

INWESTOR:

**GMINA MIASTO KOŁOBRZEG**  
**ul. RATUSZOWA 13; KOŁOBRZEG**

INWESTYCJA:

**BUDOWA REGIONALNEGO CENTRUM KULTURY W KOŁOBRZEGU**  
**WRAZ Z ZAGOSPODAROWANIEM TERENU**  
**-PRZEBUDOWA I ROZBUDOWA KINA „KALMAR”**

**-PROJEKT UMOŻLIWIAJĄCY REALIZACJĘ INWESTYCJI**  
**W DWÓCH ETAPACH**

ADRES INWESTYCJI:

**Kołobrzeg, ul Solna 1**  
**Dz. nr 116/2 i 179 przy ul. Solnej w Kołobrzegu w obrębie terenu 6ZP**

TEMAT PROJEKTU:

**BUDYNEK „A”**  
**WYPOSAŻENIE DUŻEJ SALI WIDOWISKOWEJ RCK W KOŁOBRZEGU**

BRANŻA:

**AKUSTYKA**

FAZA:

**PROJEKT WYKONAWCZY**  
**ETAPOWANIE INWESTYCJI - ETAP II**

ZESPÓŁ PROJEKTOWY:

architekci: MIŁOSZ RACZYŃSKI, MAREK SIETNICKI

PROJEKTOWAŁ / UPRAWNIENIA:

dr Piotr Pękala

PODPIS:

SPRAWDZIŁ / UPRAWNIENIA:

PODPIS:

OPRACOWAŁ:

dr Piotr Pękala

DATA:

**MARZEC 2009**

## **SPIS TREŚCI**

<b>1. Cel i zakres opracowania</b>	<b>2</b>
<b>2. Materiały wyjściowe</b>	<b>3</b>
<b>3. Wymagania akustyczne</b>	<b>4</b>
<b>4. Charakterystyka projektowanego wnętrza</b>	<b>5</b>
<b>5. Dobór materiałów adaptacji akustycznej</b>	<b>6</b>
<b>6. Ocena parametrów akustycznych wnętrza po adaptacji</b>	<b>11</b>

## 1. Cel i zakres opracowania

Celem niniejszego opracowania jest dobór materiałów wykończenia wnętrza w dużej sali widowiskowej RCK w Kołobrzegu w celu uzyskania optymalnych – ze względu na funkcję sali – warunków akustycznych. Zakres opracowania obejmuje następujące zagadnienia:

- Wykonanie modelu geometrii wnętrza za pomocą autoryzowanego oprogramowania CATT-A
- Dobór rozmieszczenia materiałów pochłaniających i rozpraszających dźwięk w sali
- Optymalizacja rozkładu materiałów w celu uzyskania najwyższego komfortu akustycznego sali ze względu na jej przeznaczenie
- Obliczeniowa ocena uzyskanych wyników rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych i dyfuzorów dla różnego zapętnienia sali.

Opracowanie wykonano na podstawie umowy z dnia 12.01.2009 pomiędzy *PW „Go Project” Tomasz Kaźmierczak* z siedzibą w Osielsku przy ul. Porzeczkowej 10 a *AkustiX sp. z o.o.* z siedzibą w Poznaniu przy ul. Rubież 46 C4/80. Obliczenia na modelu komputerowym CATT-A na zlecenie *AkustiX sp. z o.o.* wykonała firma *Audio-Com projekty i oprogramowanie akustyczne*<sup>1)</sup> z siedzibą w Poznaniu os. Stefana Batorego 6/72.

---

<sup>1)</sup> Firma Audio-Com projekty i oprogramowanie akustyczne jest obecnie jednym z dwóch legalnych użytkowników komercyjnej licencji na oprogramowanie CATT-A w Polsce.

## 2. Materiały wyjściowe

W opracowaniu wykorzystano m.in. następujące materiały i źródła:

- Podkłady architektoniczne,
- Konsultacje z projektantami
- katalogi, aprobaty techniczne i biblioteki elektroniczne rozwiązań technicznych producentów składników przegród budowlanych i materiałów wykończenia wnętrz.
- polska norma PN-87/B-02151/02: Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach., PKNMiJ, Wydawnictwa Normalizacyjne „Alfa”, Warszawa, 1988,
- polska norma PN-EN 12354-6:2005: Akustyka budowlana. Określanie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 6: Pochłanianie dźwięku w pomieszczeniach. Wydawnictwo PKN, Warszawa, 2005,
- polska norma PN-EN ISO 11654: Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku. Wydawnictwo PKN, Warszawa, 1999,
- K.B. Ginn, Architectural Acoustics, Brüel & Kjær, 1978
- F.A. Everest, Podręcznik Akustyki, Wydawnictwo SONIA DRAGA, Katowice 2004
- L.L. Beranek, Concert hall acoustics-1992, J. Acoust. Soc.Am.92(1). July 1992,
- A. Kulowski, Akustyka Sal. Wydawnictwo PG, Gdańsk, 2007.

### 3. Wymagania akustyczne

Analizowana sala wielofunkcyjna została przeznaczona do pełnienia następujących funkcji (proporcjonalnie do czasu użytkowania):

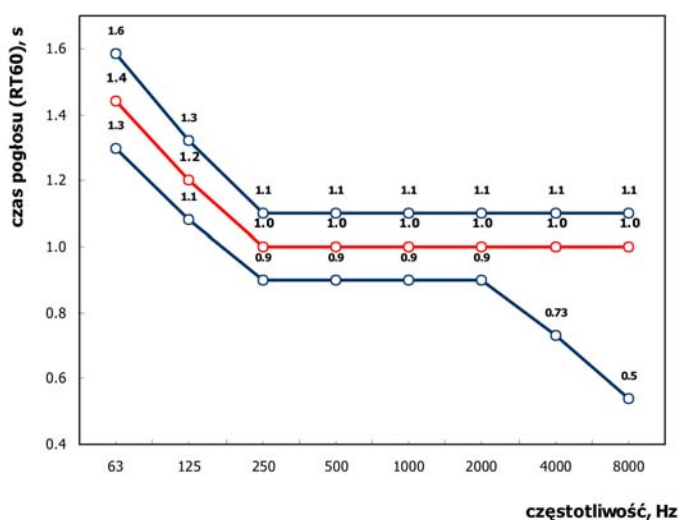
- 40% - funkcja kinowa
- 40% - funkcja teatralna
- 20% - funkcja widowiskowa

W związku z tym za dominującą uznano funkcję sali teatralno-widowiskowej. Funkcja kinowa wymaga warunków propagacji dźwięku różniących się od funkcji widowiskowej i nieznacznie różniących się od funkcji teatralnej. Dla funkcji teatralno-widowiskowej (z uwzględnieniem funkcji kinowej) należy spełnić następujące wymagania akustyczne:

- czas pogłosu ( w zakresie 500 Hz – 2000 Hz)  $1.0\text{ s}$
- zrozumiałość mowy (przód i środek sali)  $\geq 60\%$
- zrozumiałość mowy (tył sali)  $\geq 55\%$
- wyrazistość dźwięku  $C_{50}$   $> 0\text{ dB}$
- przejrzystość dźwięku  $C_{80}$   $> 3\text{ dB}$
- nierównomierność nadzwiekowienia  $\leq \pm 4\text{ dB}$

Charakterystyka czasu pogłosu powinna być równomierna z dokładnością podana na rysunku poniżej.

Zakres tolerancji charakterystyki pogłosu dla pełnej Sali

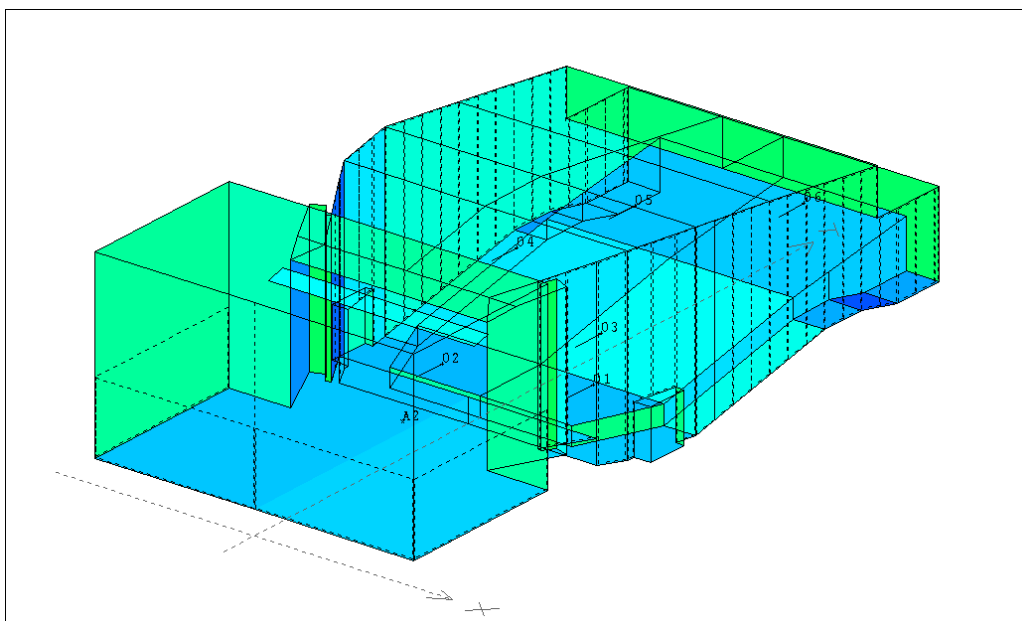


#### 4. Charakterystyka projektowanego wnętrza

Analizowane wnętrze przeznaczone jest dla  $\approx 300$  widzów. Jego wewnętrzna objętość wynosi  $V \approx 2\,200\text{ m}^3$  zaś łączna powierzchnia wszystkich ścian (wliczając podłogi i sufit)  $S \approx 1500\text{ m}^2$ , w tym powierzchnia zajmowana przez widownię  $S_W \approx 180\text{ m}^2$  oraz przez scenę  $S_{Sc} \approx 150\text{ m}^2$ .

Podana objętość Sali zawiera również wnękę kieszeni sceny oraz sznurownię. W związku z tym faktycznie aktywna akustycznie objętość powietrza w obrębie sceny oraz widowni jest nieznacznie mniejsza. Zatem objętość sali przypadająca na jednego widza nie przekracza  $7\text{ m}^3/\text{osobę}$  – co jest zgodne z zaleceniami dla sali teatralnych i widowiskowych. Wartość ta jest natomiast większa od wartości zalecanej dla kin.

Na Rys.1 poniżej przedstawiono wygląd wnętrza sali w modelu komputerowym CATT-A.



Rys.1 Widok wnętrza sali RCK w Kołobrzegu

Do analizy wnętrza przyjęto, w związku z jego funkcją, stosowanie naturalnego źródła dźwięku (mowa). Wszystkie obliczenia zrozumiałości mowy,  $C_{50}$ ,  $C_{80}$ ,  $SPL-A$  oraz równomierności nadźwiękowania przeprowadzono dla mowy. Przy doborze materiałów adaptacji akustycznej i ich rozmieszczenia brano pod uwagę stosowanie nagłośnienia audytoryjnego, teatralnego i kinowego.

## 5. Dobór materiałów adaptacji akustycznej

W celu optymalnego rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych oraz rozpraszających dźwięk przeprowadzono kilkanaście odrębnych symulacji rozkładu nadźwiękowania Sali. Poniżej przedstawiono wyniki doboru typów i rozmieszczenia materiałów adaptacji akustycznej we wnętrzu sali RCK. W Tabeli 1 poniżej przedstawiono opis materiałów dźwiękochłonnych, ich symboliczne nazwy stosowane w modelu komputerowym oraz oznaczenia przyjęte na Rys.2.

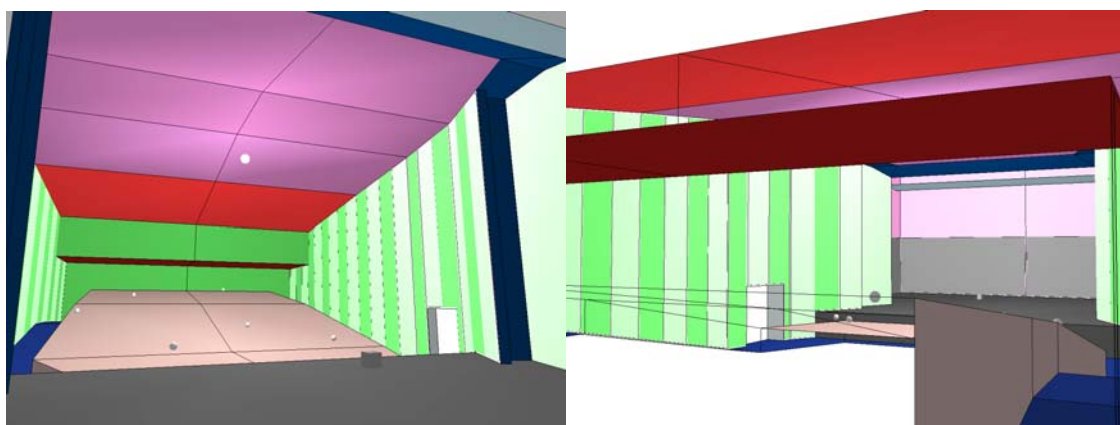
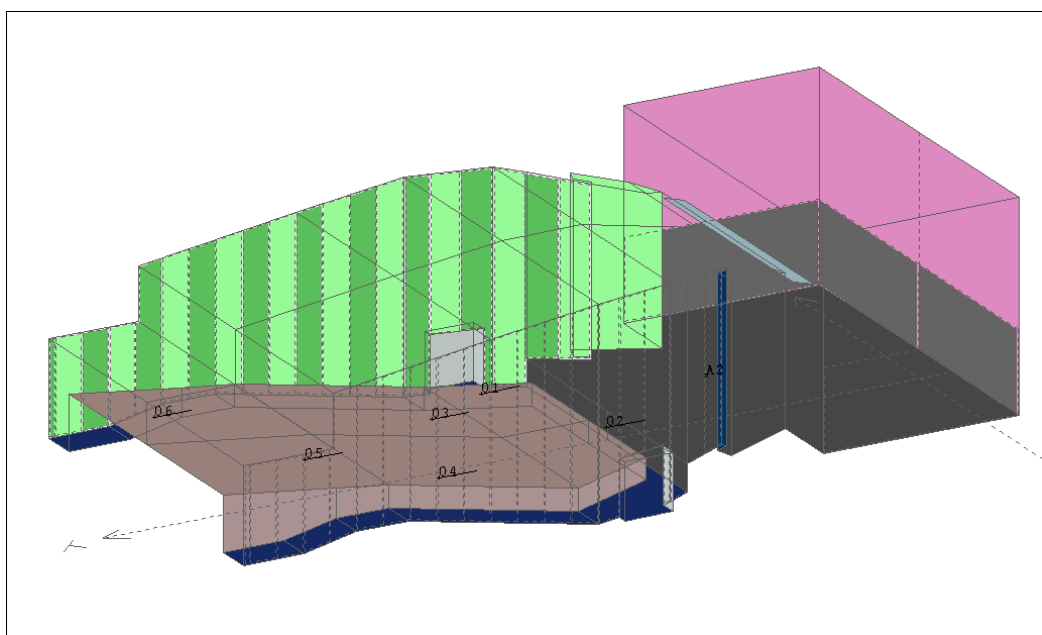
Tabela 1 Opis zastosowanych materiałów adaptacji akustycznej wnętrza sali RCK w Kołobrzegu

L.p.	Symbol	Opis
A	PLATFORM50	Maskownica MDF, obłożona materiałem tekstylnym
B	Parkiet_3	Grube deski drewniane na drewnianych łatach
C	FLOTEX	Wykładzina podłogowa FLOTEX
D	WOODEN_DOOR	Masywne drzwi drewniane
E	PANEL_1	Gustafs: Gładki, pustka powietrzna 30 mm, cwk <sup>2)</sup> 82.5, z wełną 40 mm
F	PANEL_2	Gustafs: PH8, pustka powietrzna 22.5 mm, cwk <sup>1)</sup> 35, bez wełny, z flizeliną
G	PANEL_3	Gustafs: PH8, pustka powietrzna 22.5 mm, cwk <sup>1)</sup> 35, bez wełny, bez flizeliny
H	PANEL_4	13 mm płyta G/K + wełna gr. 50 mm powyżej + dużo powietrza powyżej
I	PANEL_5	13 mm płyta G/K + wełna URSA 50 mm 15 kg/m <sup>3</sup> _ Rezonator płytowy, d=50mm rozstaw słupków 120 cm
J	PANEL_6	Knauf Danoline Stratopanel G 12/20/35 podwieszenie 400 mm bez wełny mineralnej
K	PANEL_7	Knauf Danoline Stratopanel G 12/20/35, podwieszenie 100 mm bez wełny mineralnej
L	PANEL_8	Knauf, panel G/K perforowany, 6/18 R, 8.7%, 60 mm pustka pow., wełna mineralna 20 mm, flizelina standardowa
M	MS_FKT_E	Boki foteli
N	Widownia	Siedziska teatralne o podanej (Rys.3) poniżej wymaganej charakterystyce pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku ( $\alpha_s$ )
O	SUPERG_50_50	Ecophon SuperG PLUS gr. 40 mm cwk <sup>1)</sup> 40 na suficie – pomiędzy wyposażeniem technicznym sznurowni
P	EC_SUPERG_4	Ecophon SuperG PLUS gr. 40 mm cwk <sup>1)</sup> 40
Q	TYNK_1	Tynk gipsowy na murze (może też być tynk cementowo-wapienny)

<sup>2)</sup> Cwk = Całkowita wysokość konstrukcji

**UWAGA 1:** Panele perforowane wzdłuż widowni na ścianach bocznych powinny być montowane od aktualnej wysokości sufitu do samej podłogi (ew. z pozostawieniem marginesu  $\approx 5\div 10$  cm koniecznego ze względów technologiczno-montażowych)

**UWAGA 2:** Panele ściennie (wszystkie) wzdłuż widowni na ścianach bocznych powinny być montowane stronami naprzemiennie. W miejscu, w którym na ścianie lewej znajduje się panel perforowany na ścianie prawej należy zamontować panel gładki (i na odwrót).



Rys.2 Rozmieszczenie materiałów wykończenia wnętrza w sali RCK w Kołobrzegu

Poniżej przedstawiono przybliżone zestawienie powierzchni materiałów w sali RCK:



The absorption is used as follows:

Key name	Area [m.]	Area [%]	Relative absorption area [%]							Used
			< 125	250	500	1k	2k	4k>		
WIDOWNIA	177.5	12.0	< 15.5	16.3	20.1	21.5	27.1	27.0>	6	
PARKIET_3	158.5	10.7	< 5.2	4.4	4.4	4.2	4.4	3.7>	4	
PANEL_1	149.6	10.1	< 4.9	1.5	1.0	1.1	1.7	2.2>	22	
PANEL_4	138.9	9.4	< 27.1	17.7	6.4	2.7	0.4	0.8>	6	
PANEL_5	138.3	9.4	< 13.3	3.2	1.0	0.3	0.4	2.4>	4	
PANEL_3	106.1	7.2	< 0.3	0.8	1.5	5.7	5.9	3.7>	20	
SUPERG_50_50	103.2	7.0	< 4.3	10.2	11.9	12.8	14.9	16.0>	2	
PANEL_8	85.0	5.8	< 8.4	13.8	19.5	13.0	6.8	11.2>	4	
PANEL_6	81.7	5.5	< 10.1	14.3	10.6	9.1	7.3	5.7>	2	
TYNK_1	78.9	5.3	< 0.5	0.4	0.5	0.6	0.9	1.2>	10	
FLOTEX	60.2	4.1	< 0.2	0.3	0.7	1.3	3.3	4.9>	10	
PANEL_2	53.0	3.6	< 0.5	1.2	3.4	9.0	9.3	5.1>	4	
PANEL_7	45.9	3.1	< 2.8	5.6	7.6	6.3	3.7	2.7>	2	
MS_FKT_E	41.7	2.8	< 2.3	2.8	3.5	3.9	4.5	4.4>	10	
EC_SUPERG_4	31.7	2.1	< 2.4	6.1	7.0	7.6	8.7	8.3>	12	
PLATFORM50	14.0	0.9	< 1.7	1.1	0.6	0.6	0.6	0.4>	4	
WOODEN_DOOR	7.7	0.5	< 0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2>	2	
WOOD_WALL80	6.4	0.4	< 0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0>	6	
1478.3										

List of planes using each surface property:

EC_SUPERG_4	40 42-45 92 1040 1042-1045 1092
FLOTEX	13 61-64 1013 1061-1064
MS_FKT_E	72-73 76 79-80 1072-1073 1076 1079-1080
PANEL_1	39 41 46-48 1039 1041 1046-1048
PANEL_2	24-25 1024-1025
PANEL_3	39 46-47 1039 1046-1047
PANEL_4	84-86 1084-1086
PANEL_5	21-22 1021-1022
PANEL_6	83 1083
PANEL_7	82 1082
PANEL_8	21-22 1021-1022
PARKIET_3	11-12 1011-1012
PLATFORM50	1-2 1001-1002
SUPERG_50_50	81 1081
TYNK_1	23 39 46-48 1023 1039 1046-1048
WIDOWNIA	71 75 78 1071 1075 1078
WOODEN_DOOR	15 1015
WOOD_WALL80	16-18 1016-1018

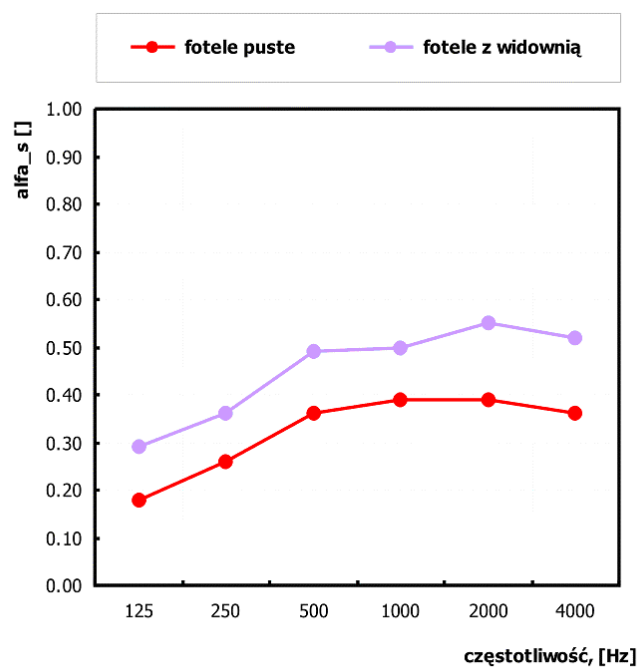
W Tabeli 2 poniżej zestawiono przyjęte do obliczeń charakterystyki pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku dla materiałów wewnątrz Sali. Wszystkie podane nazwy materiałów wykończenia wnętrz służą wyłącznie ilustracji ich wymaganych parametrów akustycznych. Ponadto od materiałów zastosowanych w sali wymaga się odpowiedniego rozpraszania dźwięku.

**Stosowanie materiałów innych niż podano w niniejszym opracowaniu wymaga przedstawienia kalkulacji potwierdzających równoważność pod względem akustycznym zamienników oraz równoważność uzyskanych parametrów rozkładu dźwięku.**

Tabela 1 Opis zastosowanych materiałów adaptacji akustycznej wnętrza sali RCK w Kołobrzegu. Oznaczenia kolorami jak na Rys.2

L.p.	Symbol	$\alpha(f) [\%]$					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A	PLATFORM50	40	30	20	17	15	10
B	Parkiet_3	11	11	12	11	10	8
C	FLOTEX	1	2	5	9	20	28
D	WOODEN_DOOR	14	10	6	8	10	10
E	PANEL_1	11	4	3	3	4	5
F	PANEL_2	3	9	28	73	63	33
G	PANEL_3	1	3	6	22	20	12
H	PANEL_4	65	50	20	8	1	2
I	PANEL_5	32	9	3	1	1	6
J	PANEL_6	41	69	56	46	32	24
K	PANEL_7	20	48	72	57	29	20
L	PANEL_8	33	64	99	63	29	45
M	MS_FKT_E	18	26	36	39	39	30
N	Widownia pusta pełna	18	26	36	39	39	36
		29	36	49	50	55	52
O	SUPERG_50_50	11	31	51	46	47	43
P	EC_SUPERG_4	25	75	95	99	99	90
Q	TYNK_1	2	2	3	3	4	5

Poniżej, na Rys. 3 przedstawiono wymaganą charakterystykę pochłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku foteli w Sali RCK. Ze względu na szczególnie duże znaczenie doboru pochłaniania i rozproszenia dźwięku przez fotele i widownię, każdy proponowany na etapie wykonawstwa model foteli powinien zostać zaaprobowany przez specjalistę Akustyka.



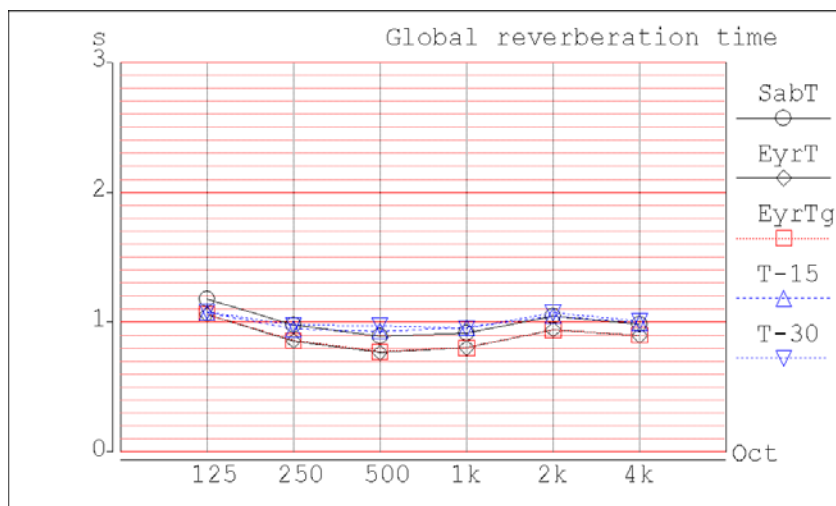
Rys.3 Wymagana charakterystyka pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku foteli w sali RCK w Kołobrzegu

## 6. Ocena parametrów akustycznych wnętrza po adaptacji

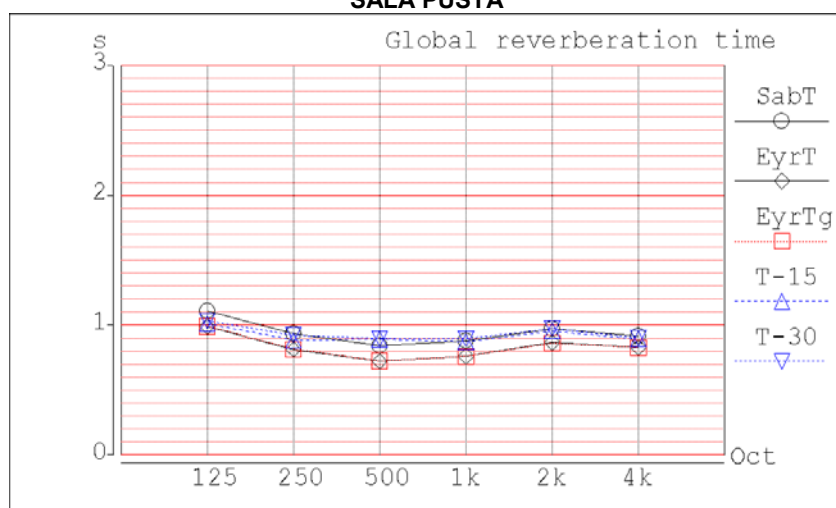
Po zastosowaniu materiałów adaptacji akustycznej wg opisu w rozdziale 5 uzyskano następujące parametry rozkładu dźwięku we wnętrzu Sali RCK.

- Czas pogłosu ( **$T-30$** ) - Rys.4
- Poziom dźwięku ( **$SPL-A$** ) - Rys.5
- Zrozumiałość mowy ( **$STI$** ) - Rys.6
- Wyrazistość dźwięku ( **$C_{50}$** ) - Rys.7
- Przejrzystość dźwięku ( **$C_{80}$** ) - Rys.8

Uzyskane wartości gwarantują komfort akustyczny w Sali w przyjętych kryteriów.



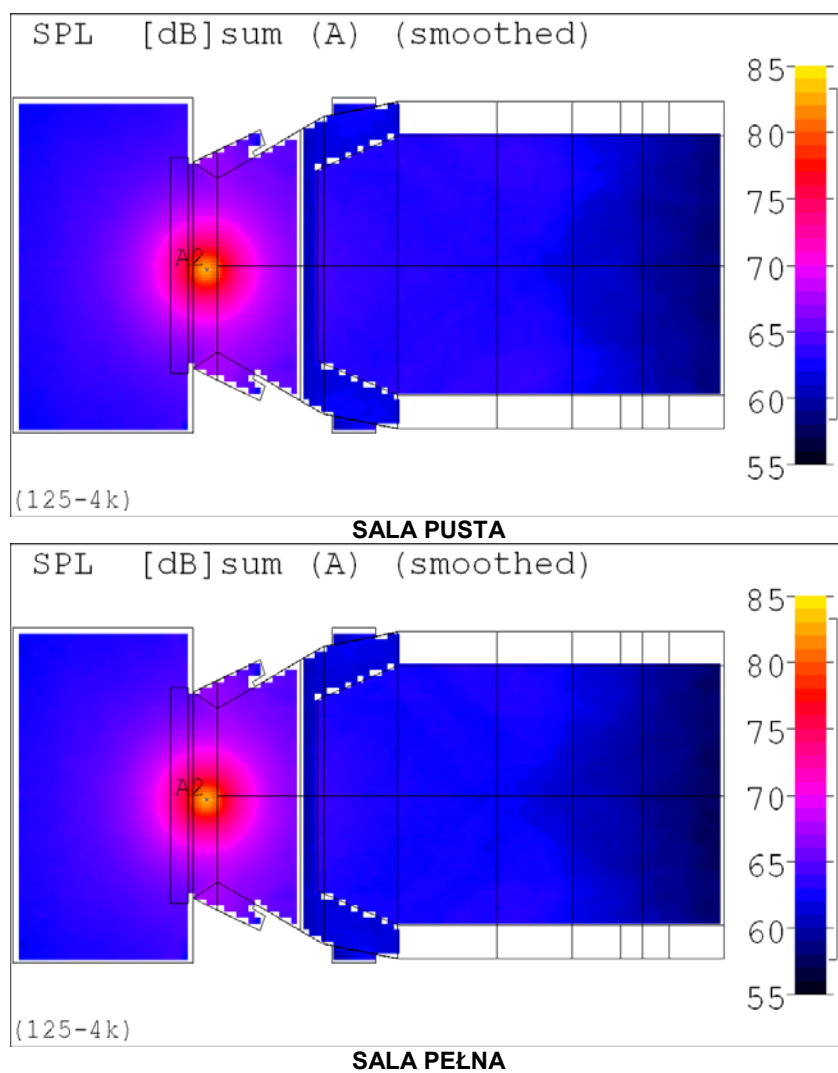
	125	250	500	1k	2k	4k	
EyrT	1.06	0.85	0.77	0.80	0.94	0.90	s
EyrTg	1.06	0.86	0.77	0.80	0.94	0.90	s
SabT	1.18	0.98	0.89	0.92	1.05	0.98	s
T-15	1.07	0.95	0.93	0.96	1.05	0.99	s
T-30	1.08	0.98	0.97	0.95	1.07	1.01	s
AbsC	21.27	25.48	27.85	26.55	22.42	21.29	%
AbsCg	21.19	25.39	27.67	26.55	22.46	21.22	%
MFP	6.29	6.29	6.28	6.29	6.29	6.29	m
DiffS	40.24	38.62	38.97	42.01	46.09	46.18	%

**SALA PUSTA**

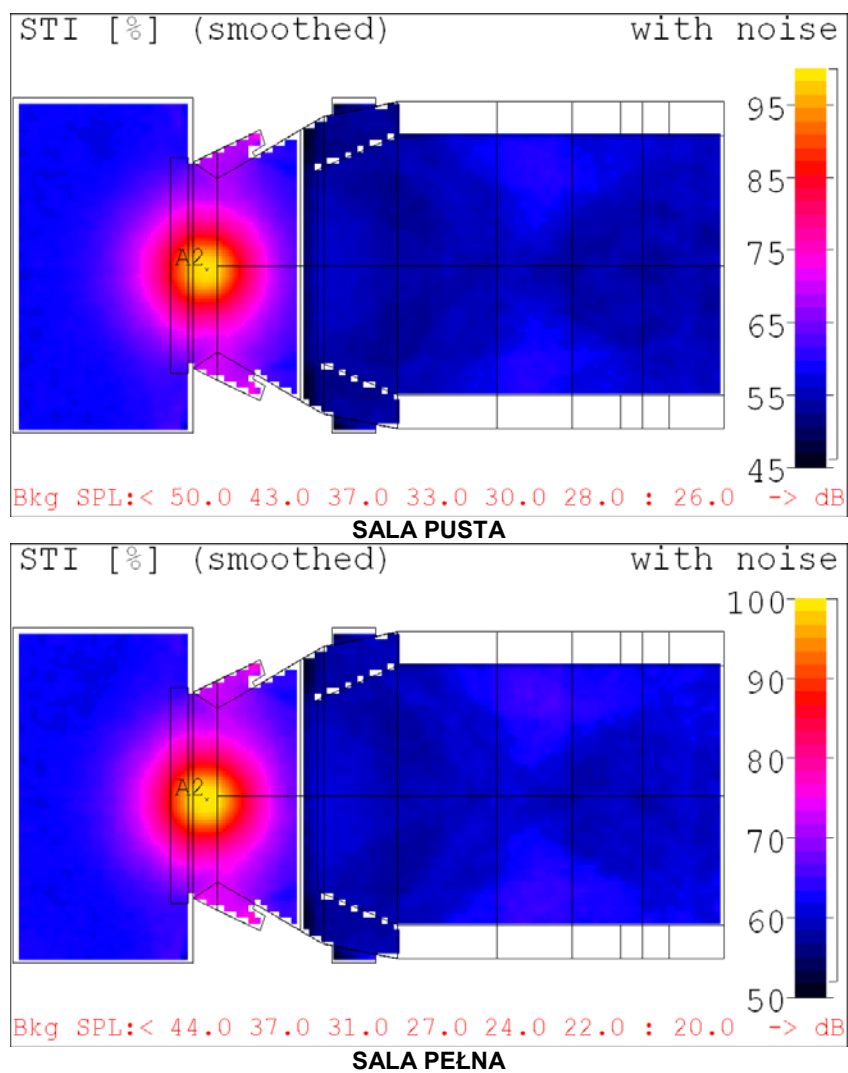
	125	250	500	1k	2k	4k	
EyrT	0.99	0.81	0.72	0.76	0.87	0.83	s
EyrTg	0.99	0.81	0.72	0.76	0.86	0.83	s
SabT	1.11	0.93	0.84	0.88	0.97	0.91	s
T-15	1.01	0.88	0.89	0.87	0.96	0.89	s
T-30	1.03	0.92	0.90	0.89	0.97	0.90	s
AbsC	22.52	26.62	29.36	27.81	24.25	23.16	%
AbsCg	22.51	26.59	29.24	27.88	24.38	23.15	%
MFP	6.29	6.29	6.29	6.29	6.29	6.29	m
DiffS	40.31	38.57	38.92	42.06	46.10	46.28	%

**SALA PEŁNA**

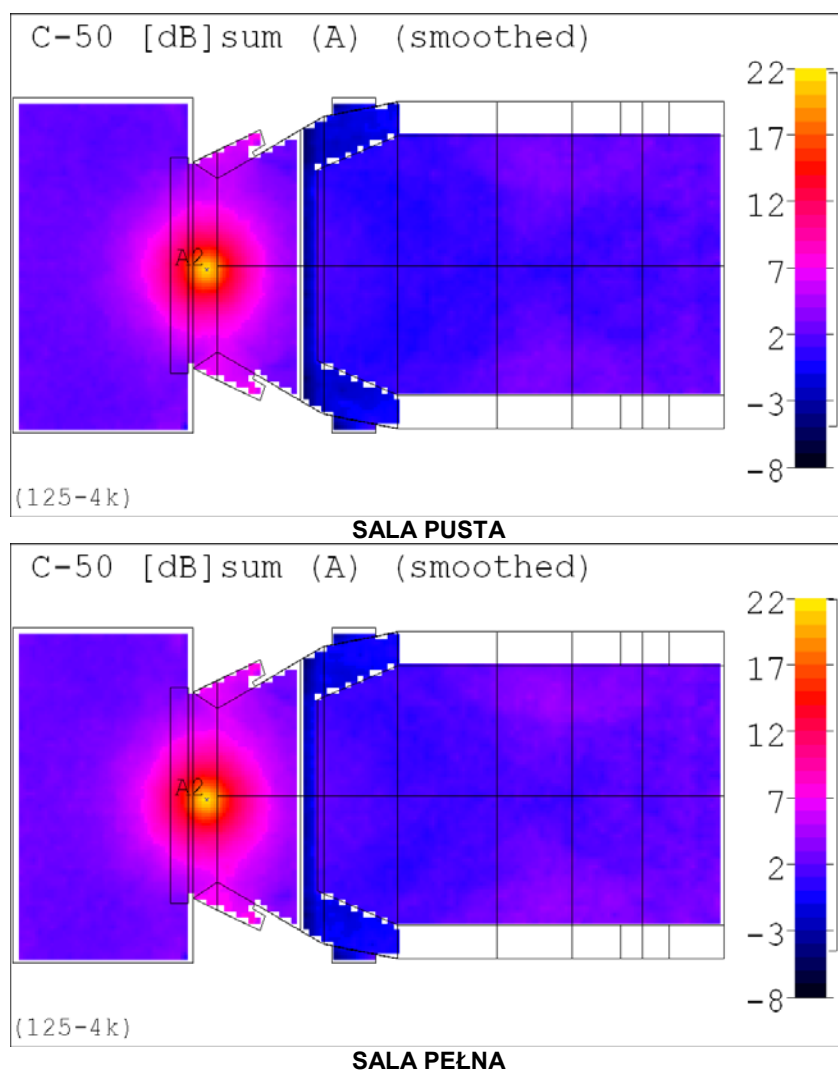
Rys.4 T-30 (symulowany) po adaptacji akustycznej w sali RCK w Kołobrzegu



Rys.5 **SPL-A** (symulowany) po adaptacji akustycznej w sali RCK w Kołobrzegu

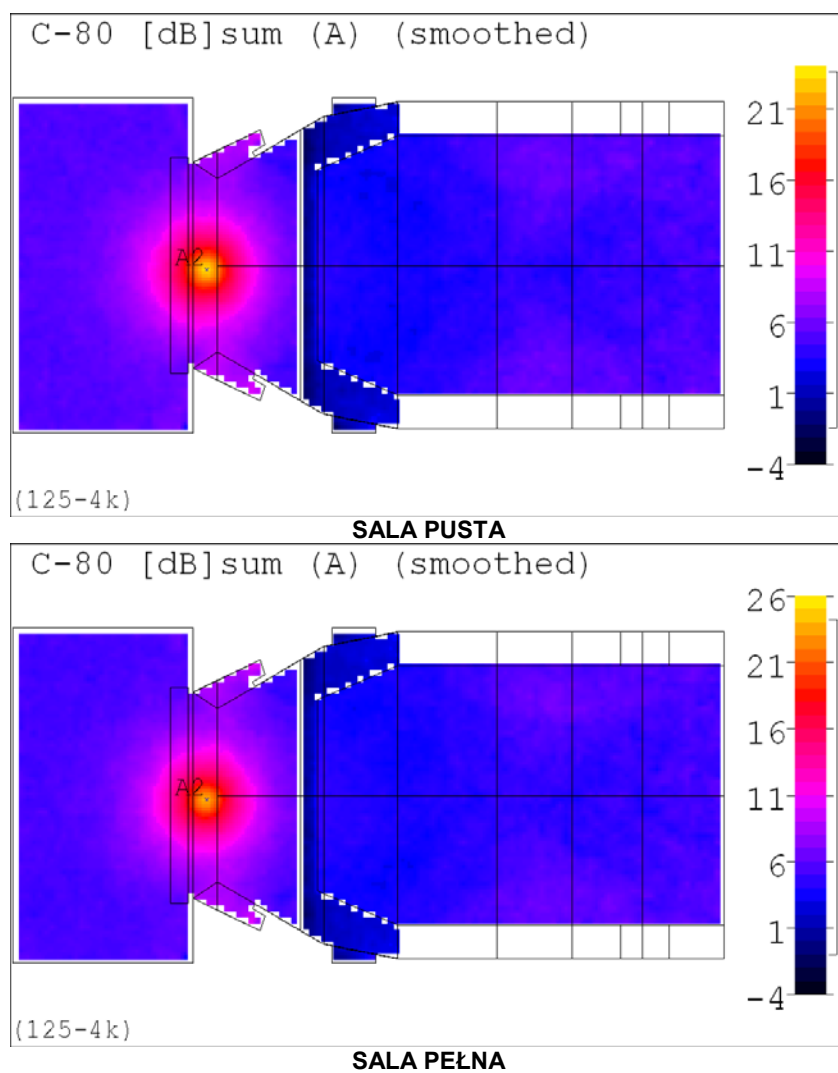


Rys.6 **STI** (symulowany) po adaptacji akustycznej w sali RCK w Kołobrzegu



Rys.7  $C_{50}$  (symulowany) po adaptacji akustycznej w sali RCK w Kołobrzegu





Rys.6  $C_{80}$  (symulowany) po adaptacji akustycznej w sali RCK w Kołobrzegu