

Zalecenia adaptacji akustycznej sali sportowej w Szkole Podstawowej w Buku

Opracowanie:

dr Piotr Pękala

A handwritten signature in blue ink that reads 'Piotr Pękala'.

Przeźmierowo, sierpień 2018

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 ioprogramowanie akustyczne na zlecenie AkustiX sp. z o.o.

1. Wstęp

Celem opracowania jest przedstawienie zaleceń adaptacji akustycznej szkolnej sali sportowej.

Zakres opracowania obejmuje następujące zagadnienia:

- określenie wymagań w zakresie akustyki wnętrza (czas pogłosu) w sali,
- przedstawienie wyników pomiarów własności pogłosowych sali 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 wnętrza,
- symulacja warunków pogłosowych w sali po adaptacji akustycznej

2. Materiały wyjściowe

W opracowaniu wykorzystano następujące materiały wyjściowe:

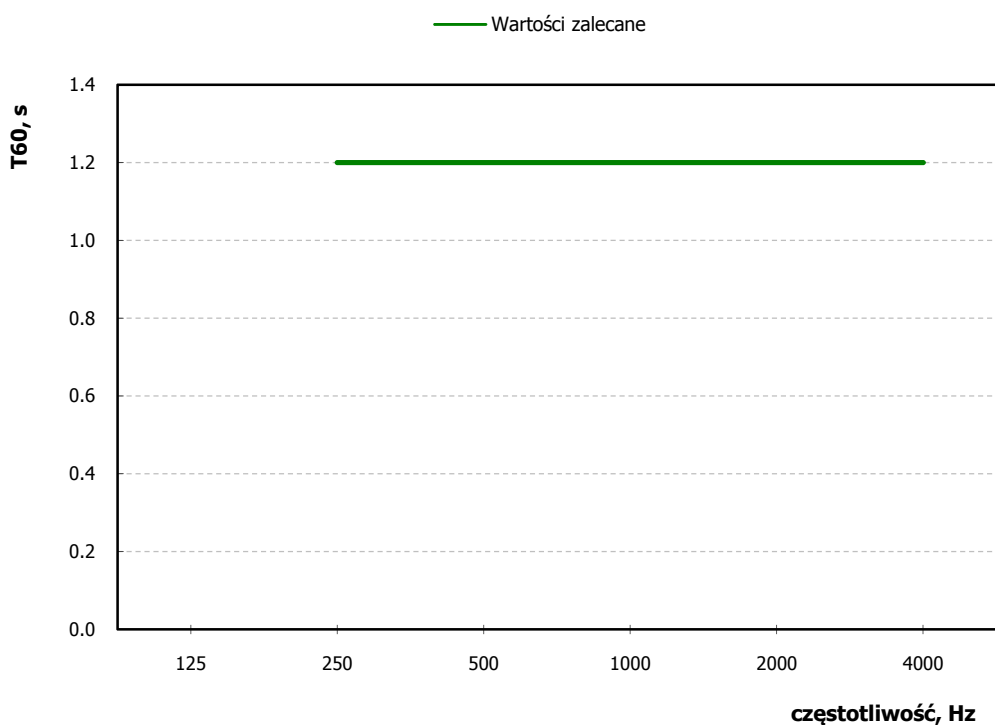
- wyniki pomiarów charakterystyki pogłosowej - sprawozdanie AkustiX nr A-2018-08-24
- Uzgodnienia z Zamawiającym
- Katalogi, aprobaty techniczne i biblioteki elektroniczne producentów materiałów wykończenia wnętrz,
- Polska norma PN-EN ISO 11654: Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. 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 do 5000 m³ nie powinien przekraczać wartości 1,5 s dla sali pustej.

Ze względu na użytkowanie sali również w celach innych niż sportowe (np. prowadzenie zajęć lekcyjnych dla kilku grup zajęciowych jednocześnie) za wymagany czas pogłosu przyjęto **T₆₀=1,2 s**.

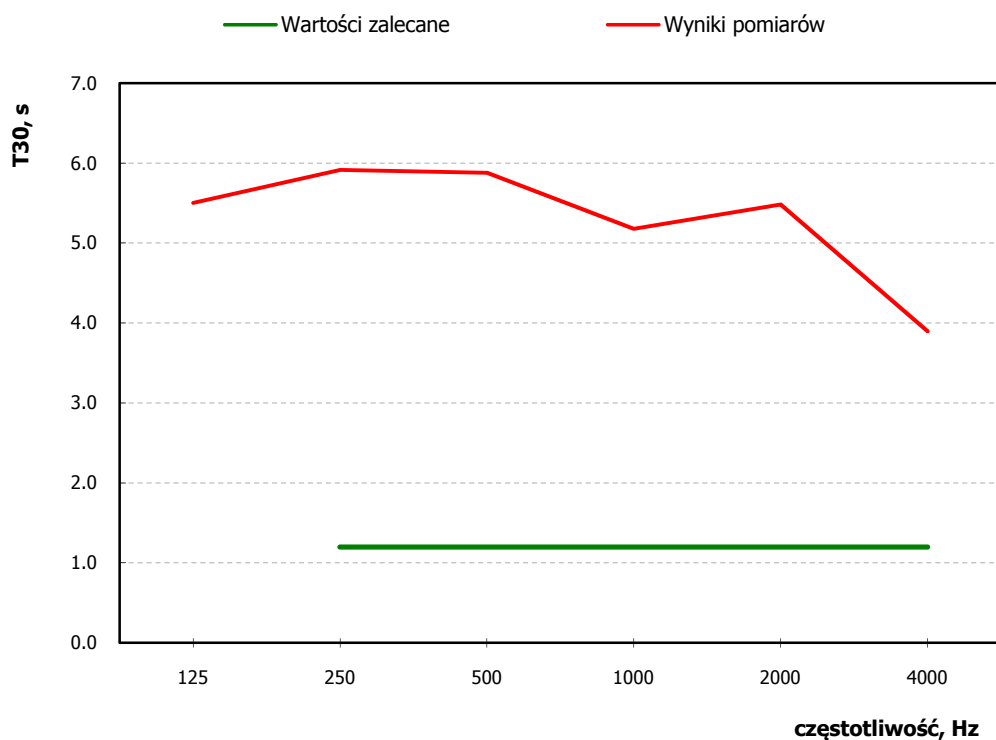
Zalecane wartości czasu pogłosu w funkcji częstotliwości przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Zalecane wartości czasu pogłosu

4. Wyniki pomiarów

Dnia 17.08.2018 w sali przeprowadzono pomiary akustyczne. Szczegółowy opis i wyniki pomiarów przedstawiono w sprawozdaniu pomiarowym nr A-2018-08-24 opracowanym przez Laboratorium Badawcze AkustiX. Na rysunku 2. przedstawiono wyniki pomiaru czasu pogłosu T_{20} w porównaniu z wartościami zalecanymi.



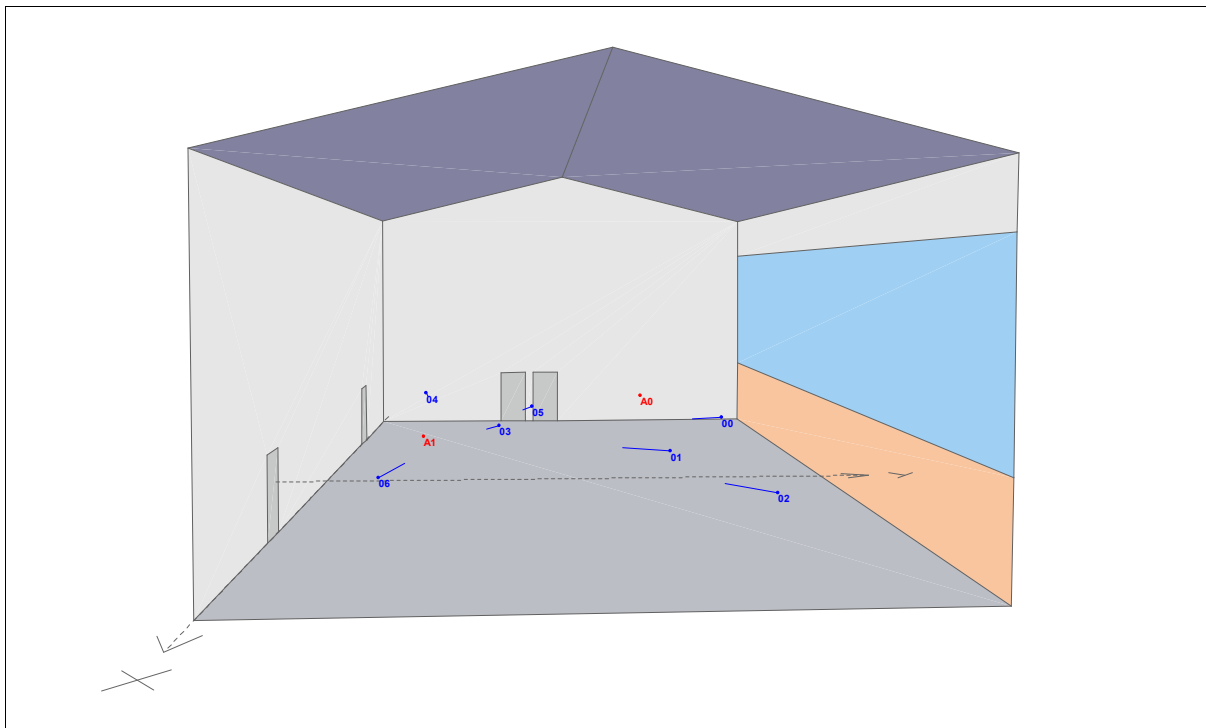
Rysunek 2. Czas pogłosu w stanie aktualnym hali w porównaniu z wartościami zalecanymi

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

5. Kalibracja modelu komputerowego

5.1. Model komputerowy wnętrza sali

Na podstawie rysunków architektonicznych oraz wizji lokalnej 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 $\approx 3100 \text{ m}^3$, a powierzchnia wszystkich ścian $\approx 1400 \text{ m}^2$

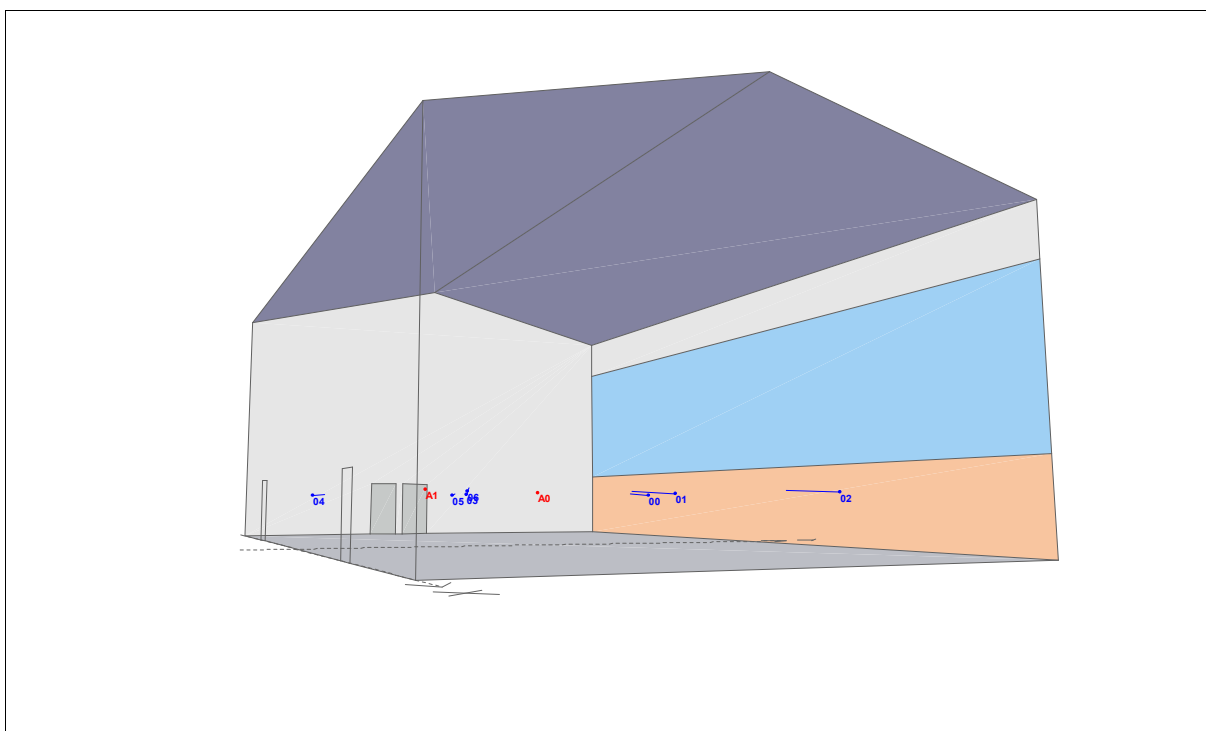
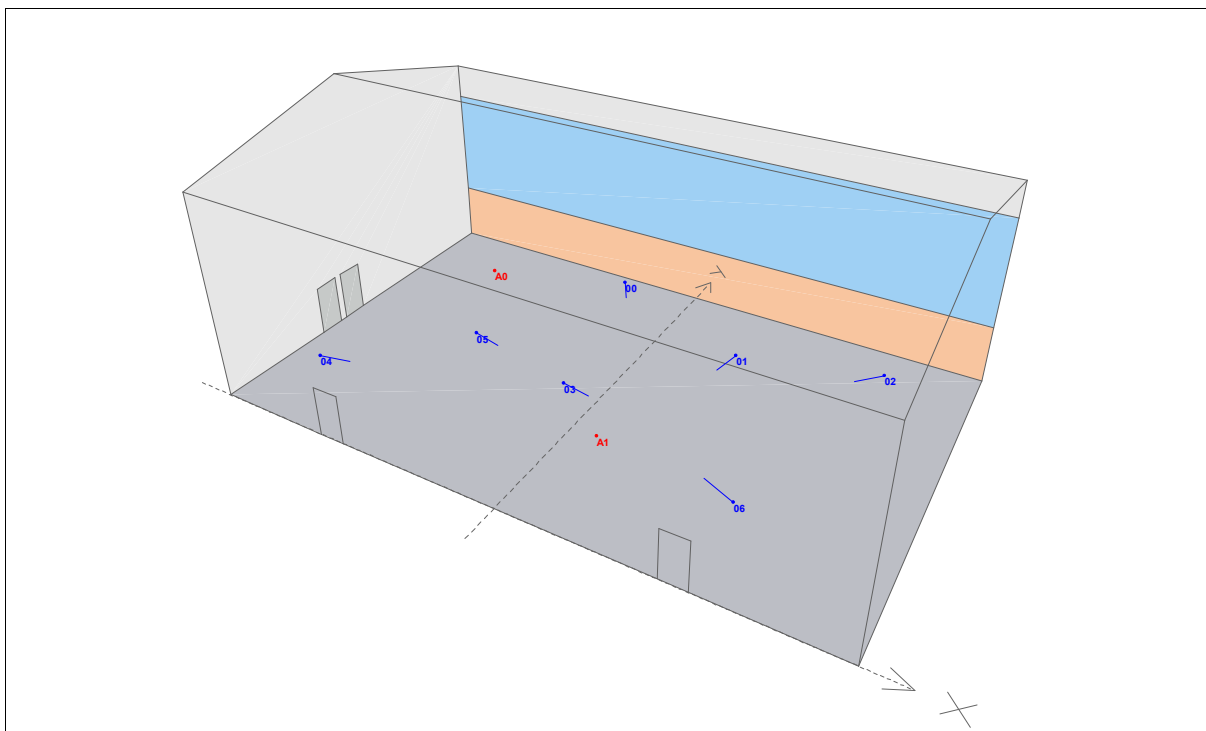
5.2. Kalibracja modelu

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. Ponadto, wartości współczynników pochłaniania dźwięku dachu oraz podłogi sportowej poddano kalibracji polegającej na takim dopasowaniu ich współczynnika pochłaniania i rozproszenia dźwięku, który najbardziej przybliżał wynik obliczeń do wyniku pomiaru.

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 ²]	Współczynnik pochłaniania dźwięku (α_p)					
			125 Hz	250Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Podłoga sportowa	345	0,09	0,12	0,09	0,095	0,055	0,04
2	Ściany – tynk	485	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
3	Sufit - płyta obornicka	355	0,10	0,08	0,075	0,08	0,05	0,025
4	Okna	105	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
5	Drzwi	8	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03



Rysunek 4. Rozmieszczenie materiałów wykończeniowych w sali

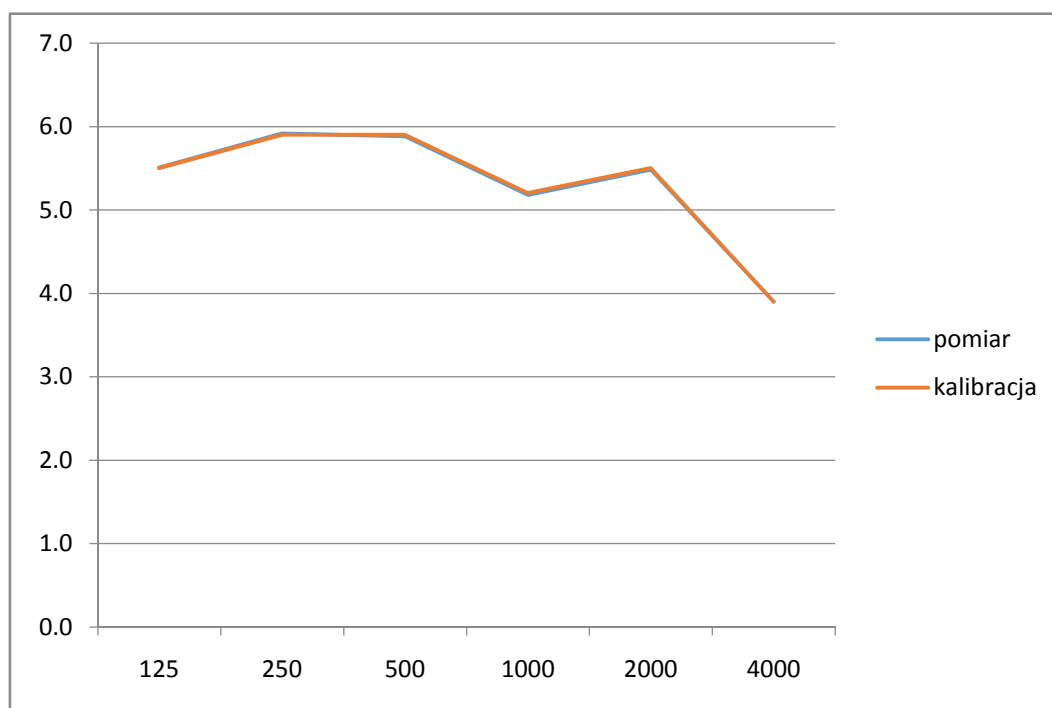
5.3. Wyniki symulacji komputerowych

Obliczenia przeprowadzono uwzględniając warunki meteorologiczne panujące podczas pomiarów: temperatura powietrza $T=23^{\circ}$ oraz wilgotność $h=59\%$.

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	5,5	5,9	5,9	5,2	5,5	3,9
$T_{20}[s]$ - wynik symulacji komputerowych	5,5	5,9	5,9	5,2	5,5	3,9



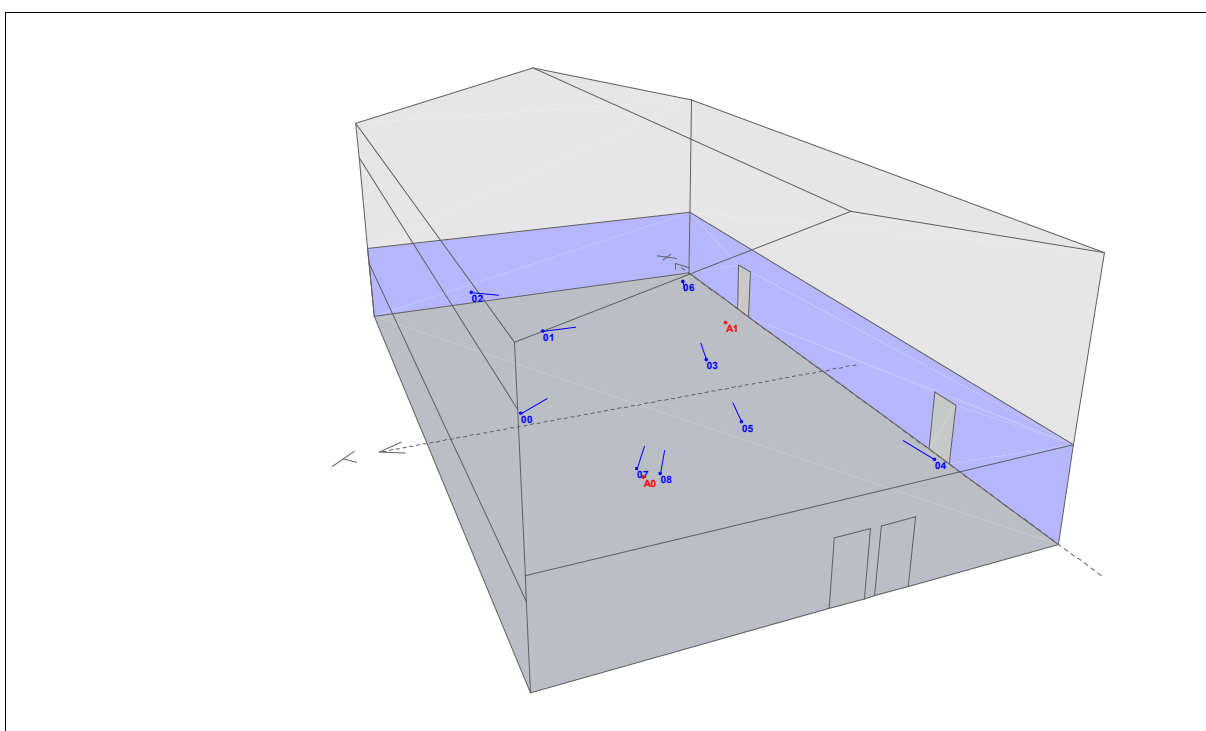
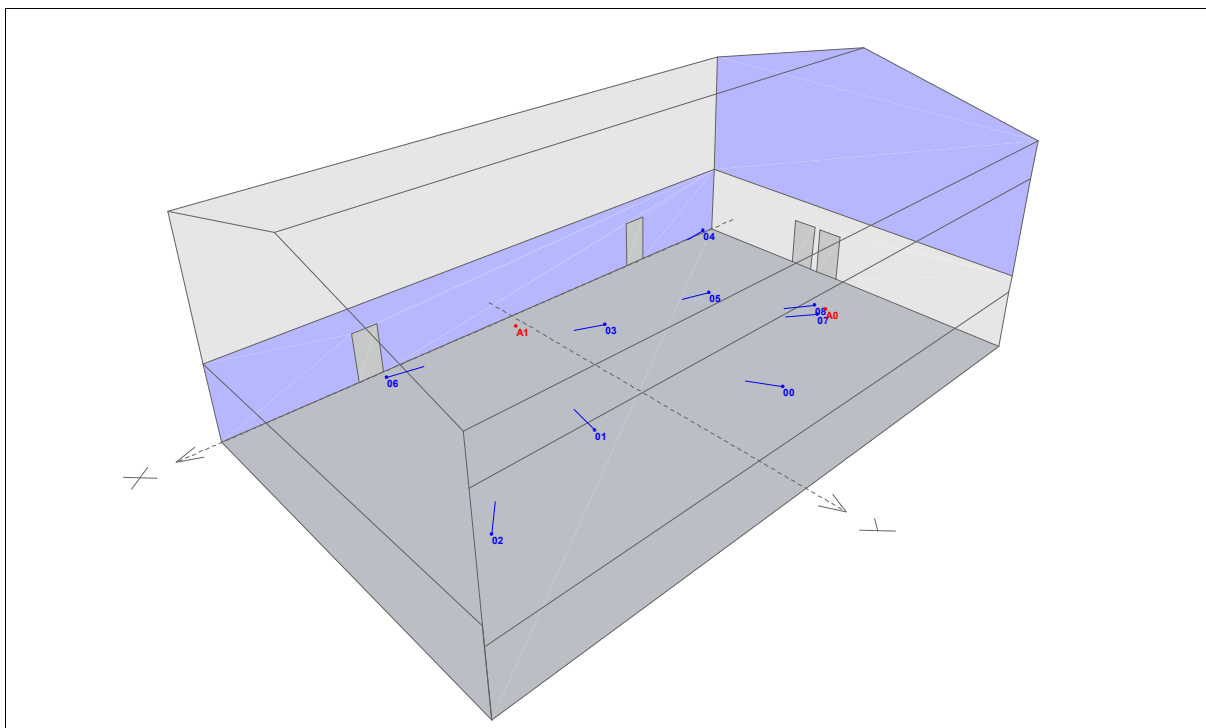
Rysunek 5. Porównanie wyników czasu pogłosu uzyskanych podczas pomiarów oraz w symulacji komputerowej

6. Zalecenia adaptacji akustycznej

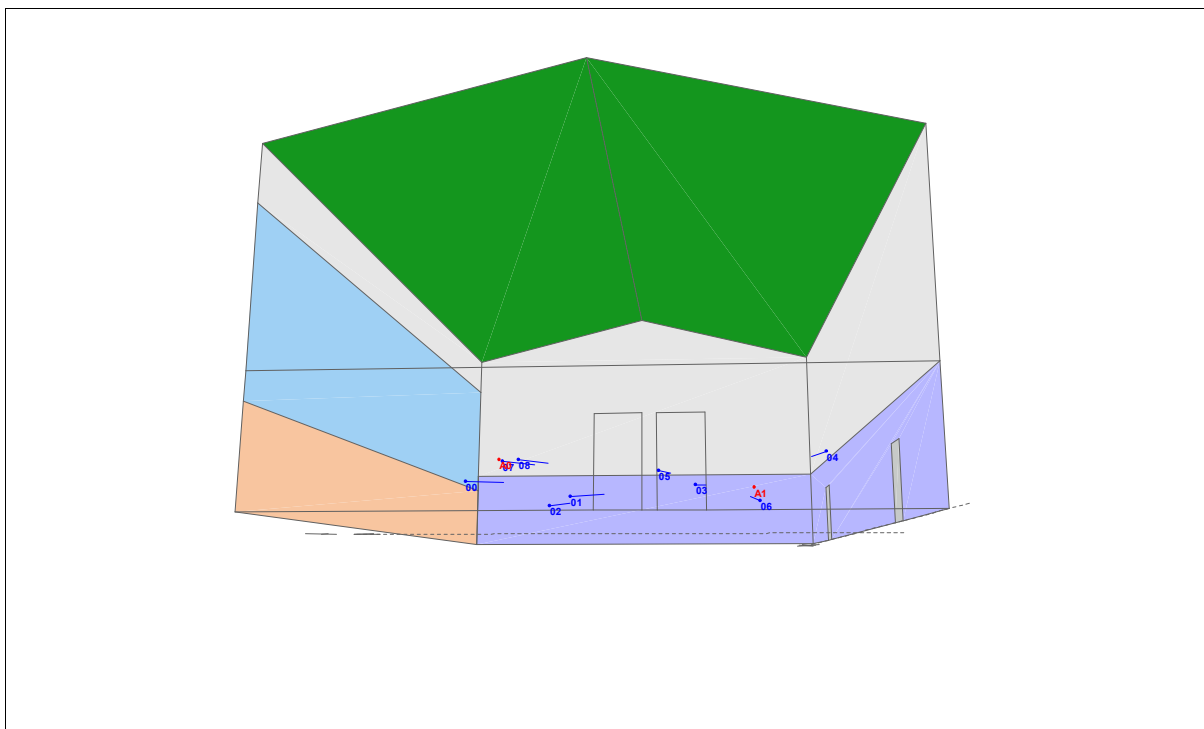
W celu obniżenia czasu pogłosu w sali należy zastosować materiały dźwiękochłonne na suficie i części ścian bocznych. Opis materiałów wraz z ich współczynnikami pochłaniania dźwięku przedstawiono w tabeli 3. Rozmieszczenie materiałów przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

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

Oznaczenie materiału	Opis materiału	Powierzchnia [m ²]	Współczynnik pochłaniania dźwięku (α_p)					
			125 Hz	250Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Sufit – płyty Ecophon advantage gr. 15mm, cw. 200mm	355	0,40	0,80	0,99	0,80	0,95	0,95
2	Ściany szczytowe (jedna ściana powyżej drzwi - od wysokości 300 cm nad podłogą do wysokości dachu, druga ściana - od podłogi do wysokości 300cm) oraz ścianę dłuższą od strony szatni do wysokości 300cm ponad podłogą) płyty Ecophon Super G Plus gr.40mm (c.w.k – 50mm)	200	0,25	0,75	0,95	0,99	0,99	0,90



Rysunek 6. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - ściana boczna i ściany szczytowe

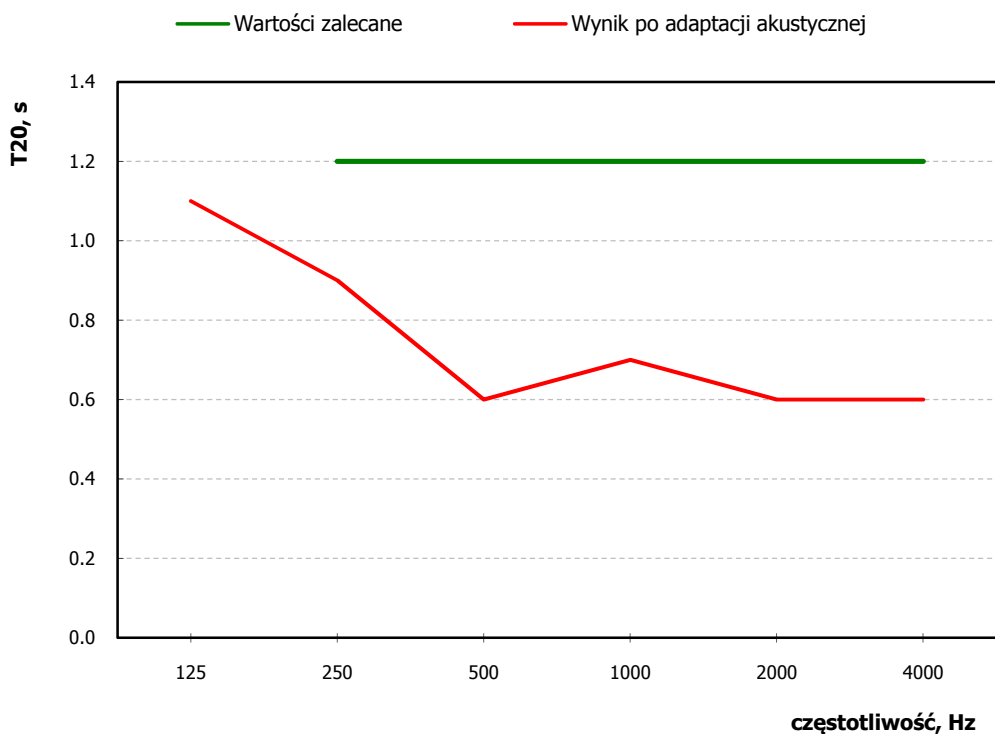


Rysunek 7. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - sufit

Wynik obliczeń czasu pogłosu po zastosowaniu powyższych materiałów adaptacji akustycznej przedstawiono na rysunku 8 i w tabeli 4.

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	1,1	0,9	0,6	0,7	0,6	0,6



Rysunek 8. Wynik obliczeń czasu pogłosu po adaptacji akustycznej

7. Podsumowanie

Czas pogłosu w sali sportowej Szkoły Podstawowej w Buku nie spełnia obecnie wymagań Polskich Norm. Wartość czasu pogłosu dla średnich częstotliwości dźwięku wynosi aktualnie ≈ 5.5 s wobec wymaganej wartości $\approx 1,2$ s. Jest to bardzo duże przekroczenie wartości dopuszczalnej, które skutkuje niską zrozumiałością mowy w sali oraz może powodować poważne zagrożenie chorobowe dla narządu artykulacji osób pracujących w Sali.

W celu polepszenia warunków akustycznych w sali niezbędna jest adaptacja akustyczna polegająca na zastosowaniu materiałów dźwiękochłonnych na suficie, ścianach szczytowych i części ścian bocznych. Pozwoli ona na obniżenie czasu pogłosu do ≈ 0.7 s zwiększając przez to zrozumiałość mowy ograniczając w znacznym stopniu hałas pogłosowy.