

Warszawa 23 kwietnia 2026

## **UAM w Poznaniu, sale 512 i 513 Budynku D**

### **Opis rozwiązań z zakresu akustyki pomieszczeń**

Opracowanie: dr Łukasz Błasiński – akustyk

*Łukasz Błasiński*  
.....  
**dr Łukasz Błasiński**.....

Niniejsze opracowanie objęte jest prawem autorskim.

## Spis treści:

|     |                                                                       |    |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Podstawa i zakres opracowania .....                                   | 4  |
| 1.1 | Podstawa formalna .....                                               | 4  |
| 1.2 | Podstawa merytoryczna.....                                            | 4  |
| 1.3 | Zakres opracowania .....                                              | 4  |
| 2   | Lokalizacja sal.....                                                  | 4  |
| 2.1 | Lokalizacja budynku .....                                             | 4  |
| 2.2 | Funkcje sal.....                                                      | 4  |
| 3   | Najważniejsze parametry akustyczne pomieszczeń.....                   | 5  |
| 3.1 | Czas pogłosu.....                                                     | 5  |
| 3.2 | Wartość współczynnika transmisji mowy STI.....                        | 5  |
| 4   | Pomiary parametrów akustycznych sal.....                              | 6  |
| 4.1 | Czas pogłosu.....                                                     | 6  |
| 4.2 | Współczynnik zrozumiałości mowy STI (Speech Transmission Index) ..... | 7  |
| 5   | Analiza wyników pomiarów .....                                        | 7  |
| 5.1 | Czas pogłosu.....                                                     | 7  |
| 5.2 | Współczynnik zrozumiałości mowy STI .....                             | 8  |
| 6   | Rozwiązania z zakresu akustyki wnętrza.....                           | 9  |
| 6.1 | Model komputerowy .....                                               | 9  |
| 6.2 | Czas pogłosu.....                                                     | 10 |
| 6.3 | Zrozumiałość mowy .....                                               | 12 |
| 6.4 | Sposób wykończenia pomieszczenia.....                                 | 12 |
| 7   | Podsumowanie .....                                                    | 13 |

## Spis rysunków w opracowaniu:

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Rysunek 1: Odczytanie z krzywej zaniku wartości do określenia parametrów RT20 i RT30 ..... | 5  |
| Rysunek 2: Zmierzone wartości EDT i RT20 w sali 512 .....                                  | 6  |
| Rysunek 3: Zmierzone wartości EDT i RT20 w sali 513 .....                                  | 7  |
| Rysunek 4: Model numeryczny sali 512 – widok 1 .....                                       | 9  |
| Rysunek 5: Model numeryczny sali 512 – widok 2 .....                                       | 9  |
| Rysunek 6: Model numeryczny sali 513 – widok 1 .....                                       | 10 |
| Rysunek 7: Model numeryczny sali 513 – widok 2 .....                                       | 10 |
| Rysunek 8: Histogram wartości czasu pogłosu RT20 dla sali 512 .....                        | 11 |
| Rysunek 9: Histogram wartości czasu pogłosu RT20 dla sali 513 .....                        | 11 |
| Rysunek 10: Wartość RT20 w zależności od częstotliwości dla sali 512 .....                 | 11 |
| Rysunek 11: Wartość RT20 w zależności od częstotliwości dla sali 513 .....                 | 11 |
| Rysunek 12: Histogram wartości współczynnika STI w sali 512 .....                          | 12 |
| Rysunek 13: Histogram wartości współczynnika STI w sali 513 .....                          | 12 |

## Spis tabel:

|                                                                                          |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Tabela 1: Wartości współczynnika STI i odpowiadający im stopień zrozumiałości mowy. .... | 5 |
| Tabela 2: Zmierzone średnie wartości EDT i RT20 w salach 512 i 513 .....                 | 7 |
| Tabela 3: Wartość współczynnika STI dla sal 512 i 513.....                               | 7 |
| Tabela 4: Zmierzone i oczekiwane wartości czasu pogłosu .....                            | 8 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 5: Obliczone oraz oczekiwane wartości współczynnika transmisji mowy .....                     | 8  |
| Tabela 6: Sposób wykończenia sal .....                                                               | 12 |
| Tabela 7: Wartości współczynnika pochłaniania dla poszczególnych materiałów<br>wykończeniowych ..... | 13 |

## **Wstęp**

Niniejszy dokument zawiera opis rozwiązań z zakresu akustyki dla sal 512 i 513 budynku D UAM w związku z planowanym remontem sal.

## **1 Podstawa i zakres opracowania**

### **1.1 Podstawa formalna**

Wniosek ZP1/00000070832 z dnia 16 kwietnia 2026 roku, złożony przez Jarosława Milewskiego i Bartosza Niezielskiego, zaakceptowany przez Marka Sobczaka.

### **1.2 Podstawa merytoryczna**

- [1] PN-EN ISO 3382-2:2009 Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń, Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.
- [2] 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.
- [3] PN-EN 60268-16:2004 Urządzenia systemów elektroakustycznych, Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy z wykorzystaniem współczynnika jakości transmisji.
- [4] Jerzy Sadowski, Akustyka w urbanistyce architekturze i budownictwie. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1971.
- [5] Andrzej Kulowski, Akustyka sal, zalecenia projektowe dla architektów. Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [6] Marshall Long: „Architectural Acoustics”, Second Edition, Academic Press/Elsevier INC., Oxford 2014.

### **1.3 Zakres opracowania**

Niniejszy dokument zawiera skrócony opis wyników pomiarów parametrów akustycznych oraz opis rozwiązań z zakresu akustyki pomieszczeń dla sal 512 i 513 w związku z ich planowanym remontem.

## **2 Lokalizacja sal**

### **2.1 Lokalizacja budynku**

Analizowane sale mieszczą się w budynku D, przy ul. Szamarzewkiego 89 w Poznaniu.

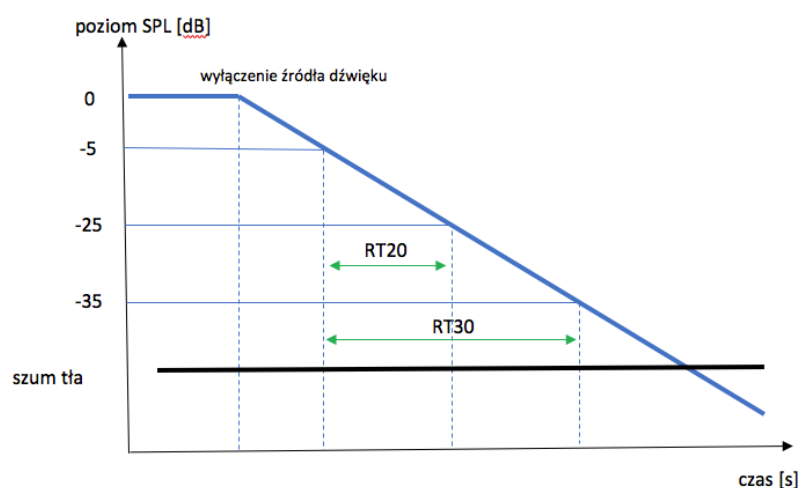
### **2.2 Funkcje sal**

Zgodnie z deklaracją Zlecniodawcy sale są wykorzystywane do zajęć edukacyjnych, a w przyszłości planuje się również prowadzenie w nich zajęć terapeutycznych.

### 3 Najważniejsze parametry akustyczne pomieszczeń

#### 3.1 Czas pogłosu

Czas pogłosu to jeden z najważniejszych parametrów akustyki pomieszczeń określający jakość akustyczną wnętrza, a zatem jakość odbieranej muzyki i zrozumiałość mowy. To czas, jaki jest potrzebny do spadku uśrednionej w przestrzeni gęstości energii akustycznej o 60 dB, po wyłączeniu źródła dźwięku. Nieodpowiedni czas pogłosu wpływa na niską zrozumiałość mowy oraz poprawność odbioru muzyki w pomieszczeniu. Wyrażenie wartości czasu pogłosu za pomocą jednej liczby zazwyczaj jest wystarczające, aby można było wyobrazić sobie warunki akustyczne panujące w danej przestrzeni. EDT (Early Decay Time) to parametr akustyczny opisujący początkową szybkość zaniku energii dźwięku w pomieszczeniu, wyznaczany z pierwszych 10 dB spadku krzywej zaniku i przeliczany do 60 dB – zgodnie z literaturą lepiej koreluje z subiektywnym odczuciem pogłosowości w pomieszczeniu. W odniesieniu do sal koncertowych i innych obiektów, w których warunki akustyczne w sposób znaczący wpływają na komfort akustyczny pomieszczenia, aby dokładniej opisać zanik energii akustycznej w pomieszczeniu, podaje się wartości czasu pogłosu wyznaczone dla pasm oktawowych lub jeszcze dokładniej, dla pasm tercjowych. Na rysunku 1 pokazano zakresy odczytywania wartości parametrów RT20 i RT30 z krzywej zaniku.



Rysunek 1: Odczytanie z krzywej zaniku wartości do określenia parametrów RT20 i RT30

#### 3.2 Wartość współczynnika transmisji mowy STI

Współczynnik transmisji mowy STI (Speech Transmission Index) to obiektywny parametr określający stopień zrozumiałości mowy. Przyjmuje wartości od 0 do 1 w następującej skali:

Tabela 1: Wartości współczynnika STI i odpowiadający im stopień zrozumiałości mowy.

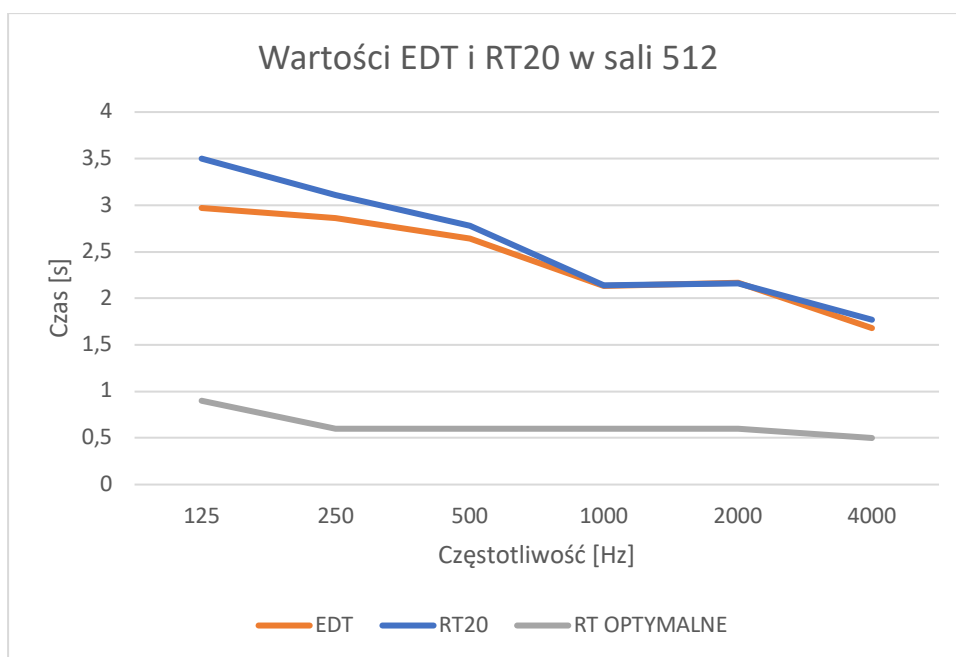
| Wartość współczynnika STI | Stopień zrozumiałości mowy |
|---------------------------|----------------------------|
| 0,75-1                    | Doskonała                  |
| 0,6-0,75                  | Dobra                      |
| 0,45-0,6                  | Zadowalająca               |
| 0,3-0,45                  | Słaba                      |
| 0-0,3                     | Zła                        |

## 4 Pomiary parametrów akustycznych sal

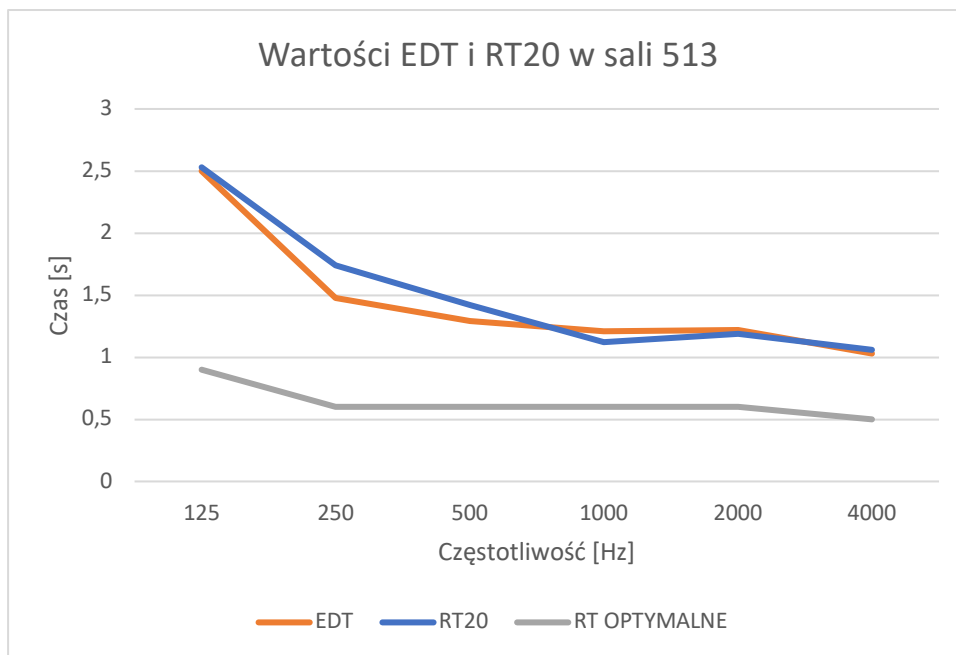
W dniu 20 kwietnia 2026 przeprowadzono pomiary parametrów akustycznych sal. Pomiary wykonano zgodnie z zaleceniami norm. Do pobudzenia pomieszczeń wykorzystano wszechkierunkowe źródło Neotek Dodecahedron DO12-PLUS wraz z dedykowanym wzmacniaczem. Mikrofony pomiarowe to iSEmCom EMX7150. Pomiary wykonano dla 3 różnych pozycji źródła dźwięku. Wykorzystano 8 mikrofonów pomiarowych rozstawionych równomiernie w przestrzeni każdej z sal. Zmierzono łącznie 24 kombinacje źródła dźwięku – mikrofon pomiarowy dwukrotnie przekraczając tym samym wymagania normatywne. Odpowiedzi impulsowe zarejestrowano za pomocą programu REW Pro. W czasie wykonywania pomiarów w salach obecna była jedna osoba.

### 4.1 Czas pogłosu

Wykorzystując opcje programu REW Pro (obliczanie czasu zaniku dźwięku z analizy krzywej zaniku, uzyskanej przez całkowanie w odwróconym czasie kwadratu odpowiedzi impulsowej) wykonano wykresy zależności czasu pogłosu od częstotliwości. Rysunek numer 2 przedstawia widmowe charakterystyki czasu pogłosu w sali 512, a Rysunek 3 przedstawia widmowe charakterystyki czasu pogłosu w sali 513. Kolorem szarym zaznaczono optymalną wartość czasu pogłosu RT20 dla sal lekcyjnych.



Rysunek 2: Zmierzone wartości EDT i RT20 w sali 512



Rysunek 3: Zmierzone wartości EDT i RT20 w sali 513

W Tabeli 2 pokazano zmierzone średnie wartości EDT i RT20 w salach 512 i 513.

Tabela 2: Zmierzone średnie wartości EDT i RT20 w salach 512 i 513

| Sala | EDT [s] | RT20 [s] |
|------|---------|----------|
| 512  | 2,4     | 2,6      |
| 513  | 1,5     | 1,5      |

## 4.2 Współczynnik zrozumiałości mowy STI (Speech Transmission Index)

Wartości współczynnika STI obliczono z wykorzystaniem funkcji programu EASERA Pro firmy AMFG GmbH zgodnie z wymaganiami normatywnymi. W obliczeniach uwzględniono zmierzony w sali poziom tła. Tabela numer 3 przedstawia obliczone wartości współczynnika transmisji mowy.

Tabela 3: Wartość współczynnika STI dla sal 512 i 513

| Sala | STI  |
|------|------|
| 512  | 0,43 |
| 513  | 0,52 |

# 5 Analiza wyników pomiarów

## 5.1 Czas pogłosu

Zmierzone wartości czasu pogłosu to odpowiednio 2,6 sekundy dla sali 512 i 1,5 sekundy dla sali 513. Zgodnie z normą PN-B-02151-4:2015-06 sala o kubaturze do 250 m<sup>3</sup> przeznaczona do komunikacji słownej, powinna spełniać wymaganie dotyczące maksymalnego czasu pogłosu  $RT_{20} \leq 0,6$  sekundy w pasmach oktaowych od 250 do 4 kHz. W paśmie 125 Hz dopuszcza się wartość większą o maksymalnie 30% w stosunku do wartości granicznej. Zmierzone wartości czasu pogłosu przekraczają zalecaną wartość. W Tabeli 4 pokazano zmierzone i oczekiwane wartości czasu pogłosu dla analizowanych sal.

*Tabela 4: Zmierzone i oczekiwane wartości czasu pogłosu*

| Sala | Czas pogłosu [s]<br>zmierzony | Czas pogłosu [s]<br>oczekiwany |
|------|-------------------------------|--------------------------------|
| 512  | 2,6                           | $\leq 0,6$                     |
| 513  | 1,5                           | $\leq 0,6$                     |

## 5.2 Współczynnik zrozumiałości mowy STI

Obliczenia wartości wskaźnika transmisji mowy STI wykonano zgodnie z zaleceniami norm wykorzystując pośrednią metodę pomiaru. Współczynnik zrozumiałości mowy przyjmuje wartości 0,43 dla sali 512 i 0,52 dla sali 513, a więc odpowiednio w zakresie „słabej” zrozumiałości mowy dla sali 512 i w zakresie „zadowalającej” zrozumiałości mowy dla sali 513. Norma wymaga, aby wskaźnik STI był nie mniejszy niż 0,60. Wartość ta powinna być spełniona jako średnia z punktów pomiarowych w obszarze słuchaczy, przy czym żaden pojedynczy wynik nie może być niższy o więcej niż 0,05 od wartości wymaganej, czyli w praktyce nie powinien spaść poniżej 0,55. Wymaganie to dotyczy warunków typowej komunikacji słownej i obowiązuje także w salach wyposażonych w system nagłośnieniowy, co oznacza, że zarówno akustyka pomieszczenia, jak i jakość systemu nagłośnieniowego muszą wspólnie zapewnić odpowiednią zrozumiałość mowy.

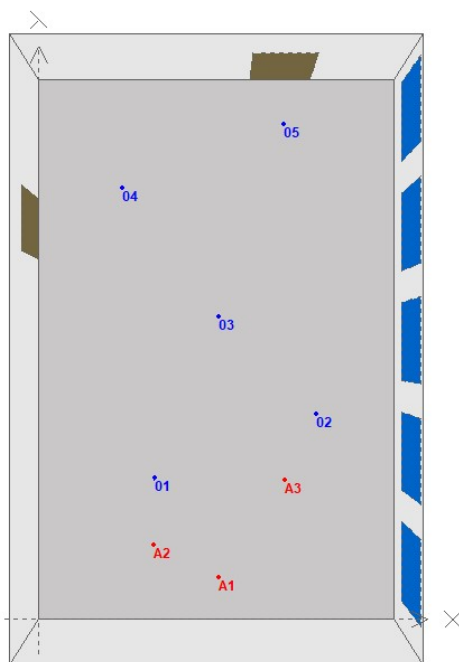
*Tabela 5: Obliczone oraz oczekiwane wartości współczynnika transmisji mowy*

| Sala | Obliczone STI | Oczekiwane STI |
|------|---------------|----------------|
| 512  | 0,43          | $> 0,6$        |
| 513  | 0,52          | $> 0,6$        |

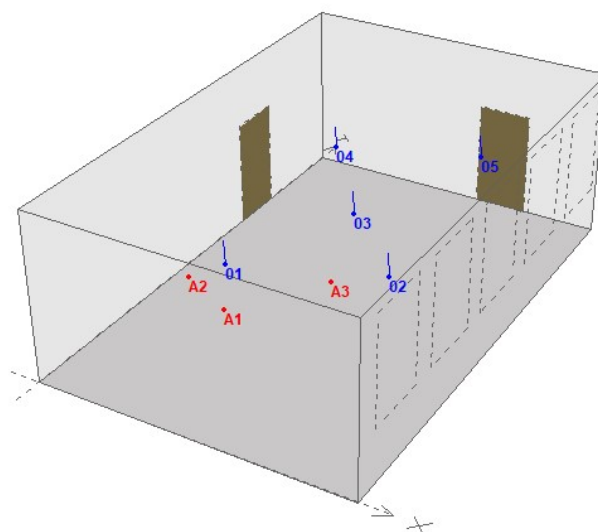
## 6 Rozwiązania z zakresu akustyki wnętrz

### 6.1 Model komputerowy

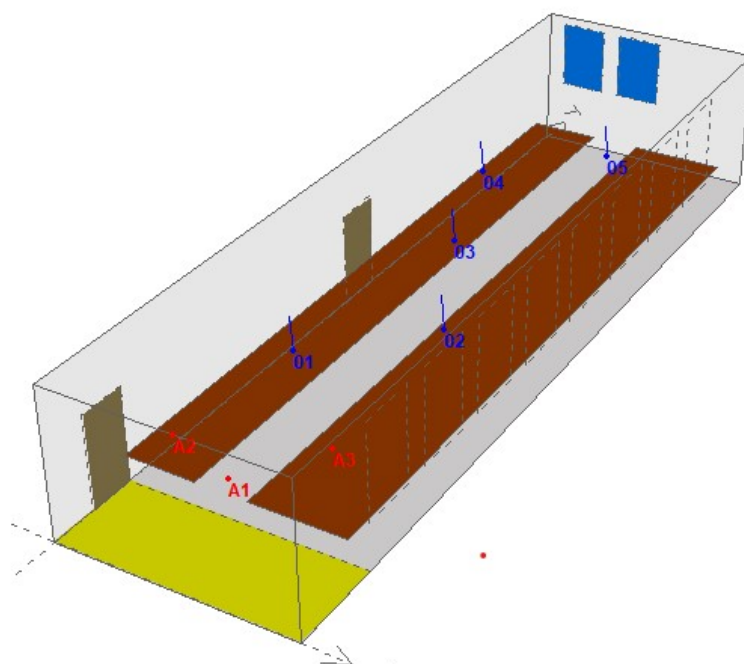
W celu analizy warunków akustycznych pomieszczenia, przy pomocy oprogramowania CATT Acoustic stworzono modele numeryczne sali 512 i 513. Wartości chłonności i rozpraszania poszczególnych powierzchni i elementów wykończeniowych pomieszczenia przypisano korzystając z danych literaturowych oraz danych z kart katalogowych. Z wykorzystaniem modelu przeanalizowano własności akustyczne pomieszczeń. Wszystkie obliczenia i wykresy umieszczone w niniejszym opracowaniu wykonano z wykorzystaniem funkcji programu CATT Acoustic. Model analizowano dla trzech pozycji źródeł i pięciu pozycji odbiorników zgodnie z sugerowaną przez oprogramowanie liczbą promieni i z uwzględnieniem dyfrakcji. Rysunki o numerach od 4 do 7 przedstawiają widoki modeli wykorzystanych do analizy.



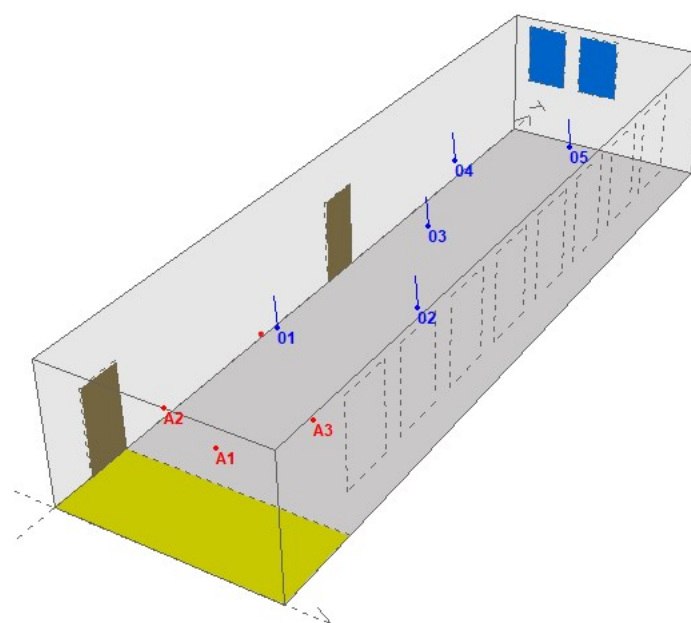
Rysunek 4: Model numeryczny sali 512 – widok 1



Rysunek 5: Model numeryczny sali 512 – widok 2



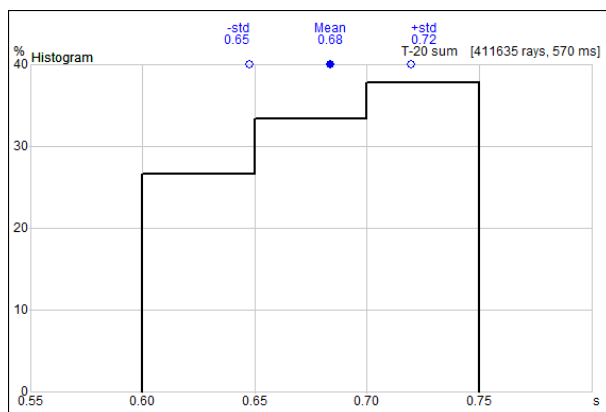
Rysunek 6: Model numeryczny sali 513 – widok 1



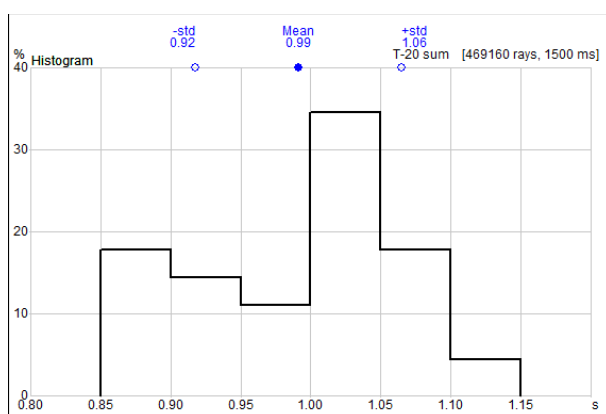
Rysunek 7: Model numeryczny sali 513 – widok 2

## 6.2 Czas pogłosu

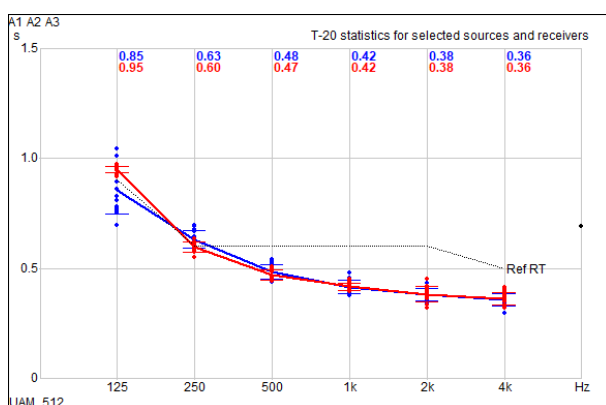
Zgodnie z wymaganiami normatywnymi czas pogłosu w analizowanych salach nie powinien przekraczać wartości 0,6 sekundy dla pasm w zakresie od 250 Hz do 4 kHz. W wyniku symulacji uzyskano średnią wartość czasu pogłosu RT20 równą 0,7 sekundy dla sali 512 oraz 1 sekundę dla sali 513, jednakże uzyskano wartości mniejsze niż 0,6 sekundy dla pasm określonych w normie. Histogramy wartości czasu pogłosu w poszczególnych salach pokazują rysunki numer 8 i 9. Rysunki 10 i 11 przedstawiają zależność czasu pogłosu RT20 od częstotliwości.



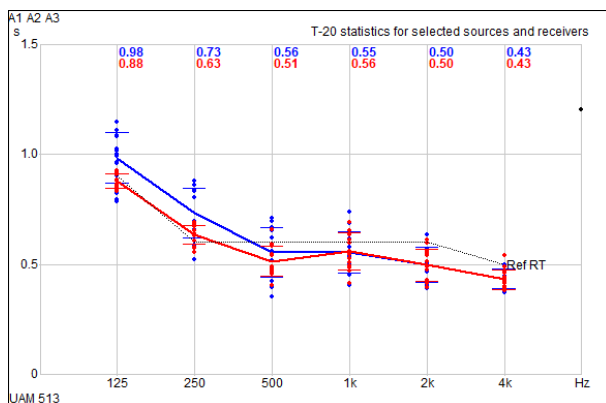
Rysunek 8: Histogram wartości czasu pogłosu RT20 dla sali 512



Rysunek 9: Histogram wartości czasu pogłosu RT20 dla sali 513



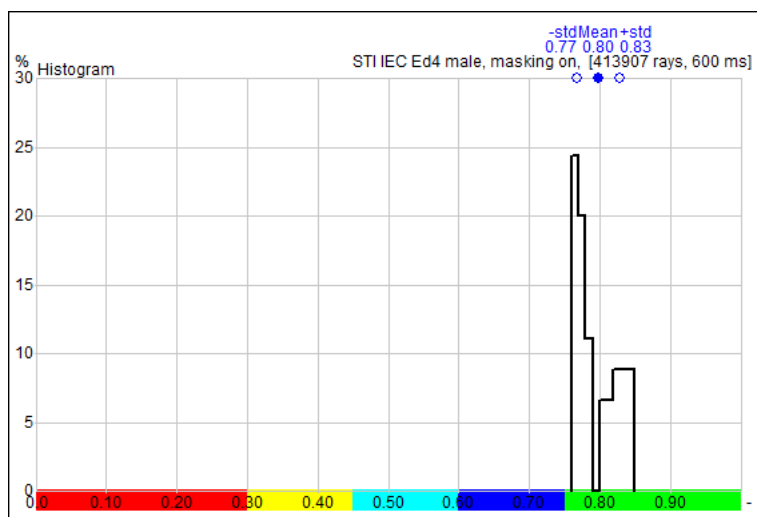
Rysunek 10: Wartość RT20 w zależności od częstotliwości dla sali 512



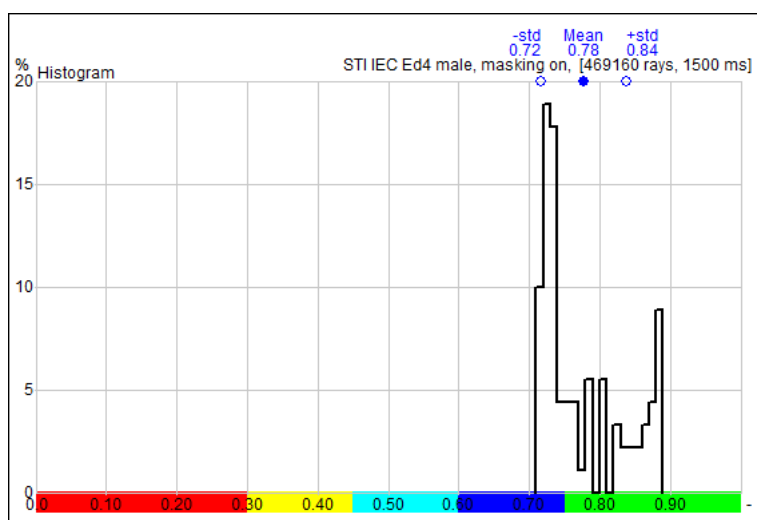
Rysunek 11: Wartość RT20 w zależności od częstotliwości dla sali 513

### 6.3 Zrozumiałość mowy

W modelach wykonano obliczenia wartości współczynnika STI. Uzyskano średnią wartość współczynnika STI równą 0,8 w sali 512 i 0,78 w sali 513. Uzyskane wyniki klasyfikują zrozumiałość w przedziale „doskonałej” zrozumiałości mowy. Histogram wartości STI pokazano na rysunkach 12 i 13.



Rysunek 12: Histogram wartości współczynnika STI w sali 512



Rysunek 13: Histogram wartości współczynnika STI w sali 513

### 6.4 Sposób wykończenia pomieszczenia

W tabeli 6 opisano sposoby wykończenia poszczególnych pomieszczeń.

Tabela 6: Sposób wykończenia sal

| Sale 512 i 513    | Sposób wykończenia                                                                                                                |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sufity sal        | Sufit podwieszany o wysokich wartościach współczynnika pochłaniania i wysokości podwieszenia 200 mm – np. Rockfon Blanka Activity |
| Tyłna ściana sali | Płyty Rockfon VertiQ; w sali 512 minimum 7 m <sup>2</sup> a w sali 513 minimum 7,5 m <sup>2</sup>                                 |

Tabela 7 przedstawia wartości chłonności poszczególnych zaproponowanych materiałów. W ramach prowadzonego remontu można wykorzystać materiały inne niż zaproponowane w opracowaniu, jednak wartości chłonności materiałów zamiennych nie mogą się różnić o więcej niż 5% osobno dla każdego z pasm.

*Tabela 7: Wartości współczynnika pochłaniania dla poszczególnych materiałów wykończeniowych*

| Ustrój                                       | Pasma częstotliwości [Hz] |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|
|                                              | 125                       | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |
| Sufit podwieszany<br>Rockfon Blanka Activity | 0,55                      | 0,8  | 0,95 | 1    | 1    | 1    |
| Płyty Rockfon VertiQ                         | 0,25                      | 0,75 | 1    | 1    | 1    | 1    |

## 7 Podsumowanie

Wyniki symulacji dla wartości czasu pogłosu i wartości współczynnika zrozumiałości mowy wskazują, że zastosowanie zaproponowanego wykończenia pomieszczeń pozwoli na uzyskanie pogłosu o odpowiednim czasie i barwie, oraz właściwego poziomu zrozumiałości mowy. W symulacji uzyskano niski rozrzut wartości wyżej wymienionych parametrów, co wskazuje na uzyskanie jednorodnych warunków akustycznych w całej przestrzeni każdej z sal. Uzyskane wartości poszczególnych parametrów są zgodne z wymaganiami normatywnymi i literaturowymi.

KONIEC OPRACOWANIA