

Od czego zależy jakość dźwięku w kościele?

Nabożeństwa odbywające się w kościołach bazują głównie na komunikacji słownej pomiędzy księdzem i organistą a wiernymi. W komunikacji tej najważniejszym parametrem jest zrozumiałość przekazywanej treści. W niniejszym artykule omówione są czynniki decydujące o zrozumiałości mowy w kościołach.

Co wpływa

na zrozumiałość mowy?

Pod pojęciem zrozumiałości mowy kryje się stopień zrozumienia przez słuchaczy treści nieznanego im wcześniej komunikatu. Przez stulecia zrozumiałość przekazu ustnego w kościołach zależała od właściwości akustycznych wnętrz. Dziedzina fizyki zajmująca się propagacją dźwięku wewnątrz pomieszczeń to akustyka wnętrza. Dyscyplina ta zajmuje się wszystkimi zagadnieniami związanymi z funkcjonowaniem fali akustycznej we wnętrzu, w tym również zrozumiałością mowy. Z chwilą pojawienia się elektroakustycznych systemów nagłaśniania rozpoczął się proces „zapominania” o wadze akustyki wnętrza.

Możliwość poprawienia komunikacji słownej przez zastosowanie rozwiązań elektroakustycznych systematycznie prowadziła do sytuacji, w której znajdujemy się obecnie. Błędem jest myślenie, że system nagłaśniania może diametralnie poprawić zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Prawdą jest, że zastosowanie dobrze zaprojektowanego systemu elektroakustycznego prowadzi zazwyczaj do poprawy zrozumiałości, jednak granica tej poprawy jest określona przez warunki akustyczne wnętrza. Inaczej mówiąc ostateczna wynikowa jakość przekazu słownego a tym samym i zrozumiałość mowy, zależy w równym stopniu od jakości akustyki wnętrza jak i od klasy systemu nagłaśniania.

Jakość każdej komunikacji zależy od jakości nadajnika i odbiornika. W przypadku bezpośredniej komunikacji słownej role te pełnią odpowiednio narząd mowy mówcy oraz układ słuchowy odbiorcy. Projektanci kościołów czy też instalowanych w nich systemów nagłaśniania nie mają wpływu na te czynniki, jednak znajomość tych zagadnień pozwala im dobrze wywiązać się z zadań projektowych.

Widmo

sygnałów akustycznych

Dźwięk jest propagowany w powietrzu w postaci fali akustycznej. Zależność pomiędzy długością fali akustycznej a jej częstotliwością opisuje poniższa zależność, znana wszystkim z zajęć fizyki w szkole podstawowej:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

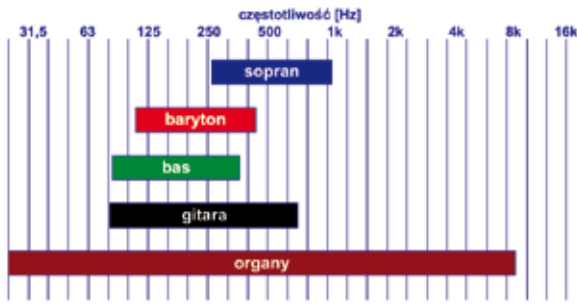
gdzie:

- c – prędkość rozchodzenia się fali akustycznej w powietrzu, c=344 m/s,
- λ – długość fali,
- f – częstotliwość fali.

f [Hz]	λ [m]
20	17,20
100	3,44
500	0,69
1 000	0,34
5 000	0,07
20 000	0,02

Tab. 1 Długości fal dla kilku częstotliwości akustycznych

Pełne pasmo akustyczne, to zakres częstotliwościowy 20 Hz ÷ 20 kHz, co odpowiada falom o długości od 17,2 m do 2 cm. Ta sytuacja powoduje, że wiele zjawisk akustycznych należy rozpatrywać w zależności od częstotliwości fali, ponieważ fale o tak różnych długościach zachowują się zupełnie inaczej w interakcji z tymi samymi materiałami.



Rys. 1. Pasma częstotliwościowe (składowe podstawowe) naturalnych źródeł akustycznych

Na Rys. 1 przedstawiono przykładowe widma sygnałów mowy, gitary i organów obrazujące, jaki zakres z pełnego pasma akustycznego jest wykorzystywany w kościołach. Z analizy tych danych wynika, że projektowanie akustyki wnętrza na potrzeby kościołów powinno dotyczyć przede wszystkim zakresu częstotliwościowego 30 – 10 000 Hz.

Akustyka

wnętrz

Jednym z bardzo wielu parametrów opisujących akustykę wnętrza jest czas pogłosu. Bez wdawania się w dokładne prezentowanie definicji tego parametru można w skrócie powiedzieć, że mówi on o tym, jak długo wybrzmiewa dźwięk w pomieszczeniu, lub inaczej, jak długo po ustaniu dźwięku bezpośredniego będziemy słyszeli w pomieszczeniu dźwięk pogłosowy. Parametr ten nie powinien przekraczać odpowiedniej wartości wynikającej z objętości pomieszczenia. Kontrola czasu pogłosu odbywa się poprzez dobór materiałów wykończeniowych (ścian, sufitów, posadzek, siedzeń) o odpowiednich wartościach współczynnika pochłaniania dźwięku. Wylisanie tzw. bilansu chłonności akustycznej prowadzącego do uzyskania pożądanej charakterystyki częstotliwościowej czasu pogłosu jest jednym z podstawowych elementów projektu akustyki wnętrza. W przypadku obiektów sakralnych praktycznie zawsze mamy do czynienia z czasem pogłosu o wartościach wyraźnie większych dla zakresu małych częstotliwości względem wartości dla dużych częstotliwości. Skutkuje to znacznie dłuższym wybrzmiewaniem niskich tonów oraz pogarszaniem zrozumiałości mowy.

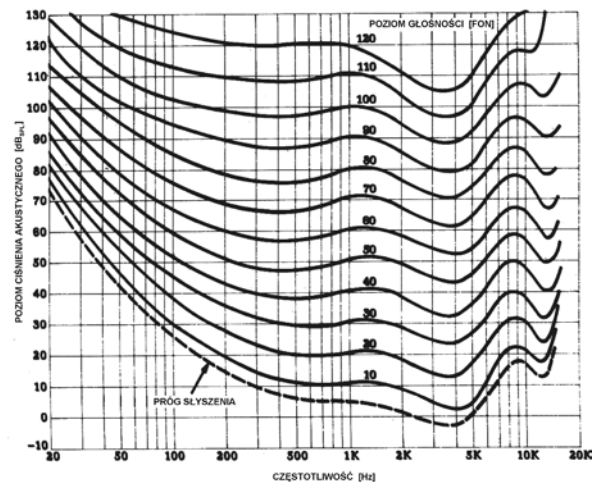
Projektowanie akustyki wnętrza właściwie rozpoczyna się od kreowania kształtu pomieszczenia, jego wymiarów a w szczególności proporcji pomiędzy poszczególnymi wymiarami. Oczywiście w przypadku obiektów istniejących poprawa warunków akustycznych na drodze zmiany wymiarów czy kształtów pomieszczenia nie

może być brana pod uwagę. Natomiast wprowadzenie materiałów o pożądanej chłonności akustycznej może być rozpatrywane w istniejących obiektach w tym nawet tych podlegających ochronie konserwatorskiej. Widać zatem, że nawet w przypadku istniejących obiektów sakralnych możliwe jest poprawienie właściwości akustyki wnętrza, co umożliwi zwiększenie zrozumiałości mowy.

Właściwości

sluchu ludzkiego

Sluch ludzki jest nastawiony w pierwszej kolejności na odbiór sygnału mowy, co powoduje zróżnicowaną czułość dla poszczególnych częstotliwości. Największa czułość sluchu ludzkiego występuje dla zakresu średnich częstotliwości obejmującego sygnał mowy. Częstotliwości niższe, emitowane w przypadku kościołów przez organy, są dużo gorzej percypowane przez ludzi. Podobna sytuacja jest z sygnałami o wielkich częstotliwościach wytwarzanymi np. przez talerze perkusyjne lub organy.

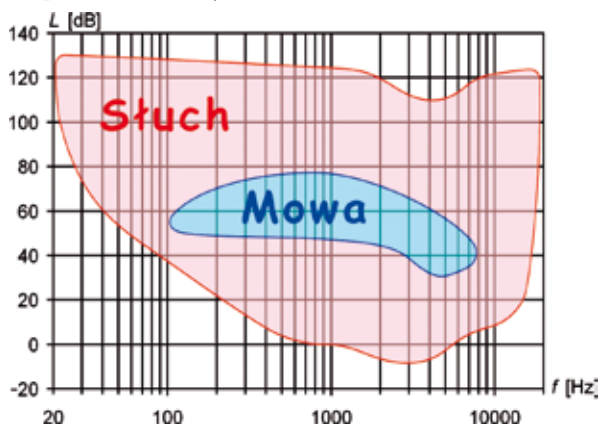


Rys. 2. Krzywe słyszenia

Linie obrazujące, jakie poziomy ciśnienia akustycznego dla poszczególnych częstotliwości odbierane są przez słuch ludzki, jako dźwięki o jednakowej głośności, nazywane są krzywymi słyszenia. Najniższa krzywa słyszenia, czyli najniższe zauważane przez słuch poziomy SPL, nazywana jest progiem słyszenia. Na Rys. 2 przedstawiono całą rodzinę krzywych słyszenia. Analiza tych krzywych potwierdza tezę o szczególnym przystosowaniu sluchu ludzkiego do odbioru sygnału mowy. Widać również, że wywołanie takiego samego wrażenia głośności dla dźwięku spoza pasma mowy wymaga wytworzenia wyraźnie większych poziomów SPL. To potwierdza, że systemy przeznaczone do zastosowań kościelnych, powinny mieć pasmo ograniczone do zakresu 100 Hz ÷ 10 000 Hz. Taki zakres gwarantuje pełną

Oświetlenie, nagłośnienie bezpieczeństwo, systemy multimedialne

zrozumiałość mowy, jak również bardzo dużą szansę na rozpoznanie mówcy.



Rys. 3. Zakres poziomów i częstotliwości dla mowy i słuchu.

Na Rys. 3 przedstawiono graficznie w funkcji częstotliwości granice poziomów generowanych przez aparat mowy oraz odbieranych przez układ słuchowy.

W projektowaniu systemów nagłaśniania należy brać pod uwagę zjawisko utraty słuchu wraz z wiekiem. Objawia się ono tym, że wraz z wiekiem ludzie coraz gorzej percypują wysokie tony. Prowadzi to do tego, że dla większości populacji z biegiem lat występuje zauważalne ograniczenie od góry słyszanego pasma częstotliwości.

System

nagłaśniania

Kluczowym zagadnieniem przy projektowaniu systemu nagłaśniania w przypadku obiektów sakralnych, jest uzyskanie równomiernego pokrycia dźwiękiem całego obszaru, w którym znajdują się wierni. Dobierając i rozmieszczając urządzenia głośnikowe należy wyznaczać ich obszary pokrycia przy wykorzystaniu kątów i charakterystyk promieniowania dla częstotliwości z górnego zakresu pasma mowy 2÷4 kHz. Tak wyznaczone obszary pokrycia poszczególnych urządzeń głośnikowych będą zapewniały uzyskanie odpowiedniej zrozumiałości mowy.

Bardzo istotnym zagadnieniem jest pasmo przenoszenia projektowanego systemu. W przypadku systemów kościelnych nastawionych na transmitowanie sygnałów mowy z dużą zrozumiałością nieistotne jest przetwarzanie pełnego pasma akustycznego. Pełne pasmo mowy, tzn. zawierające wszystkie istotne składowe głosu ludzkiego zawiera się w przedziale 100÷3 500 Hz.

W tej sytuacji transmitowanie sygnałów o częstotliwościach mniejszych od podanych powoduje nieuzasadnione zapotrzebowanie na urządzenia głośnikowe

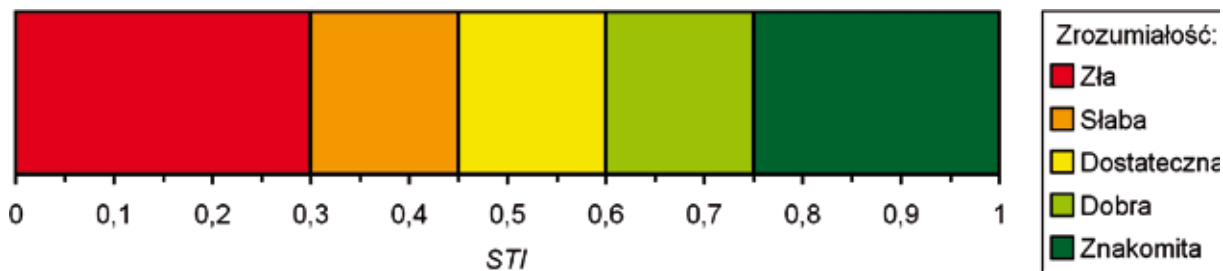
zdolne do reprodukcji fal akustycznych o małych częstotliwościach. Należy zauważyć, że transmisja sygnału mowy z mocno wyeksponowanymi małymi częstotliwościami powoduje zmniejszenie zrozumiałości. W przypadku obiektów sakralnych zjawisko to jest bardzo silne również z uwagi na większe wartości czasu pogłosu dla małych częstotliwości. Przekazywanie sygnałów o częstotliwościach większych od podanego zakresu nie powoduje już zwiększenia zrozumiałości, natomiast powoduje poprawę jakości oraz zwiększenie możliwości rozpoznania mówców. Klasyczne linie telefoniczne pracują z sygnałami fonicznymi 300 ÷ 3 400 Hz. Zakres ten poważnie odbiega od pełnego pasma akustycznego, jednak pomimo tego nie występują problemy z osiągnięciem minimalnej wymaganej zrozumiałości. Pokrycie szerszego pasma akustycznego zawsze wiąże się z koniecznością zastosowania mocniejszych wzmacniaczy mocy, które będą przetwarzały energię o szerszym widmie. Ostatecznie w przypadku systemów nagłaśniania dla kościołów zaleca się, aby uzyskać pasmo przenoszenia 100 – 10 000 Hz. Relacje pomiędzy poszczególnymi zakresami częstotliwościowymi przedstawiono na Rys. 4.



Rys. 4 Wykorzystywane pasma częstotliwościowe

Jednym z najważniejszych parametrów charakteryzujących system nagłaśniania jest zrozumiałość mowy przez niego zapewniana. Stosuje się różne miary określające zrozumiałość. Jedną z bardziej rozpowszechnionych metod pomiaru zrozumiałości jest określenie współczynnika STI (Speech Transmission Index). Istnieje kilka innych miar zrozumiałości mowy. Parametr STI przyjmuje wartości z zakresu 0 ÷ 1. Interpretacja wartości STI podana jest na Rys. 5.

Kolejnym istotnym zagadnieniem projektowania systemów nagłaśniania jest zapewnienie odpowiedniej głośności emitowanych sygnałów. W tym przypadku istotny jest zarówno bezwzględny poziom ciśnienia akustycznego, jak również poziom względem poziomu tła, czyli wszelakich zakłóceń akustycznych zewnętrznych i wewnętrznych (w tym dźwięku organów, czy też zespołu muzycznego grającego w trakcie nabożeństwa). Poziom sygnałów słownych powinien być większy od poziomu tła o min. 10 dB.



Rys. 5. Związek współczynnika STI ze zrozumiałością.

Podsumowanie

Jak pokazano w niniejszym artykule uzyskanie odpowiedniej zrozumiałości mowy w kościołach nie zależy jedynie od systemu nagłaśniania. Konieczne jest również zapanowanie nad akustyką wnętrza. Prowadzi to wprost do konkluzji, że w przypadku nowopowstających obiektów sakralnych konieczne jest zapewnienie profesjonalnych projektów akustyki wnętrza oraz systemu elektroakustycznych. W przypadku obiektów istniejących wszelakie działania w zakresie dźwięku należy prowadzić również w oparciu o specjalistyczną dokumentację projektową, której powstanie powinno rozpocząć się od pomiarów akustycznych. Analiza aktualnej sytuacji wykonana na podstawie pomiarów akustycznych dostarczy odpowiednich danych do prawidłowego

zaprojektowania systemu nagłaśniania jak również do ewentualnie koniecznej korekty akustyki wnętrza.

dr inż. Piotr Z. Kozłowski
Pracownia Akustyczna,
www.akustyczna.pl

Literatura

- [1] Jorasz Urszula: *Wykłady z psychoakustyki*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1998.
- [2] Mark IV Pro Audio Group: *The Audio System Designer. Technical Reference*, Cheltenham.
- [3] Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN 60268-16:2002. *Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy z wykorzystaniem współczynnika jakości transmisji*. PKN, Warszawa 2002.
- [4] Żyszkowski Zbigniew: *Miernictwo akustyczne*. WNT, Warszawa 1987.
- [5] Żyszkowski Zbigniew: *Podstawy elektroakustyki*. WNT, Warszawa 1984.