

TEMAT:	ADAPTACJA AKUSTYCZNA SALI KONFERENCYJNEJ							
BRANŻA:	AKUSTYKA BUDOWLANA							
USŁUGA:	POMIARY CZASU POGŁOSU, ANALIZA, OBLICZENIA, WYTYCZNE DO REDUKCJI POGŁOSU							
STADIUM:	ADAPTACJA AKUSTYCZNA							
SYMBOL OPRACOWANIA:	SL-210929	NR egzemplarza:	1	2	3	4	5	6
DATA:	Wrzesień 2021							
OBIEKT:	SALA KONFERENCYJNA							
ADRES OBIEKTU:	Ostrowiecki Browar Kultury ul. Siennieńska 54, 27-400 Ostrowiec Świętokrzyski							
PRACOWNIA PROJEKTOWA:	Dresler Studio Architektura i Urbanistyka ul. Stokrotek 6, 31-463 Kraków							
ZLECENIODAWCA:	Dresler Studio Architektura i Urbanistyka ul. Stokrotek 6, 31-463 Kraków							
PRACOWNIA BRANŻOWA:	SL Lab. Akustyki Arch. i Bud. ul. Na Wrzosach 55, 30-819 Kraków, tel. +48 12 380 11 00, +48 508 417 508  2L acoustics							
OPRACOWUJĄCY	mgr inż. Krzysztof Kwatera							

Spis treści:

1. Wstęp
  - 1.1. Przedmiot i zakres pracy.
  - 1.2. Założenia techniczne.
2. Adaptacja akustyczna sali konferencyjnej.
  - 2.1. Wyniki bez adaptacji akustycznej – stan istniejący.
  - 2.2. **Sugerowana adaptacja akustyczna.**
  - 2.3. **Wyniki z adaptacją akustyczną jak wyżej pkt. 2.2.**
2. Podsumowanie i wnioski.

LISTA ZAŁĄCZNIKÓW:

1. ODPOWIEDŹ IMPULSOWA – BEZ ADAPTACJI AKUST. wav
2. ODPOWIEDŹ IMPULSOWA – Z ADAPTACJĄ AKUST. wav

Wykaz skrótów

RT, T, T30 – Czas pogłosu (Reverberation Time)

STI – wskaźnik transmisji mowy (Speech Transmission Index)

$\alpha$  – współczynnik pochłaniania dźwięku (Sound Absorption Coefficient)

f – częstotliwość dźwięku (frequency)

1. Wstęp.

1.1. Przedmiot i zakres pracy.

Przedmiotem pracy było wykonanie pomiarów czasu pogłosu a następnie analizy i obliczeń w zakresie akustyki wnętrza sali konferencyjnej w budynku R1 Ostrowieckiego Browaru Kultury w Ostrowcu Świętokrzyskim w kierunku redukcji pogłosu w pomieszczeniu jak wyżej w celu spełnienia aktualnych wymagań pogłosowych (**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**).

Kubatura sali wynosi w przybliżeniu 450m<sup>3</sup>.

Praca obejmowała następujące zagadnienia:

- a) Określenie wymagań akustycznych dot. pomieszczenia o podanej funkcji i charakterystyce techn.
- b) Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w stanie istniejącym.
- c) Wykonanie modelu komputerowego sali oraz wykonanie symulacji parametrów akustycznych.
- d) Dobór ustrojów i materiałów dźwiękochłonnych na podstawie wyników obliczeń.
- e) Rozmieszczenie materiałów i ustrojów dźwiękochłonnych.
- f) Wytyczne wykonawcze.

1.2. Założenia techniczne.

Założenia techniczne dot. akustyki / ochrony przed hałasem przyjęto w oparciu o wykonane pomiary czasu pogłosu, otrzymaną dokumentację techniczną, konsultacje ze Zleceniodawcą i obowiązujące przepisy.

Istotne obowiązujące normy w zakresie pracy

PN-83/B-02153 – Akustyka budowlana. Nazwy i określenia.

PN-EN ISO 3382-2:2010 – Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.

PN-EN ISO 11654:1999 – Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku.

**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.**

Podstawa prawna:

Na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002r wraz z poprawką z dnia 12.03.2009r w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (§ 323):

„2. Pomieszczenia w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i **użyteczności publicznej** należy chronić przed hałasem:

- 1) zewnętrznym przenikającym do pomieszczenia spoza budynku,
- 2) pochodzącym od instalacji i urządzeń stanowiących techniczne wyposażenie budynku,
- 3) powietrznym i uderzeniowym, wytwarzanym przez użytkowników innych mieszkań, lokali użytkowych lub pomieszczeń o różnych wymaganiach użytkowych,
- 4) **pogłosowym, powstającym w wyniku odbić fal dźwiękowych od przegród ograniczających dane pomieszczenie.**”

Lp.	Pomieszczenie		Wymaganie	
	Rodzaj pomieszczenia	Kubatura pomieszczenia, $V$ m <sup>3</sup>	Czas pogłosu, $T$ s	Wskaźnik transmisji mowy, $STI$ -
2.1	Sale rozpraw sądowych, <u>sale konferencyjne</u> , audytoria i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu <sup>c</sup>	≤ 500	≤ 0,8	≥ 0,60
2.2		Od 500 do 2 000	≤ 1,0	
2.3		> 2000	Określić indywidualnie	Określić indywidualnie <sup>d</sup>

<sup>c</sup> W przypadku pomieszczeń, w których wyłączną metodą zapewnienia zrozumiałości mowy jest zastosowanie systemu nagłaśniania, wg PN-EN ISO 9921 <sup>[1]</sup>, nie stawia się wymagań dotyczących wskaźnika transmisji mowy,  $STI$ , dla komunikacji słownej bez wykorzystania nagłośnienia. W takim wypadku wymagania, dotyczące czasu pogłosu,  $T$ , pozostają bez zmian.

<sup>d</sup> Zaleca się uwzględnić PN-EN 60268-16.

tab. 1. Czas pogłosu,  $T$ , i wskaźnik transmisji mowy,  $STI$ , w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji słownej (PN-B-02151-4:2015-06).

Wymagania dotyczą pomieszczeń wykończonych, z trwale zamocowanymi elementamiumeblowania i wyposażenia, bez obecności ludzi.

Wziąwszy pod uwagę wymiary i funkcję pomieszczenia, przyjęto czas pogłosu dla pasm oktaowych z zakresu częstotliwości od 250Hz do 8000Hz:

$$T \leq T_{\max} = 0,8s$$

Zakładana minimalna wartość wskaźnika transmisji mowy  $STI$ :

$$STI \geq 0,6$$

## 2. Adaptacja akustyczna sali konferencyjnej.

W stanie istniejącym wewnątrz sali konferencyjnej jest bardzo pogłosowe ponieważ nie ma w nim materiałów pochłaniających dźwięk - podłoga: płytki ceramiczne, ściany i sufit: malowany tynk, okna: szkło - są materiałami praktycznie całkowicie odbijającymi dźwięk co powoduje kumulowanie się odbitego, długo zanikającego dźwięku z kolejnym dźwiękiem bezpośrednim i odbitym wielokrotnie co powoduje duży wzrost poziomu hałasu.

Adaptacja akustyczna doprowadzi do znacznego zmniejszenia czasu pogłosu analizowanej sali konferencyjnej przez dodanie materiałów dźwiękochłonnych do jej wnętrza.

Skrócenie czasu pogłosu w pomieszczeniu spowoduje szybsze zanikanie dźwięku co w efekcie spowoduje znaczne poprawienie zrozumiałości mowy.

Obliczenia symulacyjne zostaną wykonane na modelu sali zgodnym co do geometrii i materiałów ze stanem obecnym. Następnie do modelu jak wyżej wprowadzane będą dźwiękochłonne materiały ściennie i sufitowe aż do uzyskania zadowalających wyników.



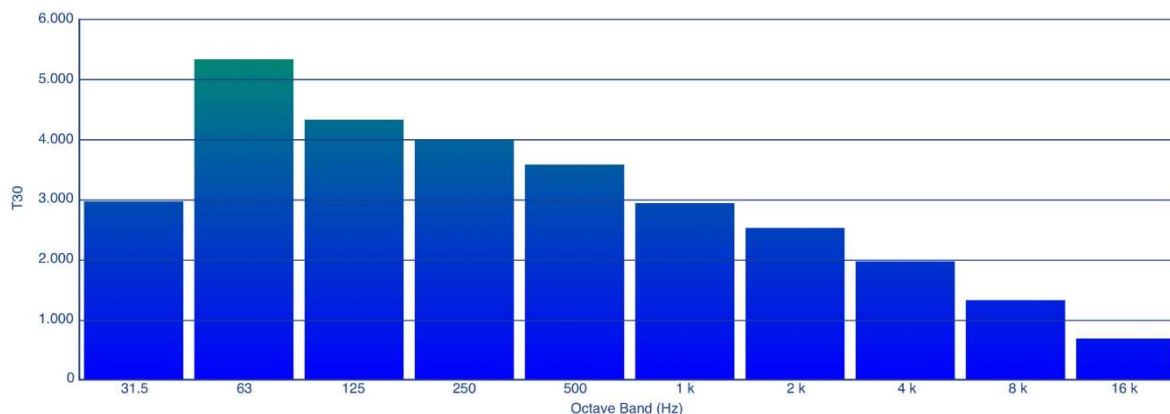
fot. 1. Pomieszczenie [sala konferencyjna] bez adaptacji akustycznej – stan istniejący.

## 2.1. Wyniki bez adaptacji akustycznej – stan istniejący.

Pomiar czasu pogłosu w pomieszczeniu został wykonany w dniu 20.09.2021 między godziną 10<sup>00</sup> a 11<sup>00</sup>. Pomiar wykonano w pomieszczeniu pustym bez obecności ludzi z normalnym umeblowaniem użytkowanym na codzień – patrz fot.1. - dla trzech pozycji źródła dźwięku (przy tablicy, środek stołu, koniec stołu) oraz czterech pozycji mikrofonu (wokół stołu konferencyjnego). Wyniki wszystkich odczytów uśredniono i zamieszczono w tabeli 2 i na Wykresie 1 poniżej.

Frequency Band	T20 (s)	T20 $\xi$ (%)	T30 (s)	T30 $\xi$ (%)	T60 (s)	T60 $\xi$ (%)	EDT (s)	EDT $\xi$ (%)	Ts (s)	C50 (dB)	C80 (dB)	C30 (dB)	D50	D80	D30
Full Bandwidth	2.964	0.7	3.042	0.6	3.315	1.9	2.742	0.8	2.824	-6.3	-4.0	-9.1	0.19	0.28	0.11
Low	3.860	N/A	4.174	N/A	4.304	N/A	3.597	N/A	2.812	-1.5	-0.2	-2.7	0.43	0.49	0.38
Mid	3.294	N/A	3.269	N/A	3.368	N/A	3.266	N/A	2.871	-8.5	-6.0	-12.0	0.12	0.20	0.06
High	2.248	N/A	2.259	N/A	2.344	N/A	2.256	N/A	2.798	-6.8	-3.8	-10.8	0.18	0.30	0.08
31.5	0.544	15.0	2.976	300.2	5.421	120.1	0.488	158.7	2.682	10.9	15.5	9.7	0.92	0.97	0.90
63	4.303	97.9	5.338	24.8	5.392	29.2	0.232	76.7	2.658	13.3	14.8	11.4	0.96	0.97	0.93
125	3.732	2.5	4.335	10.5	4.499	8.2	3.104	63.9	2.747	2.1	3.2	1.5	0.62	0.67	0.59
250	3.988	1.6	4.013	0.7	4.108	1.0	4.091	7.5	2.877	-5.1	-3.6	-7.0	0.24	0.30	0.17
500	3.621	0.5	3.590	0.4	3.661	0.3	3.501	2.3	2.884	-8.9	-6.5	-12.8	0.12	0.18	0.05
1 k	2.968	0.5	2.948	0.3	3.075	0.5	3.030	2.1	2.857	-8.1	-5.5	-11.2	0.13	0.22	0.07
2 k	2.517	0.9	2.537	0.4	2.586	0.1	2.487	3.0	2.820	-7.7	-4.5	-12.2	0.15	0.26	0.06
4 k	1.980	0.3	1.981	0.1	2.101	1.0	2.025	1.8	2.775	-5.9	-3.0	-9.5	0.20	0.34	0.10
8 k	1.300	0.7	1.338	0.6	1.449	1.7	1.279	3.3	2.723	-3.8	-0.4	-8.6	0.29	0.48	0.12
16 k	0.667	1.3	0.701	2.5	0.933	15.1	0.730	2.5	2.672	1.5	4.8	-2.9	0.59	0.75	0.34

tab. 2. Czas pogłosu, T30, pomieszczenia bez adaptacji akustycznej – stan istniejący.



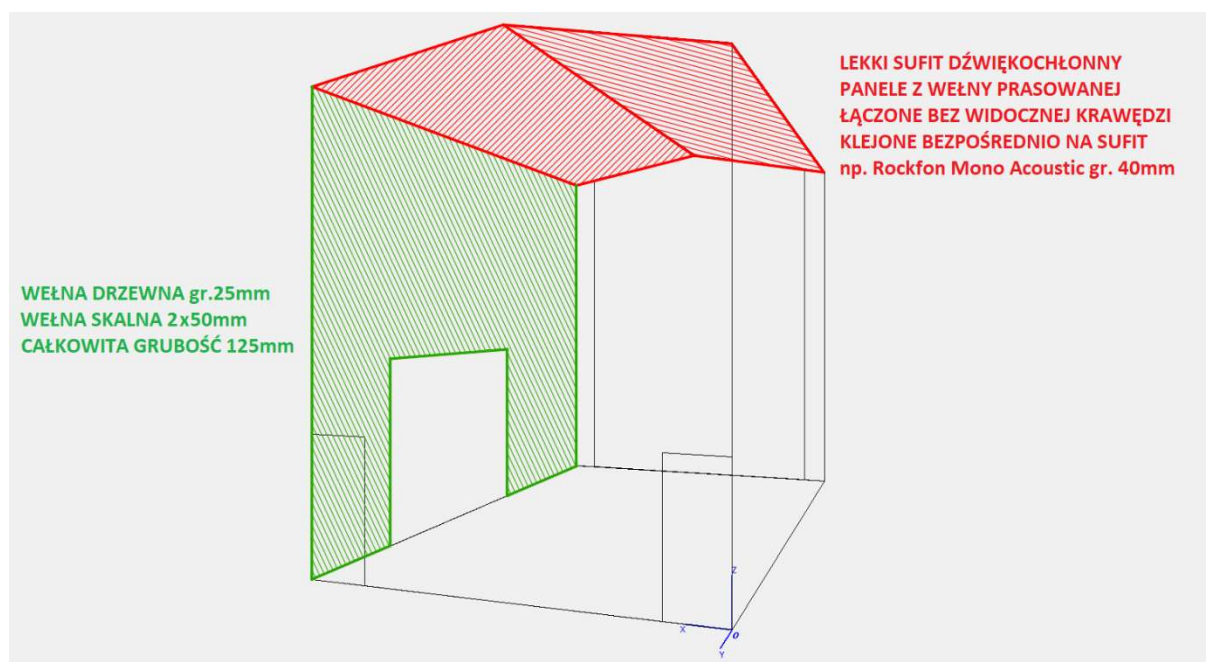
Wykres 1. Czas pogłosu,  $T_{30}$ , pomieszczenia bez adaptacji akustycznej – stan istniejący.

$T_{30}$  każdej z oktaw z zakresu 250Hz - 8kHz > 0,8s

Zrozumiałość mowy:  $STI = 0,28 < 0,6$

Założenia projektowe punkt 1.2. nie spełnione

2.2. Sugerowana adaptacja akustyczna.



rys. 1. Schemat adaptacji akustycznej sali konferencyjnej – budynek R1.

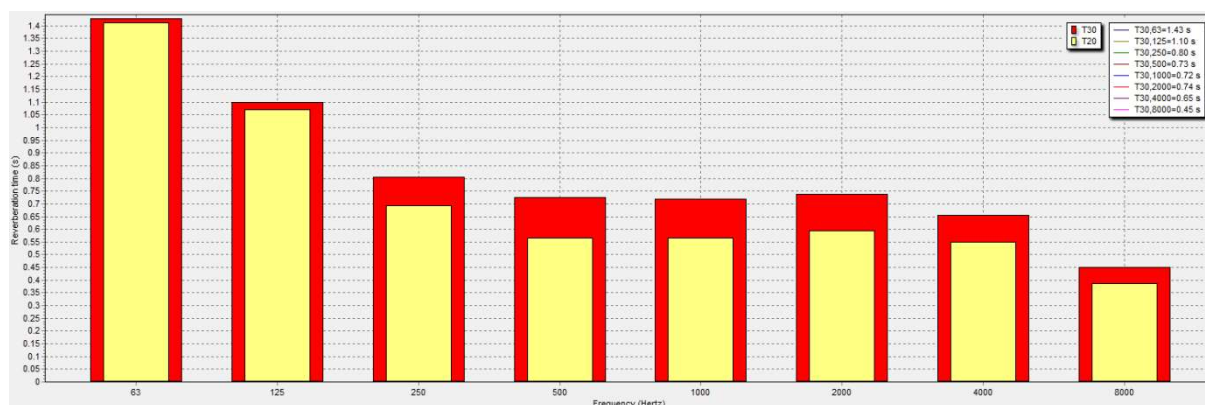
Ilość materiałów użytych do adaptacji [patrz rys.1]:

I. Sufit: panele z wełny prasowanej łączone bez widocznej krawędzi klejone bezpośrednio na sufit (np. Rockfon Mono Acoustic gr. 40mm) - około 65m<sup>2</sup>

II. Okładzina ścienna: panele z wełny drzewnej (np. Sommer Super Fine) gr. 25mm, wełna skalna o gęstości 80kg/m<sup>3</sup> (całkowita grubość konstrukcji 125mm) - około 57m<sup>2</sup>



## 2.3. Wyniki z adaptacją akustyczną jak wyżej pkt. 2.2.

Wykres 2. Czas pogłosu,  $T_{30}$ , pomieszczenia z uwzgl. sugerowanej adaptacji akustycznej: pkt.2.2.

f	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
T30	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5

tab. 3. Czas pogłosu,  $T_{30}$ , pomieszczenia z uwzgl. sugerowanej adaptacji akustycznej: pkt.2.2.

**$T_{30}$  każdej z oktaw z zakresu 250Hz - 8kHz < 0,8s**

**Zrozumiałość mowy:  $STI = 0,74 > 0,6$**

**Założenia projektowe punkt 1.2. SPEŁNIONE**

## 3. Podsumowanie i wnioski.

Grubość (mm) / Podwieszenie (mm)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	$\alpha_w$	Klasa pochł.	NRC
Ready-Mix Render 40 / 40 **	0,35	0,80	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	A	0,90

tab. 4. Katalogowe wartości współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów użytych do adaptacji akustycznej - sufit.

Współczynnik pochłaniania dźwięku [wełna prasowana] Rockfon Mono Acoustic gr. 40mm [bezpośrednio na sufit] – źródło: dane katalogowe producenta.

Type of board <sup>1</sup>	Tests specifications <sup>2</sup>			Certificate <sup>3</sup>		Sound absorption							NRC	SAA	Class
	Thickness	MW	TH	Nr	Data	Frequencies $\alpha_p$ [Hz]				$\alpha_w$					
	[mm]	[mm]	[mm]			125	250	500	1000		2000	4000			
Background filling with rock wool															
SOMMER SUPER FINE	25	2x50	125	1/402082019	02.08.2019	0,70	0,79	0,97	1,00	0,90	0,86	0,95	0,95	0,92	A

tab. 5. Katalogowe wartości współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów użytych do adaptacji akustycznej - ściany.

Współczynnik pochłaniania dźwięku układu [wełna drzewna] Sommer Super Fine gr. 25mm, całkowita grubość konstrukcji (od ściany) 125mm, wypełnienie wełną o gr. 2x50mm – źródło: dane katalogowe producenta.

**Po przeprowadzeniu wielowariantowych obliczeń symulacyjnych dot. akustyki wnętrza analizowanego pomieszczenia [sali konferencyjnej], sugerowany wariant adaptacji akustycznej – punkt 2.2. niniejszego opracowania, uznano za optymalny ponieważ stanowi najkorzystniejsze rozwiązanie pod kątem minimalizacji ilości materiałów dźwiękochłonnych przy jednoczesnej maksymalnej poprawie warunków akustycznych, uwzględniając przy tym względy estetyczne i aranżacyjne.**

Uzyskano w ten sposób spadek ilości [pogłosowej] energii akustycznej w pomieszczeniu o około 70% przez skrócenie średniego czasu zanikania dźwięku z 2,7s do 0,7s – zwiększając zrozumiałość mowy w pomieszczeniu z 28% do 74%.

#### UWAGI

**Nośność konstrukcji stropu skonsultować z Projektantem/Konstrukтором.**

*Rozważyć wykonywanie kontrolnych pomiarów akustycznych na poszczególnych etapach realizacji prac celem weryfikacji zgodności z założeniami projektowymi.*

**Załączniki do niniejszego opracowania stanowią jego integralną część.**

*Do wykonania wszystkich obliczeń użyto współczynników pochłaniania dźwięku dla pozostałych materiałów zgodnie z wartościami dostępnymi w bibliotekach obliczeniowych programów: Odeon, CATT Acoustic, EASE, literaturze naukowej i branżowej, posiadanych wynikach badań laboratoryjnych.*