 10 kHz. Rys. IV.3.11 i Rys. IV.3.12 pokazuje rozkład wartości tego parametru w określonych miejscach na widowni.



Rys. IV.3.11. Rozkład wartości siły dźwięku G na widowni Sali Kameralnej



Rys. IV.3.12. Rozkład wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI na widowni Sali Kameralnej

Wartość średnia ze wszystkich punktów	
STI z symulacji	0,63
STI z pomiarów	0,67

Tab. IV.3.6. Tabela z wynikami obliczeń i pomiarów wskaźnika zrozumiałości mowy STI uśrednionych ze wszystkich punktów odbiorczych na widowni Sali Kameralnej

4. Ocena wyników modelowania

Modele opracowane z wykorzystaniem pomiarów współczynnika pochłaniania in situ, które w procesie strojenia sali zostały skorygowane, dają wyniki zbliżone do pomiarowych. Obliczenia parametrów pogłosowych, czyli czasu pogłosu T30 oraz czasu wczesnego zaniku EDT, nie odbiegają znacząco od wartości zmierzonych, różnica nie przekracza 15% w przypadku Sali Koncertowej. Wskaźniki przejrzystości muzyki C80 oraz zrozumiałości mowy STI otrzymane z symulacji nieznacznie różnią się od zmierzonych, jednakże subiektywnie taka różnica nie jest zauważalna. Jedynie wskaźnik przejrzystości mowy C50 znacznie różni się od wartości zmierzonych.

Rozkłady wskaźników C50, C80 oraz STI pokazują spadki ich wartości w środkowej i tylnej części widowni Sali Koncertowej. Jest to związane z rosnącą odległością od źródła, przez co maleje energia dźwięku bezpośredniego, a także z niedostatecznym pokryciem tych obszarów przez pierwsze odbicia od powierzchni ścian bocznych i sufitu. Pokazują to rysunki tras promieni do środka widowni nie docierają odbicia od sufitu dla dźwięku od źródeł z przodu estrady. Promienie ze źródeł umieszczonych na środku estrady w postaci pierwszych odbić od sufitu nie docierają do tylnej części widowni. Natomiast, gdy źródła są w tylnej części estrady, brakuje odbić dla środkowej i tylnej części widowni. Powoduje to nierównomierną emisję dźwięku z estrady na widownię. Taki układ pierwszych odbić powoduje, że niektóre grupy instrumentów są gorzej słyszalne w pewnych obszarach widowni.

CZĘŚĆ V – KLASYFIKACJA JAKOŚCI SALI KONCERTOWEJ

Ocena barwy dźwięku muzyki w salach koncertowych kształtuje się na podstawie interpretacji dużej liczby zjawisk fizycznych związanych z generacją, propagacją i odbiorem dźwięku instrumentów muzycznych. Jednym z istotniejszych, ocenianych wrażeń słuchowych, które zapewniają dobre sale koncertowe, jest przestrzenność dźwięku przy odbiorze muzyki.

Dla potrzeb normalizacji metod pomiarowych i liczbowej oceny właściwości akustycznych sal, w międzynarodowej normie PN-EN ISO 3382-1 wyodrębniono pięć grup wrażeń słuchowych:

- a. subiektywny poziom głośności dźwięku,
- b. pogłosowość,
- c. przejrzystość dźwięku,
- d. wrażenie otoczenia dźwiękiem LEV,
- e. pozorne zwiększenie szerokości źródeł dźwięku ASW lub DSB.

Wrażenia grupy d) i e) są podstawowymi wymiarami przestrzenności dźwięku w salach.

Wskazanie do stosowania nowych metod pomiarowych i nowych wskaźników akustycznych dla projektowania i oceny jakości akustycznej sal muzycznych podkreślane było w wielu publikacjach M. Barrona i L. Beranka, który stworzył i udostępnił największą bazę danych akustycznych i architektonicznych o salach koncertowych w świecie.

Zebrany materiał stał się źródłem danych o właściwościach akustycznych sal. Dane te zostały uporządkowane w kolejności, od sal uznanych za najdoskonalsze, do sal mniej udanych lub nieudanych. Opublikowany ranking sal stanowił podstawę do wyboru wskaźników liczbowych, które pozwalają na porównawczą ocenę jakości akustycznej sal nowobudowanych, a także sal w fazie opracowań projektowych.

W niniejszym opracowaniu, do porównawczej oceny jakości akustycznej Sali Koncertowej wykorzystano proponowane przez Beranka właściwości charakteryzujące wrażenie przestrzenności dźwięku w salach: LEV (Listener Envelopment), DSB (Degree of Source Broadening) oraz siłę dźwięku basów BI (Bass Index).

Algorytm obliczeniowy opiera się na rejestracji odpowiedzi impulsowych na widowni i obliczeniu w pasmach oktaowych, składowych siły dźwięku G i współczynnika korelacji międzyusznej $IACC$. Dane do oceny pozornej szerokości źródła dźwięku DSB obejmują przedział $[0 - 80]$ ms. Wskaźnik LEV , skorelowany z wrażeniem otoczenia dźwiękiem, obliczany jest z późniejszej fazy odpowiedzi impulsowej, po upływie 80 ms. Wskaźnik BI jest różnicą poziomów siły dźwięku G_{Total} z oktawy 125 Hz i średniej z trzech oktaów 500, 1000 i 2000 Hz.

Zebrane w toku badań Sali Koncertowej wyniki pomiarów zawierają niezbędne dane do obliczenia w/w wskaźników przestrzenności i „siły basów”. Poniżej zestawiono opublikowane przez Beranka wzory:

Miarę wrażenia otoczenia dźwiękiem LEV (Listener Envelopment) obliczano z wzoru:

$$LEV = 0.5 G [80, +]_{mid} + 10 \log(1 - IACC [80, +]_{mid})$$

Stopień zwiększenia pozornej szerokości źródła dźwięku DSB (Degree of Source Broadening) obliczano z wzoru:

$$DSB = 31 \cdot (1 - IACC [0,80]) + \frac{5}{3} \cdot G [0,80]$$

Bass Index, dB:

$$BI = G_{125\text{ Hz}} - G_{mid}$$

mid oznacza średnią z trzech pasm oktaowych: 500, 1000 i 2000 Hz.

$G[0,80]$ oznacza wyniki obliczeń w okienku czasowym 0 – 80 ms, w oktawach 500 i 1000 Hz.

$G_{125\text{ Hz}}$ – siła dźwięku w oktawie 125 Hz, G_{mid} – średnia wartość siły dźwięku z oktaów 500, 1000 i 2000 Hz.

Obliczenie wskaźników oceny przestrzenności dźwięku w Sali Koncertowej:

Dane wejściowe:

$BQI_{Early} = 1 - IACC_{Early}$:	0.66,
$G_{Early, mid}$:	3.8 dB,
$BQI_{Late} = 1 - IACC_{Late}$:	0.84,

$G_{Late,mid}$:	4.3 dB,
G_{125T}	13 dB,
$G_{midTotal}$	7 dB.

Obliczenia:

1. DSB:

$$DSB = 31 \cdot 0.66 + \frac{5}{3} \cdot 3.8 = \mathbf{26.8}$$

2. LEV:

$$LEV = 0.5 \cdot 4.3 + 10 \cdot \log(0.84) = \mathbf{1.39}$$

3. BI:

$$BI = 13 - 7 = \mathbf{6\ dB}$$

Interpretacja wyników oszacowania jakości akustycznej Sali Koncertowej:

1. Wskaźnik DSB=26.8 obliczony z danych pomiarowych Sali Koncertowej Filharmonii Pomorskiej. Jest to wysoka ocena składowej przestrzenności dźwięku – wśród dużych sal koncertowych oceny takie posiadają sale najwyższej cenione w światowym rankingu jakości akustycznej, jak Berlin Konzerthaus, Musikvereinsaal w Wiedniu.
2. Wskaźnik LEV = 1.39, charakteryzuje drugi wymiar przestrzenności badanej sali. Podobną liczbę punktów w rankingu dużych sal mają znakomite sale koncertowe w świecie, jak Concertgebouw, Basel, Stadt-Casino i Musikverein. Z drugiej strony, LEV w salach kameralnych z bazy danych Beranka, z liczbą miejsc 500 – 600, wynosi średnio 2.8. Sala Koncertowa Filharmonii Pomorskiej przeznaczona jest dla 886 słuchaczy. Zmierzony LEV mieści się w naturalnym przedziale wartości między salami dużymi i małymi.
3. Wskaźnik basów BI = 6 dB. W porównaniu do ocen BI znanych sal koncertowych z listy rankingowej przedstawionej przez L. Beranka, jest to wartość duża, ale uzasadniona potrzebą wyrównania składowych barwy dźwięku instrumentów w zakresie małych częstotliwości.

CZĘŚĆ VI – WYTYCZNE DOTYCZĄCE PROJEKTOWANIA I WYKONANIA PRAC RENOWACYJNYCH

Wytyczne dla Projektanta Akustyki Wnętrz

Projektant akustyki wnętrz, przystępując do realizacji projektu Sali Koncertowej i Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej ma obowiązek:

- Przeprowadzenia wizji lokalnej Sali Koncertowej i Kameralnej.
- Zapoznania się z raportem Manufaktury Technologicznej z grudnia 2017, wykonanym przez zespół ekspercki, zawierający charakterystykę właściwości akustycznych Sali Koncertowej oraz Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej opracowaną na podstawie słuchowych ocen dźwięku oraz badań akustycznych sal w stanie aktualnym.
- opracowania szczegółowych założeń projektowych parametrów akustyki wnętrz, to jest czasu pogłosu T, EDT, C80, STI i innych wymagań, zgodnie z wytycznymi otrzymanymi od Zamawiającego,
- Wykonanie analizy materiałów i ustrojów akustycznych w stanie aktualnym i ocena możliwości ich zamiany, jeśli okaże się to konieczne z innych względów technicznych.
- Podstawowym kryterium doboru zamiennych materiałów jest wymóg pełnego odtworzenie walorów akustycznych Sali Koncertowej w stanie przed rozpoczęciem robót renowacyjnych.
- Opracowania komputerowego modelu akustycznego Sali Koncertowej i Sali Kameralnej i wykonania niezbędnych obliczeń akustycznych, które potwierdzą, że renowacja wnętrz nie spowoduje niekorzystnych zmian walorów akustycznych, które opisano w raporcie Manufaktury Technologicznej.
- Opracowanie szczegółowych wymagań dla projektu architektury odnośnie doboru materiałów wystroju wnętrz, wskazanie sposobu ich montażu oraz przebiegu nadzoru i kontroli wykonania robót budowlanych.

Wytyczne dla Wykonawcy

Wykonawca przystępując do realizacji Sali Koncertowej i Kameralnej Filharmonii Pomorskiej musi wziąć pod uwagę następujące aspekty:

- Sala Koncertowa i Sala Kameralna muszą być wykonane zgodnie z projektem zaakceptowanym przez Zamawiającego.
- Poszczególne etapy projektu powinny być realizowane według harmonogramu, który umożliwi stałe kontrolowanie parametrów akustycznych realizowanych sal.
- Po każdym etapie realizacji Sali Koncertowej i Sali Kameralnej należy przeprowadzić kontrolne pomiary parametrów akustycznych. Pomiary powinny być przeanalizowane pod kątem ewentualnych zmian w doborze materiałów i ustrojów akustycznych tak, aby dalszej realizacji osiągnąć założenia i wymagania projektowe.
- Wszelkie prace oraz zastosowane materiały i ustroje akustyczne powinny być realizowane zgodnie z projektem. Ewentualne odstępstwa od projektu, w tym zastosowanie materiałów zamiennych, powinno być konsultowane z Zamawiającym i projektantem akustyki wnętrz.
- Na każdym etapie realizacji oraz w trakcie pomiarów akustycznych należy zapewnić obecność projektanta akustyki wnętrz Filharmonii Pomorskiej.
- Podstawowym założeniem i głównym kryterium oceny wykonanych prac jest wymóg pełnego odtworzenia walorów akustycznych Sali Koncertowej oraz wykonanie Sali Kameralnej zgodnie z projektem a także wytycznymi opracowanymi w raporcie Manufaktury Technologicznej z grudnia 2017, wykonanym przez zespół ekspercki, zawierający charakterystykę właściwości akustycznych sali symfonicznej oraz Sali Kameralnej Filharmonii Pomorskiej.

