

ANNA SYGULSKA
Politechnika Poznańska

PROBLEMY AKUSTYCZNE WSPÓŁCZESNEGO BUDOWNICTWA SAKRALNEGO NA PRZYKŁADZIE WOTRUBAKIRCHE I DONAUCITY-KIRCHE

Trudno wyobrazić sobie funkcjonalne wnętrze sakralne o nawet najwspanialszej architekturze, ale bez dobrej akustyki. Taki kościół z pewnością nie mógłby zostać uznany za dobrze zaprojektowaną przestrzeń do sprawowania liturgii. Tymczasem wiele z powstających obecnie budowli sakralnych nie spełnia tego podstawowego wymogu.

Akustyka jest jednym z elementów składających się na funkcjonalność obiektu. We wnętrzach, w których przekaz słowny i muzyczny jest nierozzerwalnie związany z funkcją obiektu, aspekt ten nie może być pomijany. Problematyka akustyki we wnętrzach kościołów jest złożonym zagadnieniem, wymaga bowiem spełnienia skrajnie różnych wymagań akustycznych w jednym pomieszczeniu. Podstawą liturgii w Kościele katolickim jest zrozumiałość słowa, niemniej jednak z liturgią związana jest także muzyka organowa. Natomiast wymagania akustyczne dla mowy diametralnie różnią się od wymagań dla muzyki organowej. Tymczasem we współczesnym budownictwie sakralnym widocznych jest wiele problemów akustycznych. Często projektowane są obiekty co prawda atrakcyjne pod względem wizualnym, jednakże z funkcją akustyczną poważnie zaburzoną. Projektanci, zgodnie z aktualnymi tendencjami w architekturze, często poszukują ascetycznych form, dążąc do

minimalizmu. Bardzo chętnie, jako środek wyrazu, stosowany jest beton i szkło, w określonych warunkach powodujące powstawanie wad akustycznych. Pomijane są natomiast nowoczesne materiały akustyczne o właściwościach pochłaniających, które mogłyby pomóc w uzyskaniu odpowiedniej akustyki wnętrza.

Przedstawione problemy z akustyką obiektów mają swoje źródło w znacznej mierze w chęci dostosowania projektu do współczesnych norm estetycznych, popularnych materiałów, form itp. Równocześnie wielu specjalistów nie docenia wagi funkcji akustycznej tego typu budynków. Tymczasem obecnie możliwe jest projektowanie wnętrz funkcjonalnych pod względem akustycznym bez utraty współczesnego języka estetyki i przekazu architektonicznego.

Najpoważniejszym problemem akustycznym występującym we współczesnym budownictwie sakralnym jest nadmierny pogłos. W artykule skupiono się na opisie zagadnień związanych z pogłosowością wnętrza ze względu na to, że czas pogłosu jest najważniejszym parametrem w projektowaniu akustycznym kościoła. Problem pogłosowości został zilustrowany badaniami akustycznymi prowadzonymi w dwóch wiedeńskich w kościołach: *Wotrubakirche* i *Donaucity-Kirche*.

1. Problematyka pogłosowości

Pogłos jest określany ilościowo przez czas pogłosu, który jest podstawowym parametrem służącym do oceny jakości akustycznej pomieszczenia. Jest on w znacznym stopniu skorelowany z wieloma parametrami akustycznymi używanymi do oceny poszczególnych aspektów akustycznych wnętrza¹. Czas pogłosu jest najwcześniej zdefiniowanym parametrem akustycznym pomieszczenia. Zjawisko pogłosu opisał Wallace Clemente Sabine jako element ogłoszonej przez niego ok. 1900 r. statystycznej teorii pola akustycznego w pomieszczeniu². Czas pogłosu *RT* (ang. *Reverberation Time*) jest to czas, po którym poziom natężenia dźwięku zmaleje o 60 dB po wyłączeniu ciągłego źródła dźwięku. Określa się go na podstawie krzywej zaniku dźwięku. Pomiarów dokonuje się w pasmach oktawowych. W praktyce pomiar następuje w zakresie od 5 dB do 35 dB poniżej poziomu początkowego i jest mnożony razy dwa (określany jako T30).

Czas pogłosu pomieszczenia można obliczyć ze wzoru Sabine'a (1):

$$RT = \frac{0,16V}{S\alpha_{sr} + A_0} \quad (1)$$

¹ Do parametrów akustycznych, które są skorelowane z czasem pogłosu *RT*, należą np. *clarity C50* — parametr służący do oceny jakości przekazu słownego, czasowy środek ciężkości echogramu *Ts* — parametr pozwalający ocenić przejrzystość brzmienia muzyki, itp.

² A. KUŁOWSKI, *Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów*, Gdańsk 2011, s. 59–60.

gdzie: RT — czas pogłosu [s]

V — objętość pomieszczenia [m^3]

S — pole powierzchni wewnętrznej pomieszczenia [m^2]

α_{sr} — średni współczynnik pochłaniania dźwięku (2)

A_0 — chłonność akustyczna obiektów znajdujących się w pomieszczeniu

$$\alpha_{sr} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{\sum_i S_i} \quad (2)$$

Z powyższego wzoru wynika, że na czas pogłosu ma wpływ kubatura, tzn. objętość pomieszczenia, i użyte materiały wykończeniowe. Czas pogłosu jest wprost proporcjonalny do kubatury, czyli im większa objętość, tym większy czas pogłosu. Natomiast wpływ materiałów związany jest ze współczynnikiem α . Pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku α zawarte są w granicach od 0 do 1. Gdy $\alpha = 0$, to pochłanianie jest równe zero, gdy $\alpha = 1$, to padająca na powierzchnię fala zostaje w całości pochłonięta. Dla danego materiału współczynnik pochłaniania zależy od częstotliwości dźwięku. Wartości współczynnika podaje się typowo dla pasm oktaowych wynoszących 125; 250; 500; 1000; 2000; i 4000 Hz³.

Wymagany czas pogłosu pomieszczenia zależy od jego funkcji. Im większy udział mowy, tym mniejszy pogłos powinno posiadać pomieszczenie (tabela 1).

Tabela 1. Czas pogłosu zalecany dla różnego rodzaju produkcji dźwiękowej wg Meyera i Neumana⁴

Rodzaj produkcji dźwiękowej	Czas pogłosu [s]
Mowa: teatr	1,0
widowiska, odczyty	1.0
Muzyka: muzyka kameralna	1,0 do 1,5
opera	1,3 do 1,6
koncert	1,7 do 2,1
muzyka organowa	2,5 do 3,0

Na il. 1 przedstawiono zalecany czas pogłosu dla kościołów. Wykres przedstawia zależność między optymalnym czasem pogłosu a kubaturą wnętrza. Górny (ciemniejszy) obszar odnosi się do katedr i kościołów, w których ważny jest udział muzyki organowej, dolny (jaśniejszy) obszar do kościołów, w których ważniejsza jest mowa.

³ F.A. EVEREST, K.C. POHLMANN, *Master handbook of acoustics*, New York 2009⁵, s. 180–181.

⁴ A. KUŁOWSKI, *Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów*, s. 78.

2. Zrozumiałość mowy

Istotnym problemem związanym z pogłosowością wnętrza jest zrozumiałość mowy. W kościołach jest to aktualnie najpoważniejszy problem akustyczny, który utrudnia lub nawet uniemożliwia wiernym pełne zaangażowanie się w liturgię. Juan Jose Sendra, profesor architektury, zauważa, że zrozumiałość przekazu słownego musiała być priorytetem dla pierwszych wspólnot chrześcijańskich, przytaczając jako argument słowa św. Pawła: „(...) wiara rodzi się z tego, co się słyszy” (Rz 10,17)⁵.

Zrozumiałość mowy w pomieszczeniu, można ocenić na podstawie odległości granicznej r . Dobra zrozumiałość mowy we wnętrzu wynosi w przybliżeniu $4r$. Zgodnie ze wzorem (3) odległość graniczną można określić na podstawie kubatury i czasu pogłosu danego pomieszczenia⁶. Podany wzór dotyczy obliczania odległości granicznej dla mowy bez systemu nagłaśniającego.

$$r = 0,057 \sqrt{\frac{V}{RT}} \quad (3)$$

Ze wzoru wynika, że zrozumiałość mowy zależna jest od pogłosowości, gdyż odległość graniczna wzrasta wraz ze zmniejszeniem czasu pogłosu. Tak więc, aby uzyskać poprawę zrozumiałości mowy, należy wytłumić pomieszczenie. W tym celu można stosować wytłumianie pomieszczenia, jednakże pamiętając, że w przypadku mocno wytłumionych pomieszczeń pole pogłosowe jest silnie zredukowane⁷ (zmniejsza się głośność dźwięku, co powoduje zmniejszenie zrozumiałości mowy bez systemów nagłaśniających). Efekt ten jest pożądany w takich obiektach, jak kina, w których umożliwia dobre przystosowanie pomieszczeń do wprowadzania systemów nagłaśniających. W salach, gdzie pole pogłosowe jest mocno zredukowane, akustyka sali nie wpływa na obraz dźwiękowy docierający z głośników.

3. Optymalny pogłos w kościele

W dążeniu do uzyskania optymalnych warunków akustycznych nie należy zmierzać do uzyskania bardzo krótkiego czasu pogłosu, czyli zalecanego np. dla kin, sal konferencyjnych czy też sal lekcyjnych. Istnieje jeszcze bowiem, poza wymaganiami akustycznymi dla mowy, aspekt odczucia *sacrum* w sferze dźwiękowej. W tradycję budynku sakralnego bardzo mocno wpisana jest wyraźnie odczuwalna pogłosowości.

⁵ J.J. SENDRA, *Computational Acoustics in Architecture*, Southampton – Boston 1999, s. 134.

⁶ A. KUŁOWSKI, *Akustyka sal. Zalecenia projektowe dla architektów*, s. 69–70.

⁷ *Tamże*, s. 70–71.

Daje to poczucie przebywania w świątyni, w miejscu świętym. Ciekawe wnioski w tym zakresie przedstawili António Carvalho i Bruno Nascimento⁸. W ramach projektu akustycznego kościoła Przenajświętszej Trójcy w Fatimie wykonano również aranżacje akustyczne dwóch bliźniaczych kaplic znajdujących się pod kościołem. W pierwszej z kaplic, kaplicy Najświętszego Sakramentu, zastosowano bardzo dużo materiałów pochłaniających dźwięk i tym samym uzyskano krótki czas pogłosu, który wynosił $RT_{500-1000} = 0,8$ s. W drugiej — kaplicy Zmartwychwstania Jezusa — zdecydowano się nie wprowadzać żadnej aranżacji akustycznej, pozostawiając tradycyjne materiały odbijające dźwięk. W wyniku takiego projektu uzyskano czas pogłosu $RT_{500-1000} = 2,8$ s. Pod względem wizualnym obie kaplice pozostały bardzo podobne. Następnie pytano wiernych, która kaplica bardziej im odpowiada. Wierni stwierdzili, że kaplica Zmartwychwstania Pańskiego jest zdecydowanie lepsza, natomiast z kaplicą Najświętszego Sakramentu „jest coś nie tak” (pytane osoby nie wiedziały o aranżacji akustycznej). Pogłos w kaplicy bez aranżacji dał efekt środowiska akustycznego małego kościoła. Uzyskany czas pogłosu nie jest na tyle długi, aby uniemożliwić zrozumienie mowy, a tym samym sprawowanie liturgii, i równocześnie tworzy atmosferę *sacrum* w sferze dźwiękowej. Natomiast czas pogłosu uzyskany po aranżacji akustycznej stworzył klimat akustyczny typowy dla sal przeznaczonych do przekazu słownego, pozbawiając miejsce klimatu typowego dla obiektu sakralnego. Tak więc w przypadku kaplic, gdzie kubatura nie jest zbyt duża, nadmierna ingerencja materiałami pochłaniającymi może prowadzić do zaprojektowania wnętrza, które utraci atmosferę *sacrum* odczuwaną w sferze dźwiękowej.

Jednak sytuacje, w których następuje zbyt krótki czas pogłosu, są rzadkością. Aktualnie w kościołach czas pogłosu znacznie przekracza zalecane wartości⁹. Tymczasem zbyt długi czas pogłosu powoduje pojawienie się uciążliwego hałasu pogłosowego. Jeżeli dodatkowo, co często ma miejsce w kościele, posadzka jest twarda (np. kamienna bądź betonowa), bardzo uciążliwe stają się szczególnie dźwięki uderzeniowe¹⁰.

⁸ A.P.O. CARVALHO, B.F.O. NASCIMENTO, *Acoustical characterization of the underground chapels of the New Holy Trinity Church in the Fatima Shrine, Portugal*, Dania, Aalborg, Proceedings of Forum Acusticum 2011, s. 1429–1434.

⁹ Literatura podaje zalecany czas pogłosu dla pomieszczeń w zależności od ich funkcji. Dlatego przestrzeganie zaleceń, a szczególnie projektowanie, tak aby uzyskać górne zalecane wartości, sprawi, że uzyskamy wnętrza o optymalnym pogłosie (rys. 1). W takim kościele zarówno mowa będzie zrozumiała, jak również zachowamy dźwiękowe wrażenie przebywania w strefie *sacrum*.

¹⁰ Do dźwięków uderzeniowych występujących powszechnie we wnętrzu świątyni możemy zaliczyć odgłosy kroków i przesuwanie krzesel. Tego typu dźwięki uderzeniowe wzmocnione przez echo tworzą dodatkowe zakłócenia.

4. Problemy akustyczne — architektura, konstrukcja, przestrzeń

Akustyka wnętrza jest ściśle powiązana z architekturą obiektu. To właśnie architektura wielu kościołów powoduje powstanie problemów akustycznych. W efekcie realizacja zasadniczej funkcji wnętrza sakralnego, jaką jest sprawowanie liturgii, jest znacznie utrudniona. Obecnie projektuje się kościoły z oszczędnym detalem, bardzo często jednoprzestrzenne, przy tym stosowane są tradycyjne materiały silnie odbijające dźwięk, takie jak: kamień, szkło, tynk cementowo-wapienny, beton. Sprawia to, że współczesne kościoły bardzo często przekraczają zalecane wartości czasu pogłosu nawet dla muzyki organowej. Przy tym pomijane są materiały akustyczne, które mogłyby pomóc w uzyskaniu odpowiedniej akustyki wnętrza, nie umniejszając walorów estetycznych. W konsekwencji mowa staje się niezrozumiała, a obiekt niefunkcjonalny.

Historyczne style architektoniczne kościołów, przede wszystkim barok bogaty w detal, sprzyjały rozproszeniu dźwięku w kościele¹¹. Podobnie transepty i nawy boczne, tworząc podprzestrzenie, wpływają na zmniejszenie czasu pogłosu w świątyni.

Na il. 2 przedstawiono przekroje kościołów historycznych. Widoczny podział przestrzeni na nawę główną i nawy boczne w bazylice (il. 2a) i kościele halowym (il. 2b) wpływa na zmniejszenie czasu pogłosu w świątyni. W przypadku historycznych kościołów salowych (il. 2c) ówczesne możliwości konstrukcyjne pozwalały na budowanie kościołów jednoprzestrzennych wyłącznie o małych rozpiętościach.

Wprowadzenie konstrukcji żelbetowych i stalowych umożliwiło w kościołach jednoprzestrzennych przekrycie znacznych rozpiętości bez stosowania podpór pośrednich. Współczesne budownictwo sakralne spotkało się w związku z tym ze szczególnymi problemami akustycznymi, gdyż taki układ przestrzenny sprawia, że wyraźnie wzrasta czas pogłosu. Inną wadę akustyczną, związaną z występowaniem znacznych odległości między ścianami, stanowi wyraźnie słyszalne echo. Główną przyczyną jego pojawienia się jest stosowanie gładkich, równoległych powierzchni odbijających dźwięk w odległości większej niż 14 m.

Problematyczne staje się również nagłośnienie kościoła. W kościołach historycznych montuje się dużo głośników o małej mocy, które zawieszane są na słupach blisko wiernych. Brak naw bocznych we współczesnym kościele spowodował, że głośniki montowane są w znacznej odległości od słuchaczy. Zrozumienie przekazu słownego jest przez to jeszcze bardziej utrudnione.

¹¹ Z. ENGEL, J. ENGEL, K. KOSAŁA, J. SADOWSKI, *Podstawy akustyki obiektów sakralnych*, Kraków – Radom 2007, s. 51.

5. Badania ilustrujące problem pogłosowości¹²

Problem pogłosowości we współczesnych kościołach obrazują badania akustyczne dwóch najbardziej znanych w Wiedniu współczesnych kościołów: *Wotrubakirche* (pw. Przenajświętszej Trójcy) i *Donaucity-Kirche* (pw. Chrystusa Króla — Nadziei Świata). Obiekty te uznawane są za ikony architektury. *Wotrubakirche* (il. 3 i 4) prezentuje styl brutalizmu — tendencja ta była popularna w architekturze od lat pięćdziesiątych aż do połowy lat siedemdziesiątych XX w. Nazwa kościoła pochodzi od nazwiska twórcy, rzeźbiarza Fritza Wotruba. Obiekt został wzniesiony w latach 1974–1976. Znajduje się na przedmieściach Wiednia, położony jest na wzgórzu ponad zabudową jednorodziną. Budynek składa się z 152 asymetrycznie ułożonych betonowych bloków o objętości wynoszącej od ok. 0,80 m³ do ok. 64 m³. Ze względu na to, że ściany kościoła zbudowane są z bloków betonowych ustawionych pod różnym kątem, wewnątrz kościoła jest bardzo rozrzeźbione. Jego kubatura wynosi ok. 2500 m³, układ wnętrza jest podłużny, długość kościoła wynosi ok. 26 m, średnia szerokość nawy głównej wynosi 9 m, natomiast w strefie ołtarza, z dodatkową przestrzenią — 12 m.

Tymczasem neomodernistyczny *Donaucity-Kirche* (il. 5 i 6) jest obiektem późniejszym, został wybudowany w 2000 r. Projektantem kościoła jest Heinz Tesar. Obiekt znajduje się w *Vienna International Center* — dzielnicy stanowiącej centrum biznesowo-konferencyjne miasta. Otoczony jest nowoczesnymi wieżowcami, z czym współgra jego prostopadłościenny kształt. Elewacja pokryta jest panelami ze stali oksydowanej, w której rytmicznie rozmieszczono liczne okrągłe okna niewielkich rozmiarów. We wnętrzu zastosowano oszczędny detal. Główny zabieg artystyczny polegał na posługiwaniu się światłem, które w różnych porach dnia stwarza inne efekty wizualne we wnętrzu. Kościół ma rzut zbliżony do kwadratu o szerokości ok. 20,5 m i długości 18,6 m, a jego kubatura wynosi ok. 3000 m³.

Badania akustyczne prowadzono z zastosowaniem programu DIRAC wraz z kartą dźwiękową Brüel & Kjær ZE-0948 USB. W celu otrzymania odpowiedzi impulsowej pomieszczenia zastosowano strzał z pistoletu. Źródło dźwięku znajdowało się przed ołtarzem, w odległości 0,5 m. W kościele *Wotrubakirche* przyjęto 7 punktów pomiarowych, natomiast w kościele *Donaucity-Kirche* — 5 punktów. Ilustracja 7 ukazuje charakterystykę częstotliwościową czasu pogłosu obu kościołów. Jest na niej widoczne bardzo silne zróżnicowanie warunków akustycznych występujące

¹² Badania prowadzono w ramach projektu badawczego nr 10/01/DSPB/0240, finansowanego ze środków na działalność statutową MNiSW w 2014 i 2015 r. na Wydziale Architektury Politechniki Poznańskiej. Planowana jest publikacja raportu z badań w Zeszytach Naukowych PP 2016, seria Architektura i Urbanistyka, w ramach specjalnego numeru prezentującego raporty z projektów badawczych DSPB i DSMK prowadzonych na Wydziale Architektury PP w 2015 r.

w tych obiektach. W kościele *Wotrubakirche* średni czas pogłosu wynosi $RT = 4,1$ s, natomiast w *Donaucity-Kirche* $RT = 1,5$ s. Wyniki odzwierciedlają subiektywne odczucia. We wnętrzu *Wotrubakirche* w znacznym stopniu słyszalny jest hałas pogłosowy oraz echo wielokrotne. Maksymalny dopuszczalny czas pogłosu dla kościoła o tej kubaturze wynosi 2,5 s (il. 1), zatem czas pogłosu jest znacznie przekroczony — warunki akustyczne występujące we wnętrzu utrudniają zrozumienie przekazu słownego. Kościół wykonany jest z bloków betonowych, które stanowią równocześnie wykończenie wnętrza. Tak zbudowane ściany kościoła stanowią bardzo rozróżbioną strukturę. Bloki tworzą uskoki o głębokości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. Dodatkowo miejscami pojawiają się wnęki, które nadają rzeźbiarski charakter ścianom. Takie rozwiązanie sprzyja rozpraszaniu dźwięku we wnętrzu i powoduje skrócenie czasu pogłosu. Gdyby wnętrze zostało wykonane z gładkich ścian betonowych, czas pogłosu byłby znacznie dłuższy. Betonowa jest również podłoga, przez co dźwięk uderzeniowy jest silnie słyszalny, tak więc odgłosy kroków wzmocnione przez echo tworzą dodatkowe zakłócenia.

Z kolei w *Donaucity-Kirche* subiektywnie odczuwalne warunki akustyczne są bardzo dobre, a czas pogłosu jest zgodny z zaleceniami (il. 1). Wnętrze w całości wykończone jest drewnem — sufit i ściany wyłożone są panelami ze sklejki bukowej. Na podłodze położony jest parkiet. Dzięki temu, że kościół wykończony jest drewnem, nie występuje problem silnych zakłóceń pochodzących od dźwięków uderzeniowych. Średni współczynnik pochłaniania dźwięku α odzwierciedla powstałe zjawiska akustyczne. Beton jako materiał silnie odbijający dźwięk posiada średni współczynnik $\alpha = 0,02$, natomiast dla drewna średni współczynnik wynosi $\alpha = 0,1$ ¹³. Jednakże zastosowanie samego tylko drewna jako materiału wykończeniowego nie dałoby tak pozytywnych rezultatów. We wnętrzu na tylnych ścianach zostały umieszczone ustroje akustyczne. Są to perforowane płyty drewniane, za którymi znajduje się materiał pochłaniający dźwięk (il. 8). Płyty te mają działanie dźwiękochłonne, przez co wpływają na obniżenie czasu pogłosu i redukcję echa.

Oba kościoły należą do obiektów o architekturze ceniowej w skali międzynarodowej. Jednakże jedynie w *Donaucity-Kirche* wzięto pod uwagę aspekt akustyczny i zastosowano ustroje akustyczne. Można to tłumaczyć tym, że obiekt ten powstał stosunkowo niedawno. W ostatnich latach znaczenie akustyki staje się coraz większe, a problematyka ta zyskuje uwagę architektów.

¹³ Wartości współczynnika α zostały podane na podstawie informacji zawartych w programie ODEON 11. Współczynnik został uśredniony dla pasm oktaowych w zakresie 125–4000 Hz. Dla drewna współczynnik pochłaniania podany jest dla drewnianej płyty grubości 16 mm, zamocowanej na listwach o grubości 40 mm.

6. Wnioski

Głównym problemem akustycznym współczesnego budownictwa sakralnego jest nadmierny pogłos. Wpływa na to stosowanie materiałów odbijających dźwięk przy jednoczesnej oszczędności w posługiwaniu się detalem. Dodatkowo dzięki współczesnym możliwościom konstrukcyjnym stosowane są przekrycia o znacznej rozpiętości bez udziału podpór pośrednich. Brak podprzestrzeni dodatkowo wzmacnia niekorzystne zjawiska akustyczne. Przy tym pomijane są materiały akustyczne, który mogłyby zniwelować niekorzystne zjawiska. W konsekwencji budynek nie służy w sposób odpowiedni funkcji liturgicznej, gdyż wewnątrz kościoła staje się hałaśliwe, a przekaz słowny niezrozumiały. Wady akustyczne związane ze zbyt długim czasem pogłosu wzmagają się w miarę jak zwiększa się kubatura obiektu. Dlatego, szczególnie w przypadku projektowania kościoła o większej kubaturze, należy bezwzględnie zaprojektować akustykę wnętrza. Korekta wad akustycznych po zbudowaniu kościoła jest sprawą kłopotliwą, a ze względu na koszty — trudną do zrealizowania.

Donaucity-Kirche jest aktualnie jednym z najbardziej znanych obiektów współczesnego budownictwa sakralnego. Architektura kościoła zyskała uznanie międzynarodowe. Budynek jest przykładem na to, że dobra akustyka nie oznacza kompromisów z dobrą architekturą. Jest możliwe, aby obiekt był równocześnie wyjątkowy pod względem przekazu architektonicznego, jak również bardzo dobry pod względem akustyki.

Nie trzeba rezygnować ze współczesnych środków wyrazu czy atrakcyjnych pod względem wizualnym materiałów i można wpisać się we współczesne tendencje architektoniczne, uzyskując przy tym dobrą akustykę wnętrza. Pojawiające się braki w dziedzinie akustyki nie wynikają zatem z braku dostępnych rozwiązań, gdyż jest możliwe, aby nie tracąc nic ze współczesnego języka estetyki i przekazu architektonicznego, projektować wnętrza funkcjonalne pod względem akustycznym.

Słowa kluczowe: akustyka, architektura sakralna, przestrzeń liturgiczna, dźwięk.

Acoustics problems of modern sacred architecture on the basis of *Wotrubakirche* and *Donaucity-Kirche*

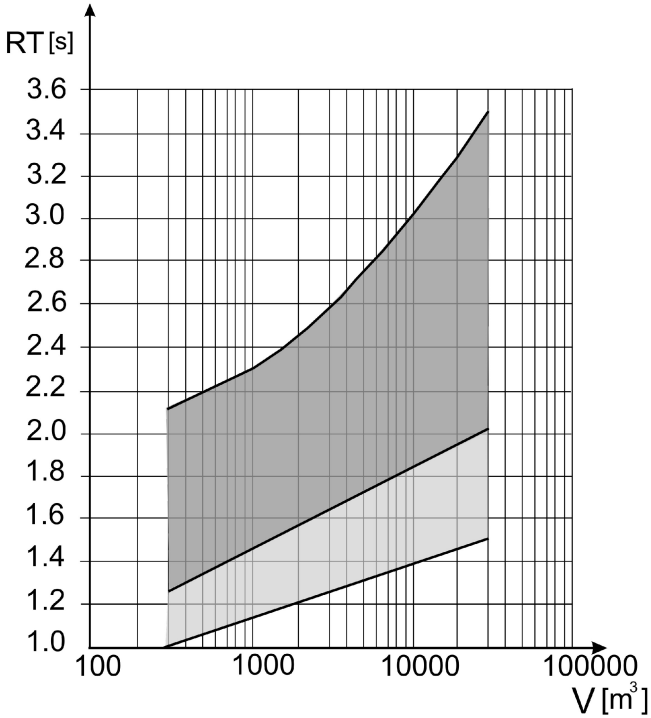
Summary

One of the most important elements which constitute the functionality of the building is acoustics. In the interiors where speech and music are inextricably linked with the function of a building, this aspect cannot be neglected. Modern sacred architecture brings a lot of acoustic problems. To be precise, issue with acoustics in the building result from underestimation of this function, because it is possible to design acoustically functional interiors without losing the contemporary language of aesthetics and architectural expression. The study focused

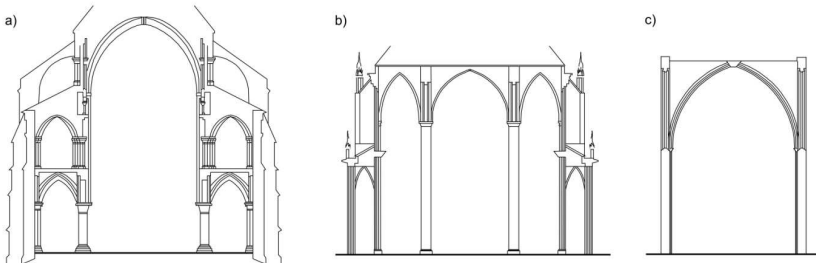
on the issue related to reverberance due to the fact that reverberation time is the most important parameter in the acoustic design of the church. The problem of reverberance was illustrated by acoustic research carried out in Vienna in churches *Wotrubakirche* and *Donaucity-Kirche*.

Key words: acoustics, Sacred architecture, Liturgical Space, sound.

II. 1. Czas pogłosu zalecany dla kościołów (rysunek własny autorki na podstawie F.A. Everest¹⁴)



II. 2. a) bazylika, b) kościół halowy, c) kościół salowy (rysunek własny autorki na podstawie Koch¹⁵)



¹⁴ F.A. EVEREST, K.C., POHLMANN, *Master handbook of acoustics*, s. 171.

¹⁵ W. KOCH, *Style w architekturze*, tłum. L. Krzyżanowski, Warszawa 1996, s. 154–155.

II. 3. *Wotrubakirche*, Wiedeń, Austria, bryła budynku (zdjęcie autorki)**II. 4.** *Wotrubakirche*, Wiedeń, Austria, wnętrze (zdjęcie autorki)

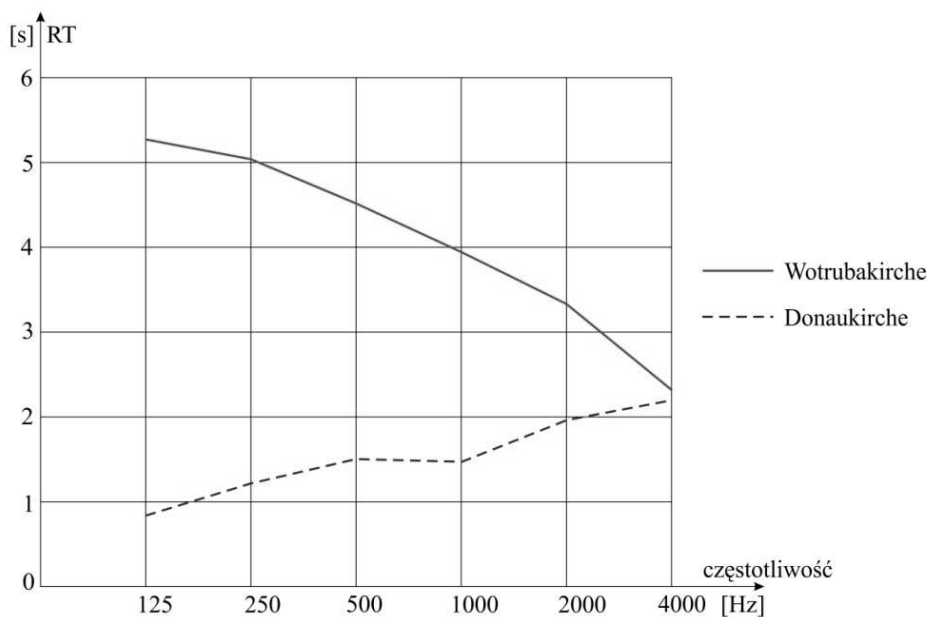
II. 5. *Donaucity-Kirche*, Wiedeń, Austria, bryła budynku (zdjęcie autorki)



II. 6. *Donaucity-Kirche*, Wiedeń, Austria (zdjęcie autorki)



II. 7. Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu — porównanie *Wotruba-kirche* i *Donaucity-Kirche*



II. 8. Perforowane płyty dźwiękochłonne — *Donaucity-Kirche* (zdjęcie autorki)



