

BADANIA AKUSTYCZNE KOŚCIOŁA ŚW. CYRYLA I METODEGO W POZNANIU

DOI: 10.37660/integr.2020.6.1.7

WSTĘP

W zakresie akustyki architektonicznej budownictwo sakralne zyskało w ostatnim czasie uwagę badaczy z różnych krajów. Tym niemniej jest to zagadnienie, które w porównaniu z akustyką architektoniczną sal koncertowych i teatrów operowych nie było badane w stopniu wystarczającym. Nadmierna pogłosowość jest powszechnie występującą wadą akustyczną we współczesnym budownictwie sakralnym. Problem ten podejmowano w kościołach badanych w Polsce, dla których proponowano korekty akustyczne [10, 23]. Z kolei zaangażowanie akustyków na etapie projektowym pozwalało uzyskać zdumiewająco dobre rezultaty akustyczne. Jest to widoczne szczególnie w portugalskim kościele w Fatimie, którego kubatura wynosi 130 000 m³. Dzięki adaptacjom akustycznym osiągnięto pogłosowość zbliżoną do tej występującej w salach koncertowych [1, 3]. Opisano również badania współczesnego kościoła w Brazylii w mieście Curitiba, w którym nie wystąpił problem nadmiernego pogłosu. Badania akustyczne wykazały, że czas pogłosu dla częstotliwości 500 Hz był poniżej wartości zalecanych [18]. Podejmowano również problematykę wyposażenia świątyni i jego wpływu na akustykę wnętrza. Badano między innymi wpływ ławek [2, 4, 5, 13] oraz ściennych elementów wyposażenia [12]. Odnośnie problematyki współczesnego budownictwa sakralnego podjęto też zagadnienia związane ze zrozumiałością mowy w związku ze zmianami po Soborze Watykańskim II [20].

W publikacji omówiono zagadnienia akustyczne współczesnego kościoła w odniesieniu do innych świątyń badanych przez autorkę. Celem pracy jest przedstawienie parametrów akustycznych wnętrza ze szczególnym uwzględnieniem wpływu konstrukcji sufitu na akustykę obiektu.

KOŚCIÓŁ ŚW. CYRYLA I METODEGO

Kościół św. Cyryla i Metodego powstał w dzielnicy domów jednorodzinnych na poznańskiej Woli w latach 1989–1994 według projektu Jana Kopydtowskiego [19]. Jest to budowla wzniesiona na planie centralnym. W stosunku do otaczającej zabudowy kształtowany jest jako dominanta przestrzenna. Strop jest dwuspadowy, wsparty na czterech filarach. Budynek w najwyższym punkcie ma 15 m. Kubatura kościoła wynosi 3050 m³. Wnętrze cechuje prostota wykończenia. Do jednych z nielicznych elementów dekoracyjnych należą rzeźby św. Cyryla i św. Metodego (autor Wojciech Nowakowski). Są to wierne kopie rzeźb pochodzących z 1892 r. z kościoła św. Wojciecha w Poznaniu. Dwie inne rzeźby to Chrystus Frasobliwy oraz postać św. Antoniego Padewskiego. W centralnej części prezbiterium znajduje się

tabernakulum, a nad nim krzyż. Na rysunku 1 widoczna jest bryła kościoła, ze strefą wejściową, natomiast na rysunku 2 pokazano wnętrze.

BADANIA AKUSTYCZNE

Badania akustyczne przeprowadzono z zastosowaniem wszechkierunkowego źródła dźwięku, programu DIRAC wraz z kartą dźwiękową Brüel & Kjaer ZE-0948 USB. Generowano sygnał e-sweep i dokonywano pomiaru parametrów uznawanych w literaturze za podstawowe do oceny własności akustycznych wnętrza sakral-



Rys. 1. Kościół św. Cyryla i Metodego w Poznaniu (fot. autor)

Fig. 1. Church of St. Cyril and Methodius in Poznań (photo by author)

nego: czas pogłosu (RT), czas środkowy (Ts), współczynnik przejrzystości – Clarity (C_{80} oraz C_{50}), Definition (D_{50}) oraz parametry STI i RASTI. Dodatkowo jako źródło dźwięku wykorzystywano strzał z pistoletu i wykonywano pomiar kontrolny w wybranych punktach. Zmierzone parametry akustyczne porównano z wartościami zalecanymi dla kościołów. Źródło dźwięku znajdowało się przed ołtarzem. Mikrofony ustawiono w wybranych punktach w ławkach na wysokości 1,1 m. Poziomą tła akustycznego w badanym obiekcie nie przekraczała 35 dB. Wszystkie badania przeprowadzono bez obecności ludzi. Na rysunku 3 pokazano wszechkierunkowe źródło dźwięku ustawione przed ołtarzem. Przyjęta metodyka pomiarowa jest zgodna z zaleceniami prowadzenia



Rys. 2. a) kościół św. Cyryla i Metodego w Poznaniu – widok na prezbiterium; b) widok na chór (fot. autor)

Fig. 2. a) church of St. Cyril and Methodius in Poznań – presbytery; b) choir view (photo by author)

badania dla kościołów [6, 14–16], natomiast wybrane parametry akustyczne są rekomendowane w literaturze do prowadzenia analiz akustycznych we wnętrzach kościelnych [23]. Ze względu na symetrię wnętrza punkty pomiarowe przyjęto po jednej stronie.

WYNIKI

Pogłos jest określany ilościowo przez czas pogłosu, który jest podstawowym parametrem służącym do oceny jakości akustycznej pomieszczenia. Jest on

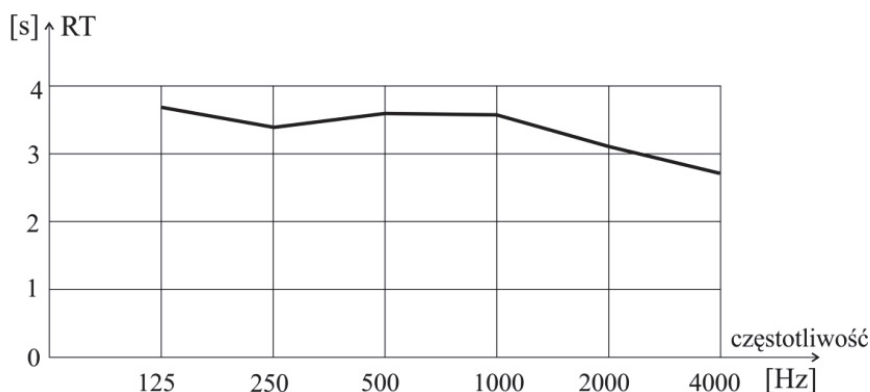


Rys. 3. Wszechkierunkowe źródło dźwięku ustawione przed ołtarzem (fot. autor)

Fig. 3. Omnidirectional sound source in front of the altar (photo by author)

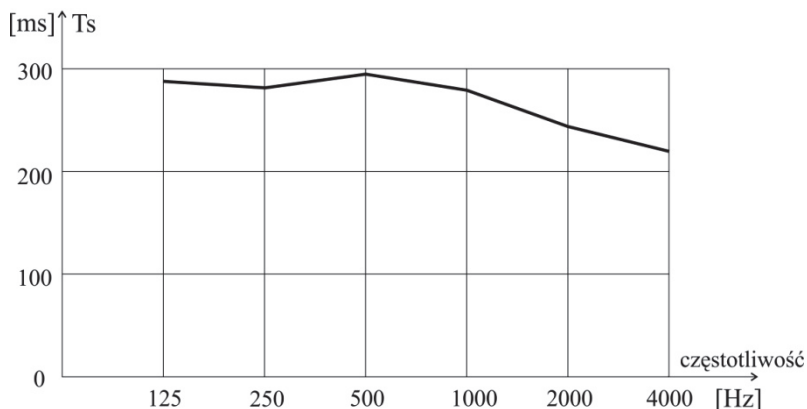
w znacznym stopniu skorelowany z wieloma parametrami akustycznymi używanymi do oceny poszczególnych aspektów akustycznych wnętrza. Czas pogłosu RT jest najwcześniej zdefiniowanym parametrem akustycznym pomieszczenia. Jest to czas zmniejszenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60 dB, wyrażony w sekundach, określany z krzywej zaniku [17]. Pomiarów dokonuje się w pasmach oktawowych lub tercjowych. Na rysunku 4 pokazano wykres czasu pogłosu w funkcji częstotliwości. Średni czas pogłosu RT = 3,4 s, podczas gdy zalecany czas pogłosu dla kościoła o tej kubaturze nie powinien być większy niż 2,6 s. [7]

Kolejny parametr czasowy to środek ciężkości echogramu Ts, odpowiadający czasowi środka ciężkości kwadratu odpowiedzi impulsowej w sekundach [17]. Wykorzystuje się go do oceny przejrzystości brzmienia muzyki. Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę częstotliwościową czasu środkowego Ts, jego średnia war-



Rys. 4. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu RT

Fig. 4. Frequency characteristic of average reverberation time RT



Rys. 5. Charakterystyka częstotliwościowa czasu środkowego T_s

Fig. 5. Frequency characteristic of average center time T_s

tość wynosi 267 ms, podczas gdy zalecana dla kościoła o tej wielkości nie powinna przekraczać 100 ms [8].

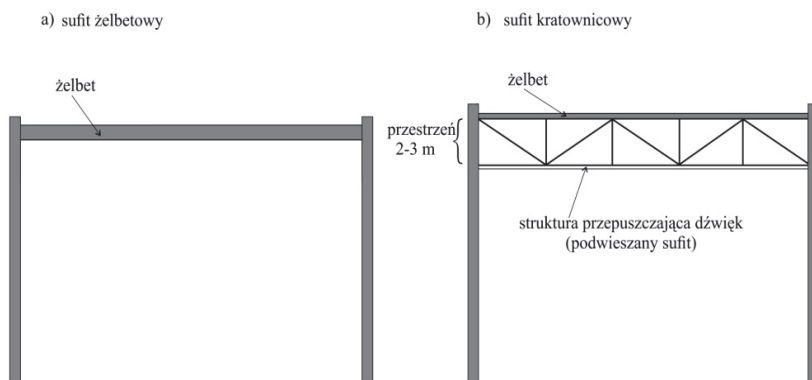
Wskaźnik przejrzystości C_{80} jest stosowany do oceny jakości brzmienia muzyki. Określa zdolność do rozróżniania szczegółów odbieranego utworu muzycznego. W mierze logarytmicznej jest to stosunek energii dźwięku docierającego do punktu pomiarowego w czasie pierwszych 80 ms do energii dźwięku docierającego po 80 ms. Zgodnie z zaleceniami obliczono średnią z pasm 0,5; 1; 2 kHz [11]. Zalecane wartości tego parametru wynoszą od 3 do 8 dB [8], w badanym obiekcie w zależności od punktu pomiarowego C_{80} uzyskuje wartości od -3,1 do -6,4 dB.

Tabela 1. Parametry do oceny zrozumiałości mowy: D_{50} , STI, RASTI

Punkty pomiarowe	D_{50}	STI		RASTI
		female	male	
1	0,20	0.33 (Poor)	0.33 (Poor)	0.34 (Poor)
2	0,15	0.30 (Poor)	0.30 (Poor)	0.30 (Poor)
3	0,10	0.29 (Bad)	0.29 (Bad)	0.28 (Bad)
4	0,13	0.28 (Bad)	0.29 (Bad)	0.30 (Poor)
5	0,12	0.29 (Bad)	0.29 (Bad)	0.29 (Bad)
6	0,10	0.29 (Bad)	0.29 (Bad)	0.27 (Bad)
7	0,10	0.29 (Bad)	0.30 (Poor)	0.29 (Bad)
8	0,10	0.29 (Bad)	0.30 (Poor)	0.32 (Poor)
9	0,12	0.28 (Bad)	0.29 (Bad)	0.28 (Bad)

Istotnym problemem związanym z pogłosowością wewnątrz jest zrozumiałość mowy. W kościołach jest to aktualnie najpoważniejszy problem akustyczny, który utrudnia lub nawet uniemożliwia wiernym pełne zaangażowanie się w liturgię. Do parametrów służących do oceny zrozumiałości mowy należą C_{50} , D_{50} , STI oraz RASTI. Wskaźnik przejrzystości C_{50} jest używany do oceny zrozumiałości mowy.

Wskaźnik ten definiowany jest analogicznie jak C_{80} . Z pomiarów oblicza się jego ważoną wartość z pasm oktawowych 0,5; 1; 2; 4 kHz. Współczynniki wagowe wynoszą odpowiednio 0,15; 0,25; 0,35; 0,25. Tak obliczone C_{50} osiąga wartości od -5,8 do -9,5 dB, co oznacza słabą zrozumiałość mowy [11]. Następnym parametrem stosowanym do określenia zrozumiałości mowy jest wyrazistość D_{50} . Jest to stosunek energii docierającej do miejsca odsłuchu w czasie 50 ms do całkowitej



Rys. 6. Schemat ilustrujący typy sufitów: a) sufit żelbetowy; b) sufit kratownicowy (opracowanie własne)

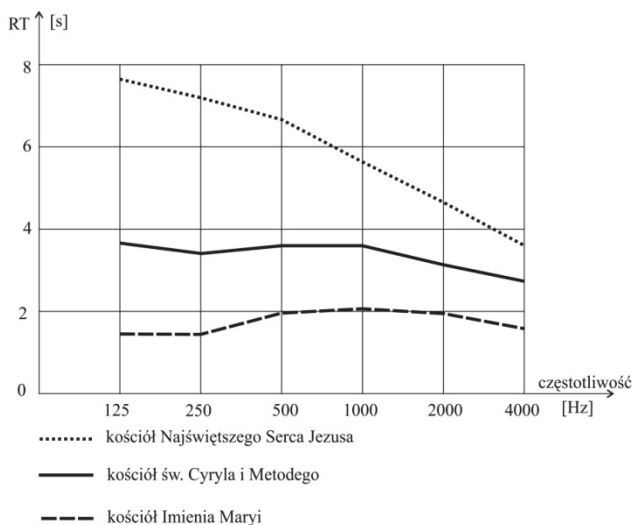
Fig. 6. Comparison of ceilings types, a) reinforced concrete ceiling; b) truss ceiling (own study)

energii odpowiedzi impulsowej. Parametry STI oraz RASTI zawierają się w zakresie od 0 do 1, gdzie 0 oznacza brak zrozumiałości mowy, natomiast 1 całkowitą zrozumiałość. W tabeli 1 zestawiono parametry D50, STI oraz RASTI. We wszystkich punktach pomiarowych widoczna jest słaba zrozumiałość mowy. Numerację rozpoczęto od rzędów znajdujących się blisko prezbiterium. W miarę oddalania się od ołtarza zrozumiałość mowy nieznacznie się pogarsza. Zalecana wartość parametru D50 powinna wynosić przynajmniej 0,4 [9], podczas gdy średnia wartość D50 wynosi 0,12. Parametry STI oraz RASTI wskazują na słabą lub złą zrozumiałość mowy (tab. 1).

DYSKUSJA

Przedstawione wyniki wskazują, że w świątyni występuje nadmierna pogłosowość, a zrozumiałość mowy jest słaba. Pokrywa się to z subiektywnym odbiorem tego wnętrza. Materiały wykończeniowe zastosowane w kościele św. Cyryla i Metodego należą do typowych rozwiązań materiałowych wykorzystywanych we współczesnym budownictwie sakralnym, które w większości odbijają dźwięk. Ściany wykończone są tynkiem cementowo-wapiennym, przeszklenia znajdują się w ścianach bocznych i w ścianie wejściowej, natomiast ławki są masywne, wykonane z drewna. Na siedzisku zastosowano wyściełanie, jest to praktycznie jedyny element, który w większym stopniu pochłania dźwięk. Z przeprowadzonych przez autorkę badań w kilkudziesięciu kościołach wynika, że we współcześnie wybudowanych budynkach sakralnych w Polsce nie brano pod uwagę akustyki. Dotyczy to kościołów posoborowych, budowanych począwszy od lat siedemdziesiątych. Akceptowalne warunki akustyczne uzyskiwane były przez przypadek. Dopiero w ostatnich paru latach w niektórych nowo projektowanych świątyniach nieśmiało wprowadzane są elementy pochłaniające dźwięk w celu zmniejszenia nadmiernej pogłosowości wnętrza.

W wyniku przeprowadzonych przez autorkę analiz porównawczych w kilkunastu poznańskich kościołach zauważono dwa główne typy konstrukcji – przekrycie kratownicowe bądź żelbetowe [21, 22]. Widoczna jest zależność jakości akustycznej wnętrza od typu konstrukcji dachu. Kratownicowa konstrukcja przekrycia za-



Rys. 7. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu RT – porównanie kościoła św. Cyryla i Metodego i dwóch innych kościołów (opracowanie własne)

Fig. 7. Frequency characteristic of average reverberation time RT – comparison of St. Cyril and Methodius church versus two other churches (own study)

pewnia znacznie lepsze warunki akustyczne, gdyż przy takim rozwiązaniu skracą się czas pogłosu. Na rysunku 6 schematycznie pokazano przekrycie żelbetowe i przekrycie kratownicowe. W przypadku kratownicy, gdy do jej dolnego pasa przymocowane są materiały przepuszczające dźwięk, taki system staje się szerokopasmowym ustrojem pochłaniającym dźwięk. Obliczony przez autorkę współczynnik pochłaniania dźwięku α dla takiego ustroju wynosi około 0,34 [22], podczas gdy dla żelbetu wartość ta wynosi około 0,07. Do materiałów przepuszczających dźwięk stosowanych w badanych kościołach należy drewniana boazeria z warstwą wełny mineralnej lub waty szklanej leżącej na listwach bądź lekkie płytki aluminiowe. Zastosowana konstrukcja jest jedynym czynnikiem kształtującym dobrą akustykę w obiekcie, gdyż pozostałe elementy wyposażenia są podobne.

W przypadku kościoła św. Cyryla i Metodego konstrukcję dachu stanowi kratownica, do jej dolnego pasa przymocowano dwie płyty karton-gips, na których położono wełnę mineralną. Tak zaprojektowany sufit nie pozwala na pełne wykorzystanie własności konstrukcyjnych kratownicy, gdyż nie przepuszcza dostatecznie dźwięku. Na rysunku 7 porównano charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu dla trzech przypadków. Kościół Najświętszego Serca Jezusa w Suchym Lesie o kubaturze 5410 m³ ma żelbetowy sufit, średni czas pogłosu we wnętrzu wynosi 5,9 s. W przebiegu czasu pogłosu widoczny jest charakterystyczny dla tego typu konstrukcji wzrost czasu pogłosu dla niskich częstotliwości. Kościół imienia Maryi w Poznaniu o kubaturze 5100 m³ ma kratownicową konstrukcję przekrycia, a sufit stanowi struktura przepuszczająca dźwięk wykonana z boazerii. Średni czas pogłosu w tym kościele wynosi 1,8 s i jest zgodny z zaleceniami. Wykres czasu pogłosu kościoła św. Cyryla i Metodego znajduje się w środku. Średni czas pogłosu wynosi 3,4 s, przy kubaturze 3050 m³. Gdyby zamiast dwóch płyt karton-gips zastosowano inne rozwiązanie materiałowe, pozwalające na większe przenikanie dźwięku, czas

pogłosu byłoby znacznie krótszy. Oczywiście w przypadku zastąpienia kratownicy przekryciem żelbetowym czas pogłosu byłby zdecydowanie dłuższy.

WNIOSKI

Coraz więcej uwagi poświęca się akustyce przestrzeni sakralnych, jednakże w porównaniu z liczbą badań prowadzonych w salach koncertowych jest ich ciągle niewiele. Zbadano poznański kościół św. Cyryla i Metodego, który został wybudowany w latach 1989–1994.

Pod względem akustycznym wnętrze obiektu nie spełnia zaleceń. Podobnie jak w większości współczesnych kościołach występuje w nim nadmierny pogłos, natomiast zrozumiałość mowy jest słaba. Czas pogłosu RT oraz czasowy środek ciężkości echogramu Ts mają zbyt duże wartości w stosunku do zalecanych. Niemniej jednak w porównaniu z innymi współczesnymi świątyniami badanymi przez autorkę przekroczenie zalecanych wartości nie jest znaczne. Wynika to z przyjętej konstrukcji nośnej dachu. Zastosowanym przekryciem jest ustrój kratownicowy, zapewniający lepsze warunki akustyczne w stosunku do przekryć żelbetowych. Możliwości akustyczne ustroju kratowniczowego nie zostały jednak w pełni wykorzystane, gdyż do jego dolnego pasa przymocowano podwójne płyty gipsowo-kartonowe w ograniczonym stopniu przepuszczające dźwięk. Gdyby zamiast użytych płyt gipsowo-kartonowych wprowadzić rozwiązania pozwalające na przenikaniu dźwięku w większym stopniu, czas pogłosu byłby zgodny z zaleceniami.

LITERATURA

- [1] Carvalho A.P.O., Nascimento B.F.O., 2011. Acoustical characterization of the underground chapels of the new Holy Trinity church in the Fatima shrine, Portugal, Dania, Aalborg. *Proceedings of Forum Acusticum*, s. 1429–1434.
- [2] Carvalho A.P.O., Pino J.S.O., 2012. Sound absorption of church pews. *Inter Noise 2012*, August 19–22 New York City, USA.
- [3] Carvalho A.P.O., Silva P., 2010. Sound, noise and speech at the 9000-seat Holy Trinity Church in Fatima. *Archives of Acoustics*, 35(2), s. 145–156.
- [4] Cirillo E., D'Alba M., Della Crociata S., Martellotta F., 2007. On-site measurements of absorption coefficients of pews with and without occupation. *Satellite Symposium of the 19th International Congress on Acoustics*, Seville, 10–12 September 2007.
- [5] Desarnaulds V., Carvalho A.P.O., Monay G., 2002. Church Acoustics and the Influence of Occupancy. *Building Acoustics*, Vol. 9, No. 1, s. 29–47
- [6] Engel Z., Engel J., Kosła K., Sadowski J., 2007. Podstawy akustyki obiektów sakralnych. ITE, Kraków.
- [7] Everest F.A., Pohlmann K.C., 2009. *Master handbook of acoustics*. Fifth edition, Mc Graw Hill, USA.
- [8] Fasold W., Kraak W., Schirmer W., 1984. *Taschenbuch Akustik. Teil 2 (Raumakustische Projektierung)*. Veb Verlag Technik, Berlin
- [9] Gimenez A., Marin A., 1988. Analysis and assessment of concert halls. *Applied Acoustics*, nr 25, s. 235–241.
- [10] Kosła K., Kamisiński T., 2011. Akustyka wielofunkcyjna wewnątrz sakralnych. *Czasopismo Techniczne/Politechnika Krakowska, Seria: Architektura*, Zeszyt 11, s. 115–122.

- [11] Marshall L.G., 1996. An acoustics measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 4, s. 2251–2261.
- [12] Martellotta F., Castiglione M., 2011. On the use of paintings and tapestries as sound absorbing materials. *Forum Acusticum*, Aalborg, s. 1–4.
- [13] Martellotta F., Cirillo E., 2009. Experimental studies of sound absorption by church pews. *Applied Acoustics* 70, pp. 441–449
- [14] Martellotta F., Cirillo E., Carbonari A., Ricciardi P., 2009. Guidelines for acoustical measurements in churches. *Applied Acoustics*, 70, s. 378–388.
- [15] PN-EN ISO 3382-1:2009 – Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 1: Pomieszczenia specjalne.
- [16] PN-EN ISO 3382-2:2010 – Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń - Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.
- [17] PN-EN ISO 3382:2001 – Akustyka – Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi.
- [18] Queiroz de Sant'Ana D., Trombetta Zannin P.H., 2011. Acoustic evaluation of a contemporary church based on in situ measurements of reverberation time, definition, and computer-predicted speech transmission index. *Building and Environment*, 46, s. 511–517.
- [19] Sobczak J., 2006. Kościoły Poznania. Wydawnictwo Debiuty, Poznań.
- [20] Soeta Y., Ito K., Shimokura R., Sato S., Ohsawa T., Ando Y., 2012. Effects of sound source location and direction on acoustic parameters in Japanese churches. *J. Acoust. Soc. Am.*, 131, s. 1206–1220.
- [21] Sygulska A., 2016. Badanie akustyki współczesnych kościołów z uwzględnieniem wpływu konstrukcji. [W:] *Integracja sztuki i techniki w architekturze i urbanistyce*, Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz, s. 93–102.
- [22] Sygulska A., 2019. The study of the influence of the ceiling structure on acoustics in contemporary churches. *Archives of Acoustics*, Vol. 44, No. 1, s. 169–184.
- [23] Wróblewska D., Kulowski A., 2007. Czynniki akustyki w architektonicznym projektowaniu kościołów. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.

BADANIA AKUSTYCZNE KOŚCIOŁA ŚW. CYRYLA I METODEGO W POZNANIU

STRESZCZENIE. Przeprowadzono badania akustyczne w kościele św. Cyryla i Metodego w Poznaniu. Obiekt powstał w latach 1989–1994, według projektu Jana Kopydłowskiego. W Polsce kościół katolicki jest w skali urbanistycznej obiektem wolnostojącym i wyraźną dominantą przestrzenną. Ze względu na znaczną kubaturę, brak zastosowania materiałów absorpcyjnych wpływa na znaczną pogłosowość wnętrza. Badano parametry akustyczne, takie jak RT, Ts, $C_{80'}$, $C_{50'}$, $D_{50'}$, STI, RASTI. Wykonane pomiary akustyczne umożliwiły przeprowadzenie analiz związanych z pogłosowością wnętrza odnośnie do: kubatury obiektu, rozwiązań materiałowych, konstrukcji przekrycia, tendencji architektonicznych i akustycznych widocznych we współczesnym budownictwie sakralnym.

Słowa kluczowe: badania akustyczne, współczesny kościół katolicki, architektura kościoła, akustyka kościoła, czas pogłosu

CHURCH OF ST. CYRIL AND METHODIUS IN POZNAŃ – ACOUSTIC RESEARCH

SUMMARY. Acoustic investigations were carried out in the church of St. Cyril and Methodius in Poznań. The building was designed by Jan Kopydłowski and was built in 1989-1994. In Poland, a Catholic church building is a detached structure constituting a significant spatial landmark. Due to its substantial internal volume, the lack of absorptive materials translates into considerable reverberation of the interior. The investigations involved such acoustical parameters as RT, Ts, C_{80} , C_{50} , D_{50} , STI, RASTI. Thus obtained acoustic measurements enabled analyses related to reverberation of the interior in reference to: the volume of the interior, type of materials, the structure of the roof cover, current architectural and acoustical tendencies.

Key words: acoustic investigations, contemporary Catholic church, church architecture, church acoustics, reverberation time