



**Koperek
Solutions**

Ul. Bytomska 13, 62-300 Września

508 056696

NIP 7891599567

e-mail: akustyka@kopereksolutions.pl
www.kopereksolutions.pl

Niniejszy projekt został przygotowany przez firmę Koperek Solutions wyłącznie na potrzeby Inwestora i jest chroniony prawnie (ustawa z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych, Dz.Ustaw RP Nr 24 z 23 lutego 1994 r., w szczególności art.3. i art.16.)

Inwestor: **Miasto Łomża**
Ul. Stary Rynek 14, 18-400 Łomża

Zlecający: **Atelier ZETTA**
Ul. Suraska 2/11, 15-422 Białystok

Temat opracowania: **Adaptacja akustyczna Hali Kultury w Łomży**

Branża: **Adaptacja akustyczna**

nr umowy:

Stadium:

nr tomu:

nr
upr.

data

podpis

Projektował: **mgr inż. Dariusz Borowiecki**

Sprawdził:

Zawartość opracowania:

1.PRZEDMIOT I ZAKRES RZECZOWY DOKUMENTACJI	2
2. WSTĘP TEORETYCZNY	2
3. CHARAKTERYSTYKA POMIESZCZEŃ I ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE.....	5
3.1 SALA WIELOFUNKCYJNA 0/28.....	5
3.2 SALA WIELOFUNKCYJNA MULTIMEDIALNO-EKSPOZYCYJNA 01/03	6
3.3 SALE WYSTAWIENNICZE 1/03	7
4. OPIS PROPONOWANEGO ROZWIĄZANIA	8
4.1 SALA WIELOFUNKCYJNA 0/28.....	8
4.2 SALA WIELOFUNKCYJNA MULTIMEDIALNO-EKSPOZYCYJNA 01/03	9
4.3 SALE WYSTAWIENNICZE 1/03	10
4.4. POZOSTAŁE POMIESZCZENIA	11
5. SYMULACJA	11
6. WYNIKI SYMULACJI	14
6.1 SALA WIELOFUNKCYJNA 0/28.....	14
6.2 SALA WIELOFUNKCYJNA MULTIMEDIALNO-EKSPOZYCYJNA 01/03	17
6.3 SALA WYSTAWIENNICZE 1/03.....	19
8. WNIOSKI	21

1. Przedmiot i zakres rzeczowy dokumentacji

Przedmiotem dokumentacji jest adaptacja akustyczna Hali Kultury w Łomży. 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.

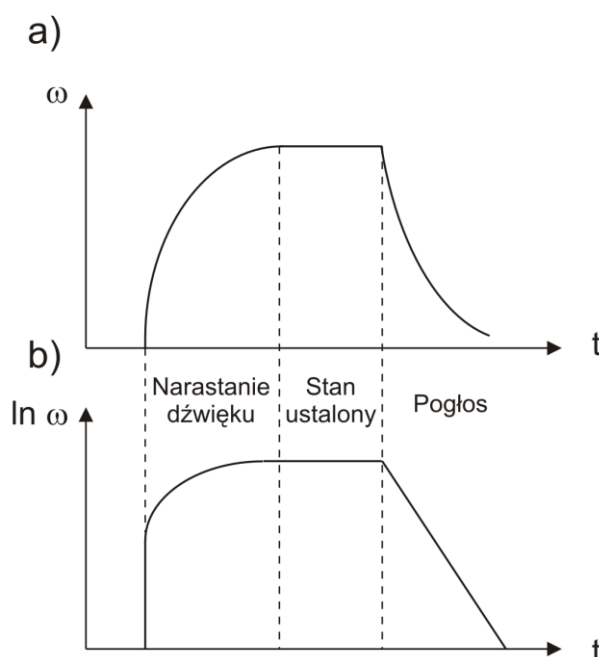


Fig.1 Narastanie, stan ustalony i zanikanie dźwięku (pogłos): a) w skali liniowej; b) w skali logarytmicznej.

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 oktawowych 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_{mod} :

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

gdzie: H(i) – transmitancja, L_F – numer prążka odpowiadający częstotliwości modulacji F_{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 ± 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 wartość 0,6 przyjmuje się bardzo dobrą zrozumiałość mowy.

Kolejnymi istotnymi parametrami są C_{50} i C_{80} , 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. Charakterystyka pomieszczeń i założenia projektowe

3.1 Sala wielofunkcyjna 0/28

Podstawowe dane pomieszczenia:

Objętość : ok. 2100 m³

Całkowita powierzchnia płaszczyzn ograniczająca pomieszczenie: ok. 1400 m²

Szerokość : ok. 18,5 m

Długość razem ze sceną : ok. 15 m

Wysokość : ok. 9,3 m

Brak jest w normie PN-B-02151-4 zaleceń dla pomieszczeń o podobnym przeznaczeniu dlatego przyjmuje się następujące oczekiwane wartości parametrów akustycznych:

- czas pogłosu 0,1 s,
- wskaźnik czytelności mowy 0 dB < C₅₀
- wskaźnik czytelności muzyki 7 dB < C₈₀ < 10 dB
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI > 0.6

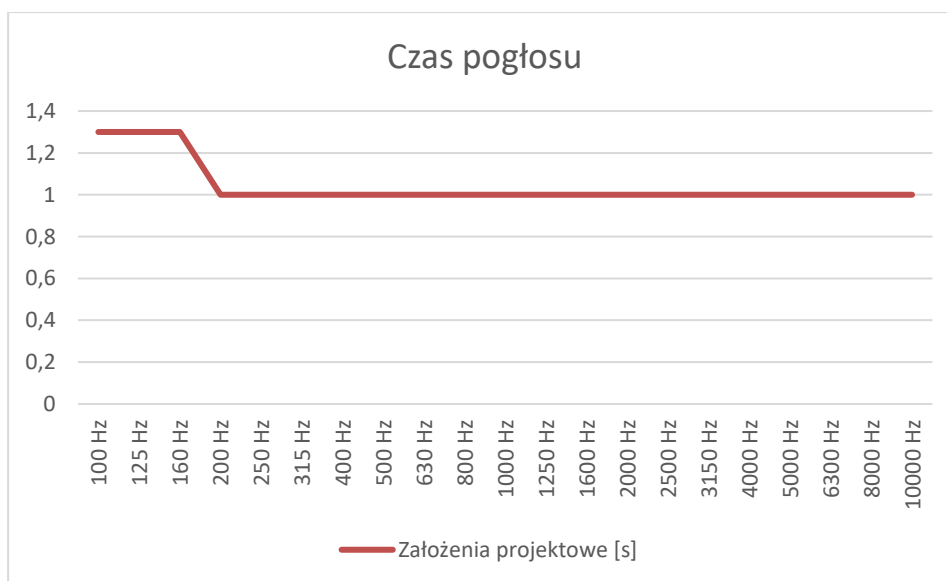


Fig.2 Oczekiwana wartość czasu pogłosu w sali wielofunkcyjnej 0/28.

3.2 Sala wielofunkcyjna multimedialno-ekspozycyjna 01/03

Podstawowe dane pomieszczenia:

Objętość : ok. 480 m³

Całkowita powierzchnia płaszczyzn ograniczająca pomieszczenie: ok. 500 m²

Szerokość : ok. 11,6 m

Długość razem ze sceną : ok. 14,7 m

Wysokość : ok. 3,0 m

Brak jest w normie PN-B-02151-4 zaleceń dla pomieszczeń o podobnym przeznaczeniu dlatego przyjmuje się następujące oczekiwane wartości parametrów akustycznych:

- czas pogłosu 0,7 s,
- wskaźnik zrozumiałości mowy STI > 0.6



Fig.3 Oczekiwana wartość czasu pogłosu w sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej 01/03.

3.3 Sale wystawiennicze 1/03

Podstawowe dane pomieszczenia:

Objętość : ok. 1000 m³

Całkowita powierzchnia płaszczyzn ograniczająca salę koncertową: ok. 840 m²

Szerokość : ok. 18,6 m

Długość razem ze sceną : ok. 12,7 m

Wysokość : zmienna od ok. 2,7 m do 5,8

Zalecane wartości parametrów akustycznych wg normy PN-B-02151-4 „Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.” dla galerii wystawowych, sal ekspozycyjnych w muzeach i innych pomieszczeń o podobnym przeznaczeniu o wysokości w zakresie do 4,0:

- Czas pogłosu dla 500 Hz $\leq 1,5$ s (dla pasma oktawowego dopuszczalne jest 30% odchylenie od tej wartości). Wykres czasu pogłosu w funkcji częstotliwości przedstawiony jest na fig.2.

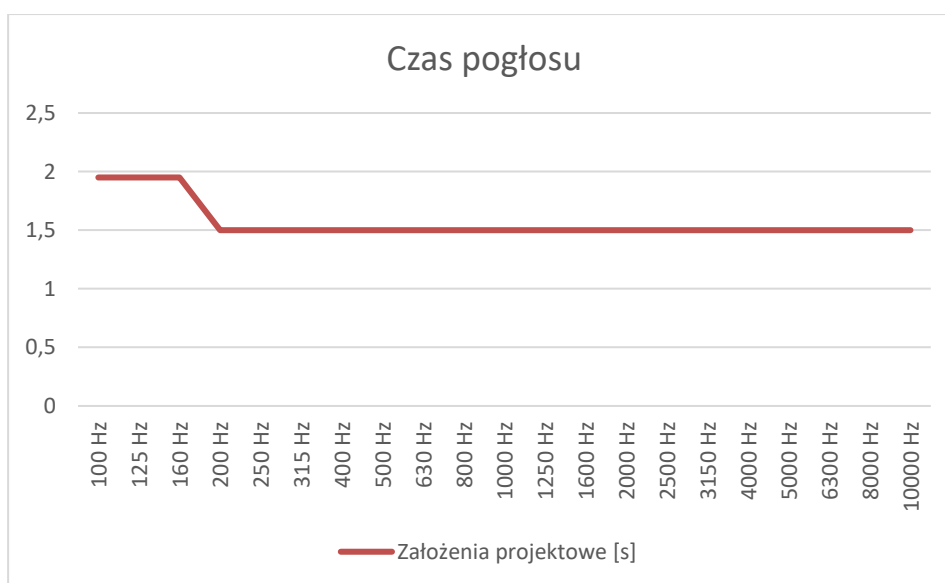


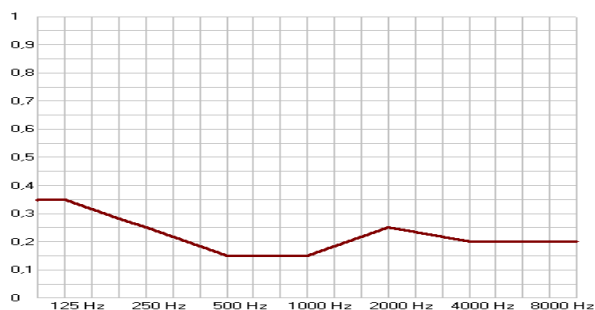
Fig.4 Oczekiwana wartość czasu pogłosu w sali wystawienniczej 1/03.

4. Opis proponowanego rozwiązania

4.1 Sala wielofunkcyjna 0/28

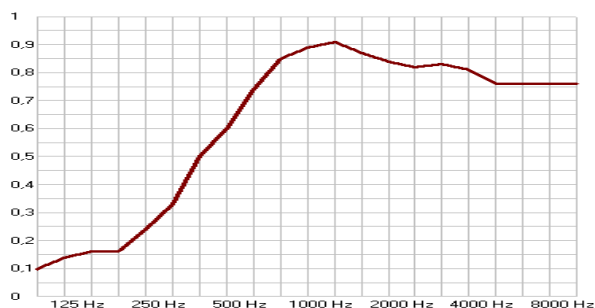
W celu uzyskania zakładanych parametrów akustycznych proponuje się:

- sufit w całości pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 20 mm, przy całkowitej wysokości konstrukcyjnej 200 mm. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):

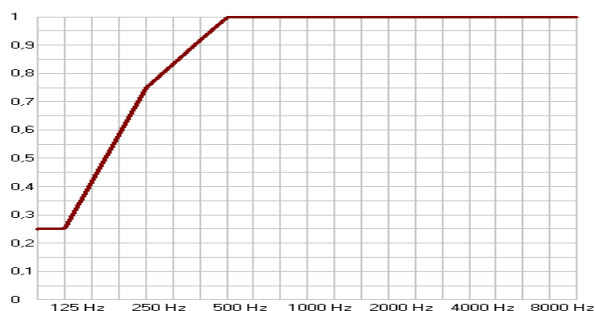


- na suficie pod dźwigarami zamontować elementy pochłaniające wykonane ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości 40 mm w kolorze czarnym, zamontowane w odstępach 200 mm w poprzek pomieszczenia i 500 mm wzdłuż sali. Całość ma być zamontowana pod nowymi dźwigarami konstrukcyjnymi i ma powtarzać ich kształt.

- tylną ścianę na parterze i na balkonie do wysokości 2 m od poziomu posadzki pokryć elementami pochłaniającymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w dwóch różnych grubościach 20 mm i 30 mm zamontowanych na przemienne bezpośrednio do powierzchni ściany. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):



- tylną ścianę na parterze i na balkonie od wysokości 2 m od poziomu posadzki pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 40 mm odpornej na uderzenia w klasie A1, przy montażu bezpośrednim. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):



- boczną ścianę po lewej stronie widowni na parterze i na balkonie pokryć płytami drewnopochodnymi pokrytymi materiałem identycznym jak na ścianie tylnej w dwóch różnych grubościach 20 mm i 30 mm zamontowanych na przemienne bezpośrednio do powierzchni ściany.
- pozostałe powierzchnie ściany pokryć tynkiem gipsowym i wymalować,
- podłogę pokryć parkietem.

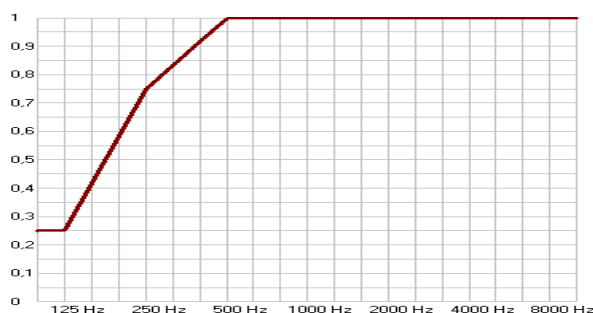
4.2 Sala wielofunkcyjna multimedialno-ekspozycyjna 01/03

- sufit pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 40 mm, przy całkowitej wysokości konstrukcyjnej min 220 mm i całkowicie bez spoinowym wykończeniu

powierzchni. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):



Jedną krótszą ścianę pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 40 mm odpornej na uderzenia w klasie A1, przy montażu bezpośrednim. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):



- powierzchnie ściany pokryć tynkiem gipsowym i wymalować,
- podłogę pokryć płytkami ceramicznymi.

4.3 Sale wystawiennicze 1/03

- cały sufit pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 40 mm, przy całkowitej wysokości konstrukcyjnej min 220 mm i całkowicie bez spoinowym wykończeniu powierzchni. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):

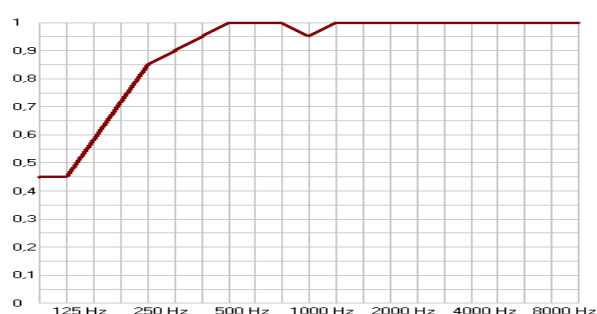


- powierzchnie ściany pokryć tynkiem gipsowym i wymalować,
- podłogę pokryć płytkami ceramicznymi.

4.4. Pozostałe pomieszczenia

W celu uzyskania poprawnych parametrów akustycznych proponuje się:

- sufit pokryć płytami dźwiękochłonnymi wykonanymi ze sprasowanej wełny mineralnej w welonie o grubości min 20 mm, przy całkowitej wysokości konstrukcyjnej min 200 mm i częściowo ukrytej konstrukcji. Wymagane parametry zastosowanego materiału (dopuszczalna tolerancja +/- 5%):



5. Symulacja

W celu weryfikacji zaproponowanego rozwiązania zostały przeprowadzone symulacje przy wykorzystaniu oprogramowania EASE 4.4. Komputerowe modele pomieszczeń przedstawione są na fig.5 - fig.10. Kolorem czerwonym zaznaczono materiał tłumiący na suficie, natomiast kolorem zielonym i żółtym materiał tłumiący na ścianie.

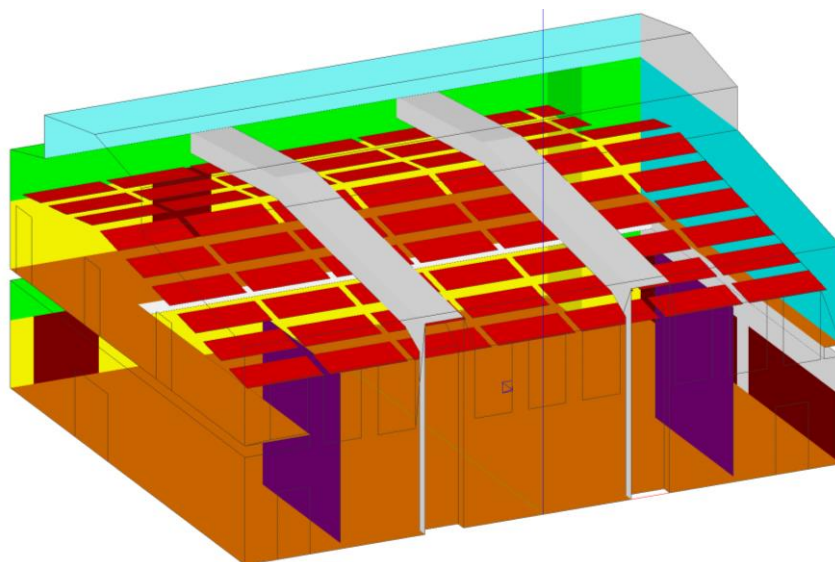


Fig.5 Komputerowy model sali wielofunkcyjnej 0/28.

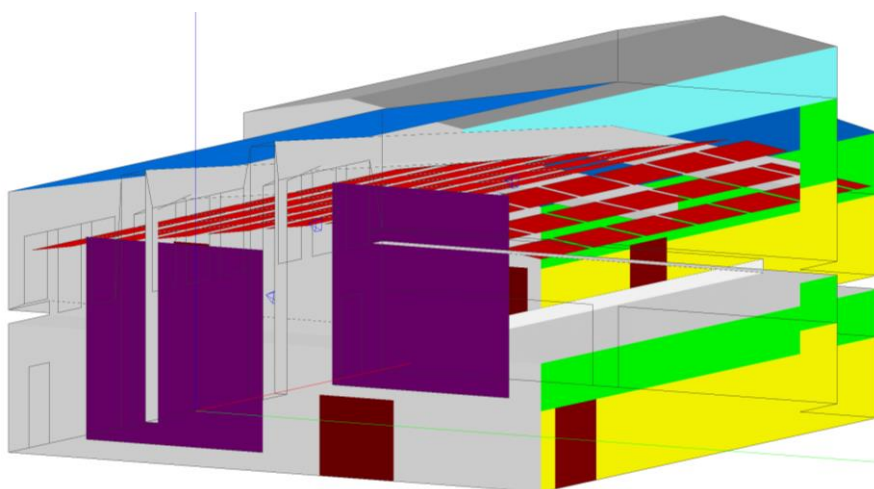


Fig.6 Komputerowy model sali wielofunkcyjnej 0/28.

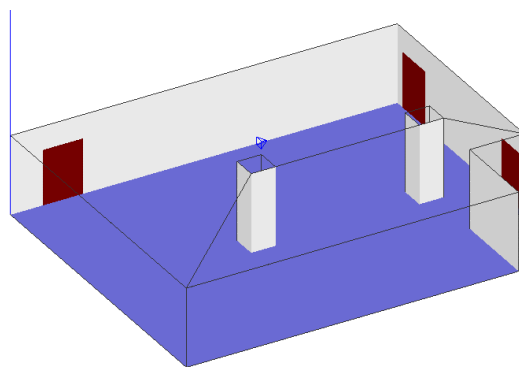


Fig.7 Komputerowy model sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej
01/03.

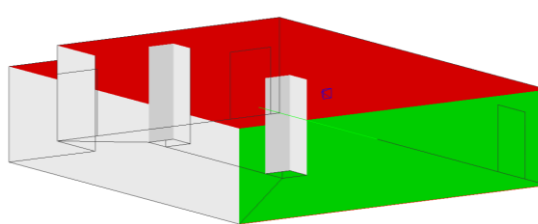


Fig.8 Komputerowy model sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej
01/03.

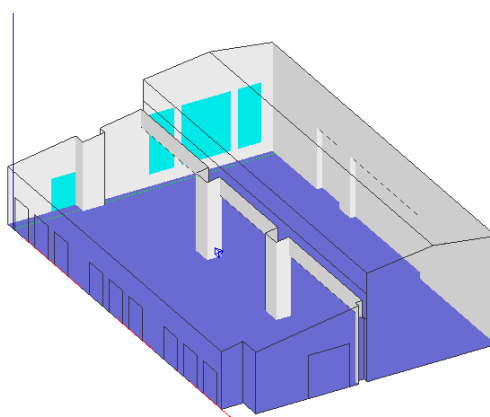


Fig.9 Komputerowy model sali wystawienniczej 1/03.

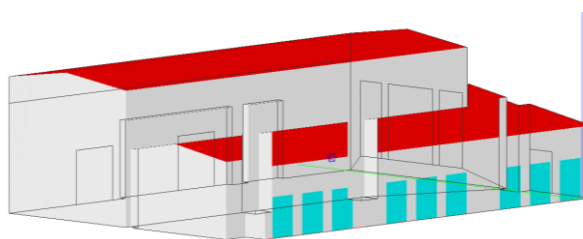


Fig.10 Komputerowy model sali wystawienniczej 1/03.

6. Wyniki symulacji

6.1 Sala wielofunkcyjna 0/28

Pasma oktauwowe	ETD [s]	T10 [s]	T20 [s]	T30 [s]	Średnia [s]	Założenia projektowe [s]
100 Hz	1,18	1,25	1,27	1,32	1,26	1,3
125 Hz	1,18	1,25	1,28	1,32	1,26	1,3
160 Hz	1,10	1,18	1,20	1,23	1,18	1,3
200 Hz	1,04	1,13	1,17	1,21	1,14	1
250 Hz	0,95	1,05	1,12	1,20	1,08	1
315 Hz	0,89	1,00	1,08	1,16	1,03	1
400 Hz	0,80	0,91	1,01	1,15	0,97	1
500 Hz	0,74	0,87	0,99	1,14	0,94	1
630 Hz	0,69	0,82	0,95	1,10	0,89	1
800 Hz	0,66	0,79	0,93	1,10	0,87	1
1000 Hz	0,64	0,79	0,95	1,14	0,88	1
1250 Hz	0,63	0,76	0,91	1,07	0,84	1
1600 Hz	0,63	0,77	0,93	1,06	0,85	1
2000 Hz	0,63	0,77	0,90	1,03	0,83	1
2500 Hz	0,64	0,76	0,89	1,04	0,83	1
3150 Hz	0,63	0,75	0,87	0,98	0,81	1
4000 Hz	0,61	0,73	0,84	0,93	0,78	1
5000 Hz	0,58	0,69	0,77	0,84	0,72	1
6300 Hz	0,53	0,63	0,69	0,75	0,65	1
8000 Hz	0,46	0,56	0,59	0,64	0,56	1
10000 Hz	0,39	0,47	0,49	0,52	0,47	1
Średnia w paśmie 125 Hz - 4 kHz					0,95	1,04

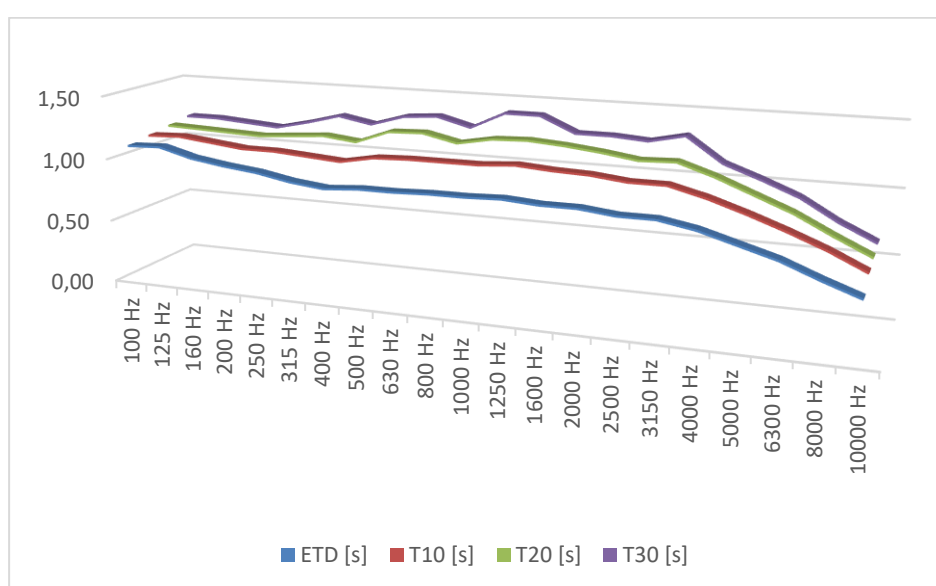


Fig.11 Wykres czasu pogłosu bez publiczności przy różnych metodach pomiarowych w sali wielofunkcyjnej 0/28.

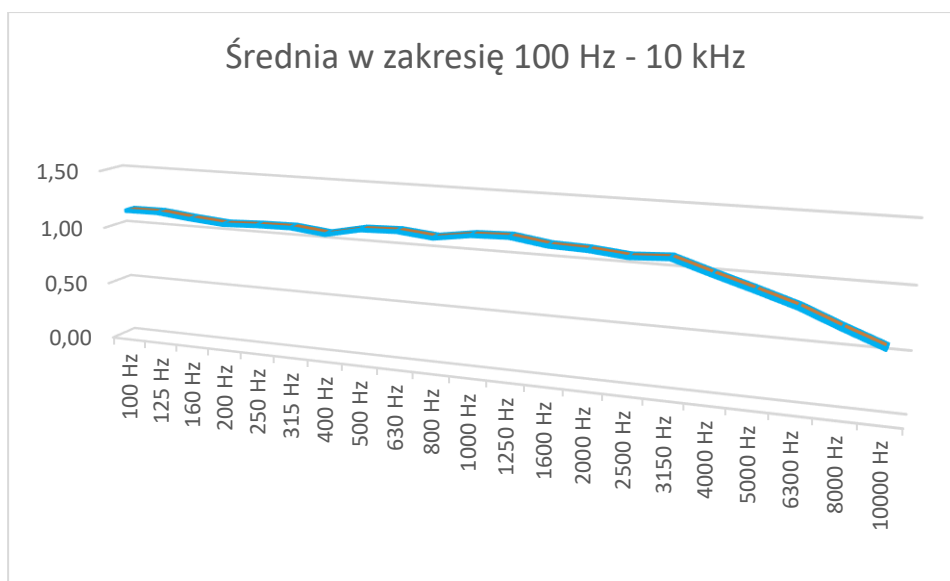


Fig.12 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz w sali wielofunkcyjnej 0/28.

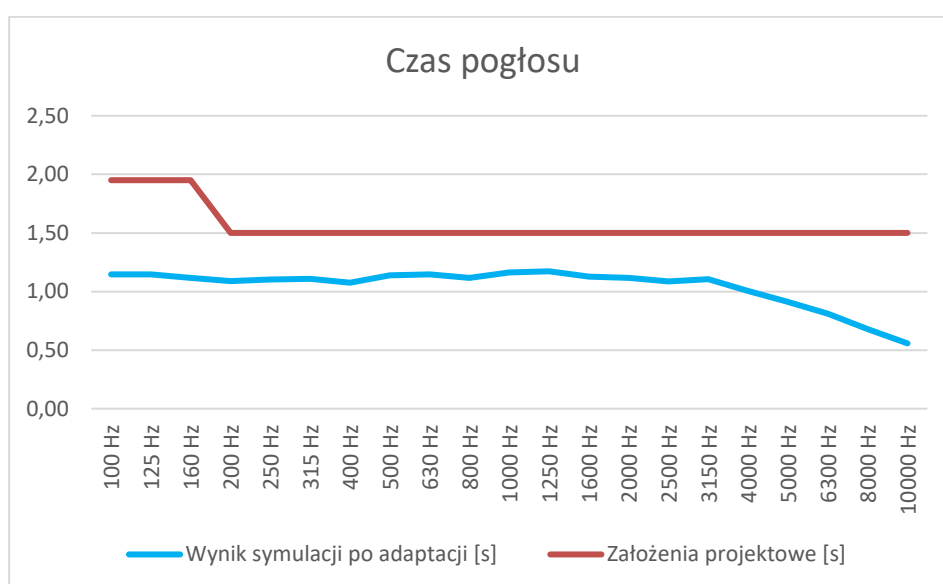


Fig. 13 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz z uwzględnieniem założeń projektowych w sali wielofunkcyjnej 0/28.

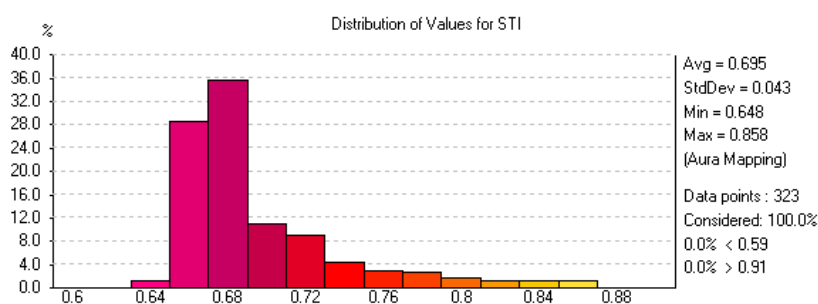


Fig.14 Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI bez publiczności w sali wielofunkcyjnej 0/28.

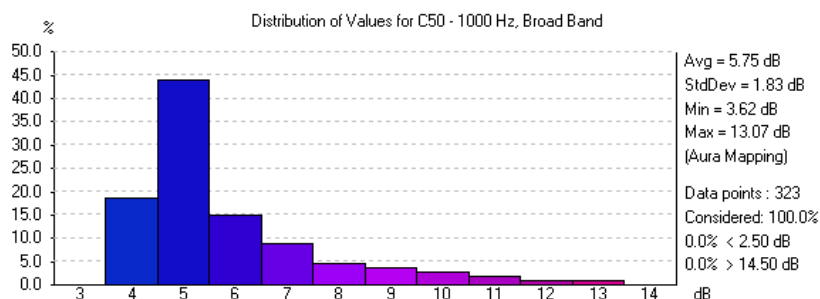


Fig.15 Rozkład wskaźnika przejrzystości mowy C50 bez publiczności w sali wielofunkcyjnej 0/28.

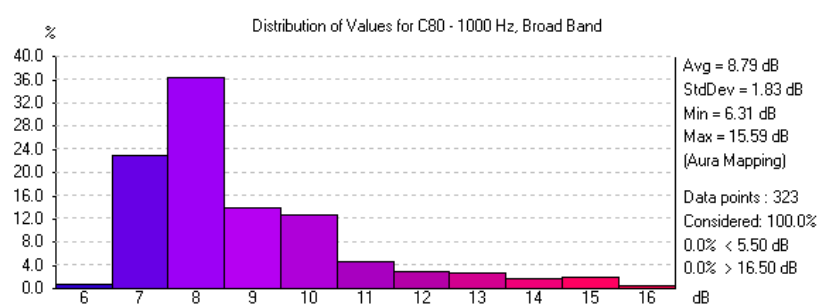


Fig.16 Rozkład wskaźnika przejrzystości muzyki C80 bez publiczności w sali wielofunkcyjnej 0/28.

6.2 Sala wielofunkcyjna multimedialno-ekspozycyjna 01/03

Pasmo oktauwowe	ETD [s]	T10 [s]	T20 [s]	T30 [s]	Średnia [s]	Założenia projektowe [s]
100 Hz	1,19	1,20	1,19	1,20	1,20	0,91
125 Hz	1,19	1,19	1,19	1,23	1,20	0,91
160 Hz	0,90	0,91	0,92	0,94	0,92	0,91
200 Hz	0,72	0,75	0,78	0,83	0,77	0,7
250 Hz	0,58	0,63	0,67	0,69	0,64	0,7
315 Hz	0,49	0,55	0,62	0,75	0,60	0,7
400 Hz	0,41	0,51	0,61	0,78	0,58	0,7
500 Hz	0,37	0,50	0,63	0,73	0,56	0,7
630 Hz	0,37	0,48	0,60	0,80	0,56	0,7
800 Hz	0,38	0,49	0,67	0,86	0,60	0,7
1000 Hz	0,38	0,51	0,64	0,82	0,59	0,7
1250 Hz	0,38	0,48	0,64	0,79	0,57	0,7
1600 Hz	0,38	0,51	0,68	0,77	0,59	0,7
2000 Hz	0,37	0,49	0,61	0,75	0,56	0,7
2500 Hz	0,37	0,49	0,63	0,78	0,57	0,7
3150 Hz	0,37	0,51	0,65	0,76	0,57	0,7
4000 Hz	0,37	0,49	0,60	0,72	0,55	0,7
5000 Hz	0,35	0,45	0,55	0,68	0,51	0,7
6300 Hz	0,33	0,43	0,50	0,61	0,47	0,7
8000 Hz	0,31	0,38	0,43	0,47	0,40	0,7
10000 Hz	0,29	0,33	0,37	0,42	0,35	0,7
Średnia w paśmie 125 Hz - 4 kHz					0,65	0,73

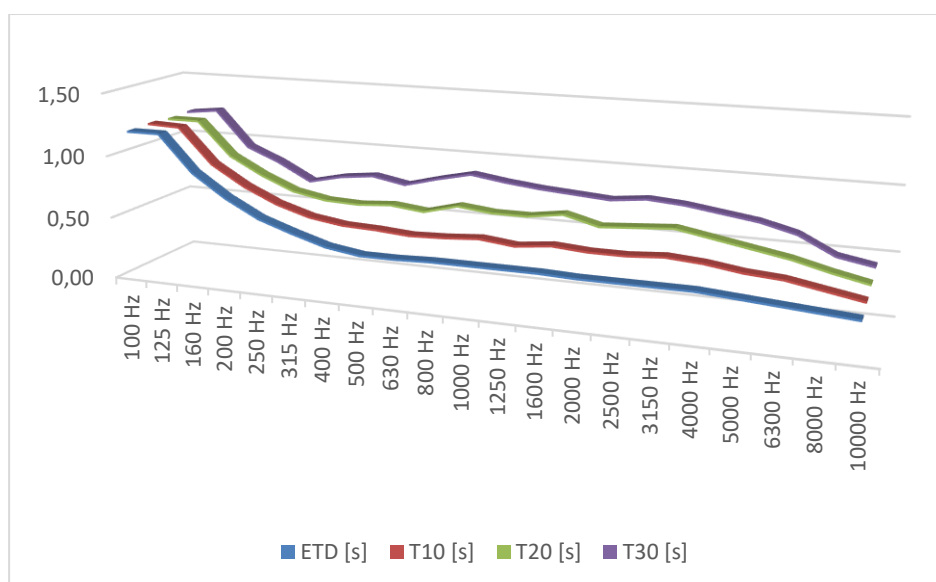


Fig.17 Wykres czasu pogłosu bez publiczności przy różnych metodach pomiarowych w sali w sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej 01/03.

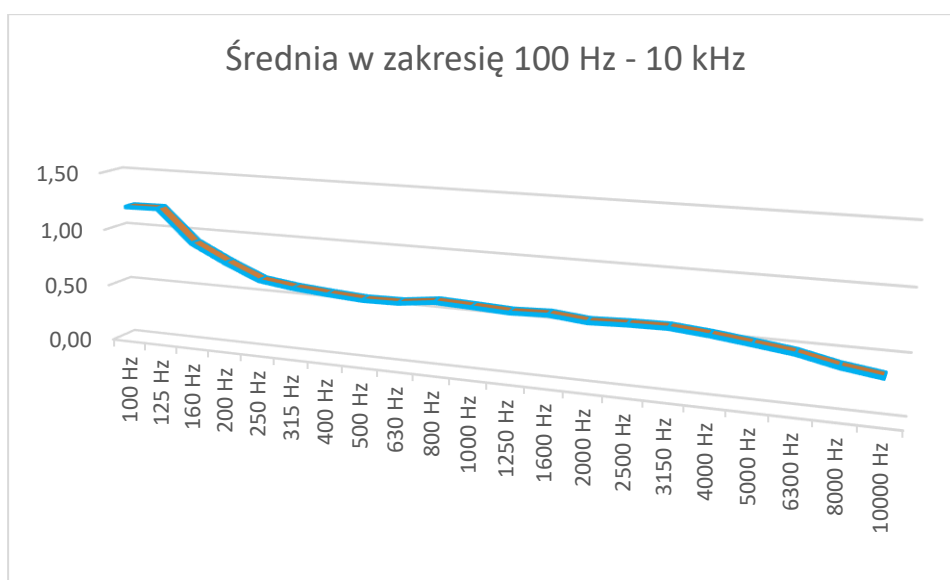


Fig.18 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz w sali w sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej 01/03.

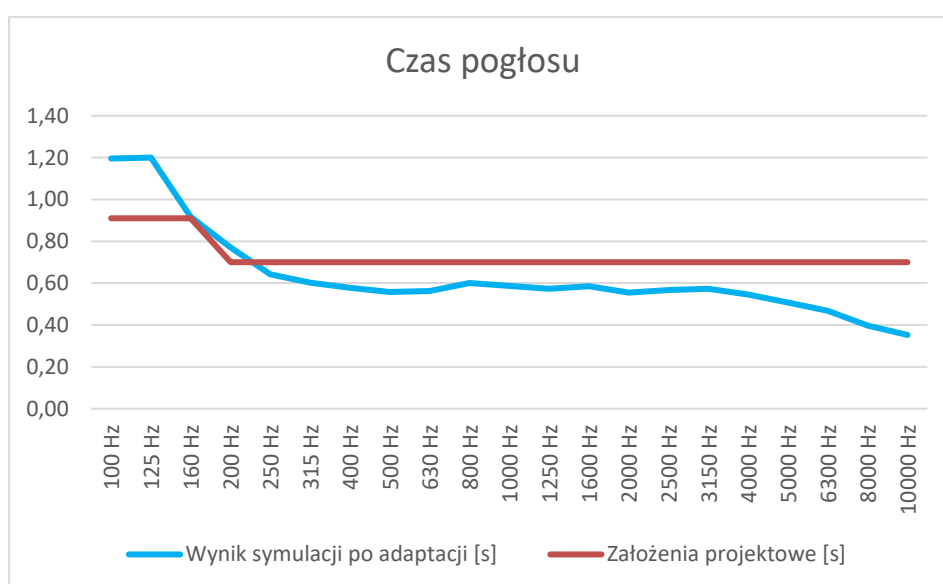


Fig.19 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz z uwzględnieniem założeń projektowych w sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej 01/03.

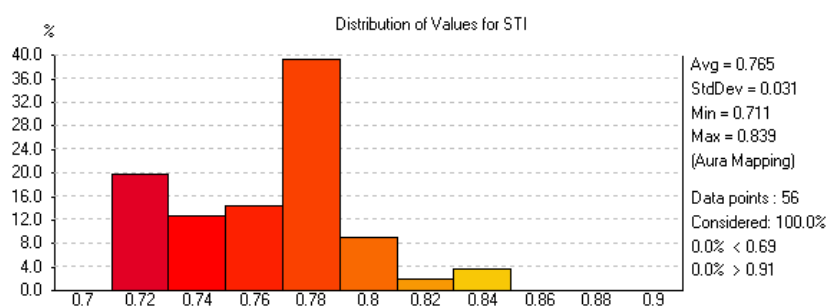


Fig.20 Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI bez publiczności w sali w sali wielofunkcyjnej multimedialno-ekspozycyjnej 01/03.

6.3 Sala wystawiennicza 1/03

Pasmo oktauwowe	ETD [s]	T10 [s]	T20 [s]	T30 [s]	Średnia [s]	Założenia projektowe [s]
100 Hz	1,10	1,13	1,16	1,19	1,15	1,95
125 Hz	1,11	1,14	1,15	1,19	1,15	1,95
160 Hz	1,04	1,11	1,14	1,17	1,12	1,95
200 Hz	1,00	1,08	1,13	1,15	1,09	1,5
250 Hz	0,97	1,08	1,15	1,21	1,10	1,5
315 Hz	0,92	1,06	1,17	1,28	1,11	1,5
400 Hz	0,89	1,04	1,14	1,23	1,08	1,5
500 Hz	0,91	1,09	1,24	1,31	1,14	1,5
630 Hz	0,91	1,10	1,25	1,33	1,15	1,5
800 Hz	0,92	1,10	1,19	1,26	1,12	1,5
1000 Hz	0,92	1,10	1,24	1,39	1,16	1,5
1250 Hz	0,93	1,12	1,25	1,39	1,17	1,5
1600 Hz	0,91	1,10	1,23	1,27	1,13	1,5
2000 Hz	0,91	1,09	1,20	1,27	1,12	1,5
2500 Hz	0,88	1,06	1,16	1,25	1,09	1,5
3150 Hz	0,88	1,06	1,17	1,31	1,11	1,5
4000 Hz	0,83	0,99	1,08	1,12	1,01	1,5
5000 Hz	0,75	0,90	0,97	1,02	0,91	1,5
6300 Hz	0,67	0,80	0,86	0,91	0,81	1,5
8000 Hz	0,56	0,69	0,72	0,75	0,68	1,5
10000 Hz	0,46	0,56	0,59	0,62	0,56	1,5
Średnia w paśmie 125 Hz - 4 kHz					1,11	1,56

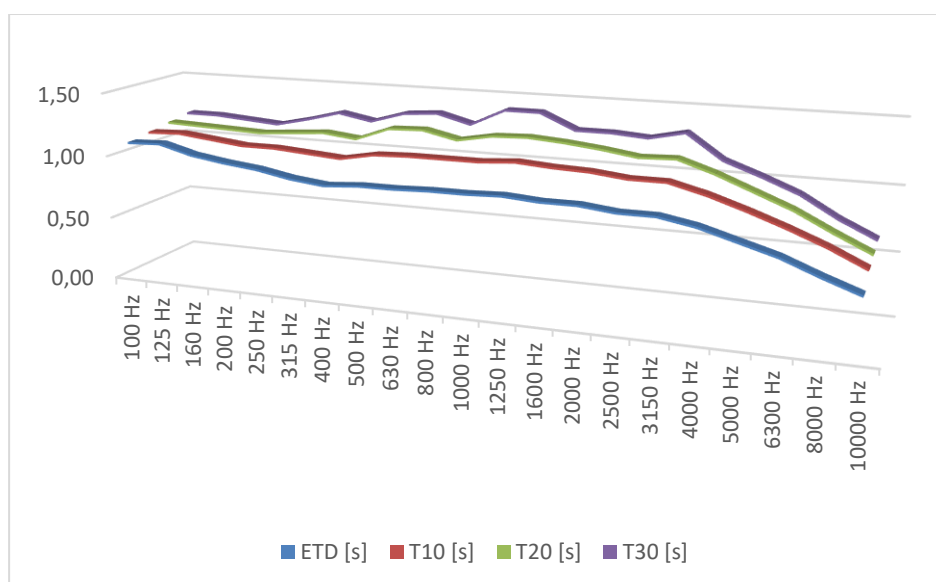


Fig.21 Wykres czasu pogłosu bez publiczności przy różnych metodach pomiarowych w sali wystawienniczej 1/03.

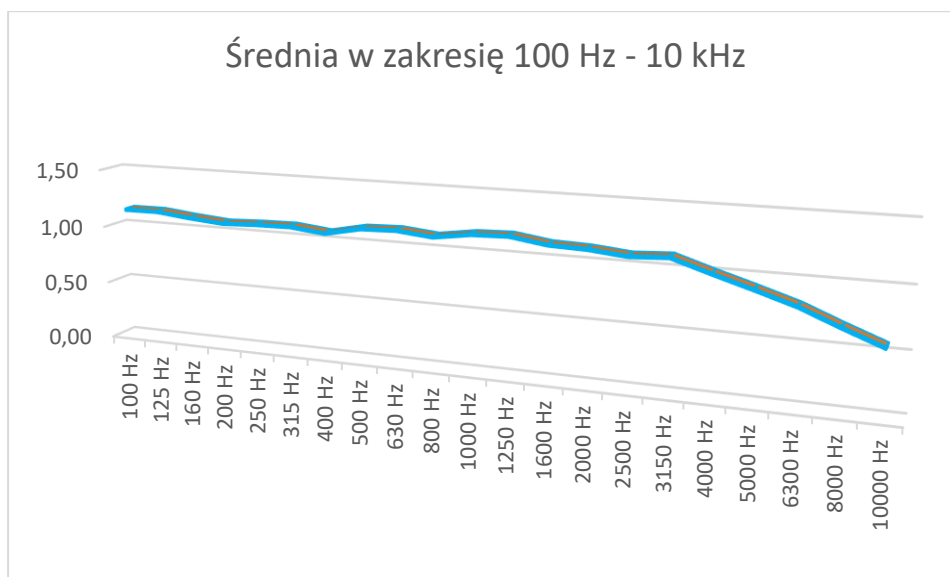


Fig.22 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz w sali wystawienniczej 1/03.



Fig.23 Wykres wartości średniej czasu pogłosu bez publiczności przy w paśmie 100 Hz – 10 kHz z uwzględnieniem założeń projektowych w sali wystawienniczej 1/03.

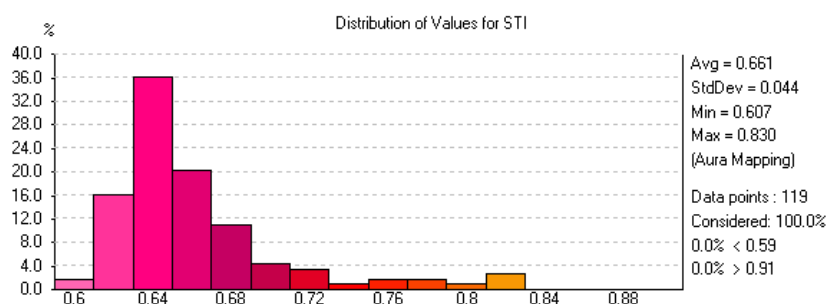


Fig.24 Rozkład wskaźnika zrozumiałości mowy STI bez publiczności w sali wystawienniczej 1/03.

8. Wnioski

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że zastosowane rozwiązanie materiałów spełnia wymogi zawarte w założeniach projektowych.