

## **1.Przedmiot i zakres rzeczowy dokumentacji**

Przedmiotem dokumentacji jest adaptacja akustyczna auli Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu. Zakres niniejszego opracowania obejmuje dobór i rozmieszczenie materiałów dźwiękochłonnych dla otrzymania jak najlepszych warunków akustycznych.

## **2. Wstęp teoretyczny**

Celem adaptacji akustycznej pomieszczenia jest zapewnienie odpowiednich warunków dla komfortowego użytkowania sali. Zjawiska towarzyszące rozchodzeniu się dźwięku w pomieszczeniu są odmienne niż w przypadku przestrzeni otwartej. Ściany odbijają falę dźwiękową pochłaniając jej energię przy każdym odbiciu. Źródło dźwięku promieniującego w pomieszczeniu ze stałą mocą pokrywa straty energii i po pewnym czasie następuje stan ustalony, w którym energia wyemitowana przez źródło jest równa energii pochłoniętej przez powierzchnie pomieszczenia. W momencie, gdy źródło zostanie wyłączone energia dźwięku stopniowo zanika. Zjawisko to nazywa się pogłosem. Obrazuje to fig.1. Czas, w którym natężenie dźwięku zmniejsza się o 60 dB nazywany jest czasem pogłosu. Wielkość ta zależy od liczby odbić fal akustycznych w ciągu 1 s, a więc od średniej długości swobodnej drogi fali między dwoma kolejnymi odbiciami i od ilości energii pochłanianej w ciągu jednego odbicia.

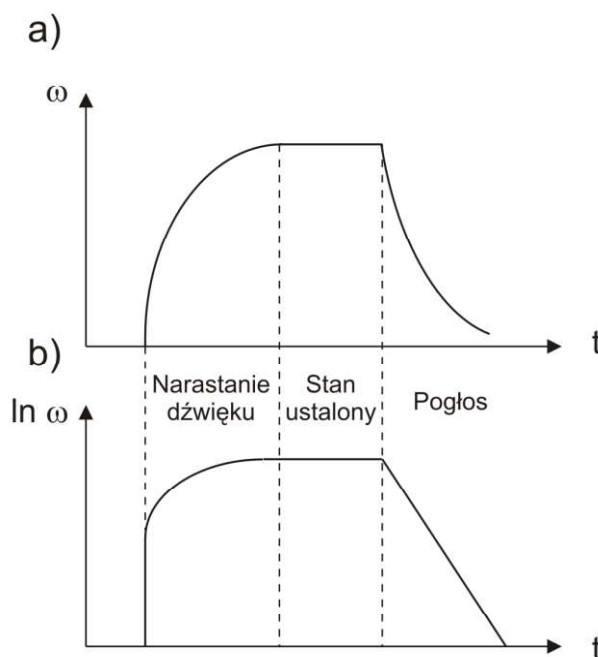


Fig.1 Narastanie, stan ustalony i zanikanie dźwięku (pogłos): a) w skali liniowej; b) w skali logarytmicznej.

Wielkość tą można wyliczyć wykorzystując wzór Eyringa:

$$T = -\frac{0,161V}{S \ln(1-a)}$$

gdzie: T – czas pogłosu, V – całkowita objętość pomieszczenia, S – całkowita powierzchnia ścian, a – średni pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku.

Innym parametrem opisującym jakość warunków akustycznych w pomieszczeniu jest wskaźnik STI (Speech Transmission Index), który opisuje jakość transmisji mowy od źródła do uszu słuchacza. Funkcja przeniesienia modulacji może być wyznaczona wieloma sposobami: przy użyciu sygnału mowy, specjalnych sygnałów testowych lub korzystając z odpowiedzi impulsowej pomieszczenia, a dokładnie z transmitancji kanału transmisyjnego. Sygnał pobudzenia modulowany jest 14 częstotliwościami (0,63 Hz; 0,8 Hz; 1 Hz; 1,25 Hz; 1,6 Hz; 2,0 Hz; 2,5 Hz; 3,15 Hz; 4 Hz; 5 Hz; 6,3 Hz; 8 Hz; 10 Hz; 12,5 Hz) w 7 pasmach oktaowych o częstotliwościach środkowych od 125 Hz do 8 kHz. Po zarejestrowaniu odpowiedzi kanału transmisyjnego analizuje się jak wpłynął on na modulacje sygnału pobudzenia. W przypadku, gdy dostępna jest już transmitancja można wyznaczyć

wskaźnik STI wyznaczając w każdej oktawie najpierw zespoloną funkcję przeniesienia modulacji (CMTF) dla każdej z 14 częstotliwości modulujących  $F_{\text{mod}}$ :

$$CMTF(F_{\text{mod}}) = \frac{\sum_{i=f_d}^{f_g} H(i) \cdot H(L_F - 1)}{\sum_{i=f_d}^{f_g} |H(i)|^2}$$

gdzie:  $H(i)$  – transmitancja,  $L_F$  – numer prążka odpowiadający częstotliwości modulacji  $F_{\text{mod}}$ ,  $f_g$  – częstotliwość górna pasma,  $f_d$  – częstotliwość dolna pasma.

Następnie wprowadza się skalę logarytmiczną:

$$S/N(F_{\text{mod}}) = 10 \log \frac{CMTF(F_{\text{mod}})}{1 - CMTF(F_{\text{mod}})}$$

Wartość  $S/N$  normalizuje się w zakresie  $\pm 15$  dB i liczy wartość średnią w oktawie:

$$S/N = \frac{\sum_{F_{\text{mod}}=1}^{14} S/N(F_{\text{mod}})}{14}$$

Ostateczne wyznaczenie wskaźnika STI to proste unormowanie do wartości z zakresu  $0 \div 1$  [7]:

$$STI = \frac{S/N + 15}{30}$$

Przyjmuje on wartość w zakresie od 0 (najgorsza zrozumiałość) do 1 (zrozumiałość idealna), przy czym powyżej wartości 0,6 przyjmuje się bardzo dobrą zrozumiałość mowy.

Kolejnymi istotnymi parametrami są  $C50$  i  $C80$ , określające przejrzystości przekazu, tzn. stosunek energii docierającej wcześniej do energii docierającej

później. W zależności od tego czy wyniki mają odnosić się do warunków dla mowy czy muzyki mogą być obliczane odpowiednio dla pierwszych 50 ms lub 80 ms odpowiedzi impulsowej pomieszczenia.

$$C_{te} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{te} h^2(t) dt}{\int_{te}^{\infty} h^2(t) dt} \right) dB$$

gdzie:  $C_{te}$  – wskaźnik energii wczesnej do później,  $te$  – granica przedziału czasu wczesnego równa 50 ms lub 80 ms.

### 3. Założenia projektowe

Podstawowe dane pomieszczenia:

Objętość : ok. 1340 m<sup>3</sup>

Całkowita powierzchnia płaszczyzn ograniczających pomieszczenie: ok. 1300 m<sup>2</sup>

Szerokość : ok. 23,9 m

Długość: : ok. 18,6 m

Wysokość: ok. 4,6 m

Zalecane wartości parametrów akustycznych wg normy PN-B-02151-4:2015 „Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.” dla sal i pracowni szkolnych, sal audytoryjnych, wykładowych w szkołach podstawowych, średnich i wyższych i innych pomieszczeń o podobnym przeznaczeniu o objętości w zakresie od 500 m<sup>3</sup> do 2000 m<sup>3</sup>:

- wskaźnik jakości transmisji mowy STI > 0,6,

- Czas pogłosu dla 500 Hz < 1,0 s (dla pasma oktawowego 125 Hz dopuszczalne jest 30% odchylenie od tej wartości), wykres w funkcji częstotliwości przedstawiony jest na fig.2.

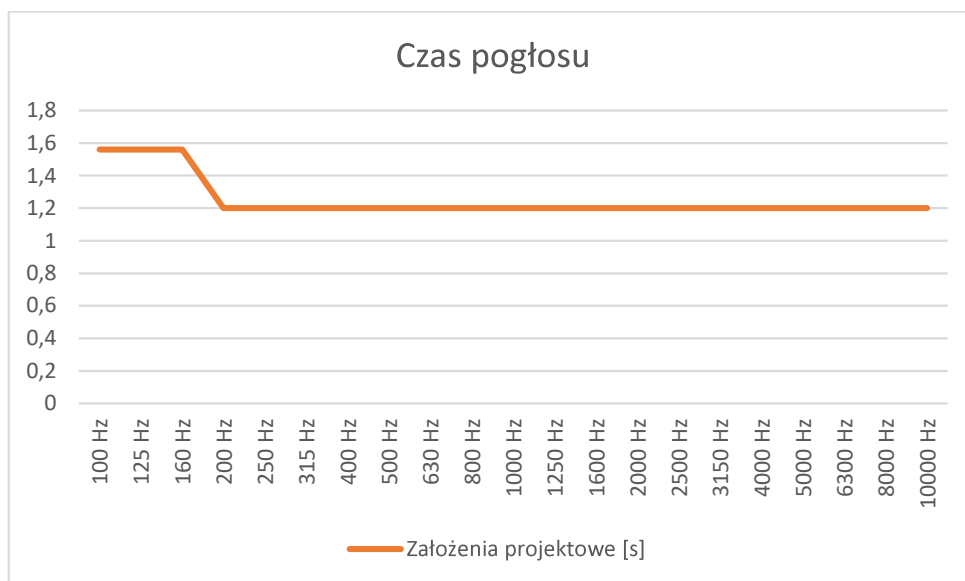
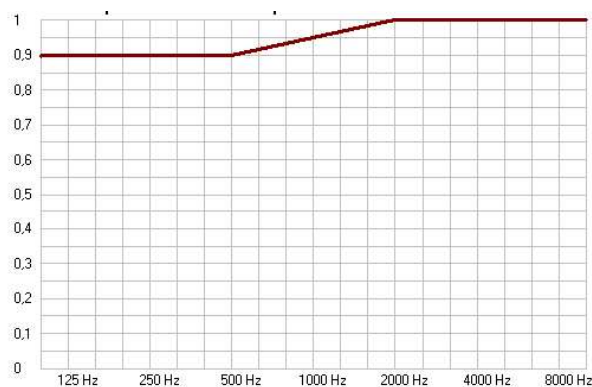


Fig.2 Oczekiwana wartość czasu pogłosu w auli.

#### 4. Opis proponowanego rozwiązania

W celu uzyskania zakładanych parametrów akustycznych proponuje się:

- w suficie wymienić istniejące płyty kasetonowe na płyty dźwiękochłonne wykonanymi z wełny szklanej w welonie o grubości min. 20 mm przy całkowitej wysokości montażowej minimum 200 mm z dodatkową warstwą wełny szklanej w welonie o grubości min. 50 mm, np. Ecophon Focus A + Extra Bass. Parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/-10 %):



- pozostałą część sufitu pozostawić w zabudowie wykonanej z płyt gipsowo-kartonowych,

- ścianę tylną oraz min. jedną ścianę boczną pokryć pasem od wysokości 1,0 m do wysokości 2,2 m od poziomu posadzki w miejscu montażu pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi z wełny szklanej w welonie o grubości min. 40 mm montowanymi bezpośrednio do powierzchni przegrody, np. Ecophon Akusto Wall A. Parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/-10 %):



- pozostałe powierzchnie pozostawić tynkiem gipsowym i wymalować,
- podłogę pokryć parkietem.

## 5. Symulacja

W celu weryfikacji zaproponowanego rozwiązania zostały przeprowadzone symulacje przy wykorzystaniu oprogramowania EASE 4.4.17 z modułem AURA. Komputerowe model pomieszczenia przedstawiony jest na fig.3 - fig.4.

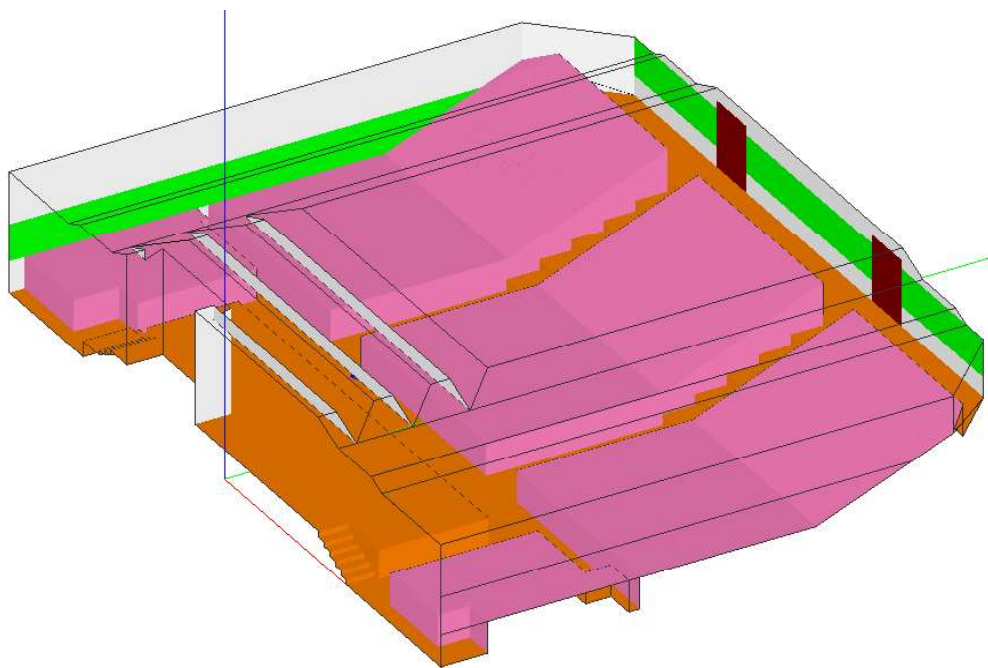


Fig.3 Komputerowy model auli.

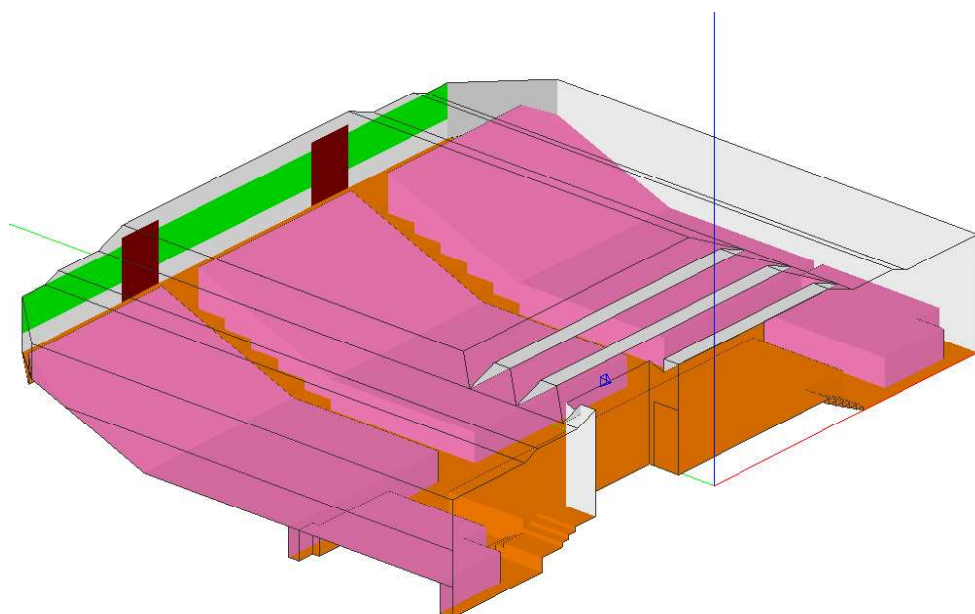


Fig.4 Komputerowy model auli.

## 6. Wyniki symulacji

Pasmo oktauwowe	ETD [s]	T10 [s]	T20 [s]	T30 [s]	Średnia [s]	Założenia projektowe [s]
100 Hz	0,65	0,75	0,83	0,98	0,80	1,56
125 Hz	0,65	0,75	0,85	1,09	0,84	1,56
160 Hz	0,61	0,70	0,77	0,94	0,76	1,56
200 Hz	0,58	0,67	0,71	0,81	0,69	1,2
250 Hz	0,55	0,63	0,67	0,76	0,65	1,2
315 Hz	0,52	0,61	0,64	0,74	0,63	1,2
400 Hz	0,50	0,58	0,62	0,72	0,61	1,2
500 Hz	0,48	0,55	0,60	0,67	0,58	1,2
630 Hz	0,48	0,55	0,60	0,69	0,58	1,2
800 Hz	0,47	0,55	0,59	0,68	0,57	1,2
1000 Hz	0,47	0,54	0,59	0,73	0,58	1,2
1250 Hz	0,46	0,54	0,58	0,67	0,56	1,2
1600 Hz	0,46	0,53	0,57	0,65	0,55	1,2
2000 Hz	0,45	0,52	0,59	0,69	0,56	1,2
2500 Hz	0,45	0,53	0,59	0,67	0,56	1,2
3150 Hz	0,45	0,53	0,56	0,63	0,54	1,2
4000 Hz	0,45	0,52	0,56	0,63	0,54	1,2
5000 Hz	0,43	0,50	0,54	0,59	0,52	1,2
6300 Hz	0,40	0,47	0,49	0,52	0,47	1,2
8000 Hz	0,36	0,44	0,45	0,47	0,43	1,2
10000 Hz	0,31	0,39	0,40	0,41	0,38	1,2
Średnia w paśmie 125 Hz - 4 kHz					0,61	1,25

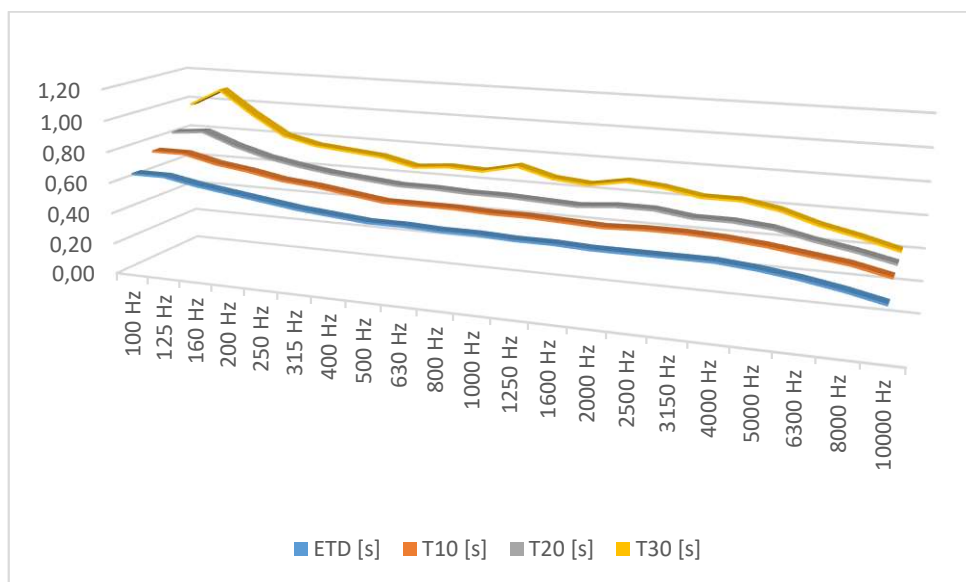


Fig.5 Wykres czasu pogłosu przy różnych metodach pomiarowych.

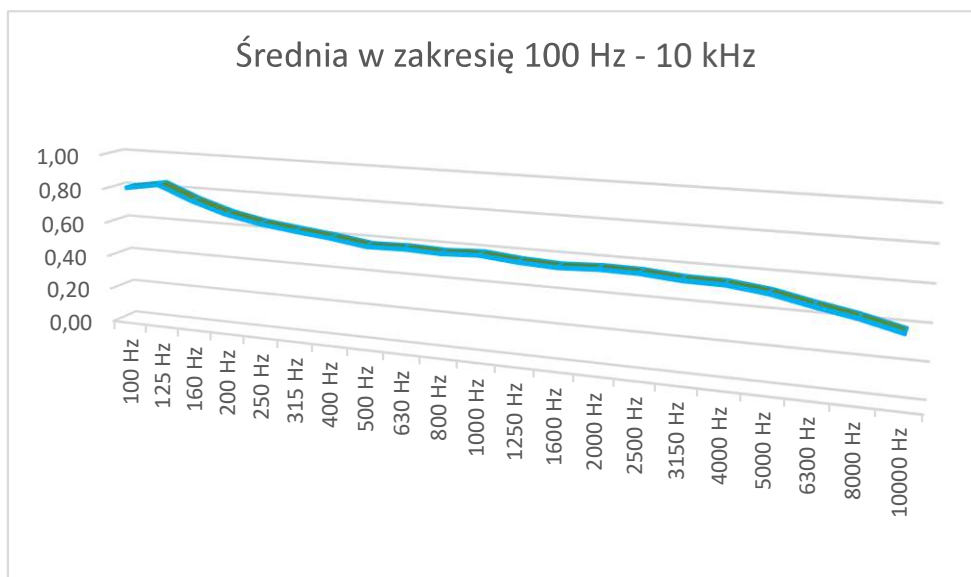


Fig.6 Wykres wartości średniej czasu pogłosu w paśmie 100 Hz – 10 kHz.

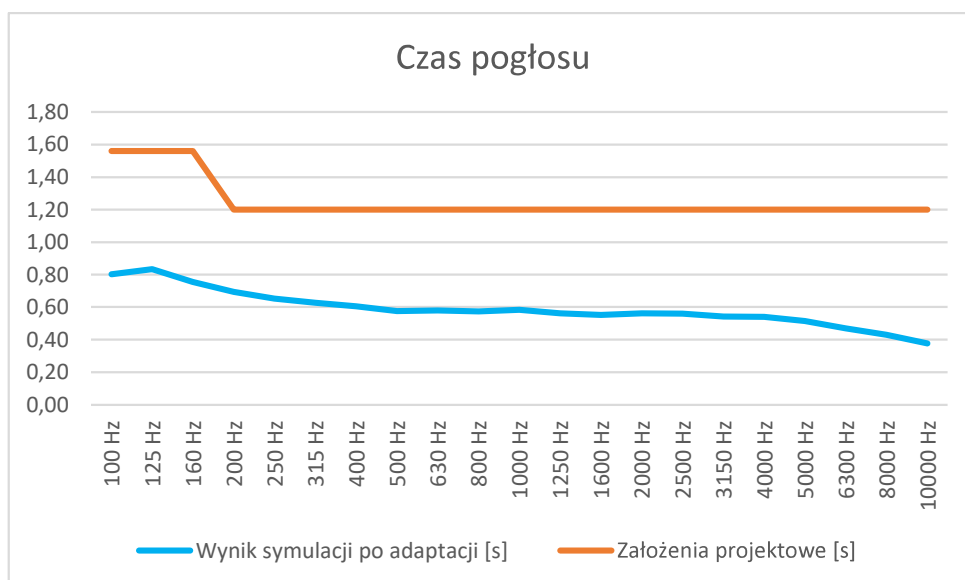


Fig.7 Wykres wartości średniej czasu pogłosu w paśmie 100 Hz – 10 kHz z uwzględnieniem założeń projektowych.

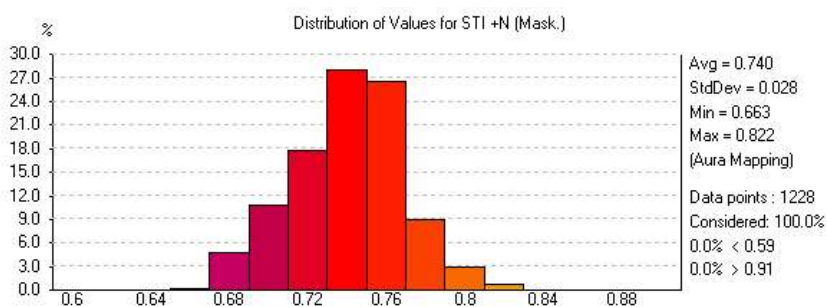


Fig.8 Wykres rozkładu wskaźnika jakości transmisji mowy STI.

## **6. Podsumowanie symulacji**

Przeprowadzone symulacje dały bardzo zadowalające wyniki, uzyskane wartości spełniają przyjęte założenia projektowe.