

Warszawa, 09.07.2024 r.

## RAPORT

### OPERAT AKUSTYCZNY WNĘTRZA W ZAKRESIE SALI WIELOFUNKCYNEJ W DOMU STUDENCKIM „HANKA” NA UNIWERSYTECIE IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

DLA

FUSION DEISGN SP. Z O. O.

#### ACOUSTIC MASTERS

BARTŁOMIEJ CZUBAK

ul. Pilarzy 6d/2, 04-425 Warszawa  
NIP: 9522254477 | REGON: 528259568  
+48 784 234 641 | acousticmasters.pl

Bartłomiej Czubak

właściciel, mgr inż. akustyk



acousticmasters.pl

biuro@acousticmasters.pl

+48 784 234 641

## 1. Podstawa opracowania.

- Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690) wraz z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 31 stycznia 2022 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie;
- 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”;
- PN-EN ISO 3382-1:2009 „Akustyka - Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 1: Pomieszczenia specjalne”;
- A. Kulowski – „Akustyka sal”
- Ebu Tech 3276 “Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic”;
- Dolby Atmos Home Theater Installation Guidelines;
- Dokumentacja dostarczona przez Inwestora.

## 2. Cel opracowania.

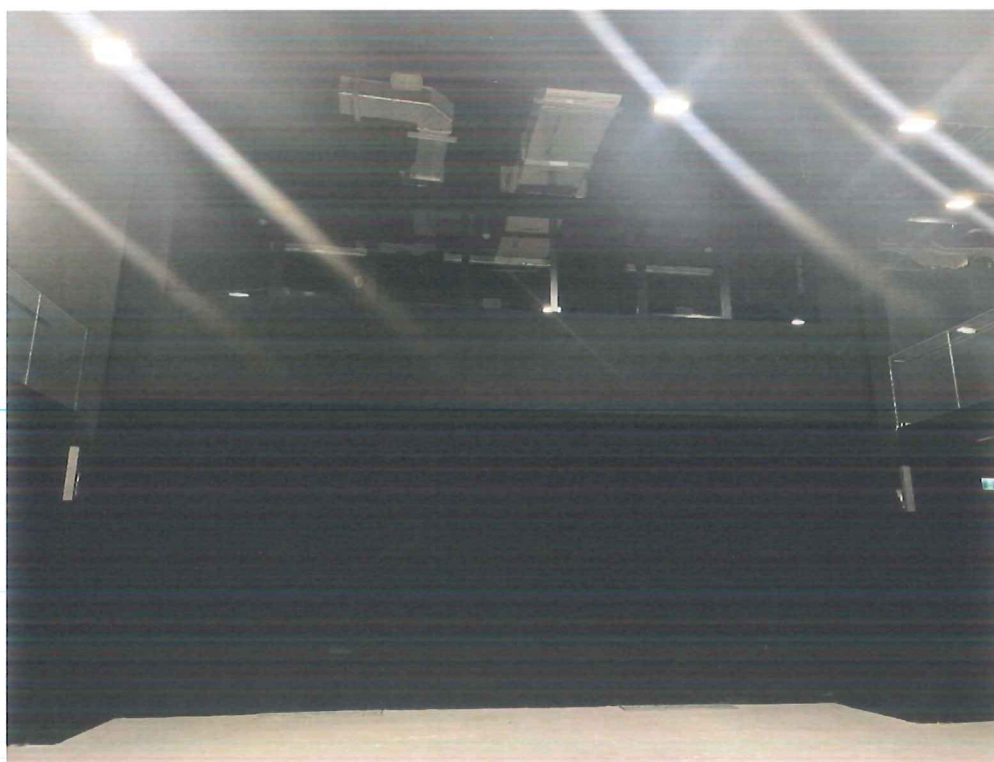
Celem opracowania jest weryfikacja otrzymanej dokumentacji projektowej pod kątem akustyki wewnątrz w sali wielofunkcyjnej w Domu Studenckim „Hanka” na Uniwersytecie im. Adam Mickiewicza w Poznaniu. Opracowanie obejmuje w szczególności zakres:

- analizy dokumentacji projektowej i elementów wykończenia pod kątem akustyki wewnątrz;
- określenia wymaganych parametrów akustycznych zgodnie z obowiązującymi przepisami;
- wykonania akustycznego modelu oraz symulacji akustycznych w celu optymalizacji parametrów akustyki wewnątrz;
- wyznaczeniu i kontroli zgodności uzyskanych parametrów z obowiązującymi przepisami;

- porównania poszczególnych wariantów adaptacji akustycznej oraz wskazania najskuteczniejszego rozwiązania pod względem optymalizacji warunków akustycznych;
- konsultacji w sprawie doboru elementów akustycznych w pomieszczeniu, mając na uwadze aspekt wykończenia wnętrza;
- optymalizacji projektu pod kątem kosztów i rozwiązań.

### 3. Stan faktyczny.

Stan faktyczny pomieszczenia na czas sporządzenia operatu, ukazano na otrzymanych zdjęciach (rysunki 3.1-3.3). Zgodnie ze stanem faktycznym, stropy w pomieszczeniu wykonane są w technologii żelbetowej, a ściany wykończono tynkiem z czarną farbą. W pomieszczeniu znajdują się liczne balkony ze szklanymi barierkami. Na tylnej ścianie zlokalizowano szerokie szklenie, za którym znajdować będzie się reżyserka dla obsługi technicznej.



*Rys. 3.1 – stan faktyczny, widok na tylną ścianę i reżyserkę*



*Rys. 3.2 – stan faktyczny, widok z jednego z balkonów w kierunku ściany bocznej i przedniej (ze sceną)*

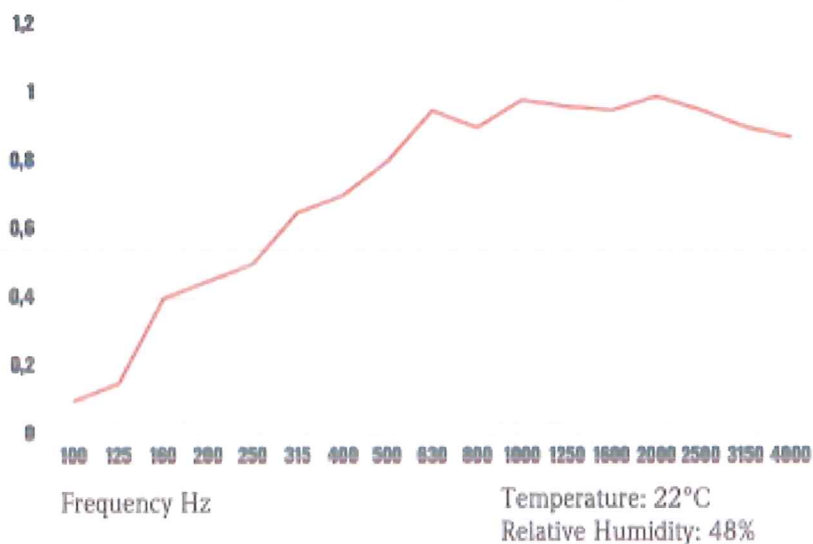


*Rys. 3.3 – stan faktyczny, widok na balkony*

Zgodnie z dostarczonym projektem, podłoga wykończona będzie deską podłogową o grubości 1,5 cm. Pod parkietem znajdzie się wylewka betonowa 4,5 cm, folia PE oraz twarda wełna mineralna 23 cm. Na znacznej części sufitu planowane jest zastosowanie akustycznego systemu dźwiękochłonnego w technologii kasetonów. Zgodnie z dostarczoną dokumentacją, sufit powinien posiadać klasę pochłaniania dźwięku A. Większość powierzchni ścian bocznych oraz przedniej wykończona będzie panelami akustycznymi o grubości 6 oraz 11 cm. Zgodnie z dostarczoną dokumentacją, akustyczne panele ściennie wypełnione będą wełną mineralną o gęstości około 50 kg/m<sup>3</sup>, zamkniętej w konstrukcji z płyty meblowej. Panele wykończone będą tkaniną transparentną akustycznie o

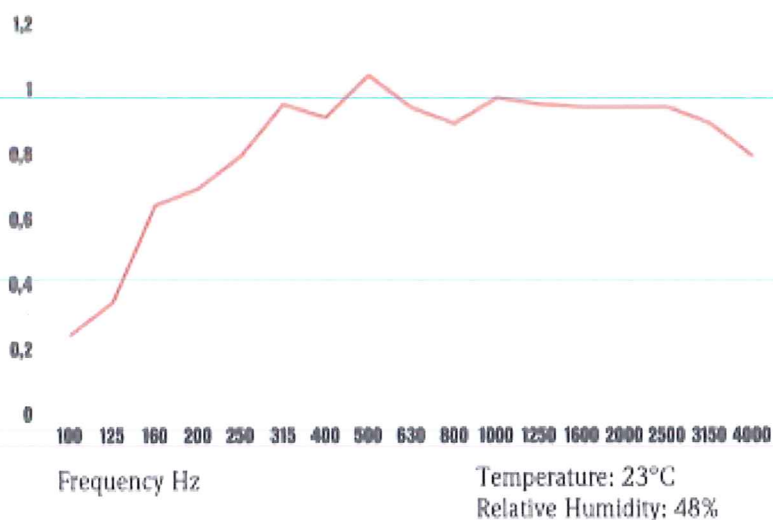
gramaturze ok. 180 g/m<sup>2</sup>. Współczynnik pochłaniania dźwięku dla panelu o grubości 6 cm, przedstawiono na rys. 3.4. Współczynnik pochłaniania dźwięku dla panelu o grubości 11 cm, przedstawiono na rysunku 3.5.

### Sound Absorbition Coefficient ( $\alpha$ ) - Absorber Standard 6 cm



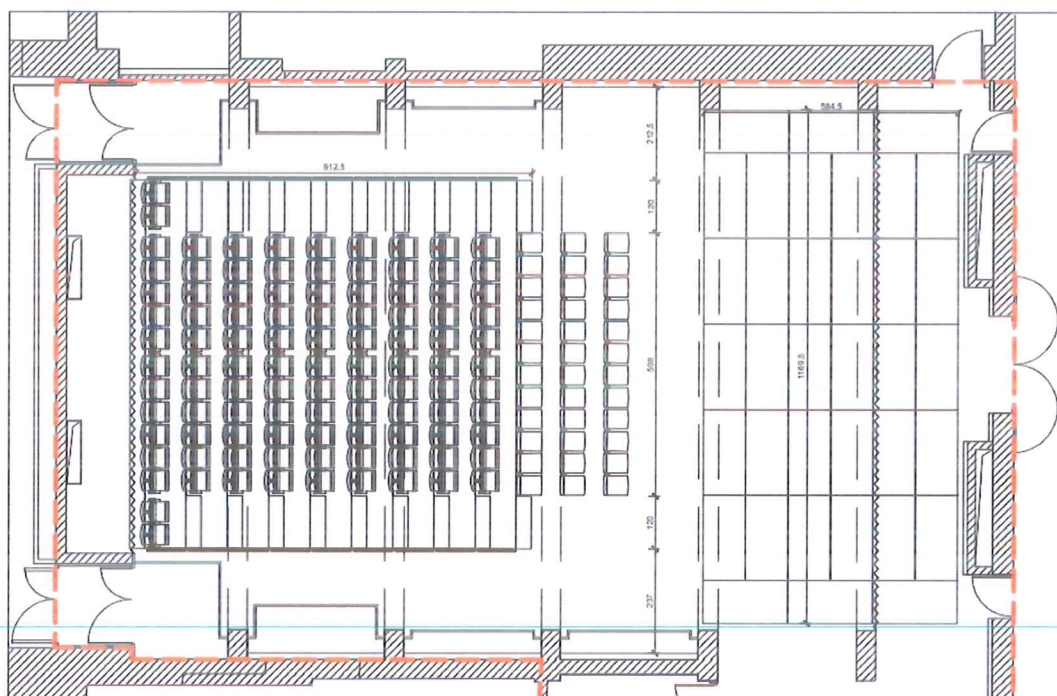
Rys. 3.4 – współczynnik pochłaniania dźwięku ściennych paneli o gr. 6 cm

### Sound Absorbition Coefficient ( $\alpha$ ) - Absorber Standard 11 cm

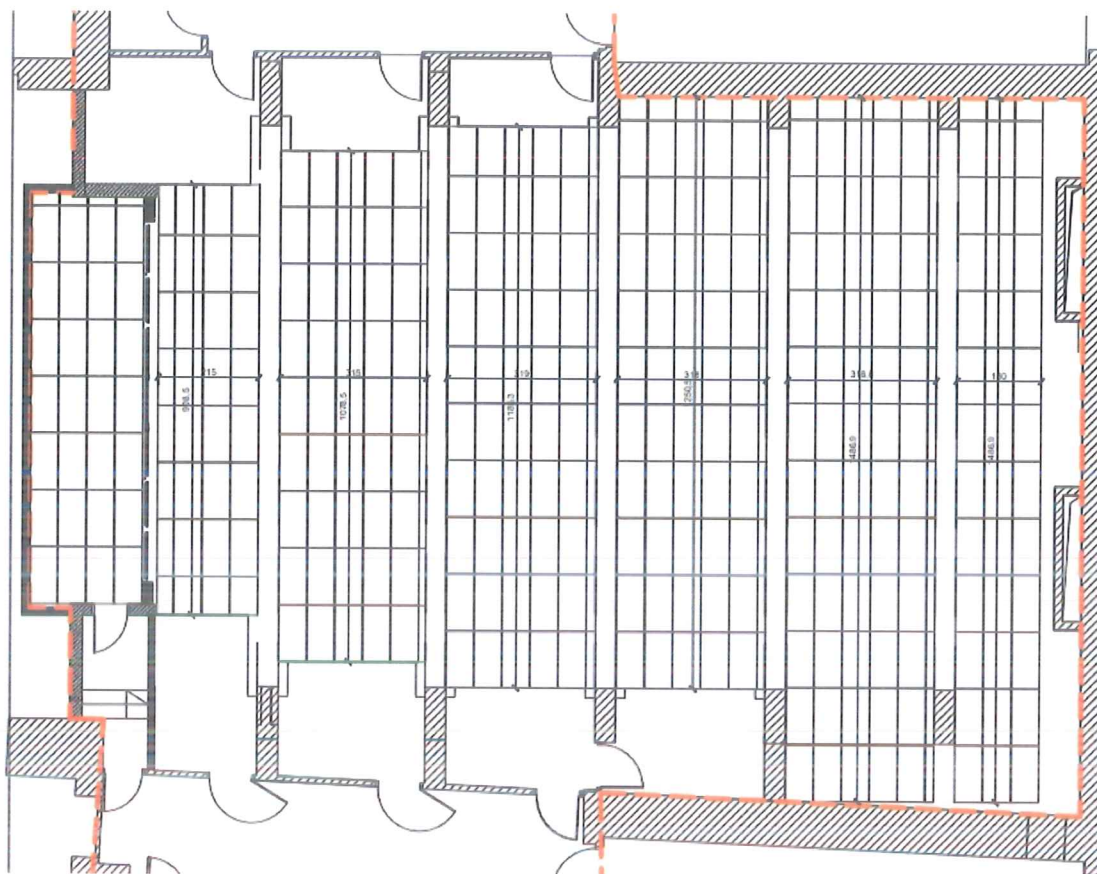


Rys. 3.5 – współczynnik pochłaniania dźwięku ściennych paneli o gr. 11 cm

Ściana tylna będzie otynkowana i pomalowana, zgodnie ze stanem faktycznym. Sala wyposażona będzie w składaną widownię teleskopową, która wyjeżdżać będzie z wnęki w tylnej ścianie. Na widowni planowane jest wykorzystanie 148 krzesełek tapicerowanych. W pomieszczeniu przewidziano również dwie kotary, jedną zlokalizowaną przed ścianą przednią, w obrębie sceny oraz mniejszą, zlokalizowaną za teleskopową widownią. Kotary zostaną wykonane z materiału Trevira CS, o gramaturze 366 g/m<sup>2</sup>. Zgodnie z założeniem, kotara zlokalizowana w obrębie sceny będzie przez większość czasu rozłożona. Plan sali, uzyskany w wyniku przesłanej dokumentacji, ukazano na rysunkach 3.6-3.9.



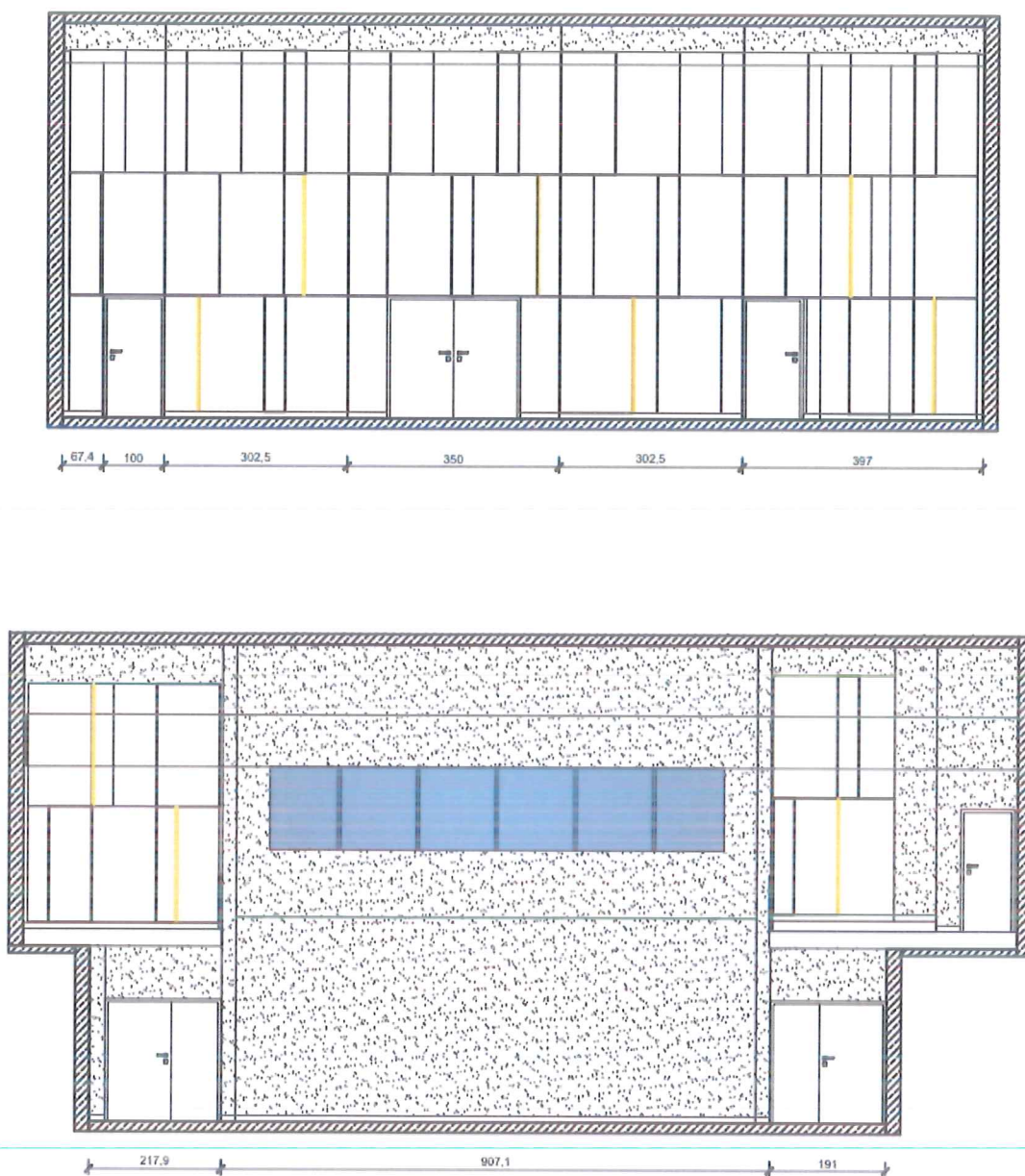
Rys. 3.6 – plan sali na podstawie dostarczonej dokumentacji – „aranżacja parter”



Rys. 3.7 – plan sali na podstawie dostarczonej dokumentacji – „rzut sufitu 1 piętro”



Rys. 3.8 – plan sali na podstawie dostarczonej dokumentacji – „widok ścian A-B C-D parter”



Rys. 3.9 – plan sali na podstawie dostarczonej dokumentacji – „widok ścian B-C D-A parter”

#### 4. Wymagania oraz zalecenia projektowe dla sal wielofunkcyjnych.

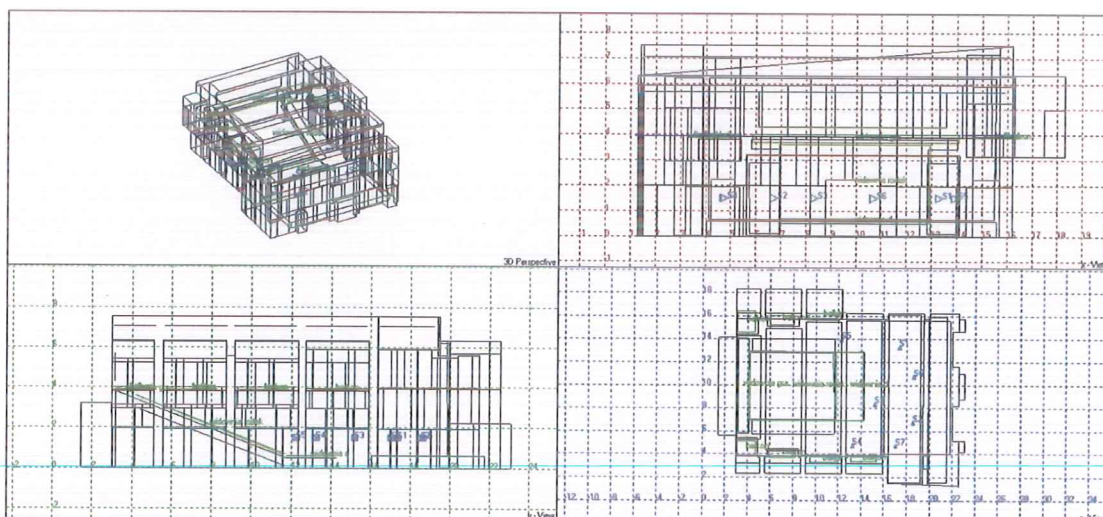
Na potrzeby niniejszego rozdziału, stworzono krótki wstęp teoretyczny, który wyjaśnia kluczowe pojęcia techniczne wykorzystane w dokumencie:

- czas pogłosu – wyrażony w sekundach, czas zaniku dźwięku w pomieszczeniu o 60 dB po wyłączeniu źródła lub po wybrzmieniu impulsu. Kluczowy parametr akustyki wnętrz. Czas pogłosu powinien być dostosowany do funkcji i kubatury pomieszczenia.
- Częstotliwość – wyrażona w hercach, wielkość fizyczna określająca liczbę cykli zjawiska okresowego w czasie; w odniesieniu do dźwięku, słyszalny przez człowieka zakres to 20-20 000Hz. Nieodłączny element profesjonalnej oceny poszczególnych parametrów akustyki wnętrz, w tym czasu pogłosu.

Zalecany czas pogłosu w zakresie częstotliwości zależny jest od kubatury pomieszczenia. Polska Norma PN-B-02151-4:2015 dotycząca warunków akustycznych wnętrz, nie określa wymagań dla pomieszczeń typu sale widowiskowe/wielofunkcyjne. Zaleca, aby każdorazowo były one ustalane indywidualnie ze specjalistą. Mając na uwadze powyższe, ze względu na chęć zachowania najwyższych standardów akustycznych oraz planowaną wielofunkcyjność sali, zaleca się, aby maksymalny czas pogłosu dla omawianego pomieszczenia wynosił nie więcej niż 1 sekunda dla częstotliwości 125-4000 Hz. Opcjonalnie, dopuszczalne jest zwiększenie czasu dla częstotliwości 125 Hz o 30 %. Aby zachować naturalne warunki akustyczne wnętrza, nie jest wskazane osiągnięcie wartości czasu pogłosu poniżej 0,3 sekundy. Osiągnięcie powyższych warunków akustycznych umożliwi zorganizowanie dobrej jakości koncertu rozrywkowego, wykładu, przemówienia, ważnej uroczystości, prezentacji filmu czy sztuki teatralnej. Aby osiągnąć wspomniane warunki akustyczne, konieczne będzie zastosowanie rozwiązań akustycznych, pochłaniających dźwięk w odpowiednich zakresach częstotliwości.

## 5. Symulacje akustyczne. Analiza oraz komentarz do wyników.

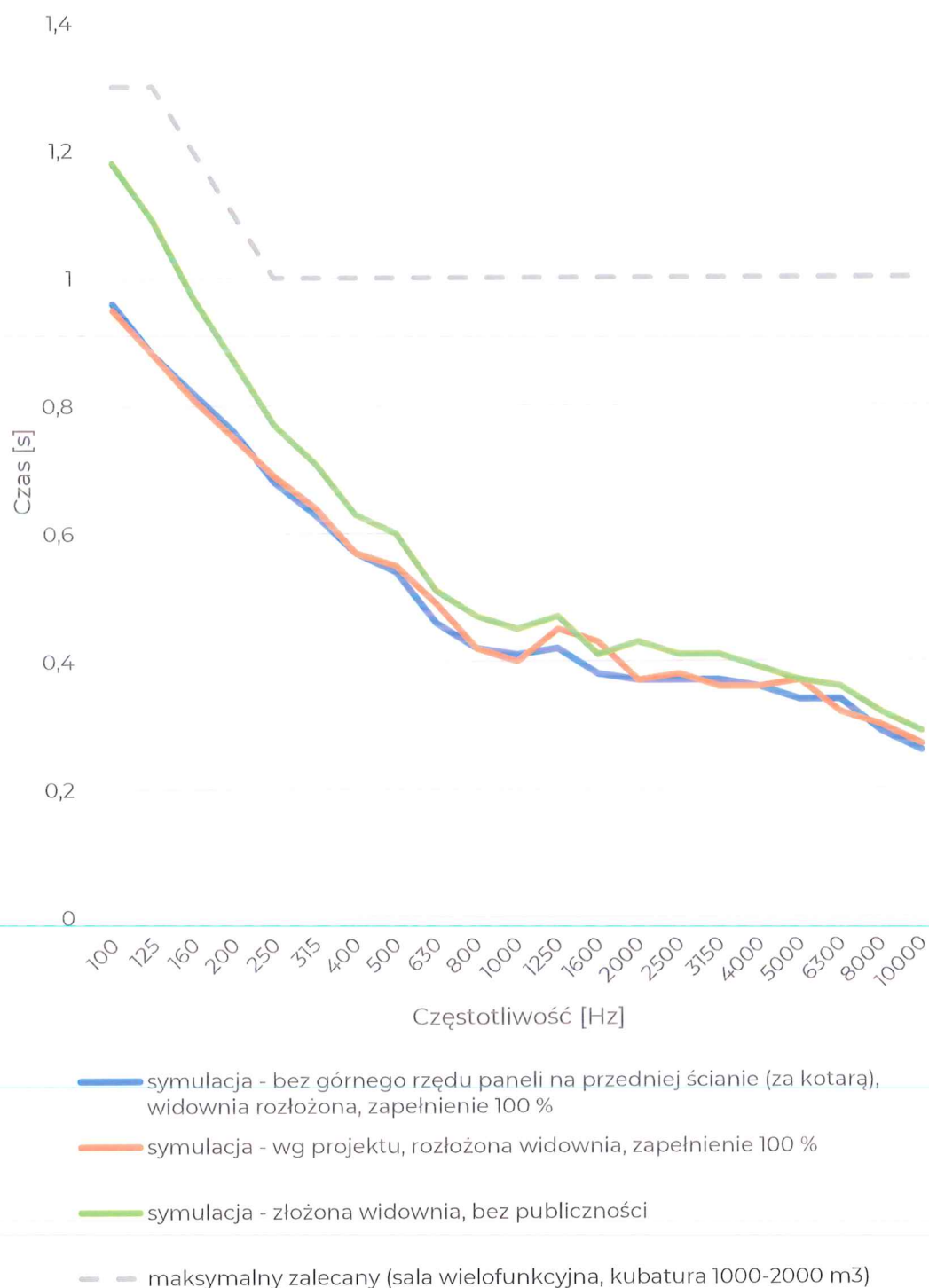
W celu optymalizacji materiałowej oraz na potrzeby weryfikacji projektu wnętrza, wykonano symulacje akustyczne przy wykorzystaniu metod geometrycznych. W tym celu wykonano model akustyczny pomieszczenia, zgodnie z otrzymanym projektem wnętrza. Zamodelowano obszar odsłuchowy oraz przypisano odpowiednie źródła dźwięku, odpowiadające metodologii pomiarowej. Każdej z płaszczyzn przypisano odpowiednie współczynniki pochłaniania i opcjonalnie, rozpraszania dźwięku. Następnie, wykonano szereg symulacji w różnych wariantach wykończenia oraz przy różnym zapełnieniu sali publicznością. Model akustyczny, ukazano na rysunku 5.1. Wynik czasu pogłosu uzyskany po symulacji, z uwzględnieniem poszczególnych wariantów, ukazano na rysunku 5.2. Na rysunkach 5.3-5.4 ukazano wypadkowy rozkład poziomu ciśnienia akustycznego, zgodnie z zastosowaną metodologią pomiarową.



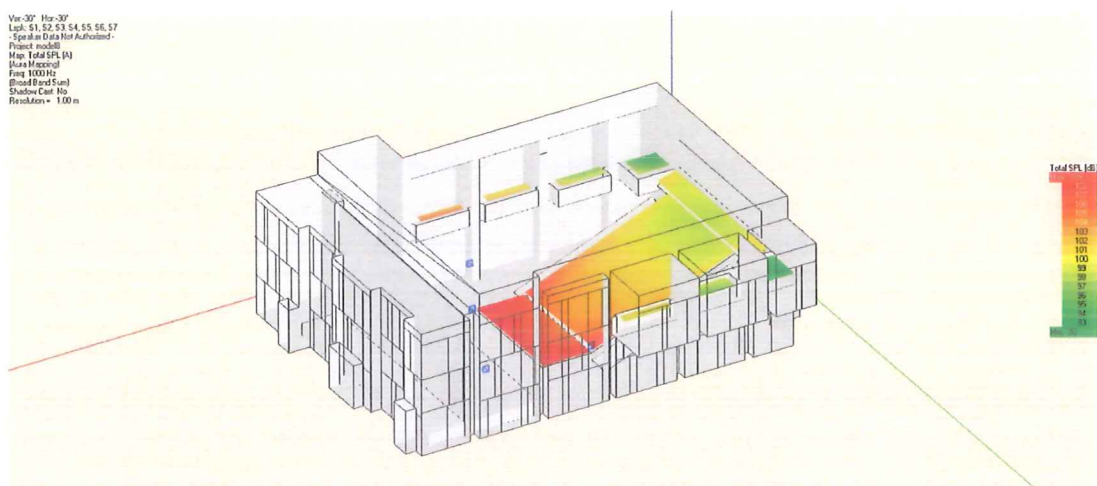
*Rys. 5.1 – model akustyczny pomieszczenia*

### Czas pogłosu T30

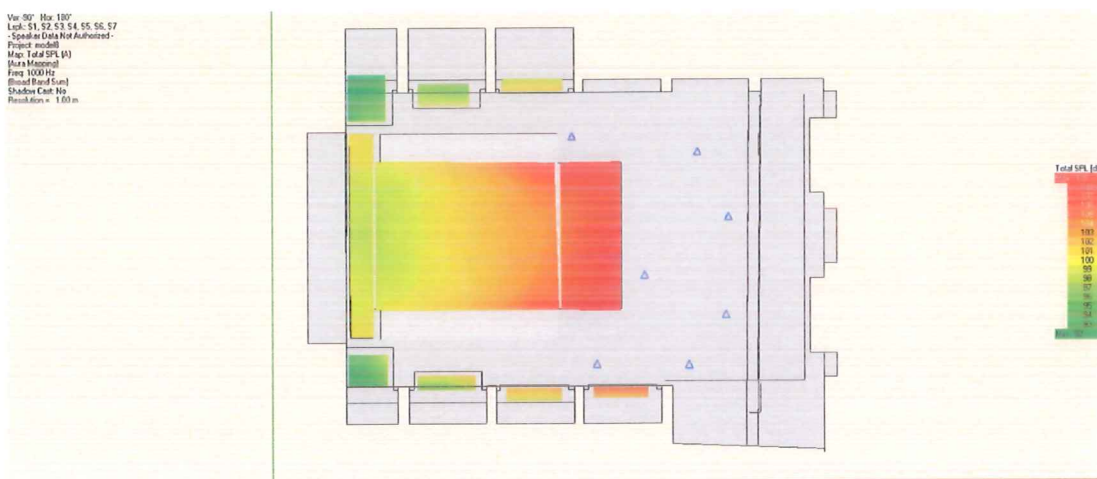
sala wielofunkcyjna w Domu studenckim  
"Hanka" UAM (Poznań)



Rys. 5.2 – czas pogłosu po adaptacji akustycznej



Rys. 5.3 – rozkład poziomu dźwięku (Total SPL(A), Broadband) – widok z boku



Rys. 5.4 – rozkład poziomu dźwięku (Total SPL(A), Broadband) – widok z góry

### **KOMENTARZ DO WYNIKÓW**

Analizując otrzymane wyniki, dla każdego z badanych wariantów czas pogłosu spełnia poczynione założenia. Dla żadnej z częstotliwości w zakresie 100 - 10 000 Hz jego charakterystyka nie przekracza wartości wymaganych oraz nie jest mniejsza niż 0,3 s. Przebieg krzywych nie jest jednak liniowy – niskie częstotliwości wybrzmiewają dłużej niż częstotliwości średnie i wysokie.

Analizując zaproponowaną na rys. 5.2 metodę optymalizacji ilości rozwiązań akustycznych na ścianie przedniej (za kotarą) w postaci rezygnacji

z ostatniego, górnego rzędu paneli akustycznych, należy stwierdzić, iż optymalizacja nie wprowadziła istotnych różnic w przebiegu krzywej. Należy więc uznać, iż zabieg ten wpłynie korzystnie na budżet, mając znikomy wpływ na końcowy efekt akustyczny sali.

Analizując różnice pomiędzy pełnym wypełnieniem sali, a sytuacją, w której widownia jest złożona, należy dostrzec istotne różnice w czasie pogłosu. Wariant, w którym widownia jest złożona charakteryzuje się dłuższym czasem pogłosu w sali dla całego pasma częstotliwości. Największe różnice występują dla zakresu częstotliwości niskich (<250 Hz). Wariant, w którym widownia jest rozłożona, a frekwencja na sali bliska 100 % jest wariantem najbardziej korzystnym z perspektywy akustyki wnętrza. W takiej sytuacji dla żadnego z pasm częstotliwości, czas pogłosu nie przekracza 1 sekundy, czyniąc akustykę pomieszczenia najbardziej optymalną, zgodnie z założeniem wielofunkcyjności pomieszczenia.

## 6. Wytyczne.

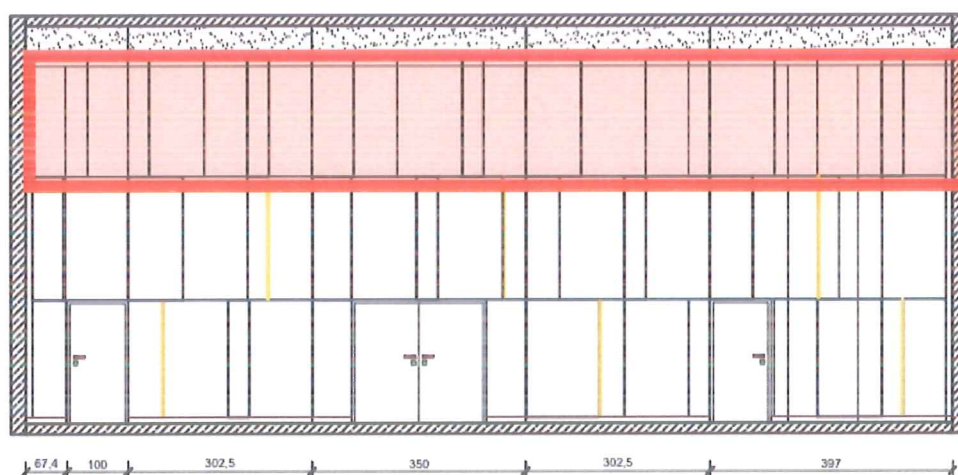
Na podstawie powyższej analizy, sformułowano szereg wytycznych, które bez istotnej ingerencji w design sali, mogą zoptymalizować budżet oraz poprawić warunki akustyczne. Zaleca się:

### WYSOKI PRIORYTET

- Zwiększenie ilości grubszych rozwiązań ściennych (11 cm) o ok. 10-15 %, przy zachowaniu ich równomiernego rozłożenia na ścianach. Zabieg ten zwiększy pochłanianie paneli w niskich częstotliwościach, wynikowo zmniejszając czas pogłosu w tym zakresie w pomieszczeniu, co przyczyni się do lepszych warunków akustyki wnętrza dla muzyki i koncertów. Zabieg ten nie wpłynie negatywnie na warunki akustyczne dla innych funkcji wykorzystania pomieszczenia.
- Dodanie dodatkowych warstw otwartokomórkowego materiału pochłaniającego, np. wełny mineralnej ponad dźwiękochłonny sufit podwieszany, o łącznej grubości 20 cm. Dodatkowo, o ile pozwolą na to projekty branżowe, zaleca się zawieszenie sufitu w odległości ok. 50

cm od stropu właściwego (kaseton-strop właściwy). Zabieg ten zwiększy pochłanianie rozwiązań w niskich częstotliwościach, co pozytywnie wpłynie na akustykę sali dla muzyki i koncertów oraz zmniejszy propagację dźwięku pochodzącego od instalacji technicznych zlokalizowanych na suficie. Przykład analogicznego rozwiązania to Ecophon Master Rigid A 20 mm + 2 x Extra Bass 10 mm

- Rezygnację z najwyższego rzędu paneli akustycznych, zlokalizowanych na ścianie przedniej (za kotarą). Na podstawie przeprowadzonej analizy wykazano, iż nie odgrywają one istotnej roli w kreowaniu akustyki wnętrza. Ich lokalizację zaznaczono poglądowo na rys. 6.1.



*Rys. 6.1 – proponowana metoda optymalizacji ilości rozwiązań na ścianie przedniej*

- Rezygnację z zastosowania płyty HDF jako wykończenia tyłu ściennych paneli akustycznych, mając na celu „zwiększenie pochłaniania w zakresie niskich częstotliwości” (na podstawie dostarczonej dokumentacji). W celu zwiększeniu pochłaniania niskich częstotliwości, należałoby zastosować płytę HDF jako front panelu, za którym zlokalizowany byłby materiał pochłaniający. Tego typu rozwiązanie zmieniałoby jednak całkowicie sposób działania ustroju na niepożądany dla funkcji sali wielofunkcyjnej. Tego typu rozwiązanie nosi nazwę ustroju membranowego i stosowane jest w specjalistycznych salach koncertowych, studiach nagrań bądź

salonach odsłuchowych. Nie istnieją również jakiegokolwiek badania dowodzące pozytywnego wpływu zamkniętokomórkowej płaszczyzny jako wykończenia panelu akustycznego o charakterze szerokopasmowego pochłaniania dźwięku, poza zastosowaniem pustki powietrznej. Wykończenie tyłu panelu w postaci płyty HDF najczęściej ma jedynie aspekt ułatwiający montaż ustroju do płaszczyzny.

## **NIŻSZY PRIORYTET**

- Zastosowanie w obrębie sceny wielowarstwowych kotar akustycznych, z rdzeniem izolacyjnym pomiędzy warstwami materiału Trevira CS, najlepiej o budowie minimum 5-cio warstwowej. Wyposażenie kotary w tego typu rdzeń zwiększa właściwości dźwiękochłonne oraz izolacyjne kotary, dzięki czemu dodatkowo ograniczane są dźwięki dochodzące do publiczności zza kotary, np. podczas próby dźwiękowej muzyków. Przykład tego typu kotary to Gerriets Office.
- Zastosowanie siedzisk tapicerowanych, z perforowanym frontem (dolną częścią) siedziska. Dzięki temu, np. gdy część widowni jest pusta, siedziska w optymalny sposób pochłaniają dźwięk, odbijając część wysokich częstotliwości, niepotrzebnie nie przetłumiając pomieszczenia w zakresie częstotliwości wysokich, w odróżnieniu od standardowych siedzisk tapicerowanych. Przykład rozwiązania ukazano na rysunku 6.2.



*Rys. 6.2 – fotel tapicerowany z perforowanym frontem*

**UWAGA 1:**

Nie należy stosować materiałów pochłaniających o gęstości mniejszej niż 50 kg/m<sup>3</sup> oraz większej niż 80 kg/m<sup>3</sup>. Przywołany zakres gęstości jest najbardziej optymalny, mając na uwadze pochłanianie dźwięku przez materiał.

**UWAGA 2:**

Pylące materiały pochłaniające dźwięk należy zabezpieczać przez pyleniem jedynie wykorzystując otwartokomórkowe formy zabezpieczenia, np. agrowłóknina, flizelina. Niedopuszczalne jest stosowanie folii stretch bądź analogicznych, zamkniętokomórkowych rozwiązań w tym celu.

**UWAGA 3:**

Wykonanie prac należy bezwzględnie zweryfikować poprzez wykonanie powykonawczych pomiarów akustycznych, po zakończeniu prac. Pomiary powinna wykonać osoba z tytułem min. mgr inżyniera w dziedzinie akustyki. Prace polegające na adaptacji akustycznej powinna wykonać specjalistyczna

firma, posiadająca doświadczenie w wykańczaniu specjalistycznych pomieszczeń do odsłuchu dźwięku. Są to bowiem prace wymagające ponadprzeciętnej precyzji i dokładności, aby osiągnąć zamierzony efekt akustyczny.

**UWAGA 4:**

Wszelkie modyfikacje, wątpliwości bądź zmiany w projekcie powinny być bezwzględnie konsultowane z autorem opracowania.

KONIEC OPRACOWANIA

**Bartłomiej Czubak**

właściciel, mgr inż. akustyk

