

Zalecenia adaptacji akustycznej sali sportowej przy społecznej szkole podstawowej Nr 2 STO w Poznaniu

Opracowanie:

dr Piotr Pękala

A handwritten signature in blue ink, reading "Piotr Pękala", is placed to the right of the printed name.

Przeźmierowo, grudzień 2021

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

1. Wstęp

Celem opracowania jest przedstawienie zaleceń adaptacji akustycznej szkolnej sali sportowej.

Zakres opracowania obejmuje następujące zagadnienia:

- określenie wymagań w zakresie akustyki wnętrz (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 wnętrz,
- symulacja warunków pogłosowych w sali po adaptacji akustycznej

2. Materiały wyjściowe

W opracowaniu wykorzystano następujące materiały wyjściowe:

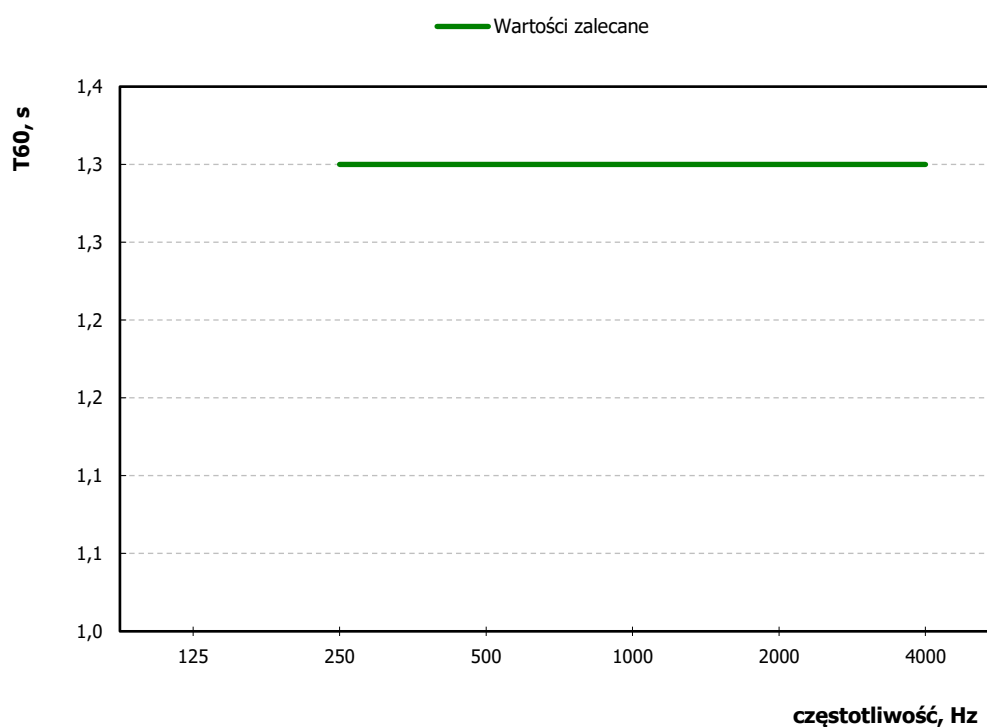
- Uzgodnienia z Zamawiającym
- Katalogi, aprobaty techniczne i biblioteki elektroniczne producentów materiałów wykończenia wnętrz,
- Polska norma PN-EN ISO 11654: Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku. Wydawnictwo PKN, Warszawa, 1999,
- Polska norma PN-B-02151-4:2015-06: 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 mniejszej niż 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, akademie, itp.) oraz stosowania nagłośnienia, za wymagany czas pogłosu przyjęto **$T_{60} \leq 1,3$ s.**

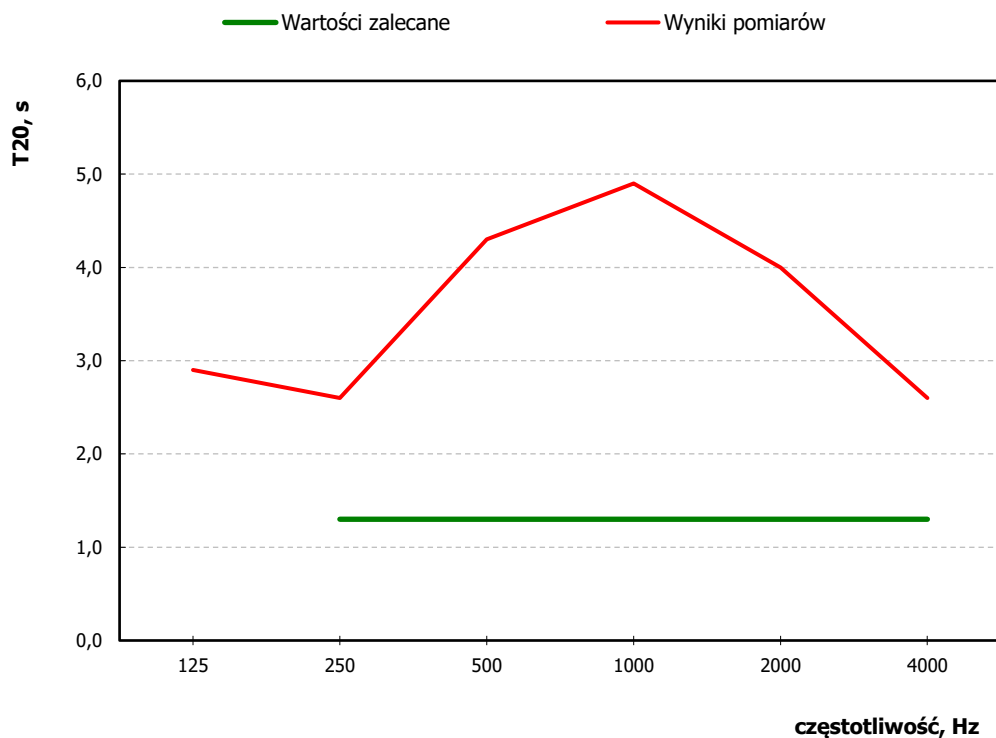
Zalecane wartości czasu pogłosu w funkcji częstotliwości przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Zalecane wartości czasu pogłosu z uwzględnieniem stosowania nagłośnienia

4. Wyniki pomiarów

Dnia 10.12.2021 w sali przeprowadzono pomiary akustyczne. Pomiary wykonano metodą bezpośrednią – pomiary odpowiedzi impulsowej na pobudzenie impulsem (wystrałał pistoletu startowego). Zastosowano 2 położenia źródła dźwięku, 8 położenia mikrofonu dla każdego położenia źródła dźwięku oraz 3 uśrednienia dla każdego położenia mikrofonu. Łącznie do wyznaczenia charakterystyki pogłosowej metodą krzywej Schroedera wykorzystano 51 kombinacji źródło/punkt obserwacji. Na rysunku 2. przedstawiono wyniki pomiaru czasu pogłosu T_{20} w porównaniu z wartościami zalecanymi.



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

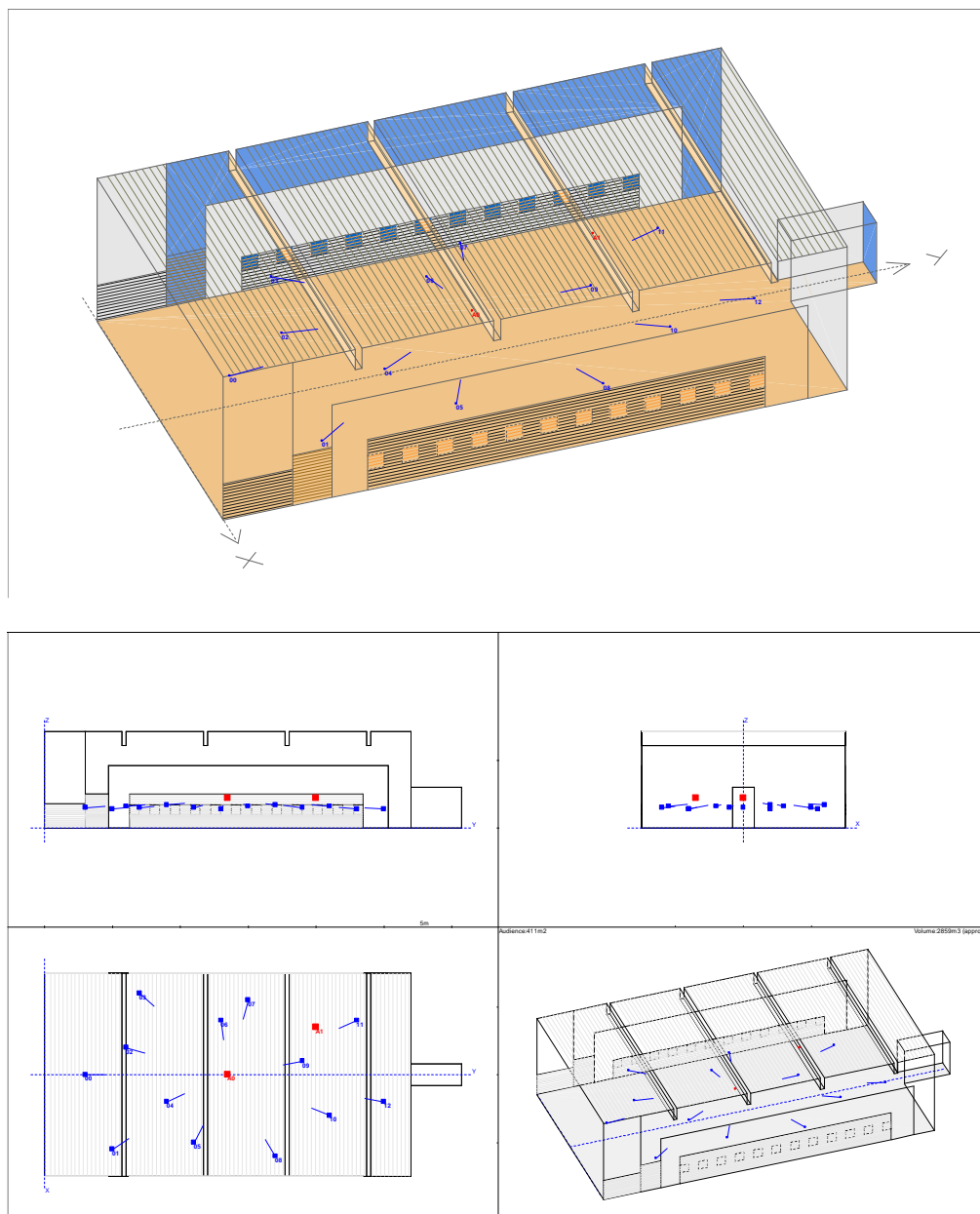
Obecnie występujący w Sali pogłos znacznie przewyższa wartości zalecane dla sal sportowych oraz szkolnych sal sportowych.

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

5. Kalibracja modelu komputerowego

5.1. Model komputerowy wnętrza sali

Na podstawie obmiaru w dniu pomiarów i dokumentacji fotograficznej 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 $\approx 2850 \text{ m}^3$, a powierzchnia wszystkich ścian $\approx 1560 \text{ m}^2$

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, podłogi sportowej i tafli szklanych 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	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Podłoga sportowa	411	0,35	0,40	0,09	0,05	0,10	0,08
2	Ściany – tynk	450	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05
3	Sufit – blacha trapezowa	390	0,25	0,30	0,08	0,08	0,08	0,06
4	Dźwigary z drewna klejonego	140	0,11	0,15	0,07	0,08	0,08	0,10
5	Przeszklenia nieotwieralne	150	0,18	0,45	0,09	0,03	0,02	0,02
6	Okna	12	0,10	0,15	0,05	0,05	0,02	0,02

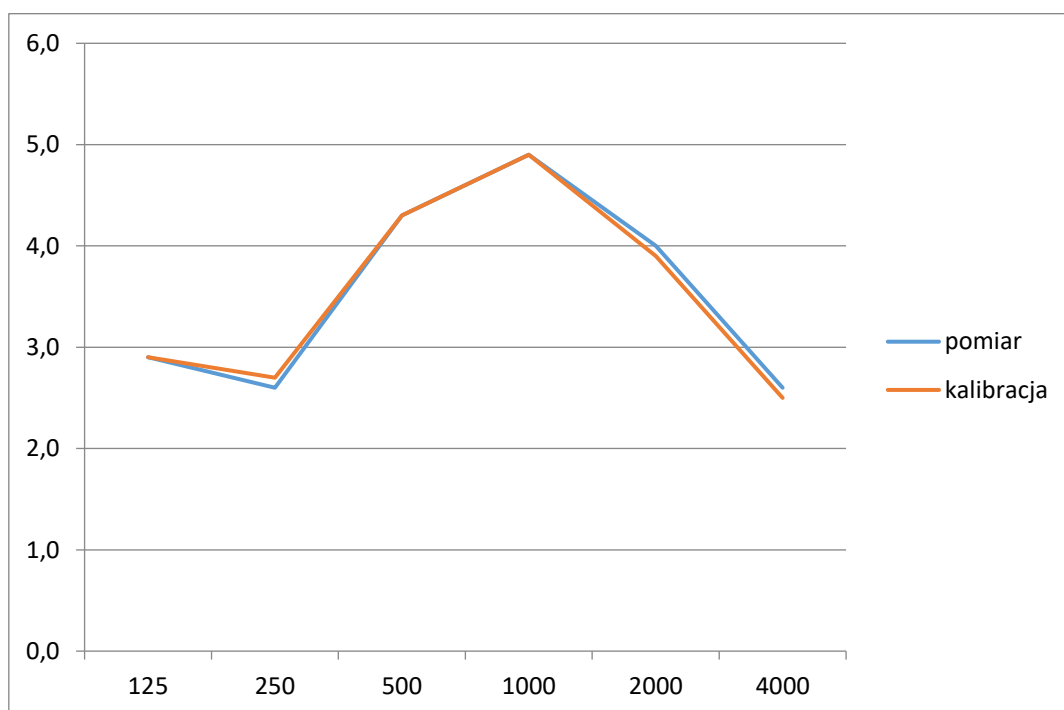
AKUSTIX

5.3. Wyniki symulacji komputerowych

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	2,9	2,6	4,3	4,9	4,0	2,6
$T_{20}[s]$ - wynik symulacji komputerowych	2,9	2,7	4,3	4,9	3,9	2,5



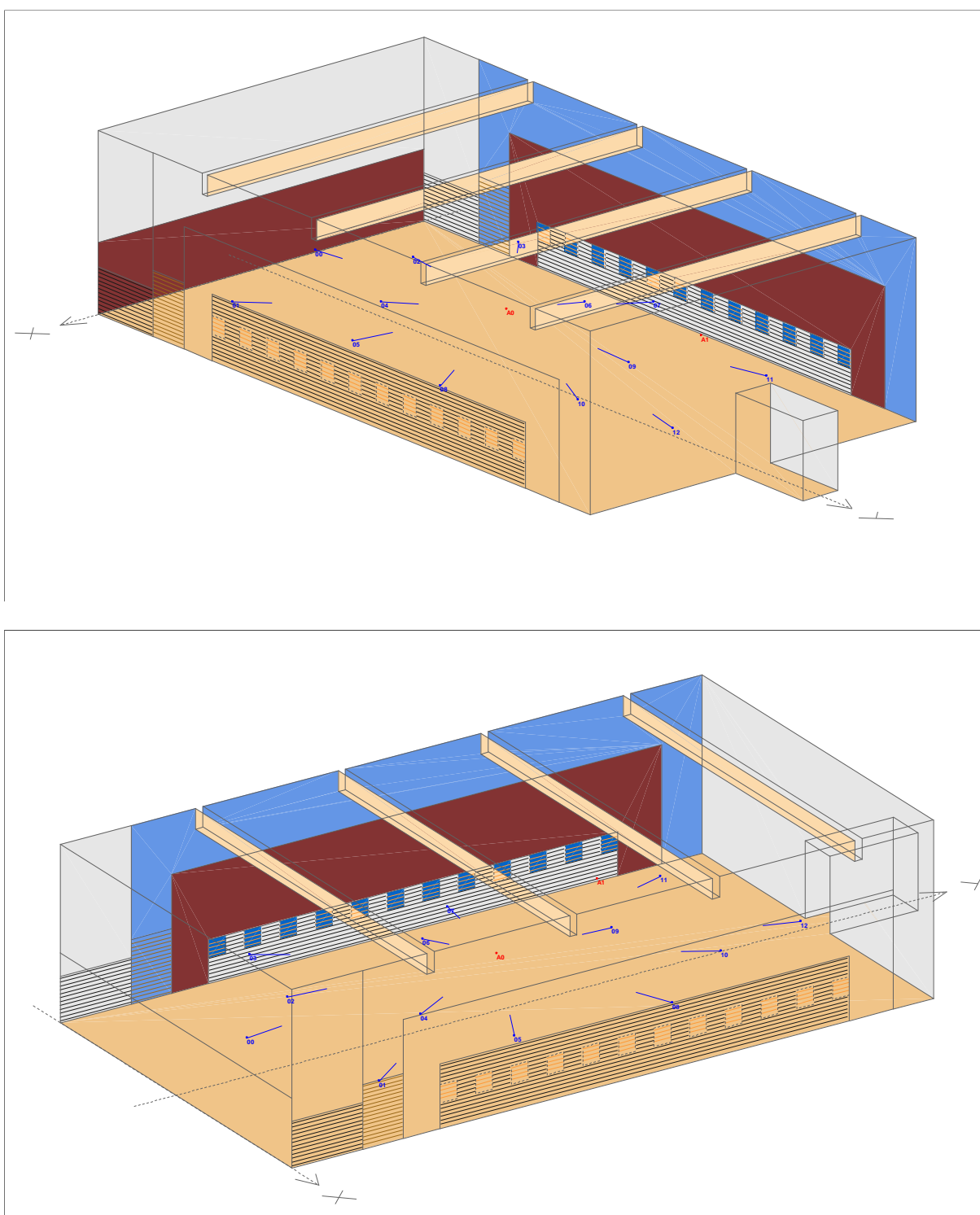
Rysunek 5. Porównanie wyników czasu pogłosu uzyskanych podczas pomiarów oraz w symulacji komputerowej

6. Zalecenia adaptacji akustycznej

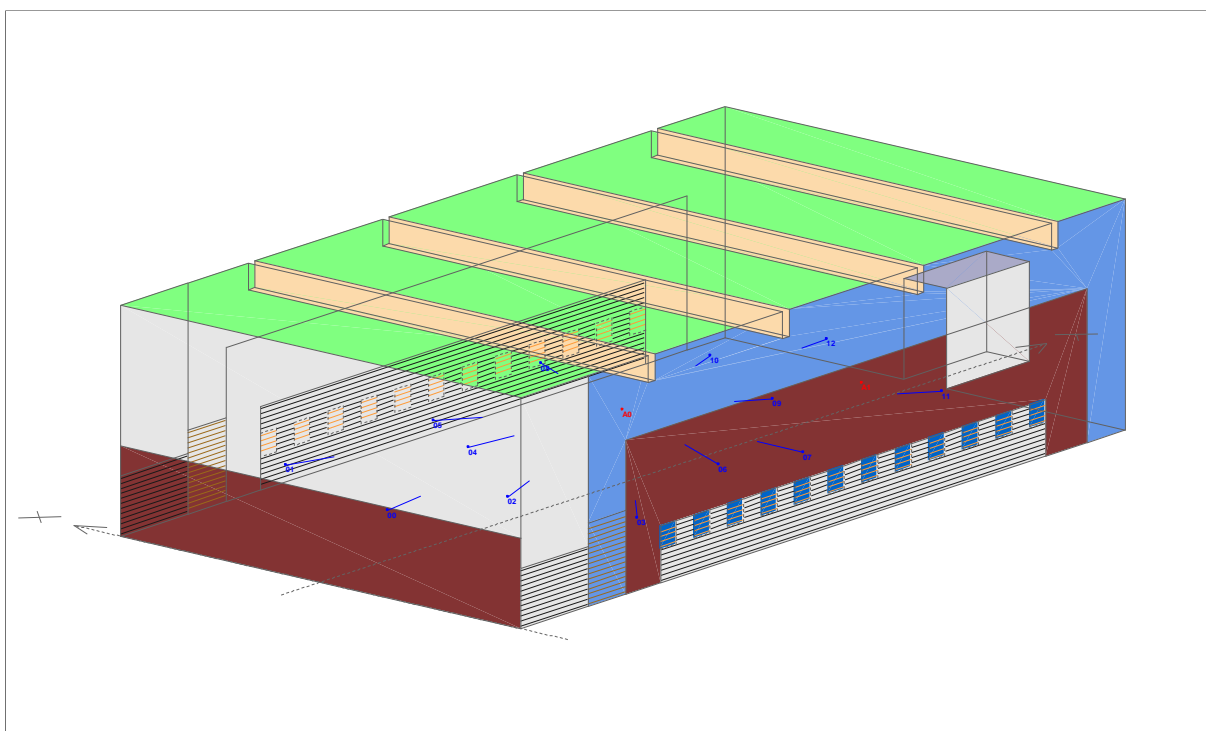
W celu obniżenia czasu pogłosu w sali należy zastosować materiały dźwiękochłonne na suficie i części ścian bocznych. Opis materiałów wraz z ich współczynnikami pochłaniania dźwięku przedstawiono w tabeli 3. Rozmieszczenie materiałów przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

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	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	Sufit – płyty Ecophon Super G gr.35mm (c.w.k – 200 mm).	390	0,55	0,85	0,85	0,99	0,99	0,99
2	Ściana szczytowa naprzeciwko wejścia do Sali, od poziomu podłogi do wysokości 3m nad poziomem podłogi - płyty Ecophon Super G Plus gr.40mm (c.w.k – 50mm)	45	0,20	0,75	0,99	0,99	0,99	0,99
3	Ściana boczna Sali, (na prawo od wejścia głównego) od wysokości podłogi do wysokości przeszklenia fasadowego z pominięciem obszaru, na którym występują okna - płyty Ecophon Super G Plus gr.40mm (c.w.k – 50mm)	70	0,20	0,75	0,99	0,99	0,99	0,99



Rysunek 6. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - ściana boczna i ściana szczytowa

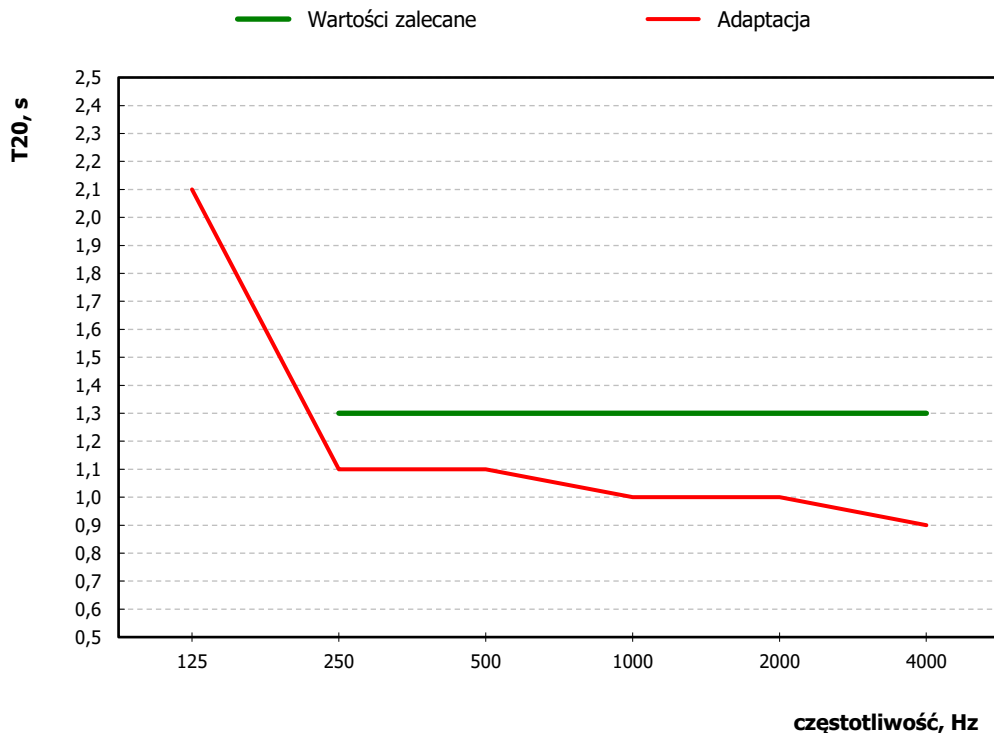


Rysunek 7. Rozmieszczenie materiałów adaptacji akustycznej - sufit

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	2,1	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9



Rysunek 8. Wynik obliczeń czasu pogłosu po adaptacji akustycznej

7. Podsumowanie

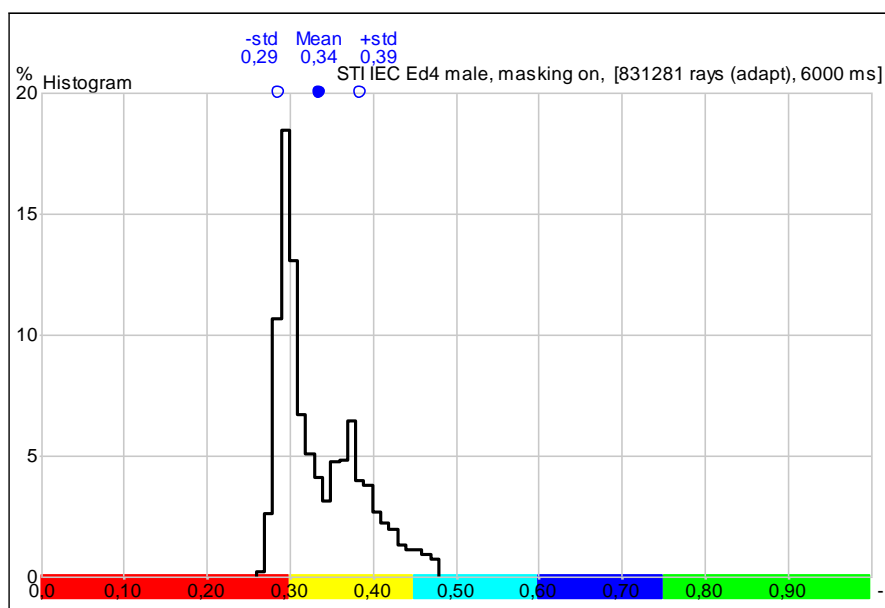
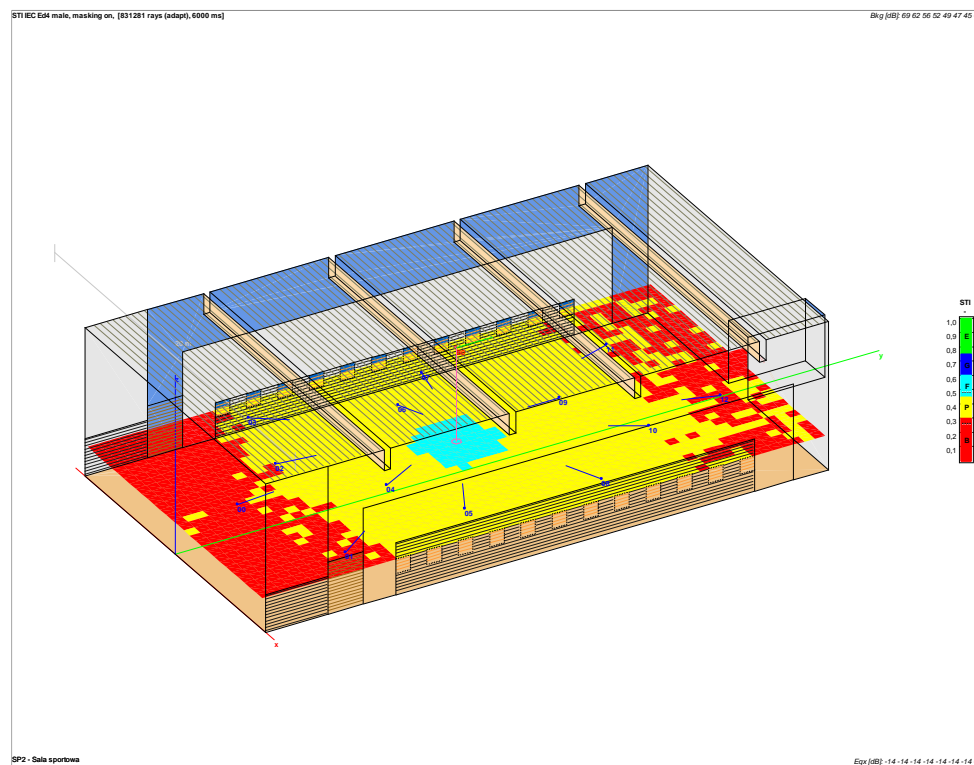
Czas pogłosu w sali sportowej przy społecznej szkole podstawowej Nr 2 STO w Poznaniu nie spełnia obecnie wymagań Polskich Norm. Wartość czasu pogłosu dla średnich częstotliwości dźwięku wynosi aktualnie $\approx 4,5$ s wobec wymaganej wartości $\approx 1,5$ s (w przypadku stosowania nagłośnienia zalecana wartość $\leq 1,3$ 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, jednej ścianie szczytowej i części jednej ścian bocznej. Pozwoli ona na obniżenie czasu pogłosu do $\approx 1,1$ s zwiększając przez to zrozumiałość mowy.

Wyższe wartości czasu pogłosu dla oktawowego pasma częstotliwości 125 Hz nie wpłynie na zrozumiałość mowy - dla tego pasma częstotliwości nie określono wymagań w PN-B-02151-4:2015

Poniżej zestawiono symulację rozkładu wskaźnika zrozumiałości mowy na powierzchni Sali sportowej w stanie przed adaptacją i po adaptacji akustycznej. Przyjęto poziom nagłośnienia $L_A=70$ dBA, oraz poziom tła akustycznego $L_{A,T}\approx 60$ dBA. Wartość wymagana $STI \geq 0,5$.

Przed adaptacją akustyczną



Po adaptacji akustycznej

