

**1. Strona tytułowa**

Nazwa element		
<b>PROJEKT TECHNICZNY BRANŻA: INSTALACJE ELEKTRYCZNE</b>		
Nazwa zamierzenia budowlanego		
<b>Zalecenia adaptacji akustycznej Sali sportowej</b>		
Adres obiektu budowlanego		
<b>ul. Ogród Ludowy 2, 63-840 Krobia</b>		
Nazwa i adres inwestora		
<b>Gmina Krobia Ul. Rynek 1, 63-840 Krobia</b>		
 <div>Nazwa i adres jednostki projektowania <b>ELEKTRO-INSTALATOR SP. Z O.O. ul. Geodetów 1, 64-100 Leszno</b></div>		
Imię i nazwisko projektanta /	Specjalność i numer uprawnień	Podpis
Projektant branży akustycznej <b>dr Piotr Pękala</b>	Nie dotyczy	

## SPIS TREŚCI

1.	WSTĘP.....	3
2.	MATERIAŁY WYJŚCIOWE .....	4
3.	WYMAGANIA AKUSTYCZNE.....	5
4.	WYNIKI POMIARÓW .....	6
5.	KALIBRACJA MODELU KOMPUTEROWEGO .....	7
6.	ZALECENIA ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ .....	11
7.	PODSUMOWANIE .....	14

Symulacje komputerowe za pomocą oprogramowania CATT-A zostały wykonane przez Audio-Com Projekty i oprogramowanie akustyczne na zlecenie Akustix sp. z o.o.

## 1. Wstęp

Niniejsze opracowanie zostało przygotowane na podstawie zlecenia firmy ELEKTRO-INSTALATOR Sp. z o.o. z dnia 29 kwietnia 2024 r.

Celem opracowania jest wykonanie projektu adaptacji akustycznej Sali sportowej.

Zakres opracowania obejmuje następujące zagadnienia:

- określenie wymagań w zakresie akustyki wnętrz (czas pogłosu, równomierność nagłośnienia, zrozumiałość mowy) w sali,
- przedstawienie wyników pomiarów własności pogłosowych sali wykonanych w 2019 r. i ocena warunków pogłosowych w stanie aktualnym sali,
- dobór rodzaju i rozmieszczenia materiałów wykończeniowych w celu spełnienia wymagań PN-B-02151-4 w zakresie akustyki wnętrz,
- symulacja warunków pogłosowych w sali po adaptacji akustycznej

## 2. Materiały wyjściowe

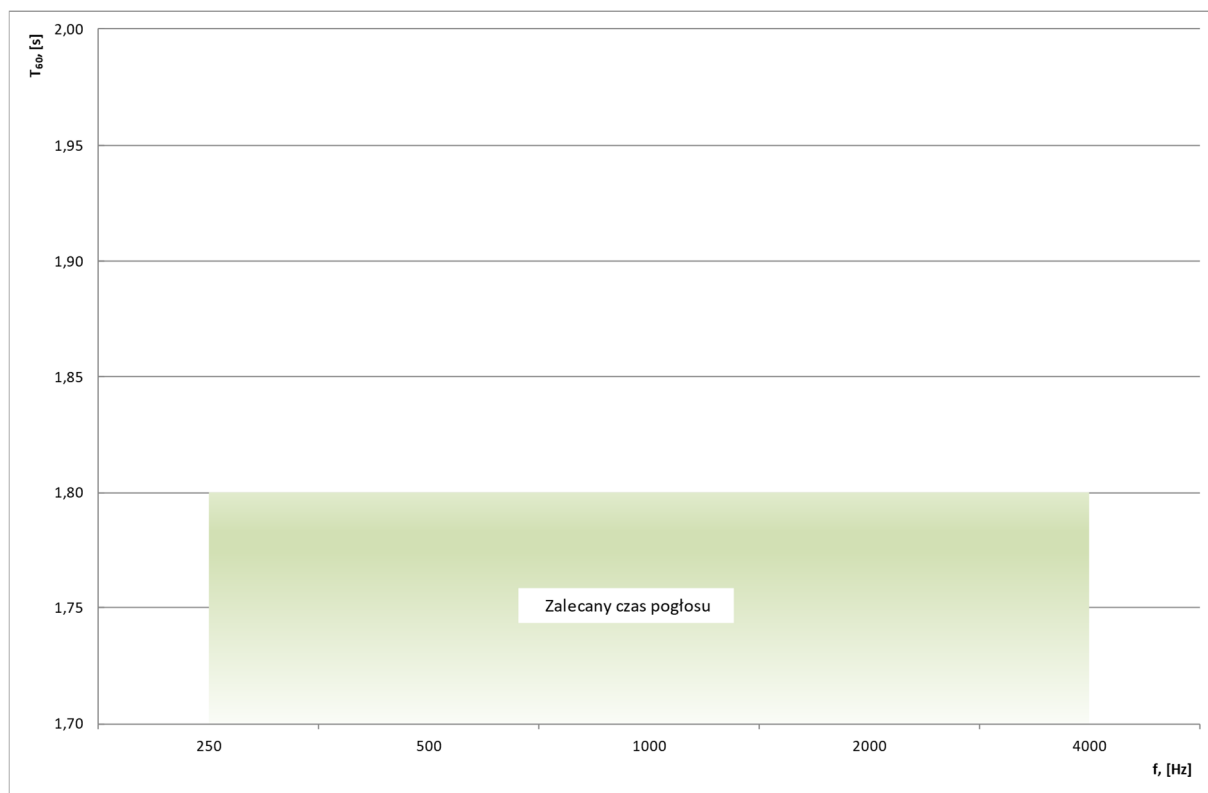
W opracowaniu wykorzystano następujące materiały wyjściowe:

- Projekt architektoniczno-budowlany Sali,
- dane z wizji lokalnej i pomiarów akustycznych,
- uzgodnienia z Zamawiającym,
- P.Pękala, M.Gałuszka, P.Libiszewski, *Zalecenia adaptacji akustycznej z koncepcją nagłośnienia Sali sportowej przy ul. Ogród Ludowy 2 w Krobi*, Gmina Krobia, VII 2019 r.
- katalogi, aprobaty techniczne i biblioteki elektroniczne producentów materiałów wykończenia wnętrz,
- polska norma PN-EN ISO 11654: Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku. Wydawnictwo PKN, Warszawa, 1999,
- polska norma PN-B-02151-4:2015-06: Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań. Wydawnictwo PKN, Warszawa, 2015,
- F.A. Everest, Podręcznik Akustyki, Wydawnictwo SONIA DRAGA, Katowice 2004,
- A.Kulowski, Akustyka Sal, Wydawnictwo PG, 2011.

### 3. Wymagania akustyczne

Czas pogłosu, według normy PN-B-02151-4, dla sal sportowych o objętości większej niż 5000 m<sup>3</sup> nie powinien przekraczać wartości 1,8 s dla sali pustej.

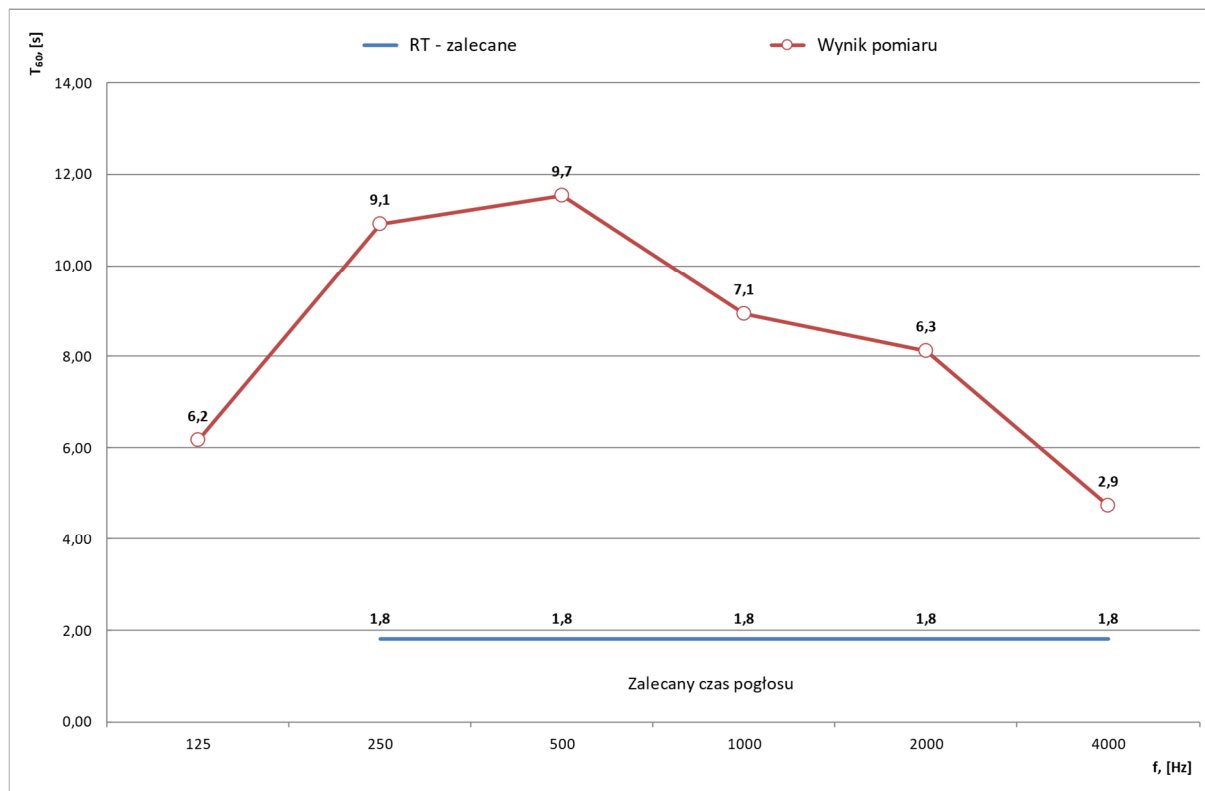
Zalecane wartości czasu pogłosu w funkcji częstotliwości przedstawiono na Rysunku 1.



Rysunek 1. Zalecane wartości czasu pogłosu wg PN-B-02151-4:2015-06

## 4. Wyniki pomiarów

Dnia 10.04.2019 r. w sali przeprowadzono pomiary akustyczne. Szczegółowy opis i wyniki pomiarów przedstawiono w sprawozdaniu pomiarowym nr A-2019-04-01 opracowanym przez Laboratorium Badawcze AkustiX. Na rysunku 2. przedstawiono wyniki pomiaru czasu pogłosu  $T_{60}$  w porównaniu z wartościami zalecanymi.



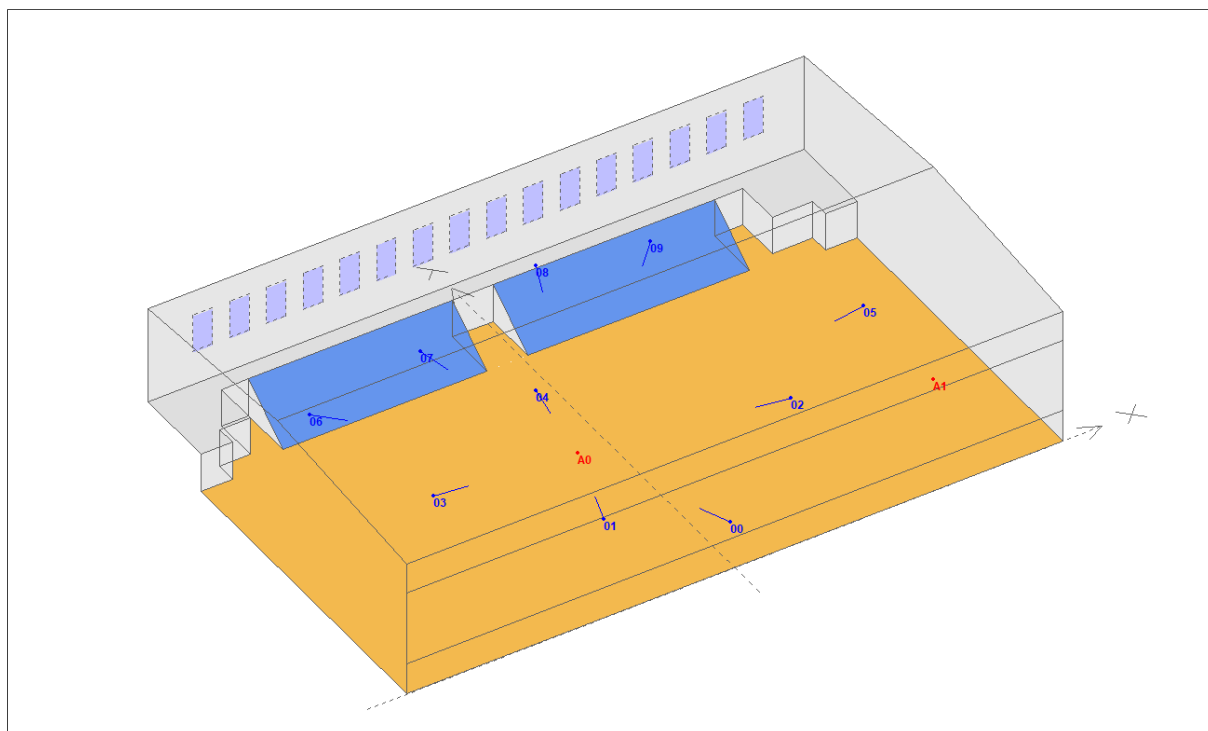
Rysunek 2. Czas pogłosu w stanie aktualnym hali w porównaniu z wartościami zalecanymi

Wyniki pomiaru czasu pogłosu wykorzystane zostały do kalibracji modelu komputerowego wnętrza sali.

## 5. Kalibracja modelu komputerowego

### 5.1. Model komputerowy wnętrza sali

Na podstawie danych z wizji lokalnej i projektu architektoniczno-budowlanego stworzony został komputerowy model wnętrza sali (rysunek 3) na którym wykonywano wszystkie obliczenia akustyczne.



Rysunek 3. Widok wnętrza sali sportowej w modelu komputerowym

Objętość sali wynosi  $\approx 15\,000\text{ m}^3$ , a powierzchnia wszystkich ścian  $\approx 3800\text{ m}^2$

## 5.2. Kalibracja modelu

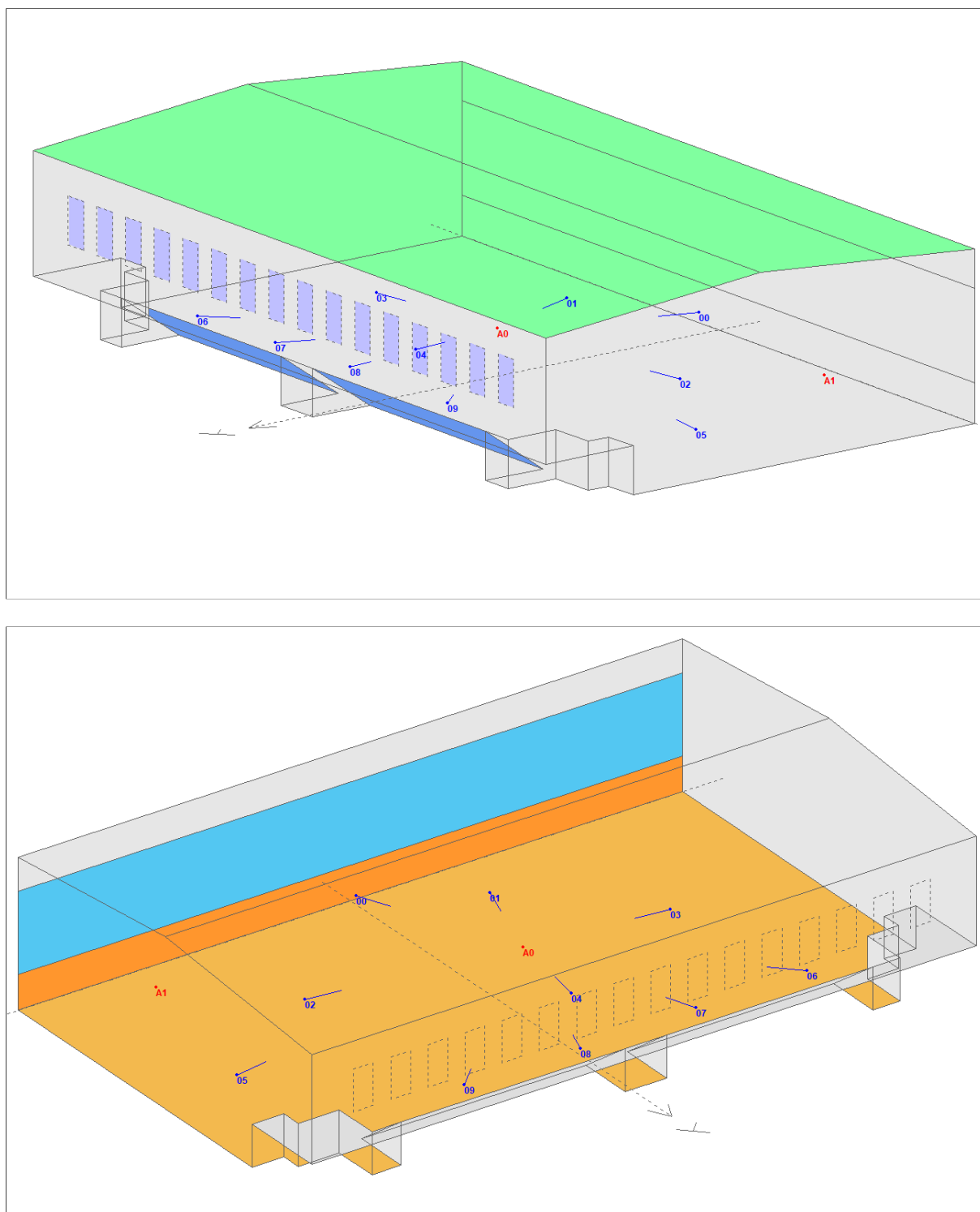
W celu przeprowadzenia obliczeń akustycznych w modelu komputerowym, należy zdefiniować współczynniki pochłaniania i rozproszenia dźwięku wszystkich materiałów wykończeniowych wnętrza sali. Większości z materiałów przypisano współczynniki dostępne w katalogach i publikacjach. W celu uzyskania lepszej zgodności metody obliczeniowej i pomiarowej współczynniki pochłaniania dachu i podłogi – dopasowano w sposób który najbardziej przybliżał wynik obliczeń do wyniku pomiaru. Przy kalibracji opierano się na wynikach pomiarów współczynnika pochłaniania tego materiału pochodzących z różnych źródeł.

Współczynniki pochłaniania wszystkich materiałów wykorzystane w skalibrowanym modelu wnętrza przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów wykończeniowych hali przyjęte w modelu komputerowym

Oznaczenie materiału	Opis materiału	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Współczynnik pochłaniania dźwięku ( $\alpha_p$ )					
			125 Hz	250Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Podłoga - parkiet na legarach	1 000	0,18	0,09	0,06	0,06	0,06	0,08
2	Ściany – tynk	1 000	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
3	Dach - płyta warstwowa	1 200	0,082	0,048	0,032	0,054	0,048	0,095
4	Okna	220	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
5	widownia	130	0,15	0,15	0,22	0,39	0,38	0,30





Rysunek 4. Rozmieszczenie materiałów wykończeniowych w sali

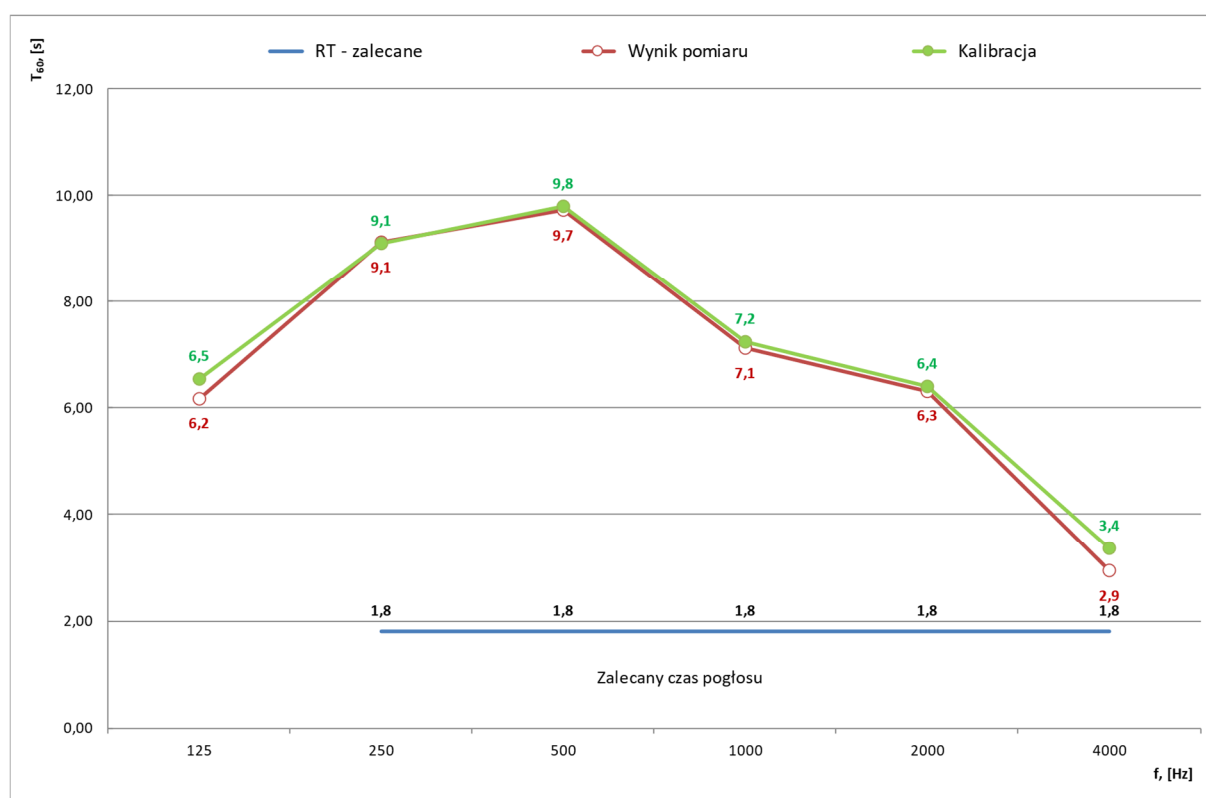
### 5.3. Wyniki symulacji komputerowych

Obliczenia kalibracyjne przeprowadzono uwzględniając warunki meteorologiczne panujące podczas pomiarów: temperatura powietrza  $T=16,9^{\circ}$  oraz wilgotność  $h=41\%$ .

Porównanie czasu pogłosu uzyskanego podczas pomiarów oraz w wyniku symulacji komputerowych przedstawiono w tabeli 2 oraz na rysunku 5.

Tabela 2. Porównanie wyników czasu pogłosu uzyskanych podczas pomiarów oraz w symulacji komputerowej

Parametr	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
$T_{20}[s]$ - wynik pomiaru	6,2	9,1	9,7	7,1	6,3	2,9
$T_{20}[s]$ - wynik symulacji komputerowych	6,5	9,1	9,8	7,2	6,4	3,4



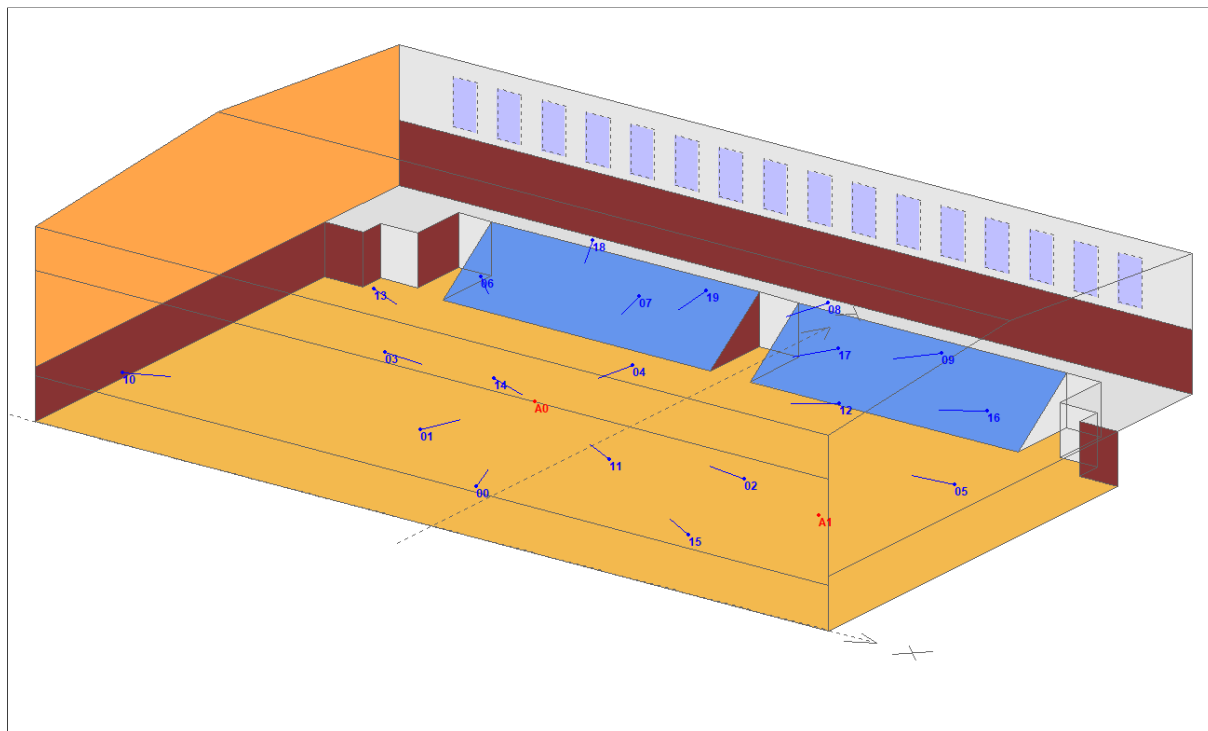
Rysunek 5. Porównanie wyników czasu pogłosu uzyskanych podczas pomiarów oraz w symulacji komputerowej

## 6. Zalecenia adaptacji akustycznej

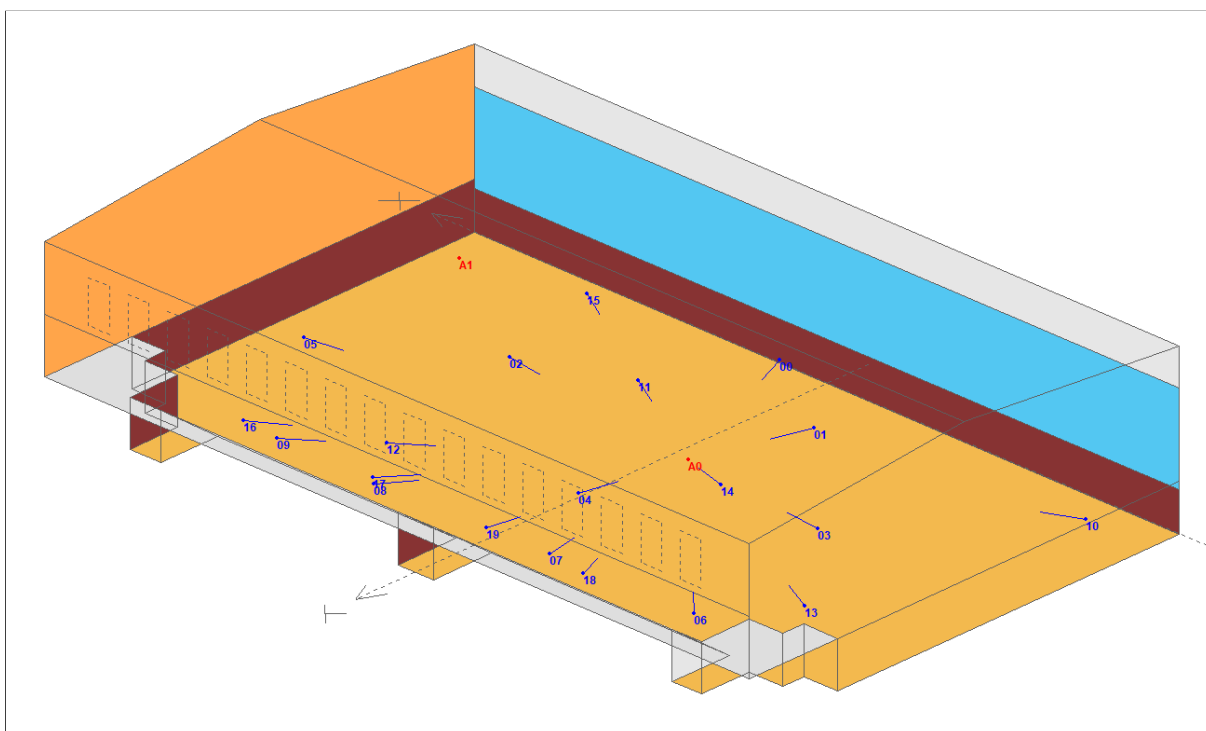
W celu obniżenia czasu pogłosu w sali należy zastosować materiały dźwiękochłonne na suficie i części ścian bocznych. Opis tych materiałów wraz z ich współczynnikami pochłaniania dźwięku przedstawiono w tabeli 3. Rozmieszczenie materiałów przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Tabela 3. Materiały adaptacji akustycznej wraz z ich współczynnikami pochłaniania dźwięku

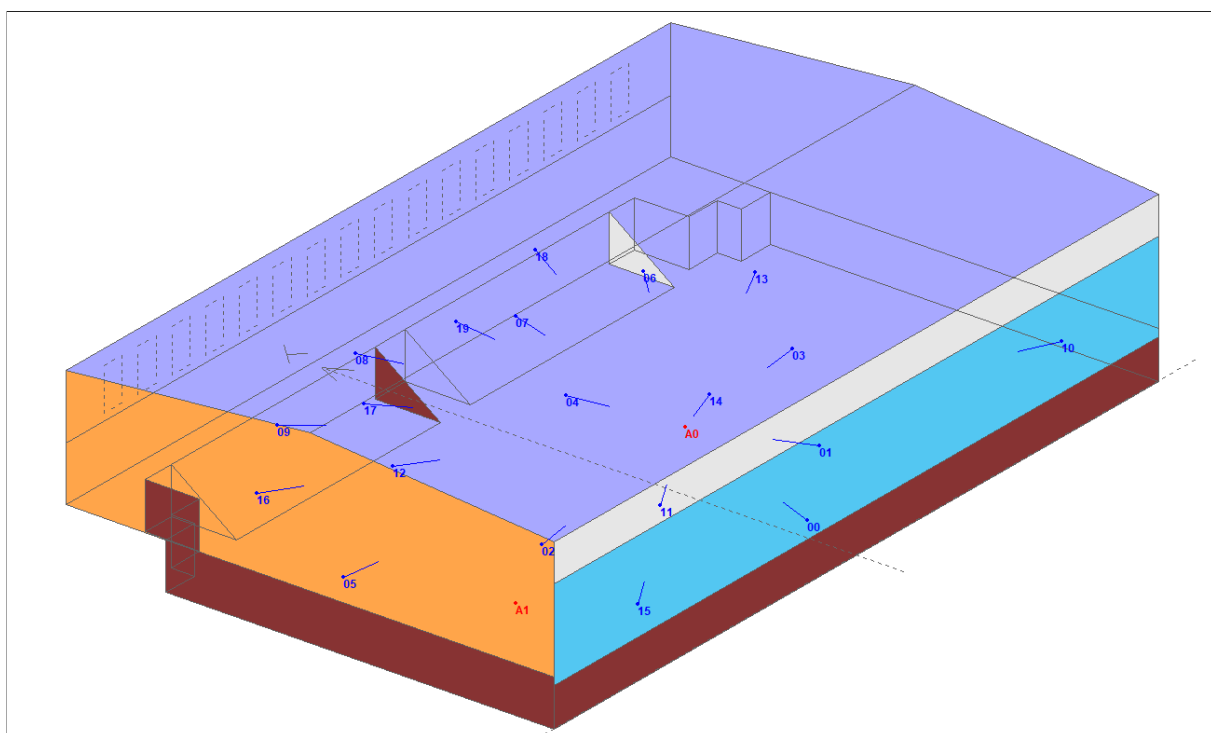
Oznaczenie materiału	Opis materiału	S [m <sup>2</sup> ]	Współczynnik pochłaniania dźwięku ( $\alpha_p$ )					
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Sufit – płyty Ecophon SuperG gr. 20 mm, za płytą pustka powietrzna (c.w.k – 200 mm)	≈1 200	0,45	0,90	1,00	0,90	1,00	1,00
2	Ściany boczne: <ul style="list-style-type: none"> <li>• za drabinkami do wysokości okien</li> <li>• ściany szczytowe za bramkami do wysokości ≈2,6m nad poziomem boiska</li> <li>• ściana za plecami widowni do wysokości ≈5,7m licząc od poziomu boiska (≈3.5m nad poziomem podłogi za widownią)</li> <li>• ściany we wnękach wokół widowni - wg oznaczenia na rysunkach poniżej</li> </ul> płyty Ecophon SuperG PLUS gr.40mm (c.w.k – 40 mm).	≈400	0,20	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00
3	Ściany szczytowe powyżej materiału "2" - absorber płytowy: 13 mm płyta G/K + wełna URSA 50 mm 15 kg/m3, grubość d=50mm	≈400	0,32	0,09	0,03	0,01	0,01	0,06



Rysunek 6A. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - ściany boczne



Rysunek 7B. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - ściany boczne

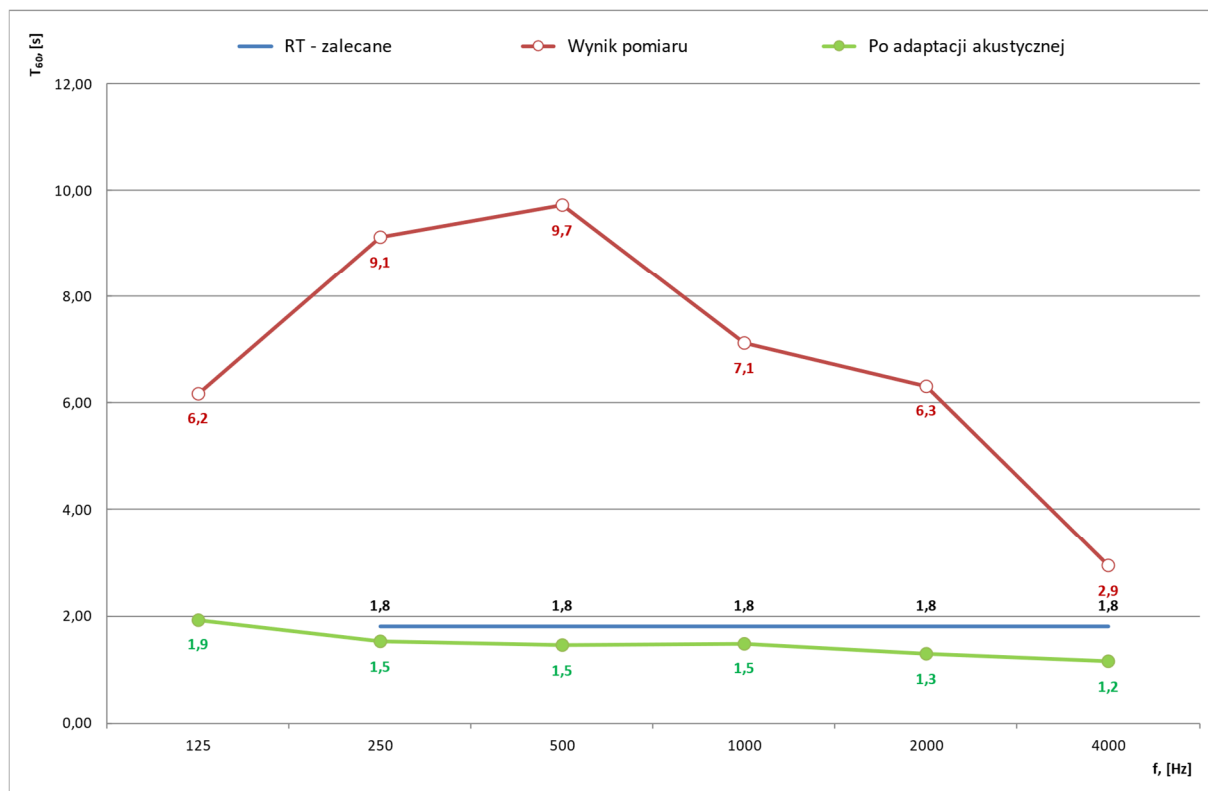


Rysunek 8. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - sufit

Wynik obliczeń czasu pogłosu po zastosowaniu powyższych materiałów adaptacji akustycznej przedstawiono w tabeli 4 i Rys. 9.

Tabela 4. Wynik obliczeń czasu pogłosu po adaptacji akustycznej

Parametr	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
$T_{20}$ [s] - wynik symulacji komputerowych po adaptacji akustycznej	1,9	1,5	1,5	1,5	1,3	1,2



Rysunek 9. Charakterystyka pogłosowa Sali po adaptacji akustycznej

## 7. Podsumowanie

Czas pogłosu w sali sportowej w stanie obecnym nie spełnia wymagań Polskich Norm. Wartość czasu pogłosu dla średnich częstotliwości dźwięku wynosi aktualnie  $\approx 8,4$  s wobec wymaganej wartości 1,8 s. Jest to bardzo duże przekroczenie wartości dopuszczalnej, które skutkuje niską zrozumiałością mowy w sali oraz - ze względu na związaną z tym konieczność mówienia podniesionym głosem - może powodować poważne zagrożenie chorobowe dla narządu artykulacji osób pracujących w sali.

W celu polepszenia warunków akustycznych w sali niezbędna jest adaptacja akustyczna wnętrza polegająca na zastosowaniu materiałów dźwiękochłonnych na suficie i części ścian bocznych. Pozwoli ona na obniżenie czasu pogłosu oraz zwiększenie zrozumiałości mowy.

Dobrana w niniejszym projekcie adaptacja akustyczna pozwala na obniżenie czasu pogłosu w sali sportowej do wartości wymaganych w Polskich Normach.