

## ***Operat akustyczny***

### *Projekt adaptacji akustycznej sali koncertowej w Nowogrodzkim Domu Kultury*

dokument nr PAN/087/02

Autor: dr Jarosław Gil

A handwritten signature in blue ink that reads "Jarosław Gil". The signature is written over a horizontal dotted line.

podpis

Wykonano dla:

Ośrodek Kultury Sportu i Rekreacji  
w Nowogrodzie Bobrzańskim

Zielona Góra, Lipiec 2020

## **SPIS TREŚCI**

	Strona
SPIS TREŚCI .....	2
1 PRZEDMIOT OPRACOWANIA.....	3
2 PODSTAWA OPRACOWANIA .....	3
3 PROCEDURA .....	3
4 WYTYCZNE ORAZ WSTĘPNE POMIARY.....	4
5 SYMULACJE .....	6
6 REKOMENDACJE .....	12
ZAŁĄCZNIK 1 – Słowniczek.....	19
ZAŁĄCZNIK 2 – Świadectwo wzorcowania aparatury pomiarowej.....	20

## **1 PRZEDMIOT OPRACOWANIA**

Celem niniejszego opracowania jest stworzenie projektu adaptacji akustycznej sali koncertowej w Nowogrodzkim Domu Kultury pod kątem warunków pogłosowych oraz wyznaczenie wytycznych dla ochrony przeciwhałasowej.

## **2 PODSTAWA OPRACOWANIA**

[1] 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.

[2] Sadowski J. „Akustyka Architektoniczna”, Warszawa 1976

[3] Everest F.A. „Master handbook of acoustics. Fifth Edition”

## **3 PROCEDURA**

### **3.1 Pomiary**

Pomiar czasu pogłosu wykonano metodą impulsową w pięciu dyskretnych punktach. Do pomiarów wykorzystano następujący sprzęt pomiarowy:

- Czterokanałowy analizator dźwięku SVAN 958 I klasy dokładności zgodnie z IEC 61672:2002. Numer fabryczny: 20830. Wzorcowanie fabryczne: 23 Września 2019, nr świadectwa: 2488/2019 (skan świadectwa wzorcowania w Zał. 2).
- Przedwzmacniacz mikrofonowy SV 12L, numer fabryczny: 24134.
- Mikrofon SV 22, numer fabryczny: 4013557.
- Kalibrator akustyczny Quest Electronics CA-22, numer fabryczny J0010018. Wzorcowanie fabryczne: 23 Września 2019, nr świadectwa 2489/K/2019 (skan świadectwa w Załączniku 2).

Kalibracja sprzętu pomiarowego do 94 dB +/- 0,1 dB wykonana przed pomiarami i po pomiarach.

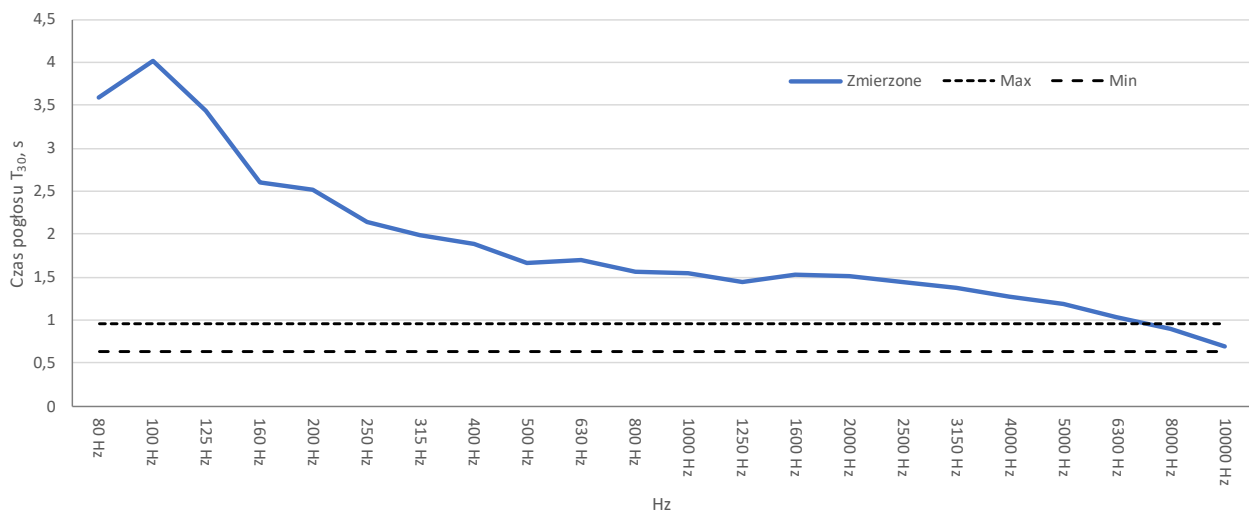
### **3.2 Symulacje**

Symulacje wykonano za pomocą programu Catt Acoustic. W symulacjach użyto dwóch źródeł dźwięku w miejscu głośników oraz 12 punktów odbiorczych w miejscu widowni.

#### 4 WYTYCZNE ORAZ WSTĘPNE POMIARY

Założeniem projektu adaptacji akustycznej danego pomieszczenia jest dostosowanie charakterystyki pogłosu do standardów sali widowiskowej z nagłośnieniem. Czas pogłosu mierzony w pomieszczeniu po adaptacji powinien wynosić **0,8s +/- 20%** dla pasma w zakresie 63Hz – 4000 Hz.

Aktualne pomieszczenie ma kubaturę ok. 720 m<sup>3</sup>. Czas pogłosu zmierzono metodą impulsową w tercjowych pasmach częstotliwościowych. Użyto pięciu lokalizacji źródła dźwięku oraz pięciu punktów pomiarowych. Uśrednione wartości czasu pogłosu ( $T_{30}$ ) przedstawiono na Rys. 1. Wartości, w zależności od częstotliwości, mieszczą się w zakresie 0,70 – 4,0 s. Jak widać na wykresie, bardzo znacząco przewyższa to zalecane wartości.



Rys. 1. Uśrednione wartości czasu pogłosu  $T_{30}$ , s, porównane z zalecanym zakresem.

Wskaźnik transmisji mowy STI to bezwymiarowy parametr w zakresie od 0 do 1 określający w sposób obiektywny zrozumiałość mowy. Na podstawie wskaźnika STI możliwa jest ocena zrozumiałości mowy:

<u>Wartość STI</u>	<u>Ocena</u>
0,75 - 1,00	Znakomita
<u>0,60 - 0,75</u>	<u>Dobra</u>
0,45 - 0,60	Zadowolająca
0,30 - 0,45	Słaba
0 - 0,30	Zła

W sali koncertowej zaleca się osiągnięcie co najmniej 'dobrej' zrozumiałości mowy (**STI  $\geq$  0,60** w szerokim zakresie częstotliwości). Wskaźnik transmisji mowy zależny jest od względnego położenia

źródła oraz odbiorcy, warunków pogłosowych oraz poziomu hałasu tła (ochrony przeciwhałasowej).  
Ważna jest także wysoka jakość aparatury nagłaśniającej.

Budynek Nowogrodzkiego Domu Kultury nie jest narażony na wysoki hałas uliczny od zewnątrz. Konieczna jest jednak kontrola hałasu od urządzeń w sali. Hałas od wentylacji, klimatyzacji, oświetlenia oraz wszelkich innych urządzeń (np. rzutnika) nie powinien przekraczać wartości krzywej granicznej NR25 (wartości w pasmach oktawowych przedstawione w Tabeli 1 lub wartości 35 dB(A)).

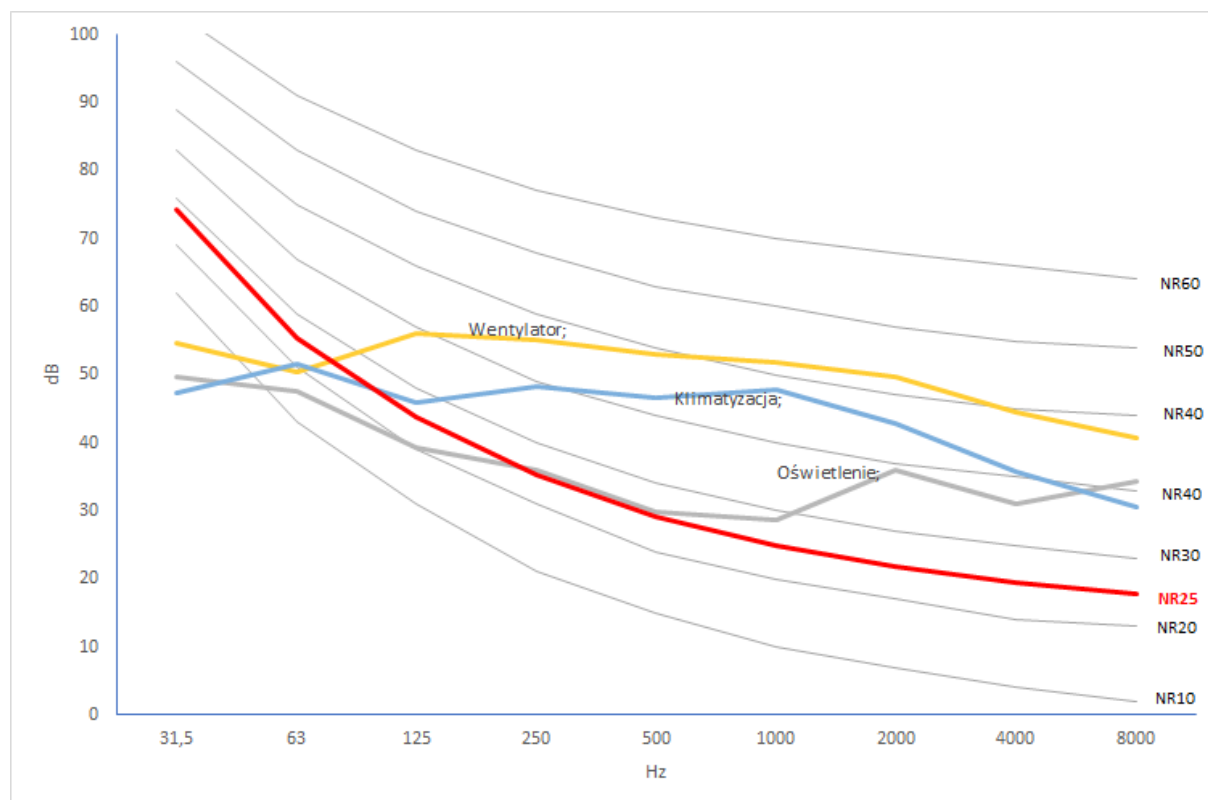
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
55,3	43,8	35,3	29,2	25	21,9	19,5	17,8

**Tabela 1 – Górna granica poziomu hałasu instalacyjnego w pasmach oktawowych (SPL, dB), odpowiadający wartości krzywej granicznej NR25**

W budynku przed adaptacją wykonano pomiar hałasu od:

- wentylatora ściennego;
- klimatyzacji;
- oświetlenia górnego sali.

Wyniki pomiarów przedstawiono na Rys. 2. Widać, że hałas od urządzeń znacząco przekracza zalecane wartości. Szczególnie głośny jest wentylator ścienny.



**Rys. 2. Wyniki pomiarów hałasu instalacyjnego.**

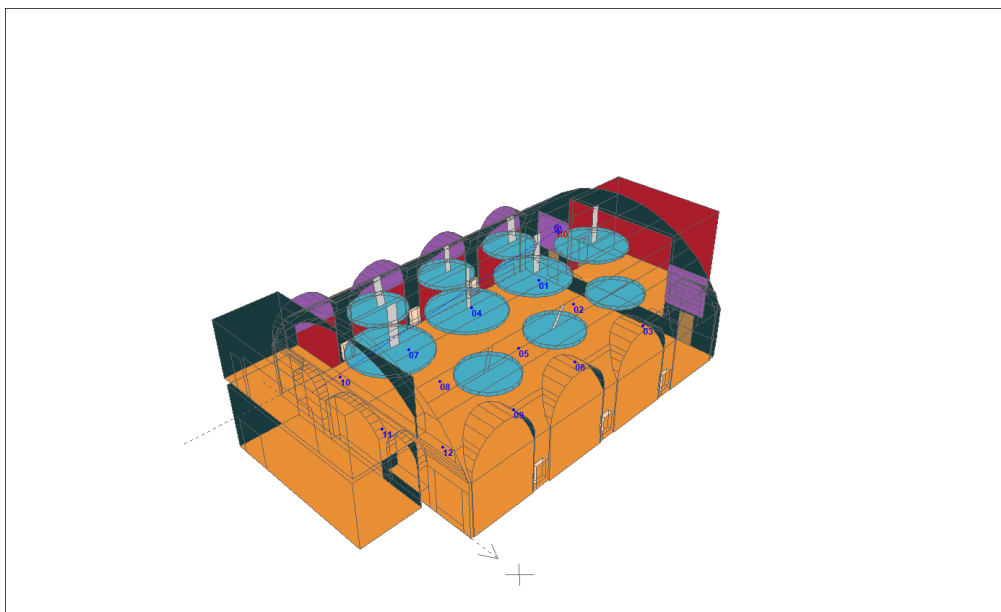
## 5 **SYMULACJE**

Rozwiązania materiałowe adaptacji akustycznej wyznaczono za pomocą symulacji numerycznych, wykonując model pomieszczenia w programie Catt Acoustic 9.1. Materiały użyte w symulacjach oraz ich współczynniki pochłaniania  $\alpha$  przedstawione są w Tabeli 2:

Materiał / ustrój	Powierzchnia, m <sup>2</sup>	Współczynnik pochłaniania dźwięku $\alpha$ w oktawowym paśmie częstotliwości					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Podłoga - parkiet	280,74	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Ściany - kurtyna	161,76	0,05	0,25	0,40	0,40	0,50	0,70
Ściany i sufit – beton	328,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ściany – panele drewniane perforowane	108,96	0,96	0,65	0,67	0,63	0,59	0,57
Sufit – panele drewniane perforowane	205,31	0,50	0,60	0,75	0,73	0,61	0,50
Podwieszane ustroje dźwiękochłonne	91,62	0,75	0,60	0,60	0,35	0,25	0,25
Sufit nad sceną – wełna mineralna przykryta flizeliną	31,5	0,30	0,50	0,80	0,80	0,95	0,90

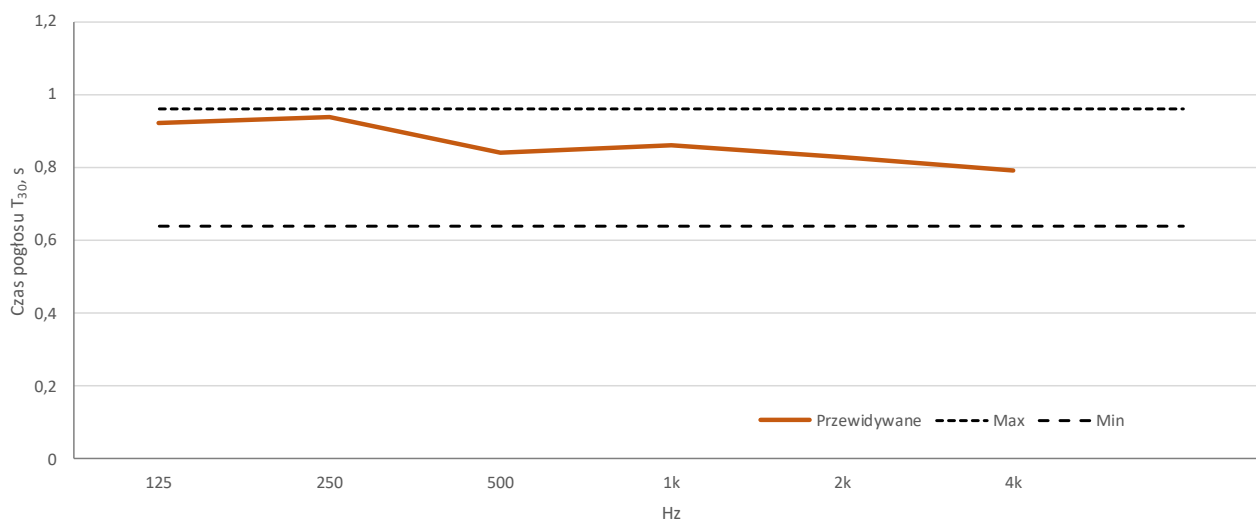
**Tabela 2 – Wartości współczynnika pochłaniania  $\alpha$  użyte w symulacjach**

Widok modelu 3D przedstawiono na Rys. 3.



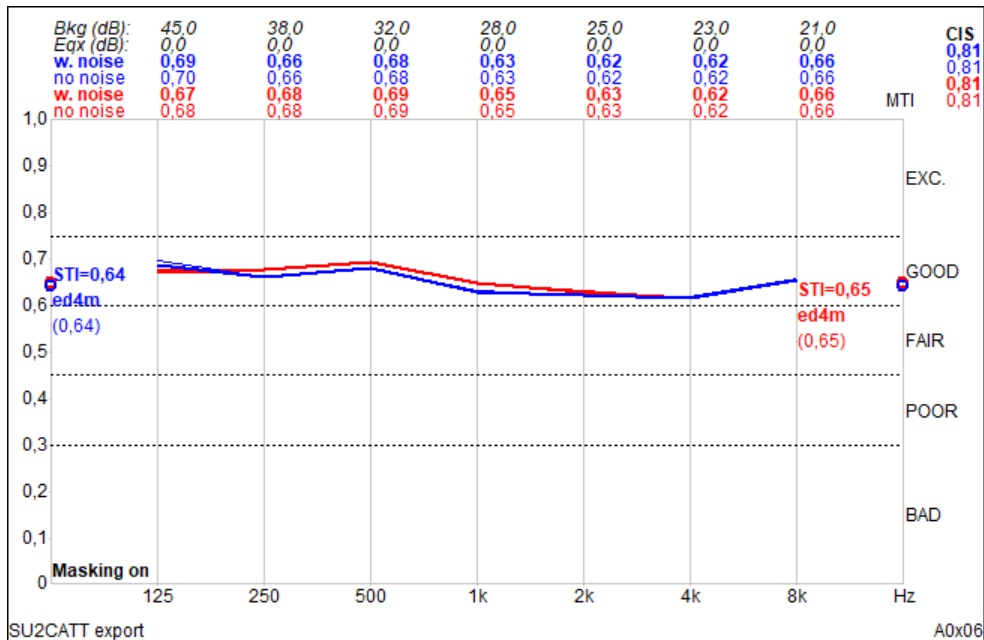
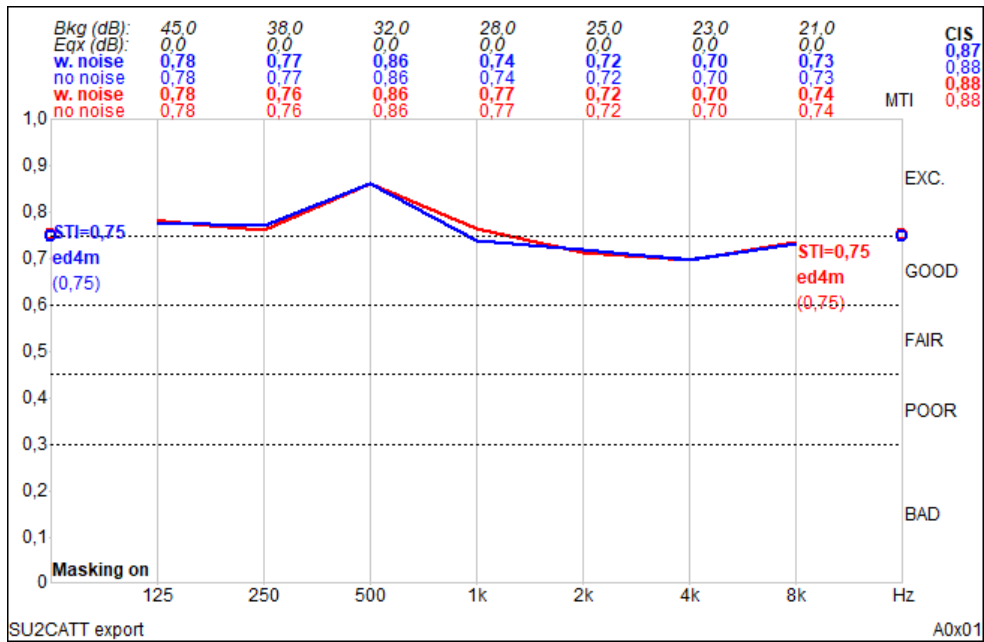
Rys. 3. Widok 3D modelu Catt Acoustic

Uśrednione w przestrzeni wyniki przewidywanych wartości czasu pogłosu przedstawiono na wykresie na Rys. 4. Rys. 5 oraz 6 przedstawiają przewidywane wartości wskaźnika transmisji mowy STI. Przewidywane wartości spełniają założenia projektowe. Dzięki zalecanej adaptacji akustycznej uzyskane będzie płaskie widmo czasu pogłosu mieszczące się w zalecanym zakresie.

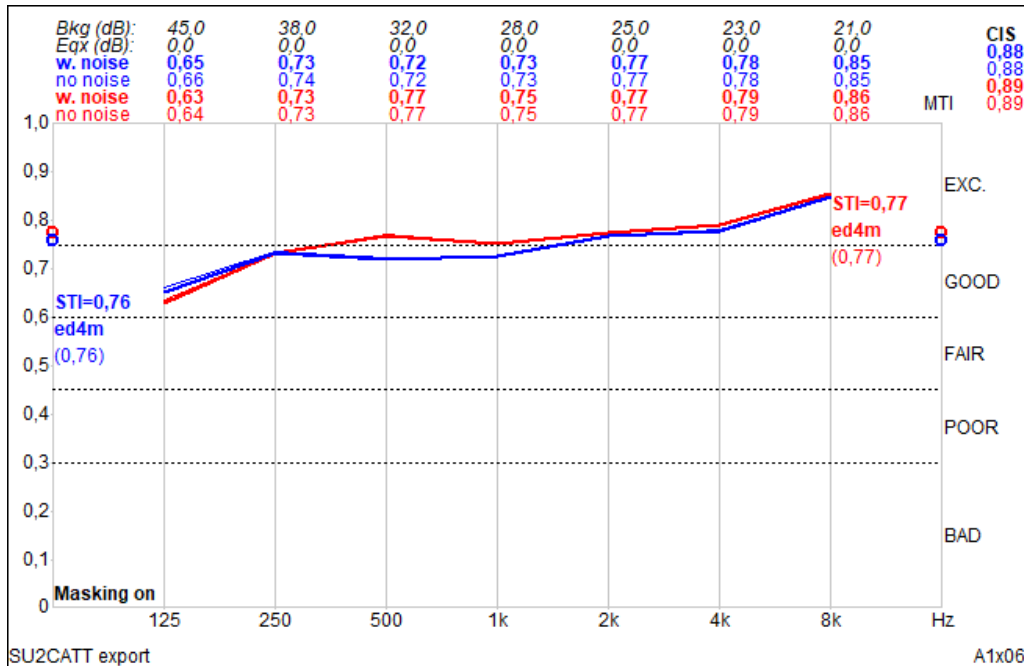
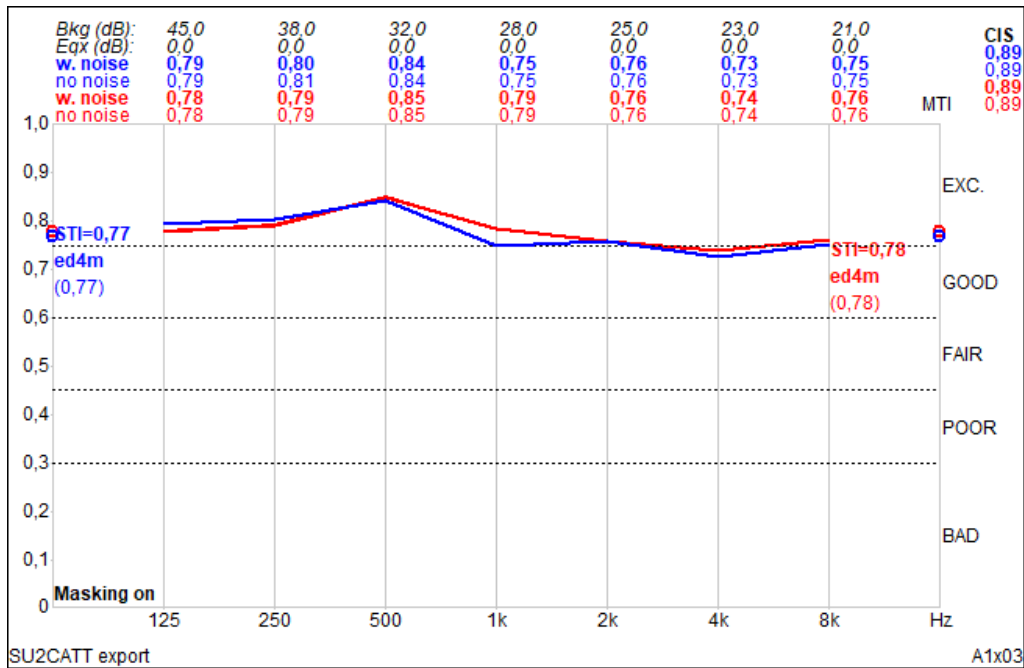


**Rys. 4. Przewidywany czas pogłosu  $T_{30}$  [s] w porównaniu do aktualnego czasu pogłosu.**

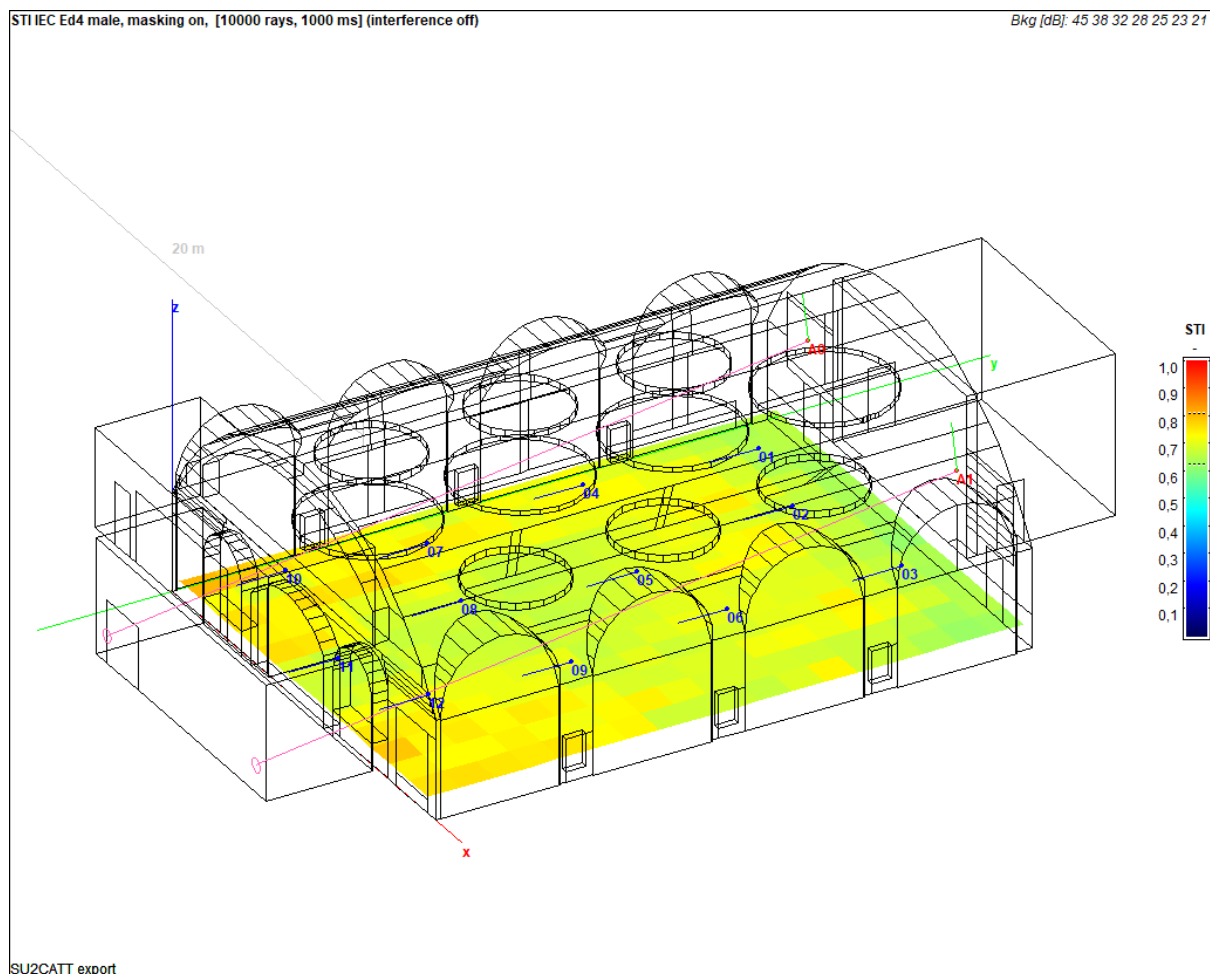




Rys. 5. Przewidywany wartości wskaźnika STI w przykładowych konfiguracjach źródło - odbiorca.



Rys. 5 (kont.). Przewidywany wartości wskaźnika STI w przykładowych konfiguracjach źródło - odbiorca.

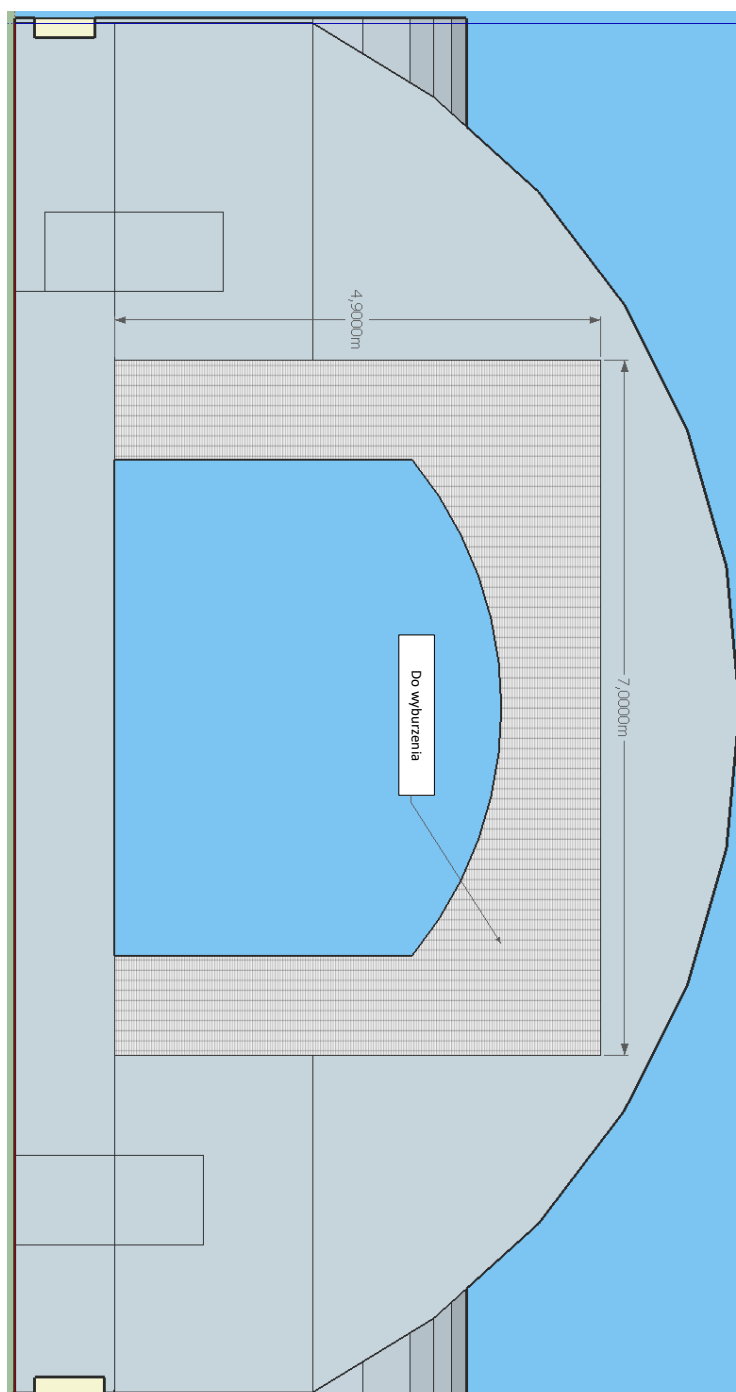


Rys. 6. Mapa rozkładu wskaźnika transmisji mowy STI dla pasma 1kHz.

## 6 REKOMENDACJE

### 6.1. Światło sceny

W celu dostosowania standardów sceny do nowoczesnych wymogów technicznych koncertów zaleca się wyburzenie łuków i pozostawienie prostokątnego światła sceny o wymiarach 4,9 x 7 m. Przebudowa ta pozwoli m.in. na zamontowanie profesjonalnego okratowania dla światła scenicznego oraz na ewentualne modyfikacje oświetlenia w zależności od potrzeb. Prostokątne światło sceny otworzy jej przestrzeń dla publiczności przez co koncerty lub spektakle zyskają na atrakcyjności.



## **6.2 Ustroje akustyczne**

Na kolejnych stronach przedstawione są rysunki z lokalizacjami i wymiarami kolejnych ustrojów ponumerowanych odpowiednio:

**[1]** sufit – zakrzywione panele dźwiękochłonne Ideacoustic Standard32 Flex (205,3 m<sup>2</sup>)

**[2]** wiszące ustroje dźwiękochłonne szerokopasmowe 4szt. o konstrukcji (od dołu):

- płyta Nida Sonic RN12/20/35 n0 wycięte na okrąg o średnicy 4 m z wtopionym punktowym oświetleniem;
- konstrukcja sufitu podwieszanego T24;
- wełna mineralna o gęstości 30-50 kg/m<sup>3</sup> i grubości 10 cm zakryta czarną flizeliną;
- pasek z tworzywa sztucznego o gr. 10 cm okalający wełnę mineralną. Po wewnętrznej powierzchni paska oświetlenie z taśmy ledowej.

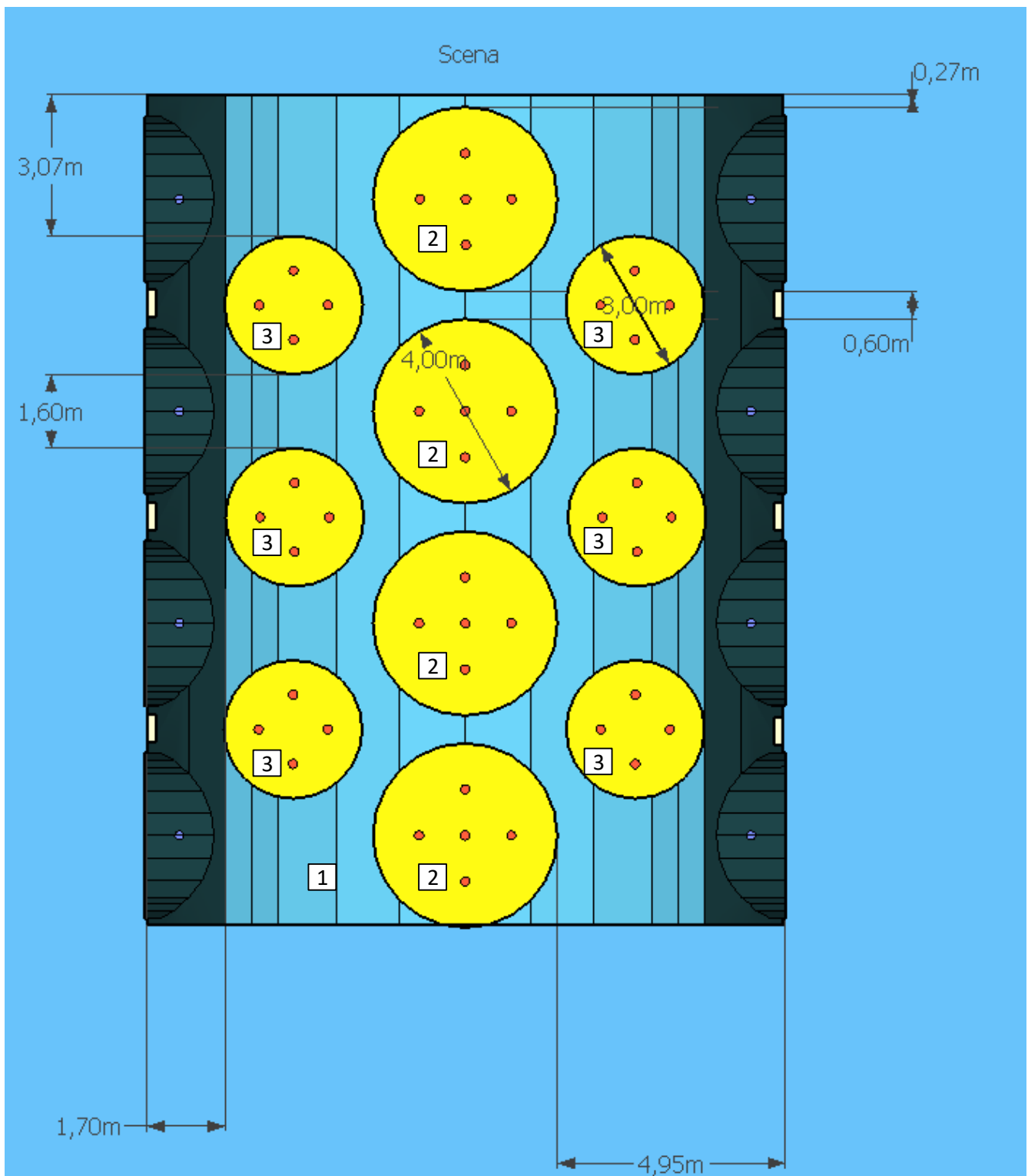
**[3]** wiszące ustroje dźwiękochłonne szerokopasmowe 6szt. o konstrukcji (od dołu):

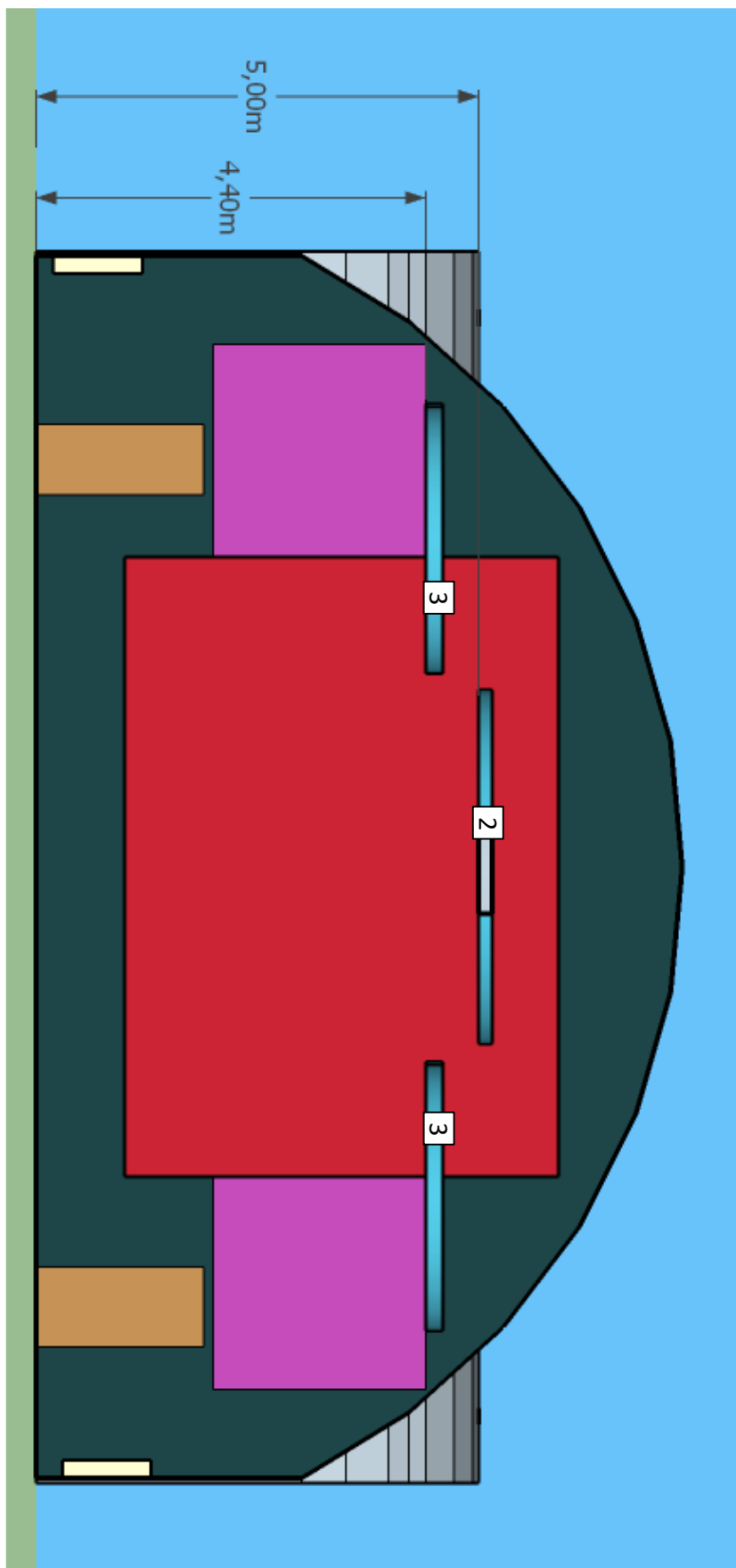
- płyta Nida Sonic RN12/20/35 n0 wycięte na okrąg o średnicy 3 m z wtopionym punktowym oświetleniem;
- konstrukcja sufitu podwieszanego T24;
- wełna mineralna o gęstości 30-50 kg/m<sup>3</sup> i grubości 10cm zakryta czarną flizeliną;
- pasek z tworzywa sztucznego o gr. 10 cm okalający wełnę mineralną. Po wewnętrznej powierzchni paska oświetlenie z taśmy ledowej.

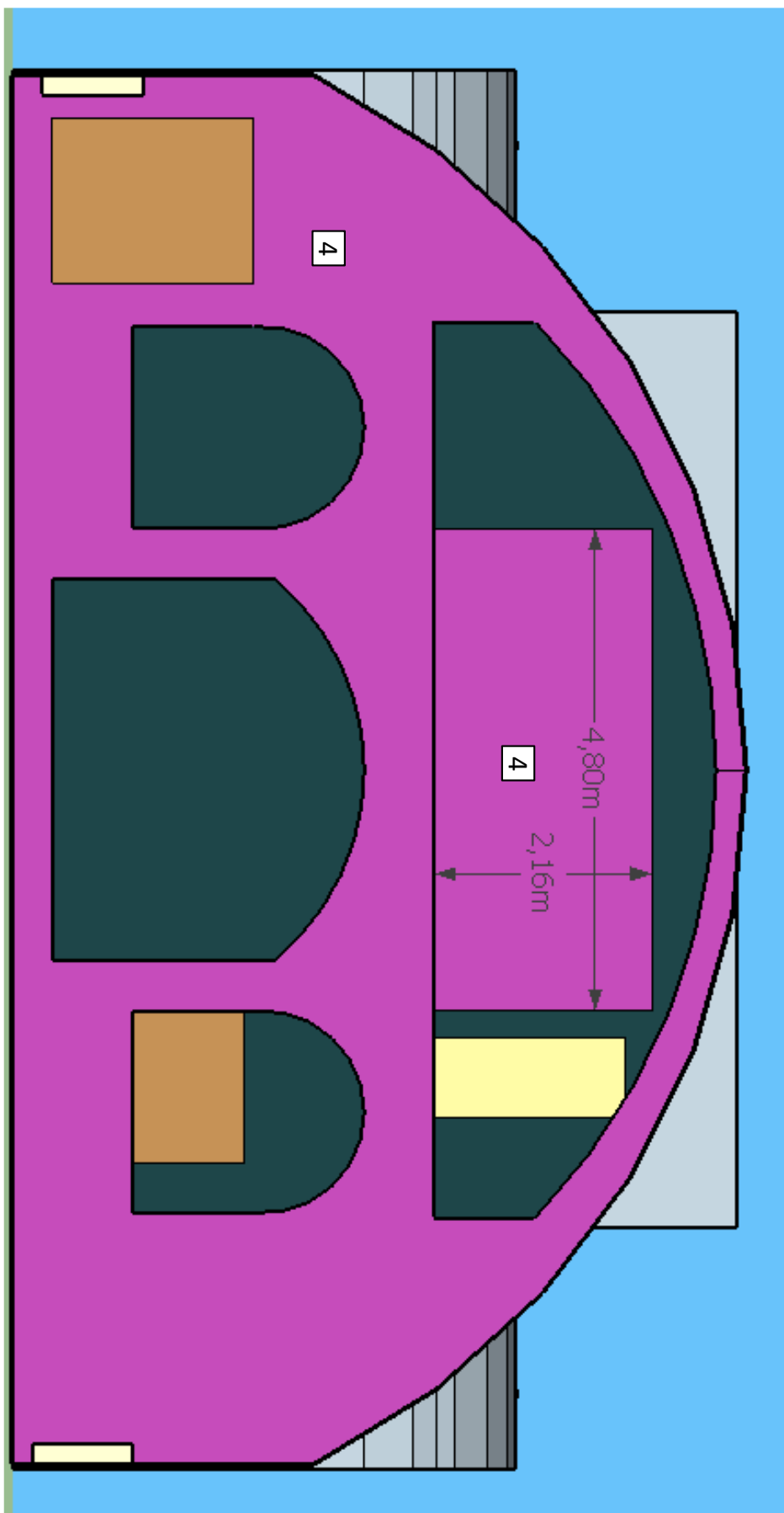
**[4]** Ściany boczne pod łukami / ściana naprzeciw sceny / ściana za balkonem / ściany po bokach sceny - panele dźwiękochłonne Ideacoustic Standard32 (wymagana odległość od ścian 15,4 cm z wypełnieniem z wełny mineralnej za panelami). Łączna powierzchnia: 109 m<sup>2</sup>.

**[5]** Ściany boczne pod łukami / ściany boczne i tylna na scenie - kotary plusz o gramaturze min. 300g/m<sup>2</sup> (np. Tuchler Chopin) z marszczeniem 50%. Łączna powierzchnia: 161,76 m<sup>2</sup>.

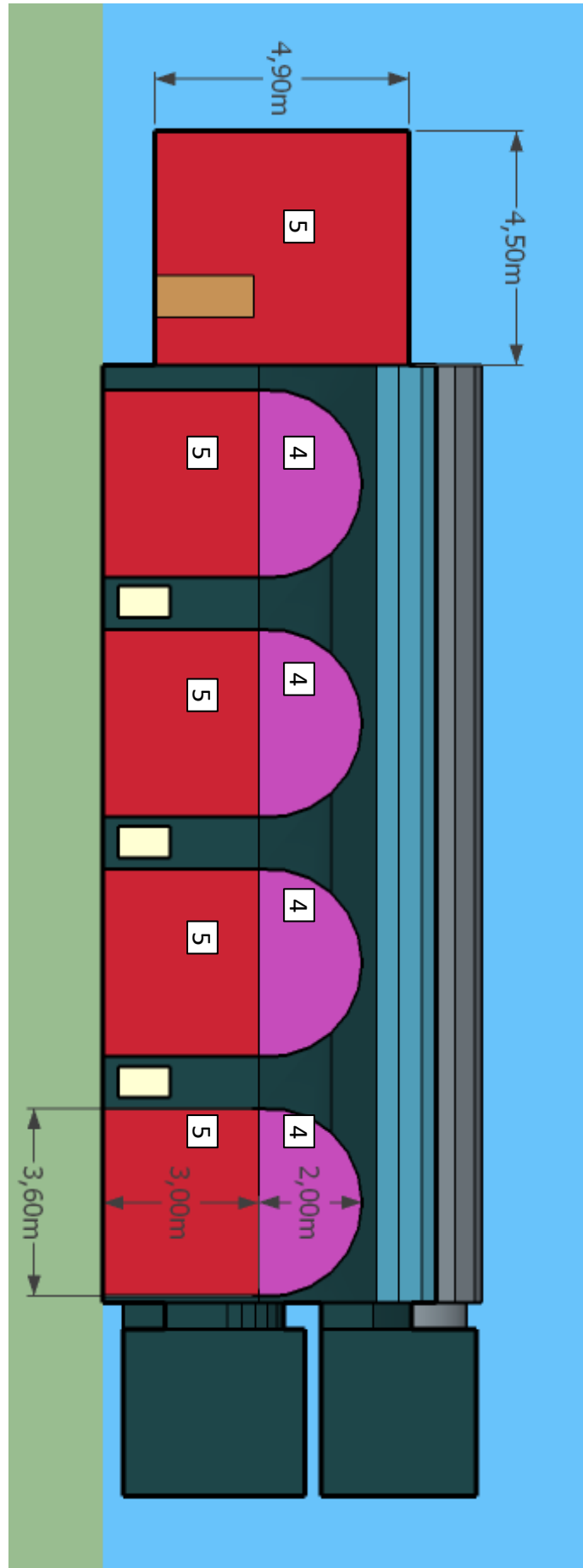
**[6]** Sufit sceny – wełna mineralna pokryta fizeliną (31,5 m<sup>2</sup>), np Isover Ventirem Plus 50 mm lub podobne











### **6.3 Ochrona przeciwhałasowa**

Całkowity hałas od nowej instalacji wentylacyjno-klimatyzacyjnej, oświetlenia oraz innych urządzeń (np. rzutnik) nie powinien przekraczać wartości NR25 / 35 dB(A) w miejscu widowni. Wartości maksymalne w pasmach oktaowych odpowiadające krzywej granicznej NR25 przedstawione są w tabeli 1.

### **6.4 Pomiary powykonawcze**

Zaleca się wykonanie pomiarów w wykończonej sali w zakresie:

- I. Widmo czasu pogłosu w pasmach oktaowych 125-4000 Hz;
- II. Poziom hałasu tła wyrażony za pomocą krzywych oceny hałasu NR dla następujących sytuacji:
  - a. Wszystkie urządzenia instalacyjne wyłączone;
  - b. Włączone pełne oświetlenie, wyłączona instalacja wentylacyjno-klimatyzacyjna;
  - c. Włączona instalacja wentylacyjna w trybie normalnym;
  - d. Włączona instalacja wentylacyjna w trybie maksymalnym;
  - e. Włączona instalacja klimatyzacyjna.

## **ZAŁĄCZNIK 1 – Słowniczek**

<b>Czas pogłosu (T)</b>	Czas zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60 dB (milionkrotnie) po nagłym wyłączeniu dźwięku w pomieszczeniu, wyrażony w sekundach .
<b>Hałas</b>	Niepożądany lub szkodliwy dźwięk.
<b>Hałas pogłosowy</b>	Hałas w pomieszczeniu związany z wielokrotnymi odbiciami dźwięku od powierzchni ograniczających. Hałas pogłosowy negatywnie wpływa na zrozumiałość mowy.
<b>Poziom ciśnienia akustycznego</b>	Wartość fizyczna związana z głośnością podawana w decybelach (dB) w odniesieniu do najmniejszego słyszalnego ciśnienia akustycznego ( $2 \times 10^{-5}$ Pa)
<b>Częstotliwość</b>	Ilość cykli fali akustycznej w jednej sekundzie. Podaje się w hercach (Hz).
<b>Równoważny poziom dźwięku A (<math>L_{Aeq,T}</math>)</b>	Wartość poziomu ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, która w określonym przedziale czasu odniesienia jest równa średniemu kwadratowi ciśnienia akustycznego analizowanego dźwięku o zmiennym poziomie w czasie; równoważny poziom dźwięku A określa się w decybelach (dB)
<b>Charakterystyka częstotliwościowa A</b>	Charakterystyka częstotliwościowa stosowana do ważenia wartości poziomu ciśnienia akustycznego tak, by odzwierciedlić sposób słyszenia przez ludzkie ucho (człowiek dobrze słyszy dźwięki w zakresie średnich częstotliwości a zdecydowanie gorzej słyszy niskie i wysokie dźwięki).
<b>Pole swobodne</b>	Pole, w którym dźwięk rozchodzi się swobodnie, bez odbić od budynków, itp. W praktyce dopuszcza się odbicia od podłoża.
<b>Pasma oktauwowe</b>	Pasma częstotliwości, którego górna granica jest dwa razy wyższa od dolnej granicy. Pasma oktauwowe podaje się według środkowych częstotliwości, np.: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 (Hz)
<b>Pasma tercjowe</b>	Pasma częstotliwościowe o węższym zakresie od pasm oktauwowych. W jednym paśmie oktauwowym zawierają się trzy pasma tercjowe.

**ZAŁĄCZNIK 2 – Świadectwo wzorcowania aparatury pomiarowej**



„HAİK” sp. z o.o.  
ul. Kórnicka 27  
62-020 SWARZĘDZ  
tel.(061)-81-81-647  
e-mail: haik@haik.pl



AP 027

Laboratorium wzorcujące akredytowane przez  
Polskie Centrum Akredytacji, sygnatariusza porozumienia EA MLA i ILAC MRA  
dotyczących wzajemnego uznawania świadectw wzorcowania  
Nr akredytacji AP 027



**ŚWIADECTWO WZORCOWANIA**

Data wydania: 23 września 2019 Nr świadectwa: 2488 / 2019 Strona I / 4

**OBIEKT WZORCOWANIA**  
Miernik poziomu dźwięku typ: **SVAN 958** Nr fabr: **20830**  
Producent: **SVANTEK Sp. z o.o.**  
Numer kanału: **4**  
Mikrofon typ: **SV 22** Nr fabr: **4013557**  
Przedwzmacniacz typ: **SV 12L** Nr fabr: **24134**

**ZGŁASZAJĄCY**  
**Acoustic Associates Polska Konsulting Akustyczny Jarosław Gil**  
ul. Kazimierza Wielkiego 7/5  
65-047 Zielona Góra

**WŁAŚCICIEL / UŻYTKOWNIK**  
jw.

**METODA WZORCOWANIA**  
Procedura P-02/05.00 - Wzorcowanie miernika poziomu dźwięku wg PN-EN 61672-3:2007  
Wydanie nr 3 z 9 maja 2011

**DATA WYKONANIA WZORCOWANIA**  
23 września 2019

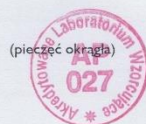
**WARUNKI ŚRODOWISKOWE**  
Temperatura [°C] **23,1 + 23,9** Wilgotność [%] **37,6 + 46,5**  
Ciśnienie [kPa] **100,6 + 100,8**

**SPÓJNOŚĆ POMIAROWA**  
Świadectwo jest wydane w ramach porozumienia EA MLA w zakresie wzorcowania i potwierdza spójność wyników pomiarów z wzorcami utrzymywanymi w Głównym Urzędzie Miar

**WYNIKI WZORCOWANIA**  
Podano na stronach 2/4 do 4/4 niniejszego świadectwa wraz z wartościami niepewności pomiaru

**NIEPEWNOŚĆ POMIARU**  
Niepewność pomiaru została określona zgodnie z dokumentem EA-4/02 M:2013. Podane wartości niepewności stanowią niepewności rozszerzone przy prawdopodobieństwie rozszerzenia ok. 95% i współczynnika rozszerzenia k=2

**ZGODNOŚĆ Z WYMAGANIAMI**  
W wyniku wzorcowania stwierdzono, że miernik poziomu dźwięku spełnia wymagania metrologiczne ustalone w normie PN-EN 61672-1:2005 + Ap1:2007 dla przyrządów klasy dokładności I



Laboratorium Pomiarowe **haik**  
Kierownik  
mgr Mariusz Nowieki

Niniejsze świadectwo może być okazywane oraz kopiowane tylko w całości



„HAİK” sp. z o.o.  
ul. Kórnicka 27  
62-020 SWARZĘDZ  
tel. (061) 81-81-647  
e-mail: akustyka@haik.pl



AP 027

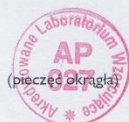


Laboratorium wzorcujące akredytowane przez  
Polskie Centrum Akredytacji, sygnatariusza porozumienia EA MLA i ILAC MRA  
dotyczących wzajemnego uznawania świadectw wzorcowania  
**Nr akredytacji AP 027**

## ŚWIADECTWO WZORCOWANIA

Data wydania: 23 września 2019 Nr świadectwa: 2489/K/2019 Strona 1 / 2

<b>OBIĘKT WZORCOWANIA</b>	Kalibrator akustyczny typ: <b>CA-22</b> Producent: <b>QUEST ELECTRONICS</b>	Nr fabr. : <b>J 0010018</b>
<b>ZGŁASZAJĄCY</b>	<b>Acoustic Associates Polska Konsulting Akustyczny Jarosław Gil</b> ul. Kazimierza Wielkiego 7/5 65-047 Zielona Góra	
<b>UŻYTKOWNIK</b>	jw.	
<b>METODA WZORCOWANIA</b>	Procedura P-02/06.00 - Wzorcowanie kalibratorów akustycznych metodą porównawczą wg PN-EN 60942:2005 wydanie nr 1 z 6 maja 2010	
<b>WARUNKI ŚRODOWISKOWE</b>	Ciśnienie [kPa] <b>100,5 + 100,6</b> Temperatura [°C] <b>23,3 + 23,9</b>	Wilgotność [%] <b>42,7 + 49,7</b>
<b>DATA WYKONANIA WZORCOWANIA</b>	23 września 2019	
<b>SPÓJNOŚĆ POMIAROWA</b>	Świadectwo jest wydane w ramach porozumienia EA MLA w zakresie wzorcowania i potwierdza spójność wyników pomiarów z wzorcami utrzymywanymi w Głównym Urzędzie Miar	
<b>WYNIKI WZORCOWANIA</b>	Podano na stronach 2/2 niniejszego świadectwa wraz z wartościami niepewności pomiaru	
<b>NIEPEWNOŚĆ POMIARU</b>	Niepewność pomiaru została określona zgodnie z dokumentem EA-4/02 M:2013. Podane wartości niepewności stanowią niepewności rozszerzone przy prawdopodobieństwie rozszerzenia ok. 95% i współczynniku rozszerzenia k=2	



Laboratorium Pomiarowe **haik**  
Kierownik  
mgr Mariusz Nowicki

Niniejsze świadectwo może być okazywane oraz kopiowane tylko w całości