

Aula w Szkole Podstawowej nr 1 im. Noblistów Polskich w Goleniowie

Projekt adaptacji akustycznej Auli SP1 w Goleniowie

Inwestor:

Gmina Goleniów
pl. Lotników 1
72-100 Goleniów

Odbiorca:

Szkoła Podstawowa nr 1 w Goleniowie
ul. Kilińskiego 11
72-100 Goleniów

Opracowanie akustyki wnętrz:

mgr inż. Marcin Czapiewski
ADU Marcin Czapiewski
ul. Raławicka 91/7
53-149 Wrocław

Spis treści

1.	Informacje wstępne	4
1.1.	Opis obiektu	4
1.2.	Opis zadania	6
2.	Akustyka wewnątrz	7
2.1.	Założenia czasu pogłosu	7
2.2.	Pomiary czasu pogłosu	7
2.3.	Obliczenia czasu pogłosu	8
2.3.1.	Wyniki obliczeń	11
2.3.2.	Komentarz	12
3.	Specyfikacja ustrojów akustycznych	13
3.1.	Kotary dźwiękochłonne – elementy prefabrykowane	13
3.2.	Wyspowe ustroje pochłaniające – elementy prefabrykowane	13
3.3.	Ustrój PRF-1 (grupa ustrojów)	13
3.4.	Ustrój PRF-2 (grupa ustrojów)	14
3.5.	Ustrój PRF-3 (grupa ustrojów)	14
3.6.	W-1	15
3.7.	W-2	16
4.	Podsumowanie	17
5.	Literatura	17

Spis tabel

Tab. 1	Zestawienie chłonności akustycznej materiałów wykończeniowych i wyposażenia Auli SP1 w Goleniowie	11
Tab. 2	Wymagane współczynniki pochłaniania dla kotar dźwiękochłonnych	13
Tab. 3	Wymagane współczynniki pochłaniania dla wyspowych ustrojów pochłaniających	13
Tab. 4	Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-1	14
Tab. 5	Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-2	14
Tab. 6	Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-3	15
Tab. 7	Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju W-1	16
Tab. 8	Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju W-2	16

Spis rysunków

Rys. 1	Rzut Auli	4
Rys. 2	Zdjęcie z widokiem na podest estradowy	5
Rys. 3	Zdjęcie z widokiem na ścianę tylną Auli	5
Rys. 4	Przyjęty zakres czasu pogłosu dla Auli o kubaturze 1670 m ³ przeznaczonej do przeprowadzenia eventów szkolnych	7

Rys. 5 Zmierzone wartości czasu pogłosu w pasmach oktaowych w Auli na tle dopuszczalnych granic czasu pogłosu dla sali o kubaturze 1670 m ³ dla pracy z nagłośnieniem elektroakustycznym.....	8
Rys. 6 Rzut Auli z zaznaczonymi elementami adaptacji akustycznej	9
Rys. 7 Wizualizacje zaprojektowanej adaptacji akustycznej Auli. Kolorystyka przykładowa.....	10
Rys. 8 Wyniki obliczeń czasu pogłosu dla małego zapełnienia sali z adaptacją akustyczną	12

Spis rysunków wielkoformatowych

- Aula SP1 w Goleniowie - AW01 v1 - Rzuty, widoki ścian i przekroje - Oznaczenia i wymiarowanie - format A0.pdf
- Aula SP1 w Goleniowie - AU01 v1 - Ustroje akustyczne - PRF-1 - format A2.pdf
- Aula SP1 w Goleniowie - AU02 v1 - Ustroje akustyczne - PRF-2 - format A2.pdf
- Aula SP1 w Goleniowie - AU03 v1 - Ustroje akustyczne - PRF-3 - format A2.pdf
- Aula SP1 w Goleniowie - AU04 v1 - Ustroje akustyczne - W-1 - format A2.pdf
- Aula SP1 w Goleniowie - AU05 v1 - Ustroje akustyczne - W-2 - format A2.pdf

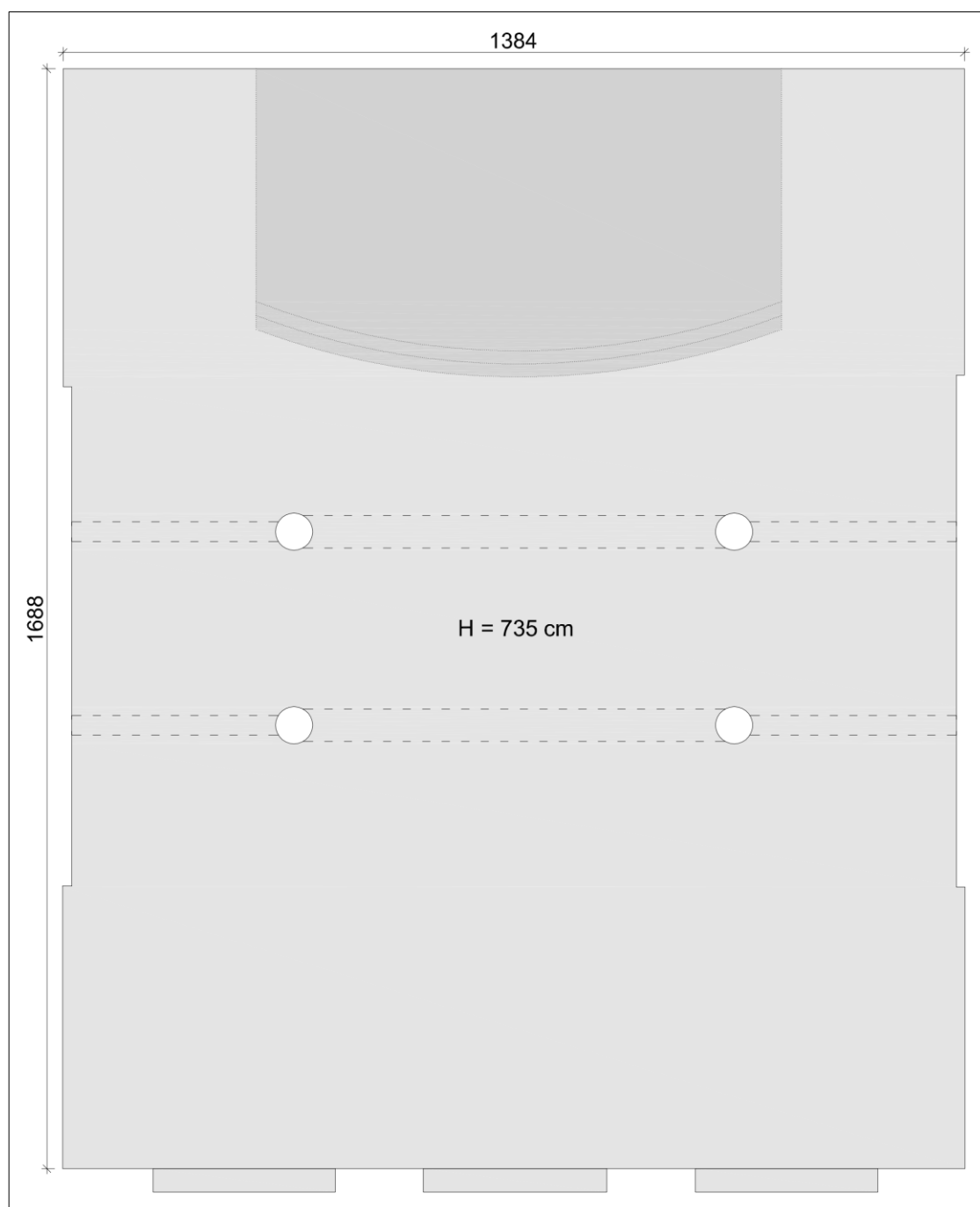
1. Informacje wstępne

1.1. Opis obiektu

Przedmiotem projektu jest Aula Szkoły Podstawowej nr 1 przy ul. Kilińskiego 11 w Goleniowie. Aula służy przede wszystkim do przeprowadzania apeli i eventów szkolnych, dziecięcych występów teatralnych i małych form muzycznych. Wszystkie wydarzenia odbywają się z wykorzystaniem nagłośnienia elektroakustycznego. Dodatkowo Aula pełni funkcję sali baletowej.

Podstawowe parametry Auli:

- Wymiary (D × S × W): 16,88 × 13,84 × 7,35 m
- Objętość : 1670 m³
- Powierzchnia podłogi: 231 m² (w tym podest estradowy 36 m²)



Rys. 1 Rzut Auli



Rys. 2 Zdjęcie z widokiem na podest estradowy



Rys. 3 Zdjęcie z widokiem na ścianę tylną Auli

1.2. Opis zadania

Zadanie polega na zaprojektowaniu akustyki wewnątrz Auli tak, aby było możliwe przeprowadzanie w niej apeli i eventów szkolnych, dziecięcych występów teatralnych i małych form muzycznych. W tym celu wykonano pomiary akustyczne czasu pogłosu Auli w stanie istniejącym, które posłużyły do kalibracji modelu obliczeniowego.

Projekt akustyczny obejmuje:

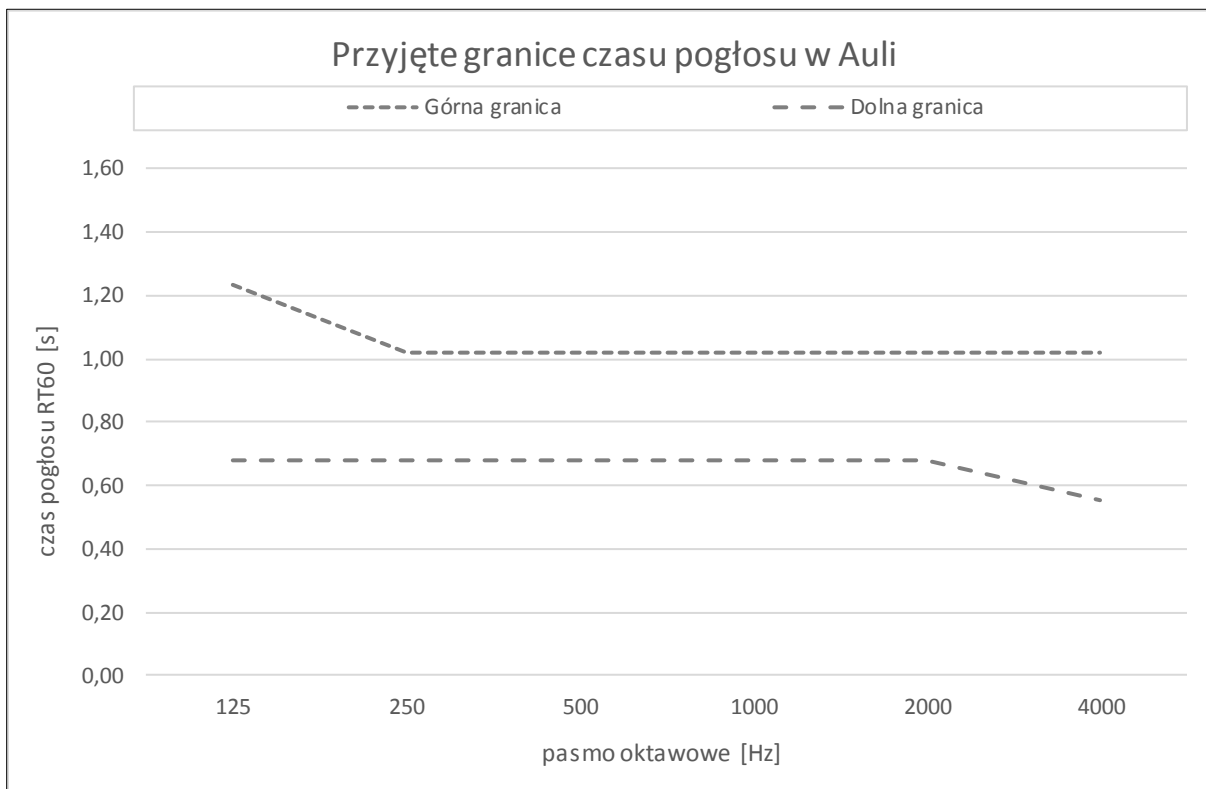
- Określenie docelowego czasu pogłosu wraz wykazanie możliwości korekty czasu pogłosu do wartości pożądanых, przy uwzględnieniu budżetu, który wynosi ok. 130 tys. złotych brutto,
- Obliczenia czasu pogłosu dla 2 wariantów wypełnienia Auli,
- Przygotowanie dokumentacji wykonawczej zaprojektowanych ustrojów akustycznych.

2. Akustyka wewnątrz

2.1. Założenia czasu pogłosu

Ze względu na funkcję i kubaturę Auli, przyjęto projektową wartość czasu pogłosu $RT60 = 0,85$ s.

Przyjęte granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu przedstawiono na Rys. 4.



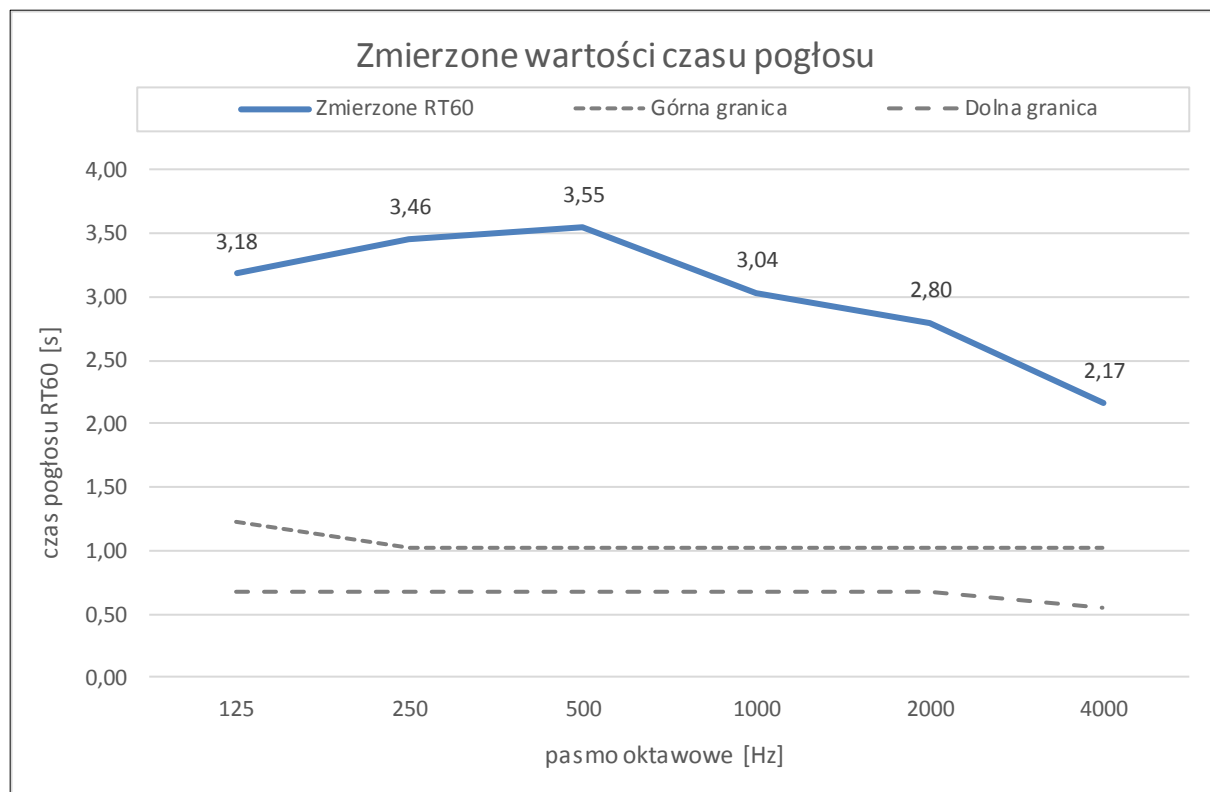
Rys. 4 Przyjęty zakres czasu pogłosu dla Auli o kubaturze 1670 m^3 przeznaczonej do przeprowadzenia eventów szkolnych

2.2. Pomiary czasu pogłosu

Pomiary czasu pogłosu przeprowadzono zgodnie z normą *PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne* [2].

Zmierzony czas pogłosu w funkcji częstotliwości dla pasm oktawowych w Auli przedstawiono na Rys. 5 wraz z zaznaczonymi, przyjętymi granicami czasu pogłosu dla tego pomieszczenia.

Sala dla stanu wyjściowego nie spełnia wytycznych dotyczących czasu pogłosu. Wyniki pomiarów stanowią dane wejściowe do modelu obliczeniowego wymaganej chłonności akustycznej.



Rys. 5 Zmierzone wartości czasu pogłosu w pasmach oktaowych w Auli na tle dopuszczalnych granic czasu pogłosu dla sali o kubaturze 1670 m³ dla pracy z nagłośnieniem elektroakustycznym

2.3. Obliczenia czasu pogłosu

Bazując na wynikach pomiaru czasu pogłosu dokonano kalibracji modelu obliczeniowego, tj. określono współczynniki pochłaniania dźwięku poszczególnych powierzchni Auli. Uwzględniono również pochłanianie dźwięku przez powietrze.

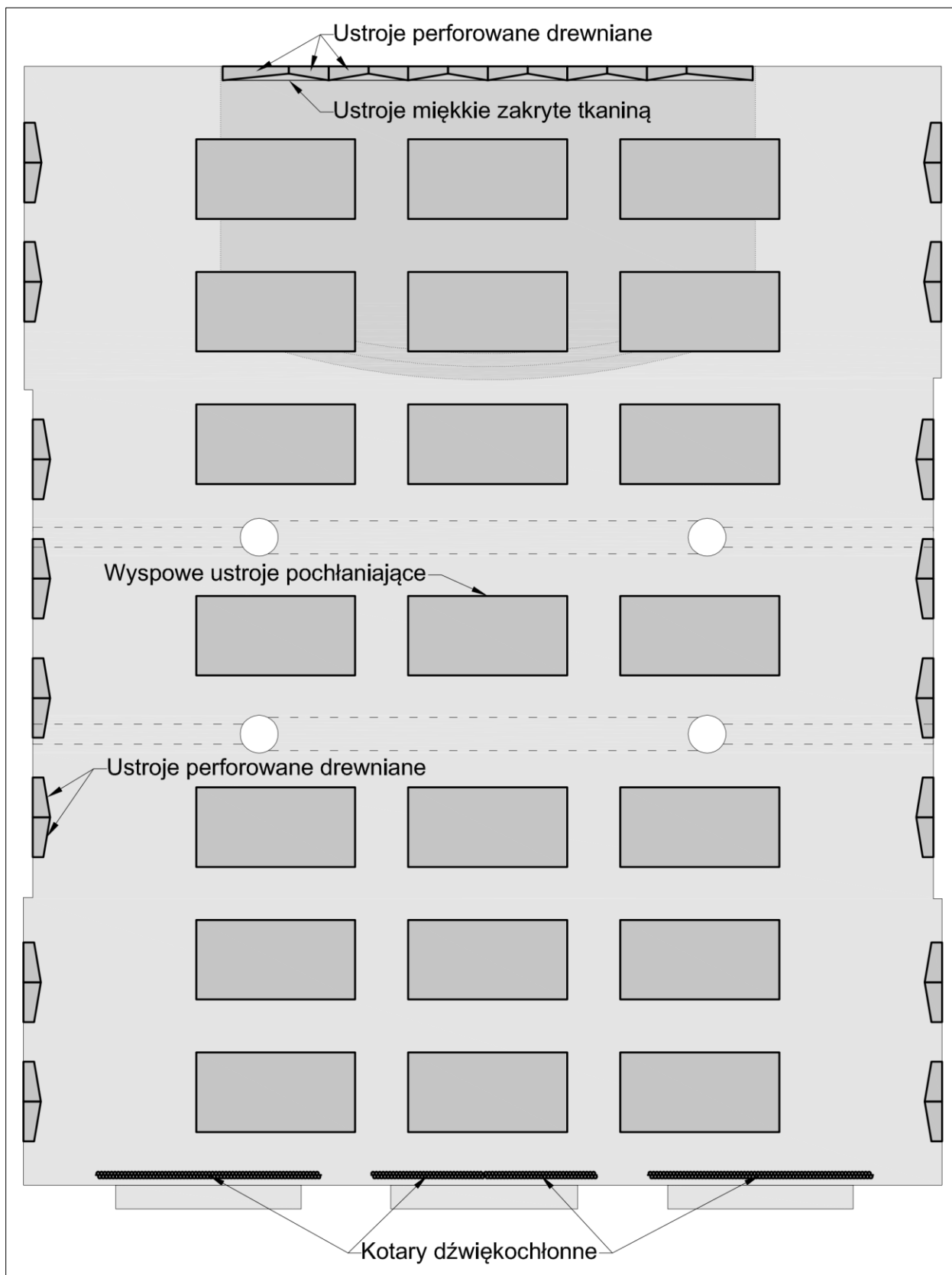
Za pomocą modelu zaprojektowano adaptację akustyczną tak, aby uzyskać charakterystykę czasu pogłosu mieszczącą się w przyjętych granicach. Ze względu na wpływ osób w pomieszczeniu na wypadkową chłonność akustyczną wykonano obliczenia dla dwóch wariantów zapełnienia sali.

Zaprojektowana adaptacja akustyczna zawiera:

- Kotary pochłaniające szerokopasmowo na tylnej ścianie pomieszczenia zasłaniające okna, ok 70 m² (zakłada się rozwijanie kotary na czas trwania przedstawień),
- Ustroje miękkie na bazie wełny mineralnej, zakryte tkaniną, pochłaniające szerokopasmowo, na ścianie przedniej pomieszczenia za podestem estradowym,
- Ustroje perforowane drewniane, pochłaniające małe częstotliwości i rozpraszające dźwięk, na ścianach bocznych pomieszczenia na wysokości powyżej 200 – 250 cm i przedniej za podestem estradowym, powyżej ustroju miękkiego,
- Podwieszone panele wyspowe, pochłaniające szerokopasmowo, na suficie nad podestem estradowym, zestawami głośnikowymi oraz widownią, o całkowitej wysokości konstrukcyjnej wynoszącej 20 cm od sufitu.

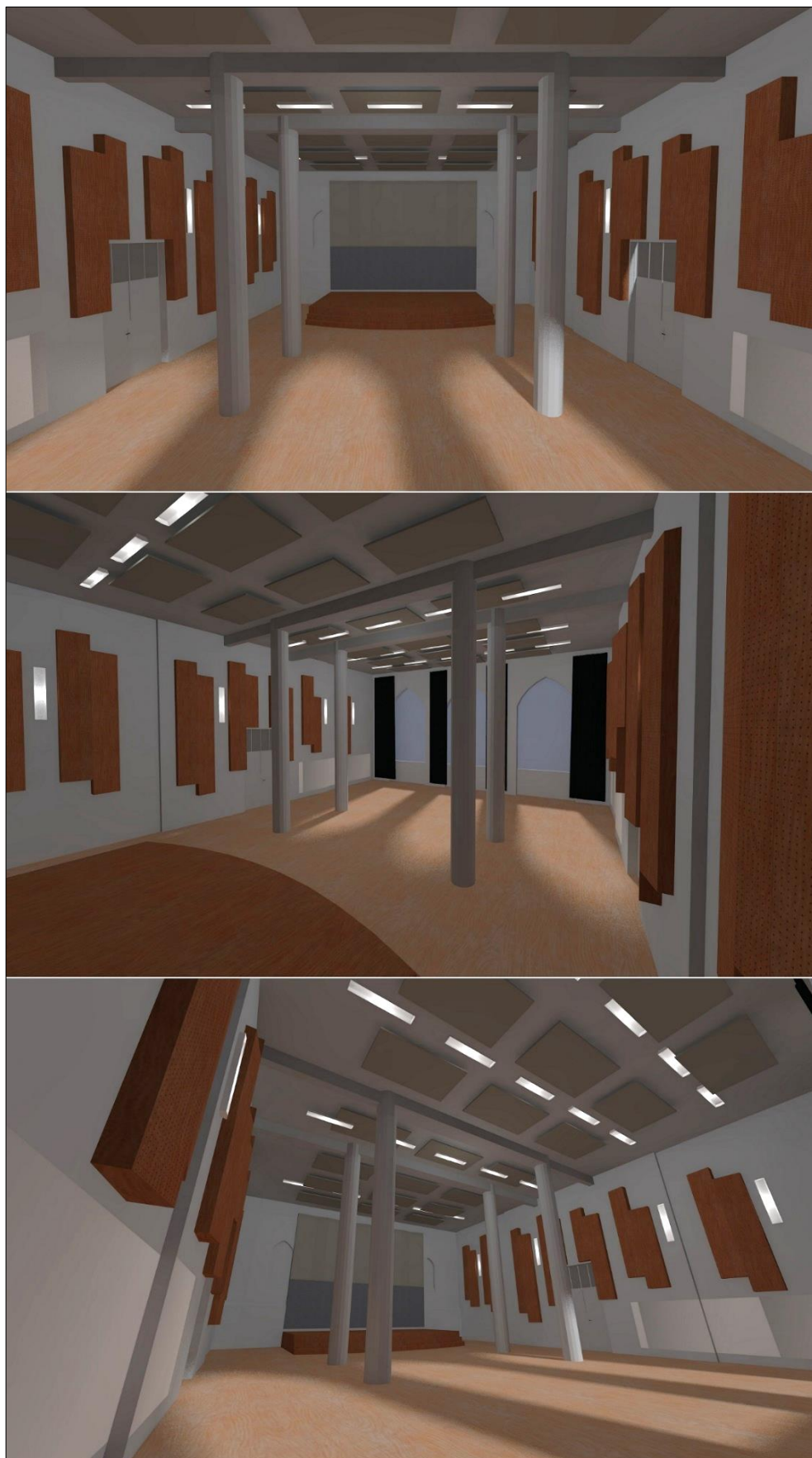
Na Rys. 6 pokazany jest schematyczny układ adaptacji akustycznej w pomieszczeniu. Szczegółowe dane znajdują się na rysunku wielkoformatowym AW01.

Na Rys. 7 pokazane są wizualizacje komputerowe Auli wraz z zaprojektowaną adaptacją akustyczną.



Rys. 6 Rzut Auli z zaznaczonymi elementami adaptacji akustycznej

Uwaga! Wizualizacje komputerowe Auli mają na celu jedynie pokazanie zaprojektowanej adaptacji akustycznej w sali. Zaprezentowana kolorystyka jest tylko propozycją i nie jest wiążąca. Zalecane jest skonsultowanie kolorystyki sali i adaptacji akustycznej z projektantem wnętrz.



Rys. 7 Wizualizacje zaprojektowanej adaptacji akustycznej Auli. Kolorystyka przykładowa.

2.3.1. Wyniki obliczeń

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów wypełnienia Auli ludźmi:

Małe wypełnienie Auli:

- Dzieci: 20,
- Osoby dorosłe: 30,

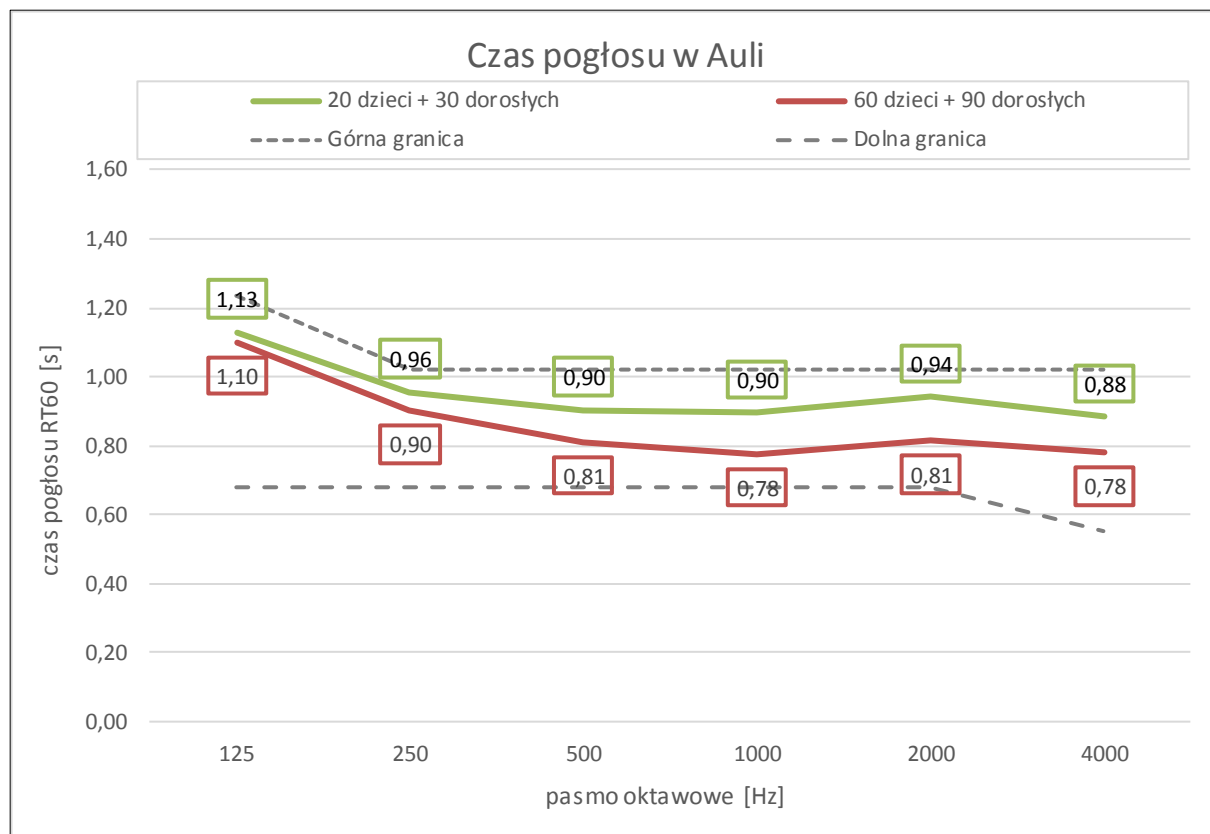
Duże wypełnienie Auli:

- Dzieci: 60,
- Osoby dorosłe: 90.

W Tab. 1 zawarty jest bilans chłonności materiałów wykończeniowych Auli wraz z zaprojektowaną adaptacją akustyczną i publicznością. Na Rys. 8 przedstawiono wyniki obliczeń czasu pogłosu w Auli z zaprojektowaną adaptacją akustyczną w dwóch wariantach wypełnienia sali ludźmi, małym i dużym.

Tab. 1 Zestawienie chłonności akustycznej materiałów wykończeniowych i wyposażenia Auli SP1 w Goleniowie

Parametry		Chłonność akustyczna w pasmach oktaowych [m ²]					
Materiał	Pow. [m ²]	125	250	500	1000	2000	4000
Parkiet	195,0	29,3	21,5	19,5	13,7	11,7	13,7
Drzwi	16,0	4,8	4,0	2,4	1,6	1,6	1,1
Okna	30,0	4,5	1,5	0,9	0,9	0,6	0,6
Tynk malowany	437,0	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
Podest	48,0	19,2	14,4	9,6	8,2	7,2	4,8
PRF-1	70,5	63,5	52,9	24,7	14,1	7,1	7,1
PRF-2 + PRF-3	28,8	25,1	21,6	10,1	5,8	2,9	2,9
W-1	9,6	1,8	6,3	10,1	10,4	9,7	9,6
W-2	9,6	9,8	10,0	9,6	8,7	8,8	8,8
Kotara dźwiękochłonna	70,0	7,0	31,5	63,0	70,0	63,0	66,5
Wyspowe ustroje dźwiękochłonne	21 szt.	18,9	50,4	71,4	84,0	86,1	79,8
Widownia: 20 dzieci i 30 dorosłych	25,0	6,4	9,1	15,0	18,2	18,1	16,8
Widownia: 60 dzieci i 90 dorosłych	75,0	19,2	27,3	45,0	54,6	54,3	50,3
Pozostała chłonność akustyczna (wyposażenie)	-	13,0	12,0	10,0	11,0	13,0	12,0
Zapełnienie widowni		Czas pogłosu w pasmach oktaowych RT60 [s]					
		125	250	500	1000	2000	4000
Widownia: 30 dzieci i 45 dorosłych		1,13	0,96	0,90	0,90	0,94	0,88
Widownia: 60 dzieci i 90 dorosłych		1,10	0,90	0,81	0,78	0,81	0,78



Rys. 8 Wyniki obliczeń czasu pogłosu dla małego zapełnienia sali z adaptacją akustyczną

2.3.2. Komentarz

W obu analizowanych przypadkach zapełnienia Auli ludźmi wartości czasu pogłosu w całym analizowanym spektrum częstotliwości mieszczą się w przyjętych granicach. Widoczny jest wzrost czasu pogłosu w zakresie małych częstotliwości. Wzrost ten jest wynikiem mniejszej ilości ustrojów rezonansowych co związane jest z ograniczonym budżetem.

3. Specyfikacja ustrojów akustycznych

3.1. Kotary dźwiękochłonne – elementy prefabrykowane

- Kotary powinny być wykonane z materiału typu: serża wełniana lub molton sceniczny.
- Gramatura materiału: 300 g/m².
- Marszczenie kotary: 100 %.
- Założone współczynniki pochłaniania dźwięku przez kotarę znajdują się w Tab. 2, choć mogą one być większe w zakresie małych częstotliwości (< 500 Hz).

Tab. 2 Wymagane współczynniki pochłaniania dla kotar dźwiękochłonnych

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
Kotary dźwiękochłonne	α ($\pm 5\%$)	0,10	0,45	0,90	1,00	0,90	0,95

3.2. Wyspowe ustroje pochłaniające – elementy prefabrykowane

- Wyspowe ustroje dźwiękochłonne powinny być wykonane na bazie samonośnej wełny mineralnej pokrytej powłoką zabezpieczającą.
- Ustroje mają formę prostopadłościanów o wymiarach: 2400 × 1200 × 40 mm.
- Całkowita wysokość konstrukcyjna ustrojów: 200 mm.
- Wymagana równoważna chłonność akustyczna przypadająca na jeden ustrój wyspowy znajduje się w Tab. 3.
- Ustroje mocować do sufitu pomieszczenia zgodnie z zaleceniami producenta.

Tab. 3 Wymagane współczynniki pochłaniania dla wyspowych ustrojów pochłaniających

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
Wyspowe ustroje pochłaniające	A [m ²] ($\pm 5\%$)	0,90	2,40	3,40	4,00	4,10	3,80

3.3. Ustrój PRF-1 (grupa ustrojów)

- Ustrój PRF-1 jest indywidualnie zaprojektowanym i wykonanym ustrojem perforowanym pochłaniającym małe częstotliwości.
- Wymagane współczynniki pochłaniania dźwięku dla ustroju PRF-1 znajdują się w Tab. 4.
- Konstrukcja:

Ustrój akustyczny PRF-1 w przekroju poziomym ma postać trapezu o szerokości 600 mm.

Szczegółowa konstrukcja ustroju pokazana jest na rysunku wielkoformatowym AU01.

Poniższe warstwy ustroju wypisane są w kolejności od podłoża do wierzchniej warstwy ustroju:

- Ściana pomieszczenia.
- Komora ustroju:
 - Głębokość komory wynosi: 148 – 248 mm.
 - Komora powinna być w całości wypełniona wełną mineralną kamienną o gęstości 35 – 40 kg/m³.

- Wełnę mineralną należy przykryć flizeliną, geowłókniną lub agrowłókniną w kolorze czarnym o gramaturze nie większej niż 60 g/m².
- Płyta perforowana:
 - Płytę perforowaną wykonać ze sklejki lub MDF o grubości 12 mm.
 - Perforacja w rastrze prostokątnym.
 - Rozstaw otworów: 48 × 50 mm.
 - Średnica otworów: 8 mm.

Tab. 4 Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-1

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]						
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
PRF-1	α ($\pm 5\%$)	0,63	0,90	0,75	0,35	0,20	0,10	0,10

3.4. Ustrój PRF-2 (grupa ustrojów)

- Ustrój PRF-2 jest indywidualnie zaprojektowanym i wykonanym ustrojem perforowanym pochłaniającym małe częstotliwości.
- Wymagane współczynniki pochłaniania dźwięku dla ustroju PRF-2 znajdują się w Tab. 4.
- Konstrukcja:

Ustrój akustyczny PRF-2 w przekroju poziomym ma postać trapezu o szerokości 600 mm.

Szczegółowa konstrukcja ustroju pokazana jest na rysunku wielkoformatowym AU02.

Poniższe warstwy ustroju wypisane są w kolejności od podłoża do wierzchniej warstwy ustroju:

- Ściana pomieszczenia.
- Komora ustroju:
 - Głębokość komory wynosi: 98 – 198 mm.
 - Komora powinna być w całości wypełniona wełną mineralną kamienną o gęstości 35 – 40 kg/m³.
 - Wełnę mineralną należy przykryć flizeliną, geowłókniną lub agrowłókniną w kolorze czarnym o gramaturze nie większej niż 60 g/m².
- Płyta perforowana:
 - Płytę perforowaną wykonać ze sklejki lub MDF o grubości 12 mm.
 - Perforacja w rastrze prostokątnym.
 - Rozstaw otworów: 48 × 50 mm.
 - Średnica otworów: 8 mm.

Tab. 5 Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-2

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]						
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
PRF-2	α ($\pm 5\%$)	0,46	0,87	0,75	0,35	0,20	0,10	0,10

3.5. Ustrój PRF-3 (grupa ustrojów)

- Ustrój PRF-3 jest indywidualnie zaprojektowanym i wykonanym ustrojem perforowanym pochłaniającym małe częstotliwości.
- Wymagane współczynniki pochłaniania dźwięku dla ustroju PRF-3 znajdują się w Tab. 4.

- Konstrukcja:

Ustrój akustyczny PRF-3 w przekroju poziomym ma postać trapezu o szerokości 1000 mm.

Szczegółowa konstrukcja ustroju pokazana jest na rysunku wielkoformatowym AU03.

Poniższe warstwy ustroju wypisane są w kolejności od podłoża do wierzchniej warstwy ustroju:

- Ściana pomieszczenia.
- Komora ustroju:
 - Głębokość komory wynosi: 98 – 198 mm.
 - Komora powinna być w całości wypełniona wełną mineralną kamienną o gęstości 35 – 40 kg/m³.
 - Wełnę mineralną należy przykryć flizeliną, geowłókniną lub agrowłókniną w kolorze czarnym o gramaturze nie większej niż 60 g/m².
- Płyta perforowana:
 - Płytę perforowaną wykonać ze sklejki lub MDF o grubości 12 mm.
 - Perforacja w rastrze prostokątnym.
 - Rozstaw otworów: 48 × 50 mm.
 - Średnica otworów: 8 mm.

Tab. 6 Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju PRF-3

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]						
		63	125	250	500	1 000	2 000	4 000
PRF-3	α ($\pm 5\%$)	0,46	0,87	0,75	0,35	0,20	0,10	0,10

3.6. W-1

- Ustrój W-1 jest indywidualnie zaprojektowanym i wykonanym ustrojem pochłaniającym szeroki zakres częstotliwości.
- Wymagane współczynniki pochłaniania dźwięku dla ustrojów W-1 znajdują się w Tab. 7.
- Konstrukcja:

Szczegółowa konstrukcja ustrojów pokazana jest na rysunku wielkoformatowym AU04.

Poniższe warstwy ustroju wypisane są w kolejności od podłoża do wierzchniej warstwy ustroju:

- Ściana pomieszczenia.
- Komora ustroju:
 - Głębokość komory wynosi 60 mm.
 - Komora powinna być wypełniona wełną mineralną kamienną o grubości 50 mm i gęstości 80 – 100 kg/m³.
 - Wełnę mineralną należy przykryć flizeliną, geowłókniną lub agrowłókniną w kolorze czarnym o gramaturze nie większej niż 60 g/m².
- Tkanina zakrywająca:
 - Tkanina musi być materiałem jednorodnym.
 - Zalecane tkaniny to np. Camira Cara, Camira Lucia, Fargotex Hill.
 - Alternatywnie zastosować polistyren 100% o gramaturze do 250 g/m² lub płótno naturalne o gramaturze do 100 g/m².

Tab. 7 Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju W-1

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
W-1	α ($\pm 5\%$)	0,19	0,66	1,05	1,08	1,01	1,00

3.7. W-2

- Ustroje W-2 są indywidualnie zaprojektowanymi i wykonanymi ustrojami pochłaniającymi szeroki zakres częstotliwości.
- Wymagane współczynniki pochłaniania dźwięku dla ustrojów W-1 znajdują się w Tab. 8.
- Konstrukcja:

Szczegółowa konstrukcja ustrojów pokazana jest na rysunku wielkoformatowym AU05.

Poniższe warstwy ustroju wypisane są w kolejności od podłoża do wierzchniej warstwy ustroju:

- Ściana pomieszczenia.
- Komora ustroju:
 - Głębokość komory wynosi 210 mm.
 - Komora powinna być wypełniona wełną mineralną kamienną o łącznej grubości 200 mm i gęstości 80 – 100 kg/m³.
 - Wełnę mineralną należy przykryć flizeliną, geowłókniną lub agrowłókniną w kolorze czarnym o gramaturze nie większej niż 60 g/m².
- Tkanina zakrywająca:
 - Tkanina musi być materiałem jednorodnym.
 - Zalecane tkaniny to np. Camira Cara, Camira Lucia, Fargotex Hill.
 - Alternatywnie zastosować polistyren 100% o gramaturze do 250 g/m² lub płótno naturalne o gramaturze do 100 g/m².

Tab. 8 Wymagane współczynniki pochłaniania dla ustroju W-2

Rodzaj ustroju akustycznego	Parametr	f [Hz]					
		125	250	500	1 000	2 000	4 000
W-1	α ($\pm 5\%$)	1,02	1,04	1,00	0,91	0,92	0,92

4. Podsumowanie

W ramach opracowania przedstawiono wyniki pomiarów czasu pogłosu Auli w stanie istniejącym oraz wyniki obliczeń czasu pogłosu po wprowadzeniu adaptacji akustycznej do sali w dwóch wariantach zapętnienia widowni. Dla obu wariantów parametry akustyczne sali spełniają przyjęte założenia.

Przedstawiono rozmieszczenie elementów adaptacji akustycznej w pomieszczeniu oraz wizualizacje komputerowe wnętrza wraz z rozwiązaniami akustycznymi.

Sporządzono dokumentację rysunkową wykonawczą oraz specyfikację ustrojów akustycznych.

5. Literatura

- [1] PN-B-02153 Akustyka budowlana. Terminologia, symbole literowe i jednostki
- [2] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 1: Pomieszczenia specjalne
- [3] Long M., Architectural Acoustics, Elsevier Inc., 2006
- [4] EBU Tech. 3276, Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic, European Broadcasting Union, Geneva, 1998
- [5] Kuttruff H., Room Acoustics, Fourth Edition, Spon Press, 2000
- [6] Cox J., D'Antonio P., Acoustic Absorbers and Diffusers, Theory, design and application, Spon Press, 2004