

dr inż. Michał Marchacz^{1*)}

ORCID: 0000-0003-3275-1960

dr inż. Antonina Żaba²⁾

ORCID: 0000-0002-0096-4665

Acoustics of the interior of the church in the context of its geometric and material parameters

Akustyka wnętrza kościoła w kontekście jego parametrów geometryczno-materiałowych

DOI: 10.15199/33.2025.08.22

Abstract. Historic religious buildings often lose their original function of use. The search for new ways of exploiting such buildings can ensure that they remain in good condition in the future. The authors present acoustic tests of the existing state of the interior of the church of St. Apostles Peter and Paul in Obórki. The authors determined selected parameters for the acoustic assessment of the interior in the context of the possibility of adapting the interior to a different mode of use.

Keywords: reverberation time; room acoustics; historic wooden and brick church.

Streszczenie. Zabytkowe obiekty sakralne często tracą swoją pierwotną funkcję użytkową. Poszukiwanie nowych sposobów eksploatacji takich obiektów może zapewnić ich utrzymanie w dobrym stanie w przyszłości. W artykule zaprezentowano wyniki badań akustycznych stanu istniejącego wnętrza kościoła pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Obórkach. Określono wybrane parametry oceny akustycznej wnętrza w kontekście możliwości adaptacji wnętrza do innego sposobu użytkowania.

Słowa kluczowe: czas pogłosu; akustyka wnętrz; zabytkowy kościół drewniano-murowany.

Historic sacred interiors are often considered to have high acoustic qualities. This assessment is usually intuitive, created by users or managers of historic buildings. Modern measuring and computer tools allow us to determine many current acoustic characteristics of buildings and simulate their acoustic condition in the past [1 ÷ 3]. In our opinion, determining the acoustic characteristics of a historic interior on an objective technical scale can be helpful in finding new ways to use this type of building. The historic Polish Catholic Church of St. Peter and St. Paul, located in the village of Obórki (Brzesko County, Opole Province), has been transformed many times. The first mentions of the church date back to the first half of the 14th century, and architectural and dendrological studies [4 ÷ 6] confirm its medieval roots. Between 1534 and 1945, it was used by Evangelicals, and between 1945 and 1967, it was located within the Roman Catholic parish in Przylesie. However, it was not used for liturgical purposes. In 1967, a Polish Catholic parish was established in Obórki, and it is this parish that manages the church. Currently, the administrator of the building, with the support of the Provincial Office for the Protection of Monuments, the Regional Centre of the National Heritage Institute in Opole, the County Office in Brzeg and the 'For Heritage' foundation, is looking for new ways to use the building, which has not been used for liturgical purposes for several years. The fundamental issue at present is to prepare an appropriate plan for its use. Historic buildings are often used

Zabytkowe wnętrza sakralne często oceniane są jako charakteryzujące się wysokimi walorami akustycznymi. Najczęściej ocena ta jest intuicyjna, kreowana przez użytkowników lub zarządców obiektów zabytkowych. Współczesne narzędzia pomiarowe oraz komputerowe pozwalają na ustalanie wielu aktualnych cech akustycznych obiektów i symulowanie stanu akustycznego w przeszłości [1 ÷ 3]. Naszym zdaniem, ustalenie cech akustycznych zabytkowego wnętrza w obiektywnej skali technicznej może być pomocne w odnajdywaniu nowych kierunków eksploatacji tego typu obiektów. Zabytkowy kościół polskokatolicki pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła, zlokalizowany we wsi Obórki (pow. brzeski, woj. opolskie), był wielokrotnie przekształcany. Pierwsze wzmianki o kościele pochodzą z pierwszej połowy XIV w., a badania architektoniczne i dendrologiczne [4 ÷ 6] potwierdzają jego średniowieczne korzenie. W latach 1534 – 1945 użytkowany był przez ewangelików, a w latach 1945 – 1967 znajdował się na terenie parafii rzymskokatolickiej w Przylesiu. Nie był jednak wykorzystywany do celów liturgicznych. W 1967 r. ustanowiona została w Obórkach parafia polskokatolicka i to ona zarządza kościołem. Obecnie zarządca obiektu, przy wsparciu Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków, Regionalnego Ośrodka Narodowego Instytutu Dziedzictwa w Opolu, Starostwa Powiatowego w Brzegu oraz fundacji „Dla Dziedzictwa” poszukuje nowych form eksploatacji obiektu, który nie jest, od kilku lat, wykorzystywany do celów liturgicznych. Sprawą podstawową jest obecnie przygotowanie właściwego planu jego eksploatacji. Często obiekty zabytkowe wykorzystywane są jako miejsca edukacji muzycznej oraz sale koncertowe. Ten

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

²⁾ Stowarzyszenie Konserwatorów Zabytków, Oddział Opole

^{*)} Correspondence address: Michał.Marchacz@polsl.pl

as music education venues and concert halls. This type of use usually arouses the least negative emotions in the context of changing the way a building is used. The article presents the acoustic parameters of the interior of the church in Obórki.

Research subject

The wooden and brick church is located in the centre of the village. It has been rebuilt, modernised and renovated many times. According to the information contained in the green card of the building [5], in 1959, the building was closed because it was in danger of collapsing. The first renovation and conservation work after World War II was carried out in the 1960s. The current condition of the building is shown in the photograph. The church stands on a foundation of varying height with corner posts.

The interior consists of two interconnected spaces – the nave and the chancel. The nave has a roughly square floor plan. Its western wall, made of brick, plastered and whitewashed on both sides, has a complex form. On the interior side, a plinth and pilasters were built to support the music gallery (no longer preserved). The south and north walls are made of wood in a log construction. The gaps between the beams were filled with mortar. The walls were plastered and whitewashed. Windows and doors were cut into the north wall, and a window was cut into the south wall. Wooden and metal window

frames were installed in the window openings. In the east wall (on the side of the chancel), a door opening has been preserved, filled with wooden doors leading to the gallery, which has not been preserved [5]. The nave and chancel are covered with wooden bare ceilings with flat ceilings. Only in the middle of the nave is the ceiling supported by a truss (called ‘sosręb’), which acts as a tie beam. The ceilings, installed at a similar height, are covered with very valuable 17th-century polychrome decorations. The floor in both rooms is concrete. Only in the presbytery are the platforms on which the liturgical table, altar, baptismal font and sidilia are placed covered with ceramic tiles. The nave features antique wooden benches, two contemporary altars and several contemporary stations inspired by the church's Gothic past. The chancel, on a rectangular plan, has wooden walls on the south and east sides, described as a half-timbered structure [5], while the west wall is brick. The walls are plastered and whitewashed. There is

sposób użytkowania budzi zwykle najmniej negatywnych emocji w kontekście zmiany sposobu eksploatacji. W artykule przedstawiono akustyczne parametry wnętrza kościoła w Obórkach.

Przedmiot badań

Drewniano-murowany kościół zlokalizowany jest w centrum wsi. Był on wielokrotnie przebudowywany, modernizowany i remontowany. Z informacji zawartej w zielonej karcie obiektu [5] wynika, że w 1959 r., obiekt był zamknięty, gdyż groził zawaleniem. Pierwszy, po II wojnie światowej remont i konserwację przeprowadzono w latach sześćdziesiątych XX wieku. Obecny stan obiektu przedstawia fotografia. Kościół stoi na podmurówce o zmiennej wysokości z peckami w narożach.



Church of Saints Peter and Paul in Obórki, view from the south

Photo M. Marchacz

Kościół pw. Świętych Apostołów Piotra i Pawła w Obórkach, widok od strony południowej

Fot. M. Marchacz

Badane wnętrze składa się z dwóch, połączonych ze sobą, przestrzeni – nawy i prezbiterium. Rzut nawy zbliżony jest do kwadratu. Jej zachodnia ściana, wykonana z cegły, obustronnie otynkowana i obielona, ma złożoną formę. Od strony wnętrza wymurowano cokół i pilastry, które stanowiły podpory pod emporę muzyczną (niezachowaną). Ścianę południową i północną wykonano z drewna w konstrukcji zrębowej. Szczeliny między belkami uzupełniono zaprawą. Ściany otynkowane i pobielone. W ścianie południowej wykonano otwory na okna i drzwi, zaś w północnej na okno. W otworach okiennych zamontowana jest stolarka okienna drewniana i metalowa. W ścianie wschodniej (od strony prezbiterium) zachował się

otwór drzwiowy, wypełniony drewnianymi drzwiami prowadzącymi na emporę, która się nie zachowała [5]. Nawa i prezbiterium nakryte są drewnianymi nagimi stropami o płaskich pułapach. Jedynie na środku nawy strop podparty jest sosrębem, pełniącym rolę podciagu. Stropy w nawie, zamontowane na zbliżonej wysokości, pokryte są bardzo cenną, siedemnastowieczną polichromią. Posadzka w obu pomieszczeniach jest betonowa. Jedynie w prezbiterium podesty, na których ustawiono stół liturgiczny, ołtarz, chrzcielnicę i sidilia, pokryte są płytkami ceramicznymi. W nawie znajdują się zabytkowe ławki drewniane, dwa współczesne ołtarze oraz kilka współczesnych stacji inspirowanych gotyką przeszłością kościoła. Prezbiterium, na rzucie prostokąta, ma drewniane ściany od strony południowej i wschodniej o konstrukcji opisanej jako szkieletowa przysłupowa [5], a zachodnia ściana jest murowana. Ściany są otynkowane i pobielone. W ścianie wschodniej znajduje się okno i drzwi drewniane. W pre-

a window and wooden doors in the eastern wall. In the chancel, there is a Renaissance stone baptismal font and a contemporary altar made in the same style as the Stations of the Cross hung on the walls of the nave and chancel. There are two benches along the south and north walls, and at the junction of the nave and chancel, on the north side, there is a 17th-century pulpit. The square, four-storey tower with a skeleton structure filled with clay plaster [7] has no direct connection with the interior of the nave. The porch is connected to the interior of the nave (Figure 1). This room was the last to be added to the church. It was built using a timber frame with brick infill (half-timbered construction), and the walls were plastered and whitewashed. The floor is made of ceramic tiles.

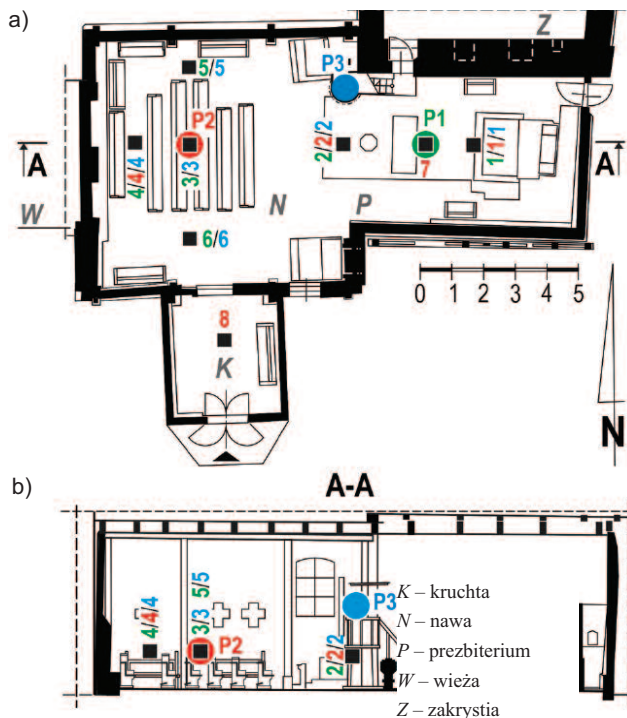


Fig. 1. Plan (a) and cross-section (b) of the tested interior with the location of sound sources (sound source in positions P1-P3) and measurement points (microphones 1-8)

Rys. 1. Rzut (a) i przekrój (b) badanego wnętrza z lokalizacją źródeł dźwięku (źródło dźwięku w położeniach P1-P3) oraz punktów pomiarowych (mikrofony 1-8)

Fig. A. Żaba

Rys. A. Żaba

Rys. A. Żaba

Rys. A. Żaba

Selected parameters for assessing the acoustic quality of the interior in consideration

One of the basic parameters determined when shaping the acoustic character of an interior is **reverberation time** [8]. Based on this, other parameters characterising the interior in question in terms of speech and music perception can also be determined [9]. We selected two features that illustrate the interior in question in terms of speech and music perception. The **speech intelligibility index** (STI) was used to assess speech intelligibility. It is a measure ranging from 0 to 1, representing the quality of speech transmission in terms of intelligibility. The Nowoświat model [10], which closely approximates STI values, was used for the calculations:

$$STI = -0,2078 \ln T + 0,6488$$

where: T – reverberation time.

Clarity C_{80} was adopted as a parameter characterising the interior in the context of musical sound perception. The C_{80} coefficient is usually a feature that refers to large interiors. This study attempts to evaluate a small interior using this coefficient. This feature can be interpreted as the ability to distinguish individual sounds against the background of the entire piece. Quantitatively, it can be assumed (according to the PN-EN ISO 3382-1[11] standard) that this is the ratio of early, direct acoustic energy to late acoustic energy. The C_{80} value can be calculated using the following formula:

$$C_{80} = 10 \log(e^{1,1/T} - 1)$$

Wybrane parametry oceny jakości akustycznej rozpatrywanego wnętrza

Jednym z podstawowych parametrów określanych przy kształtowaniu akustycznego charakteru wnętrza jest **czas pogłosu** [8]. Na jego podstawie można określić również inne parametry charakteryzujące rozpatrywane wnętrze pod kątem odbioru słowa mówionego i muzyki [9]. Wybraliśmy dwie cechy obrazujące rozpatrywane wnętrze pod kątem słowa mówionego i odbioru muzyki. Do oceny zrozumiałości mowy wykorzystano **wskaźnik zrozumiałości mowy STI** (ang. *Speech Transmission Index*). Jest to miara przyjmująca wartości 0 – 1, reprezentująca jakość transmisji mowy pod względem zrozumiałości. Do obliczeń wykorzystano model Nowoświata [10] dobrze przybliżający wartości STI:

$$STI = -0,2078 \ln T + 0,6488$$

gdzie: T – czas pogłosu.

Jako parametr charakteryzujący wnętrze w kontekście odbioru dźwięku muzycznego przyjęto **przejrzystość C_{80}** (ang. *Clarity*). Współczynnik C_{80} jest zazwyczaj cechą, którą odnosi się do dużych wnętrz. W pracy podjęto próbę oceny wnętrza o małej kubaturze za pomocą tego współczynnika. Cechę tę można interpretować jako zdolność do rozróżniania poszczególnych dźwięków na tle całości utworu. Ilościowo można przyjąć (za normą PN-EN ISO 3382-1[11]), że jest to stosunek energii akustycznej wczesnej, bezpośredniej do późnej. Wartość C_{80} można obliczyć ze wzoru:

$$C_{80} = 10 \log(e^{1,1/T} - 1)$$

z biterium stoi renesansowa kamienna chrzcielnica oraz współczesny ołtarz wykonany w tym samym stylu, co stacje drogi krzyżowej zawieszane na ścianach nawy i prezbiterium. Przy ścianie południowej i północnej, stoją dwie ławki, a na styku nawy i prezbiterium, po stronie północnej stoi ambona pochodząca z XVII wieku. Wieża na rzucie kwadratu, czterokondygnacyjna o konstrukcji szkieletowej z wypełnieniem glinianą polepą [7], nie ma bezpośredniego połączenia z wnętrzem nawy. Kruchta połączona jest z wnętrzem nawy (rysunek 1). Pomieszczenie to dobudowano do kościoła jako ostatnie. Wykonano je w konstrukcji szkieletowej z ceglanym wypełnieniem (mur pruski), ściany otynkowane i pobielone. Posadzka z płytek ceramicznych.

Gade [8, 9] states that the higher the C_{80} index value, the greater the impression of sound clarity for the listener. The literature contains various recommendations regarding the preferred values of this index. Long in [12] gives the preferred range between 0 and -4 [dB]. In turn, Marshall's work, cited in Kulowski's book [13], provides recommended average values for different types of music (from below -3 for organ music to above 6 for electronic music).

Methodology for testing interior reverberation

The measurements were carried out in accordance with the guidelines contained in the standard (PN-EN ISO 3382 parts 1 and 2 [11, 14]). The so-called intermittent noise method was used in the tests. The methodology of similar tests in other historic buildings, mainly sacred ones, has also been presented in other works, e.g. [15 ÷ 17]. The transmitting part of the measuring apparatus consisted of an omnidirectional source with omnidirectional sound propagation characteristics, together with an amplifier and a pink noise generator. The receiving part of the system consisted of a four-channel sound level meter, a 1/2' microphone, a 1/2' microphone preamplifier and an acoustic calibrator.

The sphere in position P1 was located in the presbytery (congregation area), and in position P2 in the nave (performers' area). The loudspeaker sphere was then moved to the pulpit (position P3 – performers' area). Six measurement points were selected to determine the sound source P1 and P3, while five measurement points were selected for P2, including one measurement point located in the vestibule at the entrance to the church. A total of 17 measurement points were selected inside the church. The location of the measurement points and sound sources is shown in Figure 1 (plan and cross-section). The measurement points were distributed to cover the entire room. Measurement points 1 to 6 were used to set up the speaker ball at positions P1 and P3. For the second speaker ball setup at position P2, the following points were used for measurement: 1, 2, 4, 7 and 8 (point 7 was in the place of the first setting of the loudspeaker sphere, and point 8 was selected as a control point located in the vestibule – this room did not have a door separating it from the nave of the church). As a result, the performers' zone included measurement points P1_1, P2_1, P3_1, P_2_7 were located in the performers' area, while the remaining measurement points (except for P2_8) were assigned to the area of the congregation, or listeners, in the presbytery. At each measurement point, six measurements of sound level decay over time were taken in order to reduce statistical variation.

Measurement results and calculations

The results of the reverberation time measurements are shown in Figure 2. The average temperature during the measurement was $T = 7.6^{\circ}\text{C}$, and the average air humidity was $H = 53.0\%$. Based on the reverberation time and the known parameters for assessing the acoustic quality of the interior,

Gade [8, 9] podaje, że im większa jest wartość wskaźnika C_{80} , tym większe wrażenie przejrzystości dźwięku u słuchacza. W literaturze znajdują się różne zalecenia dotyczące preferowanych wartości tego wskaźnika. Long w [12] podaje preferowany zakres pomiędzy 0 a -4 [dB]. Z kolei w pracy Marshalla przytoczonej w książce Kulowskiego [13] można znaleźć zalecane wartości uśrednione w przypadku różnych rodzajów muzyki (od poniżej -3 dla muzyki organowej do powyżej 6 dla muzyki elektronicznej).

Metoda badań pogłosowości wnętrza

Pomiary przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie (PN-EN ISO 3382 część 1 i 2 [11, 14]). W badaniach zastosowano metodykę tzw. szumu przerywanego. Metodę podobnych badań w innych obiektach zabytkowych, głównie sakralnych, przedstawiliśmy również w innych pracach, np. [15 ÷ 17]. Część nadawczą aparatury pomiarowej stanowiło źródło wszechkierunkowe o dookólnej charakterystyce propagacji dźwięku wraz z wzmacniaczem i generatorem szumu różowego. Część odbiorczą układu stanowiły cztero-kanalowy miernik poziomu dźwięku, mikrofon 1/2", przedwzmacniacz mikrofonowy 1/2" oraz kalibrator akustyczny.

Kula w położeniu P1 znajdowała się w prezbiterium (strefa wiernych), a w położeniu P2 w nawie (strefa wykonawców). Następnie kula głośnikowa została przeniesiona na ambonę (położenie P3 – strefa wykonawców). Do ustawienia źródła dźwięku P1 oraz P3 wytypowano 6 punktów pomiarowych, natomiast do ustawienia P2 przyjęto 5 punktów pomiarowych, w tym jedno z miejsc pomiarowych umiejscowiono w przedsionku stanowiącym wejście do kościoła. W sumie we wnętrzu kościoła wytypowano 17 punktów pomiarowych. Umieszczenie punktów pomiarowych oraz źródeł dźwięku przedstawiono na rysunku 1 (rzut i przekrój). Punkty pomiarowe rozmieszczono, pokrywając obszar całego pomieszczenia. Do ustawienia P1 i P3 kuli głośnikowej wykorzystano punkty pomiarowe od 1 do 6. W przypadku drugiego ustawienia P2 kuli głośnikowej, do pomiaru wykorzystano punkty oznaczone jako: 1; 2; 4; 7 oraz 8 (pkt 7 był w miejscu pierwszego ustawienia kuli głośnikowej, a pkt 8 kontrolnie wytypowano jako umieszczony w przedsionku – pomieszczenie to nie miało drzwi oddzielających od nawy kościoła). W efekcie w strefie wykonawców znalazły się punkty pomiarowe P1_1, P2_1, P3_1, P_2_7, natomiast pozostałe punkty pomiarowe (oprócz P2_8) przypisano do strefy wiernych lub inaczej słuchaczy, w areale prezbiterium. W każdym punkcie pomiarowym dokonano sześciokrotnego pomiaru zaniku poziomu dźwięku w czasie w celu zniwelowania rozrzutu statystycznego.

Wyniki pomiarów, obliczenia i wnioski

Wyniki pomiarów czasu pogłosu pokazano na rysunku 2. Średnia temperatura w czasie pomiaru wynosiła $T = 7,6^{\circ}\text{C}$, a średnia wilgotność powietrza $H = 53,0\%$. Na podstawie czasu pogłosu oraz przedstawionych znanych parametrów oceny jakości akustycznej wnętrza, obliczono wskaźniki zro-

speech intelligibility and sound clarity indices were calculated. The results are shown in Figures 3 and 4.

The reverberation tests conducted in the interior allowed for the determination of the frequency response of the reverberation times. On this basis, the average reverberation time of the interior in question was determined. The church in its current state, without listeners, has an average reverberation time T_{sSR} (63 – 8000 Hz) of approximately 1.51 s. However, the reverberation time for the average frequency

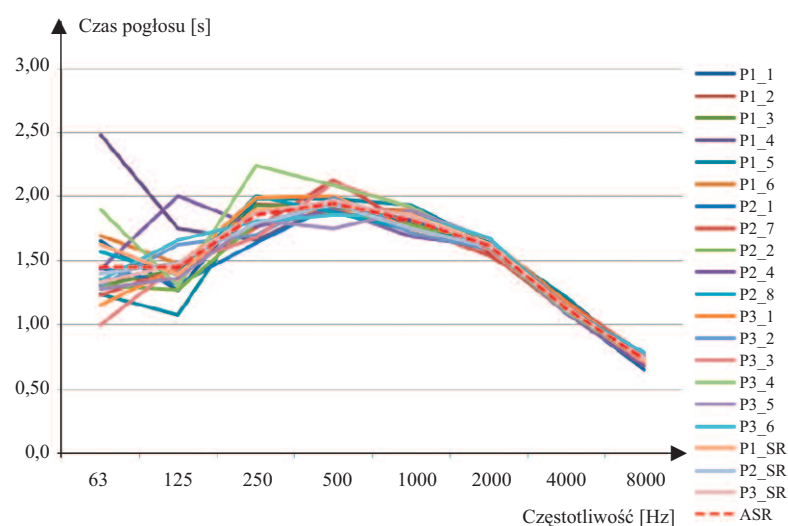


Fig. 2. Frequency response curves of reverberation times for the following arrangement of sound sources (ss) and measurement points (mp): ss P1 – mp 1-6; ss P2 – mp 1; 2; 4; 7; 8; ss P3 – mp 1-6 and average frequencies from measurement points for a given setting P1SR – P3SR

Rys. 2. Przebiegi częstotliwościowe czasów pogłosu w przypadku następującego ustawienia źródeł dźwięku (źd) i punktów pomiarowych (pp): źd P1 – pp 1-6; źd P2 – pp 1; 2; 4; 7; 8; źd P3 – pp 1-6 oraz średnie częstotliwości z punktów pomiarowych w przypadku danego ustawienia P1SR – P3SR

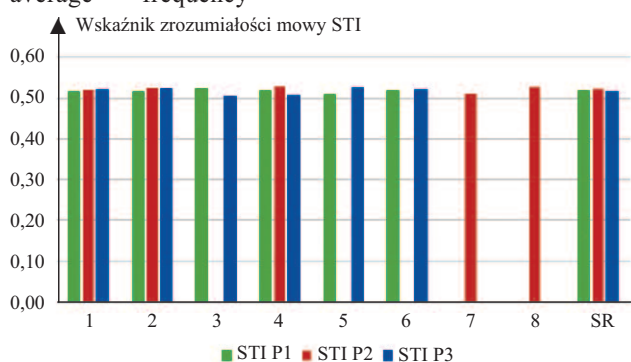


Fig. 3. Speech intelligibility indices STI for sound sources P1-P3 at measurement points (1 - 8) and averages (SR) for P1-P3

Rys. 3. Wskaźniki zrozumiałości mowy STI w przypadku źródeł dźwięku P1-P3 w punktach pomiarowych (1 - 8) oraz średnie (SR) dla P1-P3

range (500 – 1000 Hz) T_{sSR} (500 – 1000), which is largely responsible for the transmission of human speech, was found to be slightly longer, at approx. 1.89 s.

The volume of the nave and chancel is approx. 630 m³ (approx. 680 m³ with the vestibule). In the case of such interior volume and its use as a Catholic church, it can be assumed that the reverberation time T (500 – 1000 Hz) should oscillate around 1.3 – 1.4 s. This reverberation time range will be a compromise between the perception of the spoken word, where an even shorter reverberation time is recommended, and the perception of music, where a slightly longer reverberation time is usually better. The average value of the STI index for an empty interior corresponds to a subjective assessment of 'satisfactory'. C_{80} , as a feature related to the musical assessment of the interior, is slightly below 0 [dB]. It indicates that symphonic music is preferred in the interior.

zumiałości mowy oraz przejrzystości dźwięku. Wyniki pokazano na rysunkach 3 i 4.

Przeprowadzone badania pogłosowości wnętrza pozwoliły na wyznaczenie przebiegów częstotliwościowych czasów pogłosu. Na tej podstawie wyznaczono średni czas pogłosu rozpatrywanego wnętrza. Kościół w stanie obecnym, niewypełniony słuchaczami, charakteryzuje się uśrednionym czasem pogłosu T_{sSR} (63 – 8000 Hz) na poziomie ok. 1,51 s. Natomiast czas pogłosu w przypadku średniego zakresu częstotliwości

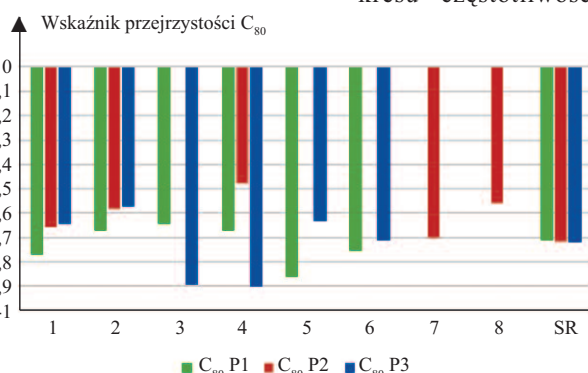


Fig. 4. C_{80} transparency indicators for sound sources P1-P3 at measurement points (1-8) and averages (SR) for P1-P3

Rys. 4. Wskaźniki przejrzystości C_{80} w przypadku źródeł dźwięku P1-P3 w punktach pomiarowych (1 - 8) oraz średnie (SR) dla P1-P3

(500 – 1000 Hz) T_{sSR} (500 – 1000), odpowiedzialnych w dużej mierze za transmisję mowy ludzkiej, okazał się nieco dłuższy i wynosił ok. 1,89 s.

Kubatura nawy i prezbiterium wynosi ok. 630 m³ (ok. 680 m³ z przedsionkiem). W przypadku takiej kubatury wnętrza oraz przeznaczenia jako kościół o charakterze katolickim można przyjmować, iż czas pogłosu T (500 – 1000 Hz) powinien oscylować wokół wartości 1,3 – 1,4 s. Taki zakres czasu pogłosu będzie pewnym kompromisem pomiędzy odbiorem słowa mówionego, gdzie wskazany jest nawet krótszy czas pogłosu, a odbiorem muzyki, kiedy zazwyczaj lepiej sprawdza się nieco dłuższy czas pogłosu. Średnia wartość wyznaczonego wskaźnika STI pustego wnętrza, odpowiada subiektywnej ocenie „zadowolający”. C_{80} , jako cecha związana z oceną muzyczną wnętrza, kształtuje się nieco poniżej 0 [dB]. Wskazuje on, że we wnętrzu preferowane jest odtwarzanie muzyki symfonicznej.

It can be assumed that as the interior fills with listeners, the reverberation time will decrease (due to an increase in average sound absorption). This will result in improved speech intelligibility within the interior. In addition, the C_{80} clarity index will also increase, resulting in greater distinguishability of more complex musical passages.

The church in question is an interesting building primarily because of its history. One proposal is to create a permanent exhibition inside, describing the history of the building against the background of the history of the region. This function does not preclude the use of the building for artistic purposes, including theatre and music.

Acoustic tests indicate satisfactory interior parameters in terms of speech intelligibility and music reception. This may indicate possible areas for adaptation to the new function of the building, such as a meeting room, a place for local community gatherings, cultural and musical events, such as lectures, readings, author meetings or chamber concerts. Finding a new use for the building will contribute to its better preservation. A separate issue is the consensus on restoring the interior to a state as close to the original as possible.

Historical research conducted at the site may indicate significant changes in the current interior compared to its original state. For example, the interior lacks a gallery, i.e. a choir loft originally made of wood. The impact of these elements on the acoustics of the interior in question is a separate topic of research.

We would like to thank Saint Gobain, Svantek sound and vibration, and Alfa Bond Kohlhauser for their support.

Received: 21.04.2025
Revised: 02.06.2025
Published: 21.08.2025

Można przyjąć, że wraz z wypełnieniem wnętrza słuchaczami, czas pogłosu ulegnie skróceniu (w związku ze zwiększeniem się średniej chłonności akustycznej). Będzie to skutkowało zwiększeniem zrozumiałości mowy we wnętrzu. Ponadto również wartość wskaźnika przejrzystości C_{80} ulegnie zwiększeniu, skutkując większą rozróżnialnością bardziej złożonych ścieżek muzycznych.

Rozpatrywany kościół jest interesującym obiektem przede wszystkim ze względu na swoją historię. Jedną z propozycji jest utworzenie we wnętrzu wystawy stałej, opisującej historię obiektu na tle historii regionu. Funkcja ta nie wyklucza wykorzystania obiektu do celów artystycznych, w tym teatralnych i muzycznych.

Przeprowadzone badania akustyczne wskazują na zadowalające parametry wnętrza dotyczące zrozumiałości mowy i odbioru muzyki. Może to wskazywać ewentualne obszary adaptacji na nową funkcję obiektu, taką jak sala spotkań, miejsce zgromadzeń lokalnej społeczności, aranżacja wydarzeń kulturalnych i muzycznych, jak prelekcje, odczyty, spotkania autorskie czy kameralne koncerty. Znalezienie nowego sposobu użytkowania przyczyni się do lepszego stanu zachowania obiektu. Osobną kwestią jest konsensus w sprawie przywrócenia wnętrza charakteru możliwie bliskiego oryginalnemu.

Badania historyczne prowadzone w obiekcie wskazywać mogą na istotne zmiany w obecnie istniejącym wnętrzu względem stanu pierwotnego. Wnętrze pozbawione jest np. empory, czyli chóru muzycznego pierwotnie wykonanego z drewna. Wpływ tych elementów na akustykę rozpatrywanego wnętrza stanowi osobny temat badań.

Dziękujemy za wsparcie grupie Saint Gobain, Svantek sound and vibration, Alfa Bond Kohlhauser.

Artykuł wpłynął do redakcji: 21.04.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 02.06.2025 r.
Opublikowano: 21.08.2025 r.

Literature

- [1] Bevilacqua A, Tronchin L. The Bell-Shaped Opera Houses Realised by Antonio Galli Bibiena: Acoustic Comparison between the Communal Theatre of Bologna and the Scientific Theatre of Mantua, *Acoustics* 2023, 5(2) p.586-600.
- [2] Canfield-Dafilou E, Buchs N, Chevallier B. The voices of children in Notre-Dame de Paris during the Late Middle Ages and the Modern Period, *Journal of Cultural Heritage* 65 (2024) p.160-168.
- [3] Bevilacqua A, Tronchin L. Investigations on the acoustics response of two heritage buildings designed by Galli Bibiena and disappeared from history in the 18th century: The Nancy and Tajo opera theatres, *Journal of Cultural Heritage* 70 (2024) p.302-311.
- [4] Chrzanowski T, Kornecki M. Katalog Zabytków Sztuki w Polsce, t. 7: woj. opolskie, z. 1: pow. brzeski, Warszawa, Instytut Sztuki PAN, 1962, s. 70-71, il. 57 i 151.
- [5] Dokumentacja obiektu w NID [w:] https://zabytek.pl/pl/obiekty/oborki-kościół-ewangelicki-ob-pol-kat-par-pw-sw-sw-app/dokumenty/PL.1.9.ZIPOZ.NID_N_16_EN.67720/1, dostęp: luty 2022.
- [6] Ważny T. Analiza dendrochronologiczna kościoła pw. św. Piotra i Pawła w Obórkach, Toruń 2020, [w:] Archiwum WUOZ w Opolu.
- [7] [w:] <https://polska-org.pl/507688,Oborki.html#newphotos>, dostęp: marzec 2022.
- [8] Gade AC. Chapter 9. Acoustics in Halls for Speech and Music [w:] Springer Handbook of Acoustics red. Thomas D. Rossing, Springer 2007, s. 307.

- [9] Gade AC. Chapter 9. Acoustics in Halls for Speech and Music [w:] Springer Handbook of Acoustics red. Thomas D. Rossing, Springer 2007, s. 308-319.
- [10] Nowosiwiat A, Olechowska M. Fast estimation of speech transmission index using the reverberation time. *Applied Acoustics*, 102, 2016, s. 55-61.
- [11] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne.
- [12] Long M. Architectural Acoustics, Burlington: Elsevier Academic Press, 2006, s.693.
- [13] Kulowski A. Akustyka sal. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2007, s. 236.
- [14] PN-EN ISO 3382-2:2010 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.
- [15] Marchacz M, Żaba A. Badania czasu pogłosu kaplicy karmelitańskiej w dawnym pałacu Kazanowskich w Warszawie, Bud. Inż. Środ. vol. 8 no. 3 2017: 155-159.
- [16] Marchacz M, Żaba A. Badania akustyczne wnętrza zabytkowego kościoła Wniebowzięcia Najświętszej Maryi Panny w Gliwicach, Zesz. Nauk. P. Częst., Bud. z. 23 2017: 335-348.
- [17] Marchacz M, Żaba A. Badania czasu pogłosu wnętrza kaplicy Niepokalanego Poczęcia Najświętszej Marii Panny w Warszawie, Bud. Inż. Środ. vol. 8 no. 3 (2017): 133-139.