

## POMIARY AKUSTYCZNE I SYMULACJA KOMPUTEROWA WNEŹRZA KOŚCIOŁA PW. MARII MAGDALENY WE LWOWIE

Tadeusz KAMISIŃSKI\*, Roman KINASH\*\*/\*\*\*, Jarosław RUBACHA\*, Andrzej KULOWSKI\*\*\*\*

\*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kamisins@uci.agh.edu.pl,

\*\*Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: rkinash@agh.edu.pl

\*\*\*Politechnika Lwowska, Katedra Konstrukcji Architektonicznych  
ul. S. Bandery 12, 79013 Lwów, Ukraina, e-mail: rkinash@lp.edu.ua

\*\*\*\*Politechnika Gdańska, Wydział Architektury, ul. Gabriela Narutowicza 11/12  
80-952 Gdańsk, e-mail: kulowski@pg.gda.pl

**Streszczenie:** W pracy omówiono akustyczne aspekty wykorzystania kościoła pod wezwaniem Św. Marii Magdaleny we Lwowie do celów koncertowych. Przedstawiono wyniki pomiarów akustycznych oraz koncepcję poprawy jego walorów akustycznych jako sali koncertowej z wykorzystaniem doraźnie wstawianych do wnętrza elementów, rozpraszających dźwięk i poprawiających wzajemne słyszenie się wykonawców.

**Słowa kluczowe:** fizyka budowli, sala, akustyka, pomiary akustyczne, symulacja komputerowa

### 1. WPROWADZENIE

Dominikański kościół pod wezwaniem św. Marii Magdaleny we Lwowie został zbudowany na początku XVII w. na tzw. Sykstówce, na wzniesieniu górującym nad miastem u zbiegu ulic Sykstuskiej i Sapiehy (rys. 1). Ówczesna budowla stanowi tylko dzisiejsze prezbiterium [3], wydłużone, zakończone wielobocznie, z wielkimi oknami od południa. Ściany na zewnątrz wieńczy rozbudowane belkowanie z gęsto rozmieszczonymi wspornikami. Prezbiterium budowali przypuszczalnie Wojciech Kielar i Marcin Godny w latach 1612—1635. Obawa, że wzniesiony nad miastem kościół mógłby być wykorzystany przez oblegających, hamowała jego budowę. W liście spod Smoleńska z 8 stycznia 1613 r. obawę taką wyraził nawet król Zygmunt III. Ale mimo tak wyeksponowanego położenia, w literaturze brak jakiegokolwiek, poza litografią pokazaną na rys. 1, wyobrażenia tej części kościoła. Obecną barokową formę architektoniczną kościół uzyskał w XVIII wieku [2, 8].

Na 1890 r. przypada zakończenie budowy sąsiednich obiektów sakralnych: neoromańskiej kaplicy zakonu SS. Rodziny

Marii przy ulicy Kurkowej nr 45 (architekt Józef Janowski) i neogotyckiego kościoła Karmelitanek Bosych przy ulicy Potockiego (narożnik ulicy Issakowicza, architekt Tadeusz Miinnich). W tym też roku ukończono wreszcie budowę neobarokowych hełmów na wieżach kościoła Św. Marii Magdaleny, przypuszczalnie według projektu Feliksa Ksieżarskiego, z którego pochodząca perspektywa, odbiegająca jednak od zrealizowanego dzieła, zachowała się w Muzeum Narodowym w Krakowie (rys. 2). Wieże kościoła leżące w osi ul. Sykstuskiej, niewątpliwie widoczne od strony Śródmieścia, prezentują się odtąd znacznie lepiej (rys. 3 - 6). Znaczna pogłosowość wnętrza, mocno zmniejszająca zrozumiałość mowy, wynika z zastosowania materiałów wykończeniowych nawiązujących do historycznego charakteru kościoła [6]. Celem pracy jest przedstawienie koncepcji przystosowania akustyki kościoła do celów muzycznych z uwzględnieniem wymagań konserwatorskich, dotyczących zachowania oryginalnego wyglądu wnętrza.

### 2. WCZEŚNIEJSZA KONCEPCJA PROJEKTOWA

Kubatura kościoła wynosi ok. 17.000 m<sup>3</sup>, na tylnej ścianie znajdują się organy (rys. 10). Nawa główna o długości ok. 70 m i szerokości 10 m jest oddzielona podwójną kolumnadą od dwóch naw bocznych, każda o długości ok. 36 m i szerokości 3 m. Wraz z inwentaryzacją obiektu i remontem przeprowadzonym ok. roku 1970, na zamówienie Państwowego Konserwatorium we Lwowie opracowano projekt przystosowania kościoła do funkcji sali koncertowej [11]. Projekt przewidywał umieszczenie pod stropem głównej

nawy ustroju rozpraszającego dźwięk w postaci łamanego (szedowego) sufitu oraz zbudowania stałej estrady w tylnej części nawy głównej. Projektowany sufit składał się z 28 prostokątnych elementów o wymiarach 900x120x6,5 cm z dwóch warstw sklejki gr. 5 mm wypełnionych wełną mineralną. Według projektu, elementy te miały być połączone ze sobą „w harmonijkę” i podwieszane do konstrukcji stalowej, poprzecznie do osi nawy głównej (rys. 8).

Koncepcja podwieszenia sufitu, dyskusyjna w świetle obecnych, a zapewne i ówczesnych zastrzeżeń konserwatorskich, dotyczących unikania tak daleko idącej interwencji w architekturę obiektów zabytkowych, szczęśliwie nie została zrealizowana. Z analizy dokumentacji projektowej wynika, że sufit o opisywanej konstrukcji, poza zamierzonym przez projektanta działaniem rozpraszającym, pochłaniałby dźwięk w zakresie małych częstotliwości. Byłoby to niekorzystne akustycznie, zwłaszcza w odniesieniu do muzyki organowej. Odstąpienie od realizacji opisywanej koncepcji należy więc ocenić jako decyzję korzystną dla dalszych losów obiektu. Wykonana została natomiast estrada, przylegająca do tylnej ściany kościoła. Wysokość estrady wynosi ok. 0,9 m, powierzchnia ok. 45 m<sup>2</sup>.

### 3. STAN AKTUALNY

Poza funkcją liturgiczną kościół obecnie pełni funkcję koncertową w swoim pierwotnym stanie urządzenia wnętrza, tj. bez użycia sufitu podwieszonego. Funkcja ta jest realizowana w sposób nietypowy dla obiektów sakralnych, gdyż podczas koncertu słuchacze siedzą tyłem do ołtarza. Przy stosowanie do funkcji koncertowej obejmuje następujące elementy:

- wyżej opisana estrada w nawie głównej (rys. 7, 10),
- przechyłane oparcia ławek, umożliwiające publiczności siadanie przodem do estrady lub do ołtarza, w zależności od aktualnej funkcji wnętrza (rys. 11),
- kurtyna oddzielająca podczas koncertów przednią część nawy głównej, mieszczącą prezbiterium i ołtarz.

### 4. POMIARY AKUSTYCZNE

Pomiary wykonano metodą odpowiedzi impulsowej pobudzonej sygnałem MLS. Wykorzystano program komputerowy SIA Smart Acoustic Tools version 4, generujący przebieg MLS i przetwarzający sygnał odbierany przez mikrofon. Wyniki pomiarów pokazano w tab. 1 i na rys. 12 (krzywa T700: czas pogłosu obliczony z krzywej T uzyskanej z pomiaru, po uwzględnieniu obecności 700 osób siedzących w ławkach kościelnych, dane do obliczeń wg [7]).



Rys. 1. Kościół pod wezwaniem św. Marii Magdaleny we Lwowie, wygląd z XVII w. (Piller, litografia wg [4]).

Fig. 1. Church of St. Mary Magdalene, Lviv, the appearance of the seventeenth century (Piller, lithograph by [4]).



Rys. 2. Projekt hełmów na wieżach kościoła św. Marii Magdaleny. Architekt Feliks Książarski, 1861 r., litografia wg [5])

Fig. 2. Draft of helmets on the towers of the church of St. Maria Magdalene. Architect Felix Książarski, 1861, lithograph by [5])



Rys. 3. Fasada kościoła z neobarokowymi hełmami ukończonymi w 1890 r., widok na elewację główną (Czerner O., fot. wg [3])

Fig. 3. Facade of the church with neo-baroque cupolas completed in 1890, view of the main elevation (Czerner O., photo by [3])



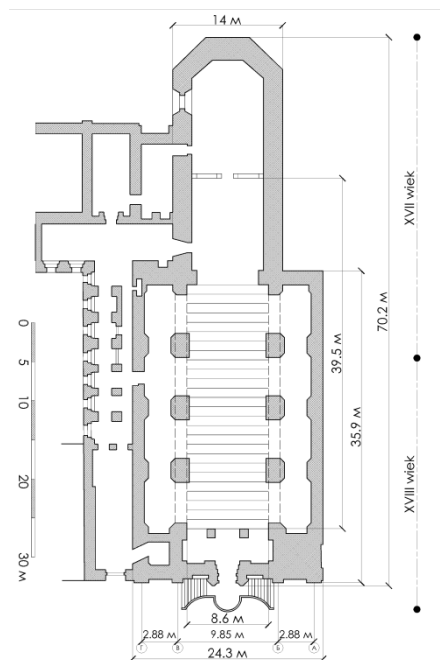
Rys. 4. Aktualny stan kościoła, elewacja główna (fot. R.Kinasz, 2006 r.)  
 Fig. 4. Current state of the church, main elevation (by R.Kinasz, 2006)



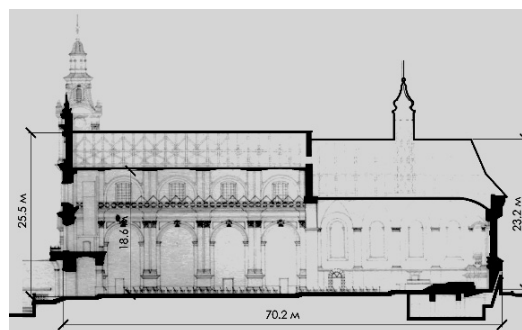
Rys. 5. Dawny stan kościoła oraz terenu, elewacja boczna od południowego wschodu (Czerner O., fot. wg [3])  
 Fig. 5. Former state of the church and the church site, lateral elevation to southeast (Czerner O., photo by [3])



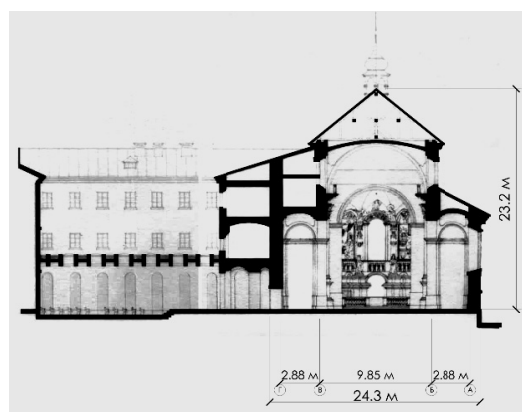
Rys.6. Aktualny stan kościoła oraz terenu, elewacja boczna (fot. R.Kinasz, 2006 r.)  
 Fig.6. Current state of the church and the church site, side elevation



Rys. 7. Rzut kościoła [11]  
 Fig.7. Projection of the church [11]



Rys. 8. Przekrój podłużny kościoła [11]  
 Fig.8. Longitudinal section of the church [11]



Rys. 9. Przekrój poprzeczny kościoła [11]  
 Fig.9. Cross section of the church [11]



Rys. 10. Wygląd wnętrza w stanie aktualnym [6]  
Fig. 10. Current view of the interior [6]



Rys.11. Przechyłane oparcia ławek, umożliwiające realizację dwóch funkcji w kościele – liturgicznej z ołtarzem w przedniej części i koncertowej z estradą w tylnej części nawy głównej [6]  
Fig. 11. Tilting backs of benches, to enable the implementation of two functions in the church - liturgy with the altar in front of the nave and concert hall with the bandstand at the rear of the nave [6]

Pomiary objęły następujące parametry:

- czas pogłosu, EDT (parametry dot. pogłosowości),
- C80 (parametr dot. jakości brzmienia muzyki),
- %Alcons, C50, STI, RASTI (parametry dotyczące zrozumiałości mowy).

Tabela 1. Zmierzone parametry akustyczne kościoła  
Table 1. Measured acoustic parameters of the church

Częstotliwość środk. pasma oktawowego	Parametr					
	T, s	EDT, s	C50, dB	C80, dB	%Al cons	STI
125 Hz	6,0	6,8	-7,2	-5,9	5,23*	0,33**
250 Hz	6,1	6,8	-7,4	-5,4		
500 Hz	5,6	5,9	-8,2	-6,4		
1 kHz	4,8	4,8	-7,5	-5,5		
2 kHz	4,0	3,8	-6,2	-4,3		
4 kHz	3,0	2,9	-6,6	-3,9		

\* %Alcons w malej i w duzej odl. od estrady: 2,50 i 5,36

\*\* STI w malej i w duzej odl. od estrady: 0,56 i 0,26

Tabela 2. Zalecane wartości parametrów dotyczące pogłosu  
Table 2. Recommended values of parameters ref. to reverberation

parametr	przezn. pomieszczenia	zalecana wartość
czas pogłosu [s] 1/1 okt. 0,5 – 1[kHz]	liturgia	2.5 s
	koncert	1.8 s
EDT 1/1 okt. 0,5 – 1[kHz]	liturgia lub koncert	wartość bliska czasowi pogłosu

Tab. 3. Zalecane wartości parametrów dot. zrozumiałości mowy  
Tab.3. Recommended values of parameters referring to speech intelligibility

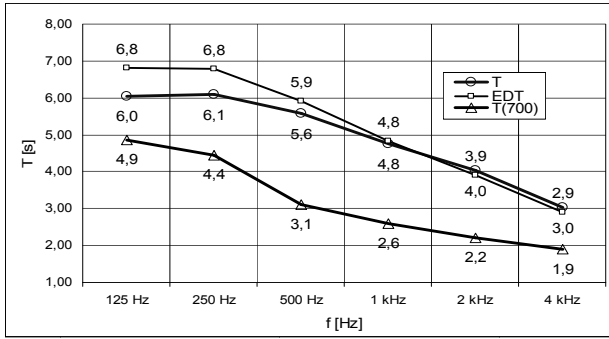
parametr	zrozumiałość mowy [1],[10]:								
	zła	slaba	znośna	dobra	b. dobra				
%Alcons	58.0	33.5	19.5	11.5	6.5	3.8	2.2	1.3	
C50, dB	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15
STI	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C80, dB	-9	-6	-3	0	3	6	9	12	15
	jakość brzmienia muzyki [9]: muz. organ. muz. symf. muz. operowa muz. elektroniczna -8±3 -3±3 3±7 7±11								

UWAGI: 1. Zalecenia dot. zrozumiałości mowy odnoszą się do wszystkich parametrów, zalecenia dot. jakości brzmienia muzyki tylko do C80. 2. Sposób obliczania C50 i C80 w postaci jednoliczbowej na podstawie wartości podanych w Tab. 1 – patrz [9].

Tabela 4. Interpretacja uzyskanych wyników  
Table 4. Interpretation of results

l p .	parametr, zakres częstotl.	zmierzona wartość	komentarz
1	czas pogłosu, s f=1 kHz	4.8 (kościół pusty) 2.6 (po uwzględnieniu chłonności akust. 700 osób – patrz rys. 12)	spełnione wymagania dla kościoła, przekroczone wymagania dla sali koncertowej – zaleca się odpowiedni dobór repertuaru (patrz lp. 3)
2	EDT, s f=1 kHz	4.8 (kościół pusty)	zbliżone wartości czasu pogłosu i EDT wskazują na duży stopień rozproszenia dźwięku w pomieszczeniu
3	C80, dB w całym paśmie	- 4.8 (kościół pusty)	akustyka obiektu jest przystosowana przede wszystkim do wykonywania muzyki organowej oraz muzyki symfonicznej o powolnym tempie
4	C50, dB w całym paśmie	-7.0 (kościół pusty)	zrozumiałość mowy w pustym wnętrzu jest mała, co jest zgodne z odczuciami subiektywnymi stwierdzonymi podczas pomiarów
5	STI w całym paśmie	0.33 (kościół pusty)	





Rys. 12. Czasu pogłosu w funkcji częstotliwości  
Fig. 12. Reverberation time vs frequency

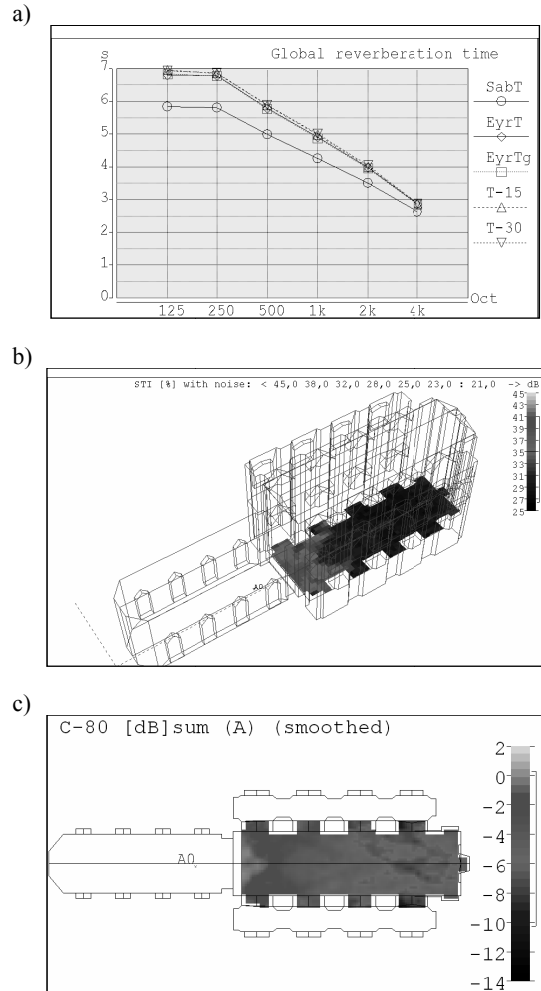
## 5. ELEMENTY ROZPRASZAJĄCE DŹWIĘK NA ESTRADZIE

Układ bocznych ścian i tylnej ściany estrady powoduje słabe wzajemne słyszenie się wykonawców. Jako środek zaradczy proponuje się wykorzystanie przestawnych ekranów akustycznych, ustawianych na estradzie stosownie do potrzeb. Funkcją ekranów jest rozproszenie dźwięku, umożliwią one także stworzenie kulis dla wykonawców. Proponuje się użycie gotowych ekranów, wykorzystywanych np. w salach koncertowych. Ekranów nie są mocowane do ścian lub sufitu, co spełnia wymagania konserwatorskie dotyczące unikania ingerencji w substancję budowlaną obiektu.

## 6. MODELOWANIE KOMPUTEROWE

Z oceny słuchowej oraz pomiarów akustycznych wynika, że akustyka kościoła spełnia podstawowe wymagania związane z funkcją liturgiczną i koncertową. Stwierdzone niedostatki akustyczne, polegające na zbyt dużej pogłosowości i wynikającej stąd małej zrozumiałości mowy ulegną złagodzeniu po wypełnieniu wnętrza publicznością. Niedostatki te, częste w obiektach zabytkowych i wynikające z ograniczonej możliwości ingerowania w wystój wnętrza, nie stanowią istotnej przeszkody w wykorzystaniu badanego kościoła do celów koncertowych.

Dla oceny zmian w akustyce kościoła, jakich można oczekiwać w razie wykonania adaptacji wnętrza wg koncepcji z roku 1970 oraz koncepcji rozważanej w pracy, przeprowadzono ich komputerową symulację z użyciem programu CATT-Acoustic. Wyniki symulacji wskazują, że oba rodzaje adaptacji nie wpłyną w istotny sposób na pogłosowość, co wynika z niedużej chłonności materiałów wprowadzonych do wnętrza. Zmieni się natomiast stopień rozproszenia dźwięku, w pierwszym przypadku w rejonie przebywania widzów, zaś w drugim na estradzie, zgodnie z projektowanym wpływem adaptacji.



Rys. 13. Czas pogłosu (a), STI (b) oraz C80 (c) w stanie aktualnym wg symulacji z użyciem programu CATT-acoustic.

Fig. 13. Reverberation time (a), STI (b) and C80 (c) at the present state acc. to computer simulation with the use of CATT-acoustic software.

## 7. WNIOSKI

W związku z zabytkowym charakterem obiektu, za nieuzasadnioną akustycznie i niewłaściwą od strony konserwatorskiej uważa się projektowaną ingerencję w jego wnętrze z roku 1970, w trwały sposób zmieniającą architekturę kościoła. W szczególności, wskutek tej ingerencji zasłonięte zostałyby sklepienia barokowe, nadające wnętrzu unikalny stylowy charakter. Do przyjęcia natomiast są korekty akustyczne kościoła dokonywane przy użyciu elementów dających się usunąć z pomieszczenia. W tym zakresie zaproponowano przestawne ekrany akustyczne przewidziane do ustawienia na estradzie, pozwalające na poprawę wzajemnego słyszenia się wykonawców.

## ACOUSTIC MEASUREMENTS AND COMPUTER SIMULATION OF THE INTERIOR OF ST. MARY MAGDALENE CHURCH IN LVIV

**Summary:** The paper discusses acoustical aspects of musical activity in St. Mary Magdalene church in Lviv. The concept of improving acoustical qualities of the church when employed as a concert hall is presented. Current acoustics of the church meets both liturgical and musical requirements as long as the convention of using it as a historical object is maintained.

### Literatura

- [1] Abdou A., Guy R. W.: Spatial information of sound fields for room-acoustics evaluation and diagnosis. *J. Acoust. Soc. Am.* Nov. 1996, vol. 100 (5), s. 3215–3226
- [2] Bochnak A.: Ze studiów nad rzeźbą lwowską w epoce rokoka. Kraków MCMXXXI
- [3] Czerner O.: Lwów na dawnej rycinie i planie. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1997
- [4] Gębarowicz M.: Szkice z historii sztuki XVII w., Toruń 1966, s. 71
- [5] Janusz B.: Kościół św. Magdaleny we Lwowie i jego restauracja. „Ziemia”, Lwów 1928
- [6] Kulowski A., Kamisiński T., Kinasz R.: Koncertowa funkcja kościoła pod wezwaniem św. Marii Magdaleny we Lwowie, September 29–30, 2005, Gdańsk, Poland / CURE Centre for Urban Construction and Rehabilitation, Gdansk University of Technology. Faculty of Civil and Environmental Engineering – Gdańsk: CURE, 2005. s. 81–86.
- [7] Kuttruff H.: Room acoustics. John Wiley & Sons, New York 1988, chapter VI.7.
- [8] Mańkowski T.: Lwowskie kościoły barokowe, Lwów 1932
- [9] Marshall J.G.: An acoustics measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late energy ratio. *A. Acoust. Soc. Am.*, 1994, vol. 56, No. 4, p. 2251-2261
- [10] Instrukcja użytkownika programu komputerowego SIA Smart Acoustic Tools, version 4
- [11] Kościół św. Marii Magdaleny. Projekt remontu i przystosowania do funkcji sali koncertowej. Pracownia Konserwacji Zabytków miasta Lwowa, 1974.