

BADANIA CZASU POGŁOSU WNETRZA KAPLICY NIEPOKALANEGO POCZĘCIA NAJŚWIĘTSZEJ MARII PANNY W WARSZAWIE

Michał MARCHACZ*, Antonina ŻABA

Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Streszczenie: W artykule przedstawiono badania pogłosowości wnętrza zabytkowej kaplicy Niepokalanego Poczęcia Najświętszej Maryi Panny w Warszawie, nazywanej również *Res Sacra Miser* (ubogi jest świętością). Celem przeprowadzonych pomiarów było określenie podstawowych parametrów akustycznych wnętrza (w tym czasu pogłosu) oraz próba określenia jakości akustycznej. Pomiary czasu pogłosu prowadzone były metodą zanikową przy wykorzystaniu źródła dźwięku generującego szum różowy. Czas pogłosu dla wnętrza niewypełnionego słuchaczami wyniósł 2,11 s (2,31 s dla 500 Hz). Wypełnienie wnętrza słuchaczami wpłynęło pozytywnie na pogłosowość poprzez skrócenie czasu pogłosu wewnątrz (preferowany zakres dla muzyki wynosi 1,6-1,8 s). Poprawie ulegnie również w takim przypadku zrozumiałość mowy.

Słowa kluczowe: *Res Sacra Miser* – Warszawa, akustyka wnętrz, czas pogłosu, architektura zabytkowa.

1. Wprowadzenie

Rektorska kaplica Niepokalanego Poczęcia Najświętszej Maryi Panny w Warszawie jest bardzo interesującym, ze względu na historię i formę, zabytkiem stolicy. Zlokalizowana jest przy Krakowskim Przedmieściu 62 w gmachu Warszawskiego Towarzystwa Dobroczynności. Na jego elewacji znajduje się motto Towarzystwa *Res Sacra Miser* (Ubogi jest świętością), dlatego tradycyjnie, chociaż formalnie niesłusznie, kaplica nazywana jest kościołem pod tym wezwaniem. Gmach Towarzystwa, w swojej obecnej formie, został zrealizowany w roku 1820 jako przebudowa obiektów należących do pałacu Kazanowskich. Autorem projektu był architekt Antonio Corazziego (1792-1877). Uszkodzony w czasie II wojny światowej budynek wyremontowano i wpisano do Rejestru Zabytków w roku 1965. Obecnie w kaplicy prowadzone są badania siedemnastowiecznych fresków, które zachowały się pod warstwami kolejnych przemalowań.

Wnętrze kaplicy, zbudowane na planie wydłużonego prostokąta (6,51×16,56 m), przykryte jest sklepieniem kolebkowym. Wysokość pomieszczenia wynosi około 11 m. Obiekt jest dostępny z Krakowskiego Przedmieścia oraz parteru i piętra budynków Centrum Caritasu Archidiecezji Warszawskiej (dawnego pałacu Kazanowskich) (rys. 1). Nad wejściem do kościoła znajduje się głęboki chór muzyczny, na którym stoją organy. Prowadzą do niego dwie empory, które zrealizowano w nietypowej dla obiektu sakralnego konstrukcji. Składa się ona ze wsporników i balustrad

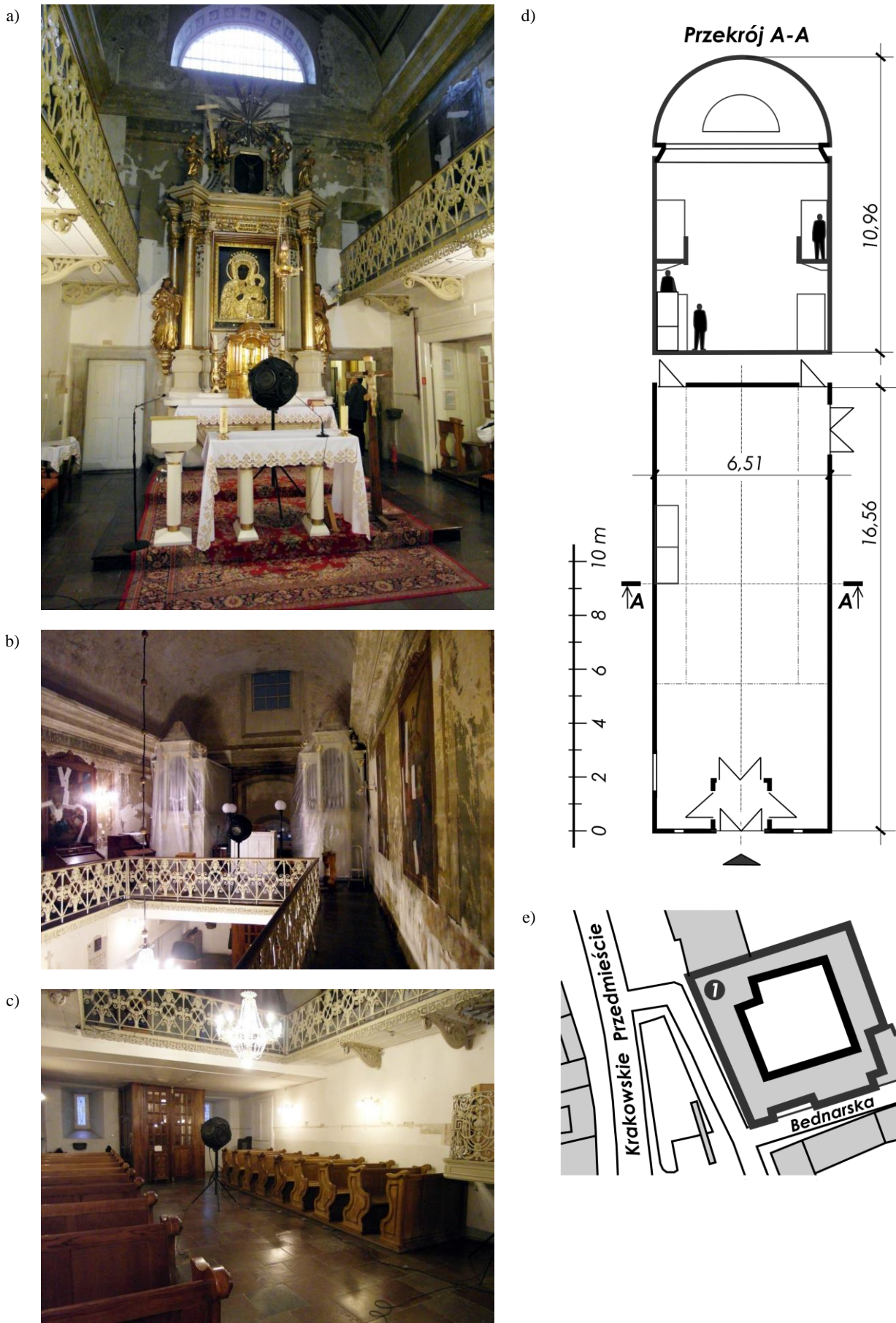
żeliwnych oraz płyt z desek i listew (rozwiązanie typowe dla balkonów w XIX wieku). Krawędzie chóru i empor oznaczono na rysunkach rzutu kaplicy szarą linią dwupunktową (rys. 1 i 2a i b). W przypadku rzutu wykonanego na poziomie chóru i empor zastosowano linię czarną ciągłą (rys. 2 c).

Obiekt ma skromny wystrój. Składają się na niego freski sklepienne i ścienne, epitafia i kamienna posadzka. Na wyposażenie kaplicy składają się drewniane: ołtarz, stół liturgiczny, ambona, ławki (okresowo również dostawiane składane krzesła), konfesjonał, organy oraz dwa kryształowe żyrandole. Na szkicach naniesiono jedynie te elementy wyposażenia, które są ważne ze względu na lokalizację sprzętu badawczego.

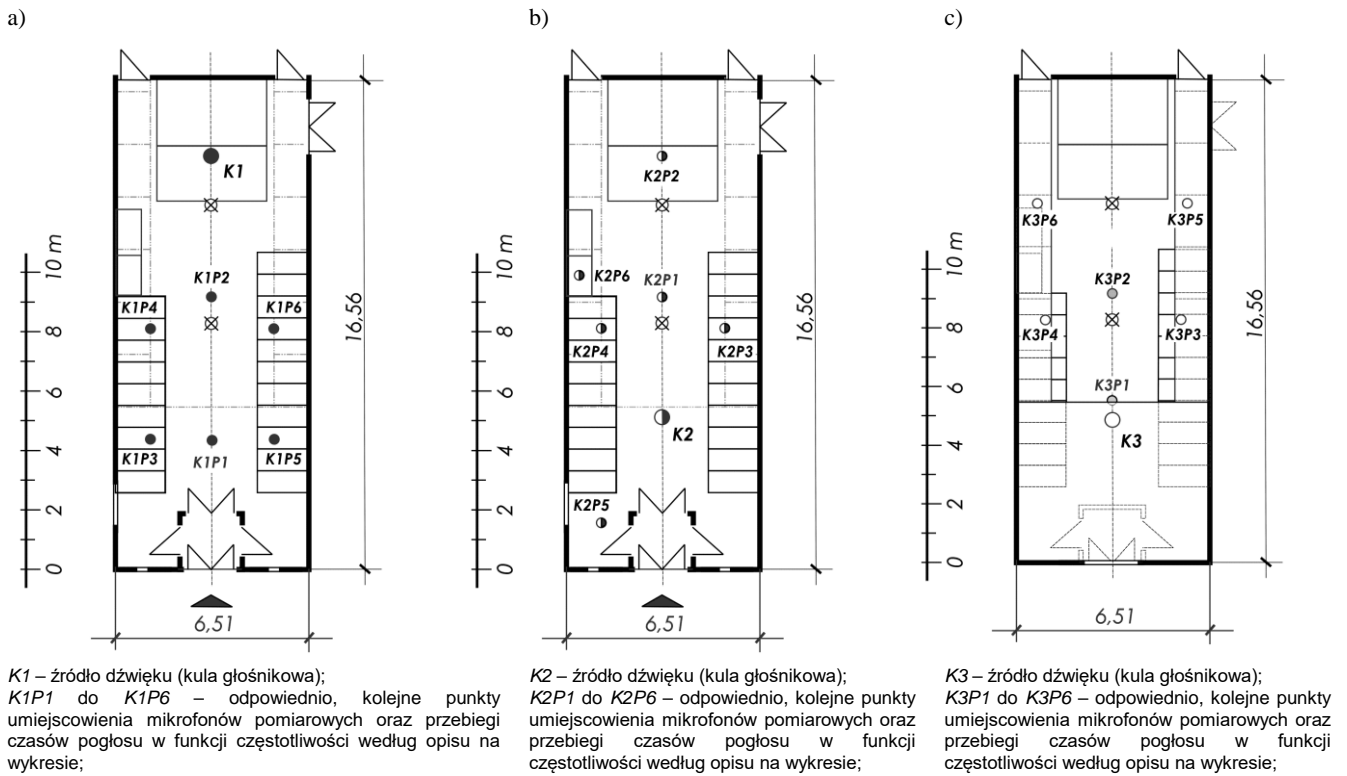
2. Metodyka prowadzonych pomiarów oraz uzyskane wyniki

Wytyczne zawarte w PN-EN ISO 3382-1:2009 *Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 1: Pomieszczenia specjalne* oraz PN-EN ISO 3382-2:2010 *Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach* stanowiły podstawę prowadzonych działań badawczych.

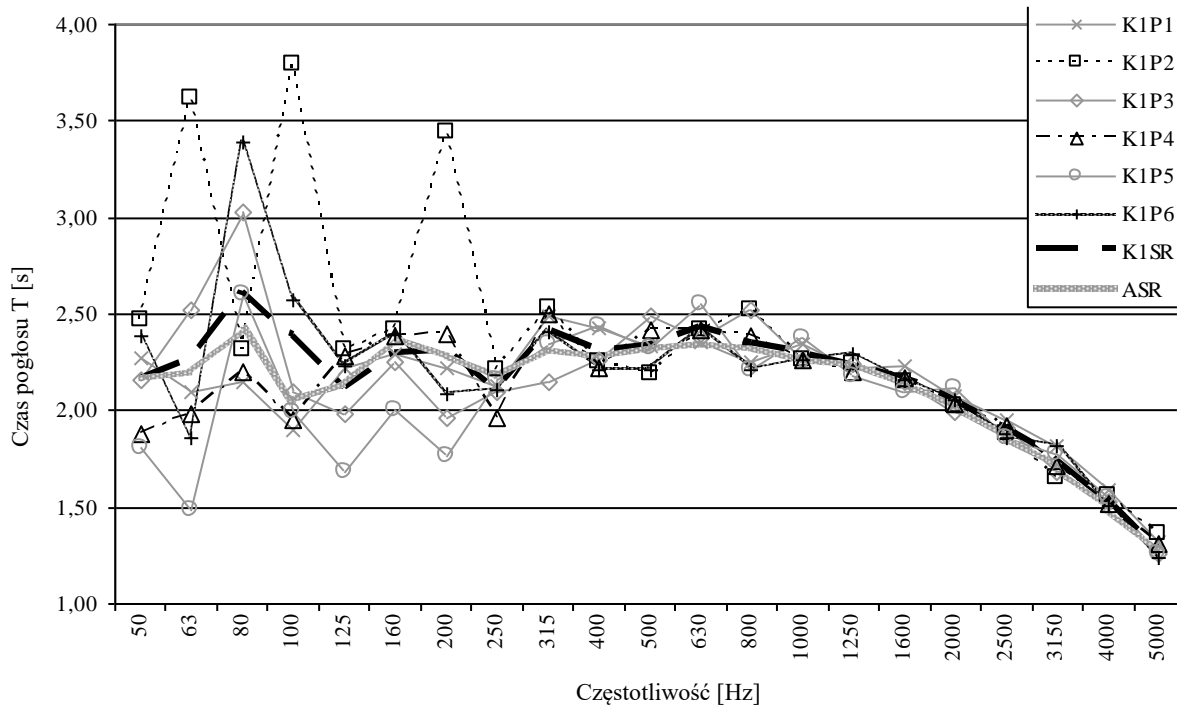
* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: Michal.Marchacz@polsl.pl



Rys.1. Wnętrze kaplicy Niepokalanego Poczęcia Najświętszej Maryi Panny w Warszawie: a) widok na ołtarz, b) widok na organy, c) widok na wejście, d) szkic wnętrza – przekrój i rzut (z wyposażenia pokazano jedynie ambonę), e) lokalizacja kaplicy, opracowanie na podstawie (WIG Mapa szczegółowa 1:25 000)

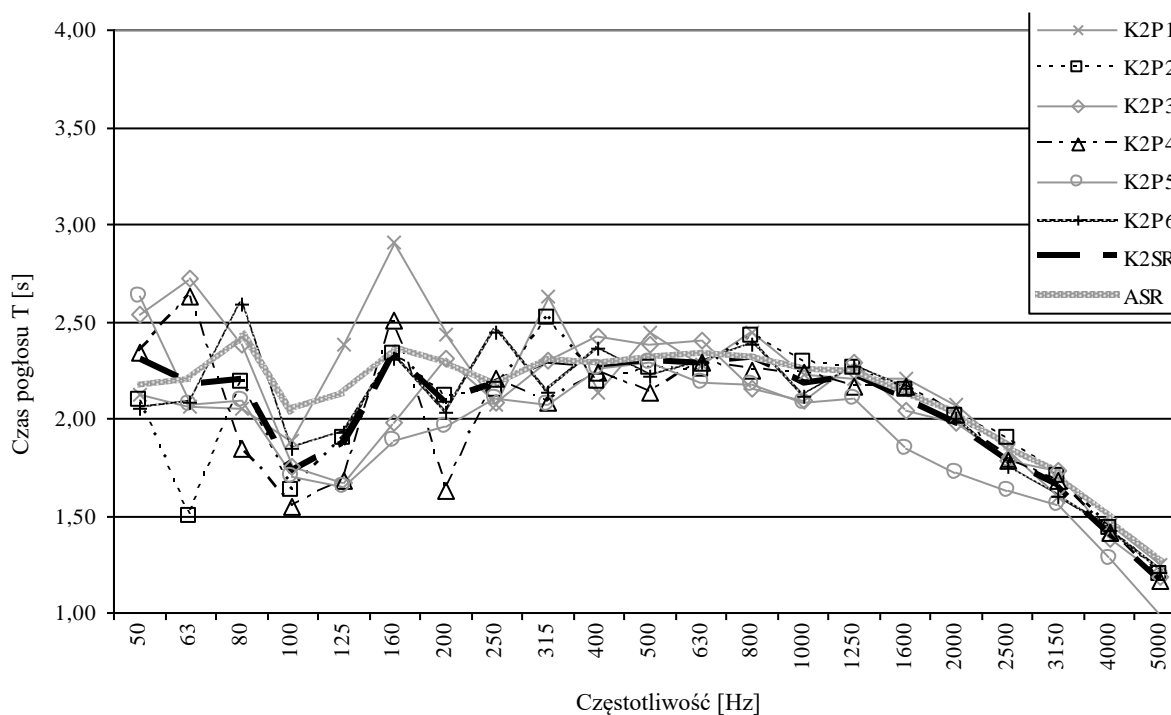


Rys. 2. Lokalizacja sprzętu pomiarowego w czasie badań akustycznych kaplicy przy położeniu głośnika w punkcie: a) $K1$, b) $K2$, c) $K3$



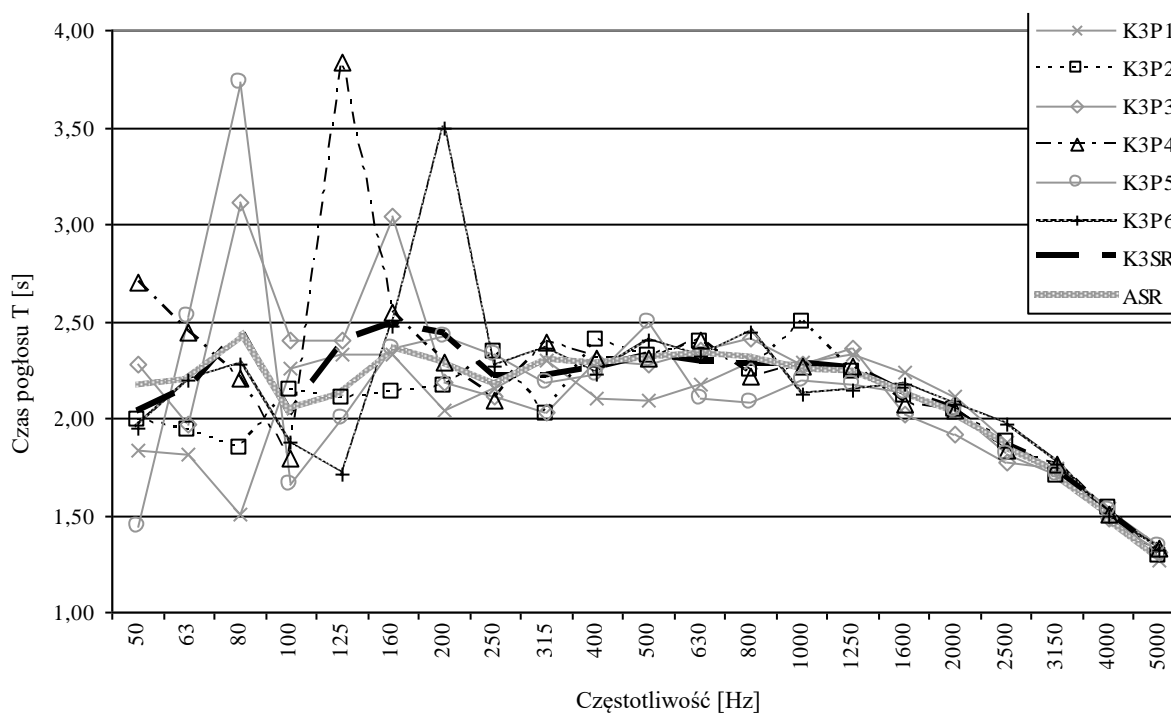
$K1SR$ – średnia z pomiarów dla $K1P1$ do $K1P6$,
 ASR – średnia z wszystkich pomiarów ($K1P1$ do $K3P6$)

Rys. 3. Wykres czasu pogłosu w kolejnych punktach pomiarowych w funkcji częstotliwości w punkcie $K1$, w czasie pomiaru monitorowano temperaturę T oraz wilgotność H powietrza wewnątrz pomieszczenia, gdzie średnia z danego badania wyniosła: $T = 17,2$ °C, $H = 46,0\%$



K2SR – średnia z pomiarów dla K2P1 do K2P6,
ASR – średnia z wszystkich pomiarów (K1P1 do K3P6)

Rys. 4. Wykres czasu pogłosu w kolejnych punktach pomiarowych w funkcji częstotliwości w punkcie K2, w czasie pomiaru monitorowano temperaturę T oraz wilgotność H powietrza wewnątrz pomieszczenia, gdzie średnia z danego badania wyniosła: $T = 17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 45,6\%$



K3SR – średnia z pomiarów dla K3P1 do K3P6,
ASR – średnia z wszystkich pomiarów (K1P1 do K3P6)

Rys. 5. Wykres czasu pogłosu w kolejnych punktach pomiarowych w funkcji częstotliwości w punkcie K3, w czasie pomiaru monitorowano temperaturę T oraz wilgotność H powietrza wewnątrz pomieszczenia, gdzie średnia z danego badania wyniosła: $T = 17,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $H = 45,2\%$

Do wyznaczenia czasu pogłosu użyto metody tak zwanego szumu przerywanego. Część nadawczą stanowiła kula głośnikowa o dookólnej charakterystyce propagacji dźwięku wraz z wzmacniaczem i generatorem szumu różowego. Część odbiorczą stanowił miernik całkujący klasy pierwszej, typu Svan 958 wraz z osprzętem. Źródło dźwięku wytwarzało poziom ciśnienia akustycznego wystarczający do tego, aby krzywa zaniku rozpoczynała się przynajmniej 35 dB powyżej tła akustycznego w odpowiednim zakresie częstotliwości. Źródło dźwięku umieszczono we wnętrzu kaplicy w 3 różnych miejscach. Pierwsze dwa położenia znajdowały się w nawie kaplicy w poziomie parteru. Następnie kula głośnikowa została przeniesiona na chór muzyczny znajdujący się nad wejściem. Dla każdego umiejscowienia źródła dźwięku wytypowano sześć niezależnych punktów pomiarowych. Punkty te starano się rozmieścić pokrywając obszar całego pomieszczenia. Ponadto przy rozmieszczaniu punktów pomiarowych uwzględniono miejsca, takie jak empory (K3P3 do K3P6), ambona (K2P6) oraz miejsce pod chórem muzycznym (K2P5). Umieszczenie punktów pomiarowych dla każdej z pozycji kuli głośnikowej przedstawiono odpowiednio na rysunkach 2 a-c. W każdym punkcie pomiarowym dokonano sześciokrotnego powtórzenia pomiaru zaniku poziomów dźwięku w czasie.

Liczba oraz rozkład zarówno punktów umiejscowienia źródła dźwięku, jak i pozycji mikrofonów uwzględniał potrzebę zachowania odpowiednich, minimalnych odległości odpowiednio pomiędzy punktami odbioru i źródłem dźwięku, jeśli była taka możliwość. Wskazanie to stosowane było również celem zachowania stosownych odległości względem powierzchni odbijających. W przypadku punktu pomiarowego umiejscowionego na ambonie zachowanie tych odległości nie było możliwe ze względu na brak miejsca. Wyniki pomiarów poddano obróbce celem wyznaczenia czasu pogłosu. Przyjęto w opracowaniu czas pogłosu T20 (wyznaczony w oparciu o procedurę uwzględniającą spadek poziomu dźwięku o 20 dB) stanowiący w dalszej części podstawę do oceny pogłosowości wnętrza. W trakcie badania monitorowano temperaturę oraz wilgotność wnętrza.

3. Analiza wyników pomiarów

Wnętrze kaplicy rozpatrywanej pod kątem jej właściwości akustycznych scharakteryzowano najpierw przez przedstawienie w formie wykresów, zmierzonych czasów pogłosu. Przebieg charakterystyk częstotliwościowych czasów pogłosu dla kolejnych ustawień źródła dźwięku oraz kolejnych punktów pomiarowych jest bardzo zbliżony w zakresie częstotliwości średnich i wysokich co obrazuje odniesienie do krzywej ASR (czas pogłosu uśredniony ze wszystkich punktów pomiarowych) co pokazano na rysunkach 3-5. W zakresie częstotliwości niskich rozrzut zmierzonych wartości jest już większy. Uśrednione dla rozpatrywanego zakresu częstotliwości czasy pogłosu odnotowane w punktach pomiarów różnią się maksymalnie o 20% (najkrótszy wyniósł 1,92 s,

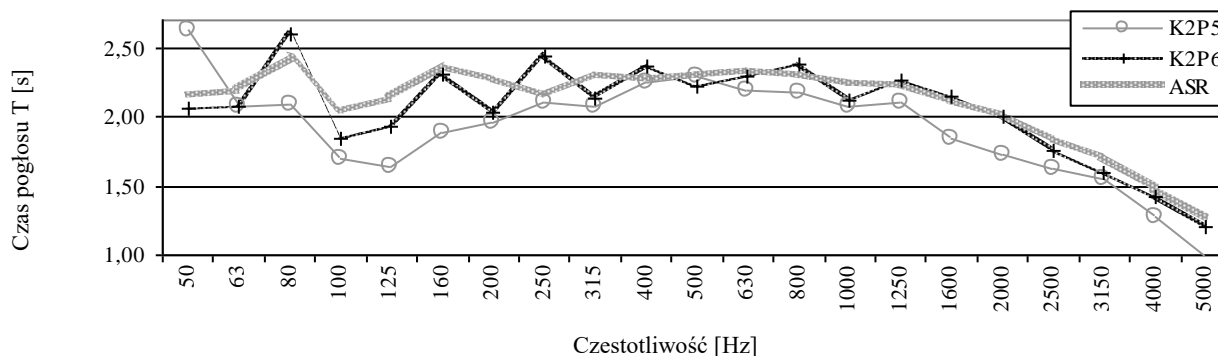
a najdłuższy 2,36 s). Odchylenie standardowe dla próby przyjętej jako zbiór punktów pomiarowych wynosi jedynie 0,1. Należy zauważyć, iż również czas pogłosu zmierzony w punktach pomiarowych zlokalizowanych na znajdujących się w obiekcie nietypowych emporach rozmieszczonych wzdłuż nawy kaplicy nie odbiega od umownej średniej dla rozpatrywanego wnętrza. Różnica wartości średniej czasu pogłosu dla punktów odpowiadających pierwszemu ustawieniu źródła dźwięku względem pomiaru w punktach jak dla trzeciego ustawienia źródła dźwięku (2 punkty pomiarowe w nawie, 4 punkty na emporach) wynosi zaledwie 0,03 s. Punkt pomiarowy K2P5 został umieszczony w nawie pod chórem znajdującym się nad głównym wejściem o kaplicy. Miejsca takie może cechować odmienna charakterystyka akustyczna, co związane jest na przykład z możliwością powstawania dodatkowych zjawisk akustycznych (na przykład rezonans, zwielokrotnienie odbić fali dźwiękowej) związanych z zawartością przestrzeni i układem geometrycznym rozpatrywanego miejsca. Dostępna literatura oraz zalecenia metodyczne zawarte w PN-EN ISO 3382-1:2009 zalecają kontrolowanie również tego typu miejsc. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu w rozpatrywanym punkcie ma podobny kształt jak krzywa ASR (tab. 1, rys. 6). Jednak czasy pogłosu przyjmują niższe wartości. Jest to widoczne zwłaszcza dla częstotliwości wysokich, gdzie wartości czasu pogłosu odbiegają od uzyskanych wyników w pozostałych punktach pomiarowych. Charakterystyka pogłosowa w punkcie pomiarowym K2P6 umiejscowionym na ambonie również nie odbiega od średniej ASR (tab. 1, rys. 6).

Rozpatrując rozkład czasu pogłosu w kontekście rozmieszczenia poszczególnych punktów pomiarowych warto zauważyć bardzo dobrą równomierność jego rozkładu wzdłuż osi głównej budynku (tab. 1, rys. 7). Odchyłki od umownej średniej czasu pogłosu (TSR) we wskazanych punktach pomiarowych są niewielkie, zarówno dla wartości uśrednionych (TSRWP) jak i odczytanych dla częstotliwości 500 Hz (TWP500).

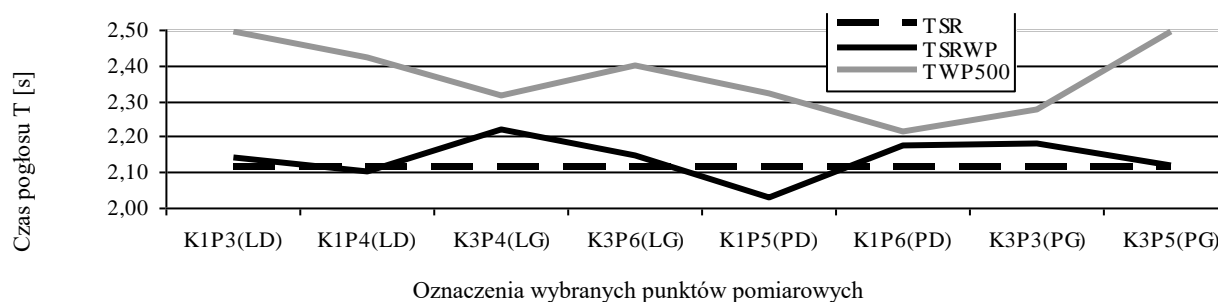
Uśredniony czas pogłosu uzyskany dla rozpatrywanego wnętrza wyniósł 2,11 s. Czas odczytany dla częstotliwości 500 Hz – 2,31 s. Wynik uzyskano przy wnętrzu niewypełnionym słuchaczami. Optymalna, zalecana wartość czasu pogłosu jest sprawą indywidualną, uzależnioną od czynników związanych przede wszystkim z kubaturą obiektu (rozpatrywanego wnętrza) oraz jego przeznaczeniem. Zwykle występuje pewien dysonans pomiędzy parametrami uznawanymi za dobre do odtwarzania muzyki (zwykle dłuższy czas pogłosu) a parametrami optymalnymi do przekazywania słowa mówionego (zwykle potrzeba skrócenia czasu pogłosu). Można przyjąć, że czas pogłosu dla pomieszczenia o kubaturze około 1100 m³ powinien zawierać się w przedziale około 1,6-1,8 s (Long, 2006). Przytoczony zakres czasu pogłosu jest stosowny, na przykład dla odsłuchu muzyki organowej, często wykorzystywanej we wnętrzach kościelnych w trakcie ceremonii liturgicznych. Zgodnie z zaleceniami spotykanymi w literaturze ten typ muzyki wymaga dłuższych czasów

Tab. 1. Zestawienie wybranych parametrów oceny akustycznej rozpatrywanego wnętrza, wykres przebiegu czasu pogłosu w funkcji częstotliwości dla wybranych punktów, wykres średnich czasów pogłosu w zależności od umiejscowienia punktu pomiarowego

Wybrane parametry oceny jakości akustycznej				Uwagi
f (Hz)	STI	C ₈₀	D ₅₀	f (Hz) – częstotliwość
125	-	-1,67	0,28	STI – wskaźnik zrozumiałości mowy wyznaczony w oparciu (Nowoświat, 2007)
250	-	-1,78	0,27	C ₈₀ – wskaźnik klarowności (Springer, 2006)
500	0,49	-2,13	0,26	D ₅₀ – wskaźnik wyrazistości (Springer, 2006)
1000	-	-1,98	0,26	K2P5, K2P6, ASR - opis jak w tabeli 3;
2000	0,50	-1,38	0,29	K1P3(LD), K1P4(LD), K3P4(LG), K3P6(LG), – punkty umiejscowione po lewej stronie, gdzie: D – na dole, G – na emporach i chórze;
4000	-	0,42	0,37	K1P5(PD), K1P6(PD), K3P3(PG), K3P5(PG), – punkty umiejscowione po prawej stronie, gdzie: D – na dole, G – na emporach i chórze;



Rys. 6. Wybrane wykresy czasów pogłosu w funkcji częstotliwości



Rys. 7. Czasy pogłosu w punktach pomiarowych w zależności od umiejscowienia ich we wnętrzu kaplicy

pogłosu niż w przypadku muzyki romantycznej, klasycznej czy operowej. W przypadku rozpatrywanego wnętrza można zauważyć, że zwiększenie chłonności akustycznej w związku z obecnością słuchaczy, może skorygować parametry pogłosowe w kierunku preferowanego zakresu czasu pogłosu. Obecność słuchaczy wpłynąć może również na zmianę temperatury oraz wilgotności w rozpatrywanym wnętrzu. Doświadczenia autorów z laboratoryjnych badań akustycznych w komorze pogłosowej nie wskazują na istotnie zauważalny wpływ powyższych parametrów na uzyskiwane wartości czasu pogłosu. Współczynnik klarowności C₈₀ przyjmuje wartości ujemne poza najwyższymi częstotliwościami. Może się to przekładać

na mniejszą rozróżnialność poszczególnych dźwięków i ich źródeł. Tak przyjęte założenia mogą wskazywać na akustykę rozpatrywanego wnętrza jako odpowiednio dostosowaną do jego przeznaczenia. Oprócz odsłuchu muzyki innym elementem obrządków religijnych jest słowo mówione. Cecha określana jako wyrazistość (mowy) D₅₀ jest niewielka. Wskaźnik transmisji mowy STI, wyznaczony na podstawie czasu pogłosu w oparciu o przybliżoną formułę (Nowoświat, 2007), odpowiadający wyrazistości mowy dla niewypełnionego wnętrza przyjmuje wartości około 0,5.

4. Wnioski

Podsumowując należy stwierdzić, że:

1. Średni czas pogłosu pustego wnętrza wynoszący około 2,11 s nie odbiega znacząco od preferowanego zakresu dla muzyki.
2. Wypełnienie wnętrza słuchaczami skróci czasu pogłosu (zalecany zakres to około 1,6-1,8 s).
3. Uzyskane wartości wskaźnika STI na poziomie 0,5 wskazują na dostateczną zrozumiałość mowy we wnętrzu. Skrócenie czasu pogłosu w wyniku zapelnienia wnętrza słuchaczami wpłynie na zwiększenie zrozumiałości mowy we wnętrzu.

Literatura

- Long M. (2006). *Architectural Acoustics*. Elsevier Academic Press, Burlington.
- Nowoświat A. (2007). Model logarytmiczny wyznaczania wskaźnika zrozumiałości mowy. W: *Materiały z konferencji Fizyka Budowli w Teorii i Praktyce*, tom 2, Łódź, 2007, 215-218.
- Springer Handbook of Acoustics (2006): Charter 9, 308-310. e-ISBN: 0-387-30425-0.
- WIG Mapa szczegółowa 1:25 000. (data dostępu: 1.07.2016).

INVESTIGATIONS OF THE REVERBERATION TIME IN INTERIOR OF THE IMMACULATE CONCEPTION OF THE BLESSED VIRGIN MARY'S CHAPEL IN WARSAW

Abstract: Paper presents reverberation time investigations for interior of the monumental chapel of the Immaculate Conception of the Blessed Virgin Mary's in Warsaw, also called Res Sacra Miser (miserable is sainthood). Aim of measurements was determining acoustic parameters of interior (incl. reverberation time), and attempt to determines acoustic quality. Measurements were done with using decay method and sound source generating pink noise. Reverberation time for empty interior was 2.11 s (2.31 s for 500 Hz). Interior's filling by listeners will have positive effect on reverberation time by his shortening (optimum range for music is 1.6-1.8 s for this interior), also speech intelligibility will be better.