

Elżbieta Nowicka*

KLASYFIKACJA METOD I PARAMETRÓW OCENY AKUSTYCZNEJ POMIESZCZEŃ

W literaturze fachowej istnieje wiele parametrów określających właściwości akustyczne wnętrza. Stworzono także wiele metod oceny tychże właściwości. Dlatego konieczne wydaje się zebranie i usystematyzowanie całości zagadnienia dotyczącego akustyki wybranych wnętrz. W zależności od przeznaczenia wnętrza istotne są te lub inne czynniki kształtujące jego warunki akustyczne. W artykule przedstawiono szeroko stosowane obecnie metody i parametry oceny akustycznej wnętrz. Podano także ich klasyfikację ze względu na kryteria oceny, poszczególne poziomy procesu inwestycyjnego oraz ze względu na funkcję pomieszczenia.

1. Wstęp

W literaturze fachowej istnieje wiele parametrów określających właściwości akustyczne wnętrza. Stworzono także wiele metod oceny tychże właściwości. Dlatego konieczne wydaje się zebranie i usystematyzowanie całości zagadnienia dotyczącego akustyki wybranych wnętrz. Zagadnienie akustyki wnętrz obejmuje kształtowanie odpowiednich warunków akustycznych niezbędnych do odbioru dźwięków muzyki czy tekstu mówionego w pomieszczeniach, głównie w salach koncertowych, teatralnych czy pomieszczeniach sakralnych. Odrębnym zagadnieniem jest kształtowanie akustyki wnętrz przeznaczonych do zapisu oraz odtwarzania dźwięków muzyki i mowy.

W artykule przedstawiono krótką charakterystykę parametrów i metod opisujących właściwości akustyczne wnętrza. Spróbowano także dokonać klasyfikacji tychże metod i parametrów. W różnych pomieszczeniach, w zależności od ich przeznaczenia pod względem akustycznym, stosuje się odmienne metody i kryteria oceny. W artykule omówiono stosowane obecnie metody i kryteria oceny akustyki pomieszczeń. Podano również klasyfikację metod z uwagi na przeznaczenia pomieszczeń, a także z uwagi na zastosowanie każdej z metod w różnych etapach projektowania i sprawdzania pomieszczeń pod względem akustycznym.

* mgr inż. – asystent w Zakładzie Akustyki ITB

2. Parametry i metody opisujące właściwości akustyczne wnętr

Właściwości akustyczne wnętr są zależne od wielu czynników, takich jak ([1]):

- kształt i objętość wnętrza,
- proporcje wnętrza (istotne w przypadku wnętrz prostopadłościennych i o wymiarach wyprowadzonych z tych proporcji),
 - chłonności akustycznej wnętrza i rozmieszczenia we wnętrzu elementów dźwiękochłonnych, rozpraszających i kierujących dźwięk,
 - izolacyjności akustycznej przegród otaczających wnętrze, decydujących o poziomie zakłóceń dźwiękowych.

W zależności od przeznaczenia wnętrza istotne są te lub inne czynniki kształtujące warunki akustyczne wnętrza.

Właściwości pomieszczenia opisywane są przez trzy teorie akustyczne: geometryczną, statystyczną i falową. Każda z tych teorii podejmuje w inny sposób temat rozchodzenia się fal dźwiękowych w pomieszczeniu, jednak żadna z nich nie opisuje właściwości akustycznych w pełny sposób [2].

Teoria geometryczna opiera się na założeniu, że fale dźwiękowe rozchodzą się zgodnie z zasadami optyki geometrycznej jako tzw. promienie akustyczne. Fale dźwiękowe w pomieszczeniu ulegają odbiciom czy załamaniom, kąt padania promienia jest równy kątowi jego odbicia.

Teoria falowa stanowi bardzo dokładną metodę projektową, opartą na obliczeniach matematycznych, przeznaczoną dla małych, prostopadłościennych pomieszczeń. Pomieszczenie traktuje się jako złożony rezonator przestrzenny o wymiarach l_x, l_y, l_z , mający dużą liczbę modów drgań (drgań własnych). Mody drgań wzbudzone są w pomieszczeniu po włączeniu źródła dźwięku. W teorii statystycznej przyjmuje się założenie, że pole dźwiękowe w pomieszczeniu jest polem idealnie rozproszonym. Określając to pole, definiuje się średni czas i średnią drogę swobodną fali dźwiękowej. Zgodnie z tą teorią przestrzenny rozkład energii dźwiękowej jest jednorodny. Nie uwzględnia się lokalizacji źródła dźwięku i odbiornika.

Według teorii statystycznej zanik energii dźwiękowej w pomieszczeniu po wyłączeniu źródła dźwięku ma charakter eksponencjalny, a jego parametrem jest stała dla danego pomieszczenia wielkość – czas pogłosu. Na bazie tej teorii wyprowadzono obowiązujące wzory, które umożliwiają obliczenie czasu pogłosu dla danego pomieszczenia o danej objętości i chłonności akustycznej – dwóch parametrów, będących według teorii statystycznej głównymi czynnikami określającymi właściwości akustyczne wnętr. Czas pogłosu, otrzymywany na podstawie odpowiedzi impulsowej pomieszczenia, jest uważany za podstawowy parametr opisujący właściwości akustyczne pomieszczeń. Wiele innych parametrów określających właściwości akustyczne pomieszczeń, takich jak siła dźwięku, wskaźnik przejrzystości czy wyrazistość, jest często ściśle powiązanych z odpowiedzią impulsową pomieszczenia [3].

Istnieje wiele wzorów umożliwiających obliczenie wartości czasu pogłosu dla poszczególnych częstotliwości, jednak żaden z nich nie uwzględnia w pełni wszystkich zjawisk akustycznych pomieszczeń.

Pierwszy wzór, opracowany przez Sabine'a [4], jest dość szeroko stosowany przez architektów, jednak ma zastosowanie w pomieszczeniach słabo pochłaniających, o średnim współczynniku pochłaniania $\alpha < 0,2$. Czas pogłosu jest wartością czasu, w jakim energia dźwiękowa w pomieszczeniu zanika o 60 dB po wyłączeniu źródła dźwięku. Stanowi wartość wprost proporcjonalną do objętości pomieszczenia, a odwrotnie proporcjonalną do chłonności akustycznej powierzchni ograniczających pomieszczenie oraz jego wyposażenia:

$$T = \frac{60V}{1,086 c S \alpha_{sr}}, \text{ s} \quad (1)$$

gdzie: V – objętość pomieszczenia, m^3 ,
 c – prędkość dźwięku, m/s ,
 S – pole powierzchni ograniczających pomieszczenie, m^2 ,
 α_{sr} – średni współczynnik pochłaniania dźwięku, wyznaczony ze wzoru

$$\alpha = \frac{E_{poch}}{E_{pad}} = \frac{I_{poch}}{I_{pad}} \quad (2)$$

gdzie: E_{poch} – energia dźwiękowa fali pochłoniętej przez powierzchnię,
 E_{pad} – energia dźwiękowa fali padającej na powierzchnię,
 I_{poch} – natężenie dźwięku fali pochłoniętej przez powierzchnię,
 I_{pad} – natężenie dźwięku fali padającej na powierzchnię.

Podstawiając $c = 344 \text{ m/s}$, wzór (1) można zapisać w postaci klasycznego wzoru Sabine'a:

$$T = \frac{0,161 V}{S \alpha_{sr}}, \text{ s} \quad (3)$$

Wzory (2) i (3) stały się popularne wśród architektów, gdyż nie wymagały szerokiej wiedzy z zakresu akustyki, a czas pogłosu można szybko wyliczyć, znając wymiary pomieszczenia oraz współczynniki pochłaniania podane przez Sabine'a [4].

Wzór (3) ma zastosowanie w przypadku pomieszczeń słabo pochłaniających (średni współczynnik pochłaniania $\alpha_{sr} < 0,2$) – z tego względu wprowadzono wzór Norrisa Eyringa:

$$T = \frac{0,161 V}{-S \ln(1 - \alpha_{sr})}, \text{ s} \quad (4)$$

Wzór ten ma zastosowanie w przypadku pomieszczeń o dużych współczynnikach pochłaniania: $\alpha_{sr} > 0,2$.

Kolejnym wprowadzonym wzorem na czas pogłosu był wzór Millingtona – Sette'a, w którym wartość średnią geometryczną współczynnika pochłaniania α_{sr} zamienia się na wartość średnią arytmetyczną. Tak zmodyfikowany wzór przybiera postać:

$$T = \frac{0,161 V}{-\sum_{i=1}^n S_i \ln(1 - \alpha_{sr})}, \text{ s} \quad (5)$$

gdzie: S_i – pole powierzchni i -tego elementu, m^2 ,
 α_{sr} – współczynnik pochłaniania dźwięku i -tego elementu.

Kolejny wzór, wprowadzony przez Knudsen, uwzględnia wilgotność powietrza:

$$T = \frac{0,161 V}{-S \ln(1 - \alpha_{sr}) + 4m V}, \text{ s} \quad (6)$$

gdzie $4m$ – współczynnik zależny od względnej wilgotności powietrza i częstotliwości.

Wzory (1)–(6) pozwalają wyznaczyć czas pogłosu w pomieszczeniach o równomiernym rozkładzie materiałów pochłaniających. W sytuacji, gdy ustroje dźwiękochłonne nie są rozłożone równomiernie, na przykład wyłącznie na suficie, do obliczenia czasu pogłosu należy stosować wzór Fitzroy'a:

$$T = \frac{S_x}{S} \left[\frac{0,161 V}{S \ln(1 - \alpha_x)} \right] + \frac{S_y}{S} \left[\frac{0,161 V}{S \ln(1 - \alpha_y)} \right] + \frac{S_z}{S} \left[\frac{0,161 V}{S \ln(1 - \alpha_z)} \right], \text{ s} \quad (7)$$

gdzie: S_x, S_y, S_z – parami równoległe powierzchnie pomieszczenia (dla prostopadłościanu), m^2 ,

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – średnie pogłosowe współczynniki pochłaniania powierzchni parami przeciwległych.

Innym zagadnieniem jest czas pogłosu w szerokich i jednocześnie niskich pomieszczeniach. Wówczas pole dźwiękowe – najczęstszym przykładem są tu sale konferencyjne – ma inną charakterystykę zaniku dźwięku [5]. Rozwiązanie uwzględniające wysokość sufitu, współczynnik pochłaniania dźwięku przez sufit, a także efekt rozdzielania dźwięku przez przedmioty stanowiące wyposażenie pomieszczenia podał Frieberg, stosując wzór

$$T = 1,2 + 0,28 h - 2\alpha + K_T, \text{ s} \quad (8)$$

gdzie: h – wysokość pomieszczenia, m,

α – współczynnik pochłaniania sufitu przy częstotliwości $f = 1000$ Hz,

K_T – stała pomieszczenia.

Obok wielu różnych parametrów [3] określających właściwości akustyczne wnętrz, istnieje także wiele metod określających jakość akustyczną pomieszczeń, takich jak metoda wskaźnikowa, metoda według Beranka, metoda według Ando oraz metoda STI, RASTI określająca zrozumiałość mowy w pomieszczeniach.

Metoda wskaźnikowa opracowana przez Engla oraz Kosałę [6] służy głównie do oceny akustycznej wnętrz sakralnych. Bazuje na analizie czynników decydujących o właściwościach akustycznych pomieszczeń oraz na analizie metod oceny wnętrz sakralnych pod względem akustycznym. Metoda wskaźnikowa zestawia wszystkie wymienione metody oceny akustycznej pomieszczeń, dając w efekcie jedną liczbę – wskaźnik jakości akustycznej pomieszczeń sakralnych W_{JAS} , stanowiący funkcję wielu wskaźników cząstkowych, określany ze wzoru

$$W_{JAS} = f(W_1, W_2, W_3, \dots, W_n) = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \eta_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i} \quad (9)$$

gdzie: W_{JAS} – wskaźnik jakości akustycznej pomieszczeń sakralnych,
 $W_1 \dots W_n$ – wskaźniki cząstkowe.

Do oceny pomieszczeń sakralnych pod względem akustycznym zastosowano pięć wskaźników cząstkowych:

- W_p – wskaźnik pogłosowy,
- W_{zm} – wskaźnik zrozumiałości mowy,
- W_{zz} – wskaźnik zakłóceń zewnętrznych,
- W_m – wskaźnik równomierności nagłośnienia,
- W_b – wskaźnik walorów brzmieniowych muzyki.

Wszystkie wskaźniki cząstkowe mają wskaźnik jakości akustycznej W_{JAS} wyrażony zależnością

$$W_{JAS} = \frac{W_p \eta_1 + W_{zm} \eta_2 + W_{zz} \eta_3 + W_m \eta_4 + W_b \eta_5}{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5} \quad (10)$$

gdzie $\eta_1 - \eta_5$ – wagi wskaźników cząstkowych; zostały one przyjęte przez autorów na podstawie analizy czynników decydujących o jakości akustycznej obiektów sakralnych. W przypadku wprowadzenia większej liczby wskaźników należy określić wagę każdego z nich oraz ewentualnie przeskalować dotychczasowe.

Wskaźnik jakości akustycznej wewnątrz sakralnych W_{JAS} przyjmuje wartości od 0 do 1, odpowiadające złym albo dobrym warunkom akustycznym. W celu wyznaczenia W_{JAS} należy przeprowadzić pomiary określonych parametrów akustycznych i architektonicznych.

Aby jednoznacznie ocenić jakość akustyczną badanego wnętrza sakralnego, uzależniono wartość W_{JAS} od subiektywnej oceny pomieszczenia. Opracowano następujące kryteria klasyfikujące obiekty sakralne o właściwościach akustycznych:

- bardzo dobre: $0,8 < W_{JAS} \leq 1$,
- dobre: $0,65 < W_{JAS} < 0,8$,
- dostateczne: $0,5 < W_{JAS} < 0,65$,
- złe: $0 < W_{JAS} < 0,5$.

Opracowane kryteria pozwalają na klasyfikację pomieszczeń sakralnych z uwagi na podobną akustykę wnętrza. Pozwoli to na podejmowanie decyzji, które typy rozwiązań należy przy kolejnych projektach budowlanych uwzględnić, a które zdecydowanie odrzucić.

Metoda zaproponowana przez Beranka [7] dotyczy oceny pod względem akustycznym sal koncertowych i operowych. Metoda została opracowana na podstawie subiektywnych odczuć muzyków i krytyków muzycznych oraz doświadczeń autora. Opracował on skalę oceny, która powstała w wyniku porównania właściwości 54 sal koncertowych

i operowych na świecie. Ocena sal według metody Beranka polega na przyznaniu punktów ze skali w zależności od zmierzonych bądź wyliczonych wartości: czasu pogłosu, czasu opóźnienia pierwszego odbicia, odległości słuchacza od źródła, rodzaju wykonywanej muzyki oraz poziomu zakłóceń zewnętrznych.

Metoda Ando [8] została oparta – podobnie jak metoda według Beranka – na badaniach akustycznych wykonanych w kilkudziesięciu salach koncertowych. Stworzono skalę wartości z zastosowaniem prawa ocen porównawczych. Przeprowadzono testy porównawcze subiektywnej preferencji w zależności od niezależnych parametrów obiektywnych. Zaproponowana metoda pozwala rozwiązać problem doboru parametrów akustycznych pomieszczenia w celu stworzenia w nim najlepszych warunków akustycznych.

Skala subiektywnej oceny jest otrzymywana przy wykorzystaniu prawa ocen porównawczych. Każdy niezależny parametr wnosi od skali swoją wagę, a skala wartości subiektywnej preferencji jest określona zależnością

$$S = \sum_{i=1}^I g(x_i) = \sum_{i=1}^I S_i \quad (11)$$

gdzie: S – ocena skali,
 S_i – wskaźnik preferencji,
 x_i – niezależny, obiektywny parametr 1 – wymiarowej preferencji,
 $g(x_i)$ – funkcja wyrażająca wagę danego parametru.

Funkcje $g(x_i)$ są wyznaczane dla każdego parametru osobno na podstawie aproksymacji krzywych uzyskanych na drodze eksperymentalnej.

W wyniku badań wybrano cztery niezależne parametry identyfikujące i określające akustykę sali:

- poziom odstłuchu (S_1),
- opóźnienie pierwszego odbicia (S_2),
- późny czas pogłosu (S_3),
- IACC – wartość maksymalnej funkcji korelacji międzysusznej (S_4).

Trzy pierwsze parametry są związane ze źródłem sygnału dźwiękowego, czwarty parametr natomiast określa przestrzenność pola akustycznego.

Houtgast i Steeneken [9], na bazie funkcji przeniesienia modulacji, opracowali fizyczną miarę modyfikacji obwiedni amplitudowej STI (*Speech Transmission Index*), stwierdzając jej korelację ze zrozumiałością mowy w pomieszczeniach. Do określenia współczynnika STI wykorzystali siedem pasm szumu oktawowego o częstotliwościach środkowych od 125 Hz do 8 kHz, zmodulowanych czternastoma sygnałami o częstotliwościach modulacji od 0,63 Hz do 12,5 Hz. W ten sposób obliczona wartość STI oparta jest na zbiorze 98 danych, co wymaga przeprowadzenia pracochłonnych pomiarów i znacznie utrudnia ich analizę. W celu uproszczenia obliczeń opracowano więc metodę zwaną RASTI (*Rapid STI*) z ograniczoną liczbą sygnałów nośnych i modulujących.

W metodzie RASTI sygnałem testowym są zmodulowane amplitudowo dwa wybrane pasma oktawowego szumu różowego o częstotliwościach środkowych 500 Hz i 2000 Hz. Jako „średnią” wartość odniesienia dla regulacji ich poziomu zastosowano ważony poziom równoważny L_{Aeq} mowy. Poziom sygnału pasma oktawowego o częstotliwości

środkowej 500 Hz powinien znajdować się 1 dB poniżej wartości odniesienia, natomiast w przypadku pasma oktawowego o częstotliwości środkowej 2000 Hz – 10 dB poniżej. Dzięki temu amplitudy widm sygnału testowego wybranych pasm oktawowych odpowiadają amplitudom średniego widma mowy.

Każde z pasm oktawowych zostało zmodulowane sygnałami sinusoidalnymi, tak aby obwiednia amplitudowa pasma odpowiadała w przybliżeniu obwiedni mowy. Pasma o częstotliwości środkowej 500 Hz zmodulowano sygnałami o częstotliwościach: 1, 2, 4 oraz 8 Hz. Pasma o częstotliwości środkowej 2000 Hz zmodulowano sygnałami o częstotliwościach: 0,7; 1,4; 2,8; 5,6 oraz 11,2 Hz.

Po odebraniu sygnału z pomieszczenia określa się współczynnik redukcji głębokości modulacji m . Jest to stosunek współczynnika głębokości modulacji sygnału odebranego do współczynnika głębokości modulacji sygnału nadanego do pomieszczenia. Przy założeniu, że współczynnik głębokości modulacji sygnału nadanego jest równy jedności, współczynnik redukcji głębokości modulacji m jest równy wartości współczynnika głębokości modulacji sygnału odebranego. Współczynnik redukcji głębokości modulacji wyznacza się dla każdej częstotliwości modulacji oddzielnie.

Każdą z dziewięciu wartości m przekształca się w tzw. pozorny stosunek sygnału do szumu $(S/N)_{poz}$, zgodnie ze wzorem

$$(S/N)_{poz} = 10 \log \frac{m}{1 - m}, \text{ dB} \quad (12)$$

Następnie dokonuje się obcięcia wartości $(S/N)_{poz}$, jeżeli przekraczają one ± 15 dB – w ten sposób, że każdej z wartości powyżej 15 dB przypisuje się wartość 15 dB, natomiast każdej z wartości poniżej -15 dB przyznaje się wartość -15 dB. Po czym z tak otrzymanych dziewięciu wartości pozornego stosunku sygnału do szumu wyprowadza się wartość średnią arytmetyczną $(\overline{S/N})_{poz}$. Indeks RASTI oblicza się ze wzoru

$$\text{RASTI} = \frac{(\overline{S/N})_{poz} + 15}{30} \quad (13)$$

Dzięki opisanemu obcięciu wartości $(S/N)_{poz}$ oraz normalizacji zastosowanej we wzorze (3) wartość indeksu RASTI mieści się w przedziale od 0 do 1.

W dalszej części artykułu przedstawiono próby klasyfikacji metod i parametrów oceny akustycznej pomieszczeń przeznaczonych do odbioru dźwięków mowy i muzyki.

3. Klasyfikacja metod i parametrów akustycznych wewnątrz

Wszystkie metody i parametry oceny akustycznej pomieszczeń można podzielić na dwie kategorie:

- obiektywne metody oceny pomieszczeń,
- subiektywne metody oceny pomieszczeń.

Subiektywne metody oceny pomieszczeń opierają się na ocenie subiektywnej dokonywanej przez słuchaczy lub wykonawców. Niestety, są one najczęściej zależne od indywidualnych cech osób oceniających. Aby móc porównać subiektywne oceny kilku

sal, muszą być one poparte opinią dużego, reprezentatywnego i niezmiennego zespołu słuchaczy.

Obiektywne metody oceny akustycznej pomieszczeń są niezależne od indywidualnych ocen słuchaczy i można je stosować na różnych etapach realizacji inwestycji: na etapie projektowania, czy też w przypadku określania właściwości akustycznych gotowego pomieszczenia.

Klasyfikację parametrów i metod opisanych w opracowaniu przedstawia tablica 1. Architekt oraz projektant akustyki wnętrz zainteresowani są przede wszystkim metodami oraz parametrami możliwymi do zastosowania już na etapie projektowania, a jednocześnie możliwymi do sprawdzenia na późniejszych etapach modelowania i realizowania obiektu.

Tablica 1. Klasyfikacja parametrów i metod oceny akustyki wnętrz na subiektywne i obiektywne
Table 1. Classification of parameters and methods of acoustic assessment of interiors into subjective and objective

Parametry i metody obiektywne	Metody subiektywne
<ul style="list-style-type: none"> • czas pogłosu • parametry określone na podstawie odpowiedzi impulsowej • odległość graniczna pomieszczenia • teoria geometryczna • teoria statystyczna (współczynnik pochłaniania dźwięku) • teoria falowa • dyfuzyjność kierunkowa • metoda RASTI • metoda wskaźnikowa 	<ul style="list-style-type: none"> • metoda wg Beranka <ul style="list-style-type: none"> – intymność, – żywość, – ciepło brzmienia, – głośność dźwięku bezpośredniego, – głośność dźwięku odbitego, – równowaga akustyczna • metoda wg Ando

Na rysunku 1 przedstawiono ogólny schemat procesu inwestycyjnego oraz krótką charakterystykę poszczególnych etapów podczas budowy pomieszczeń do odsłuchu muzyki bądź mowy.

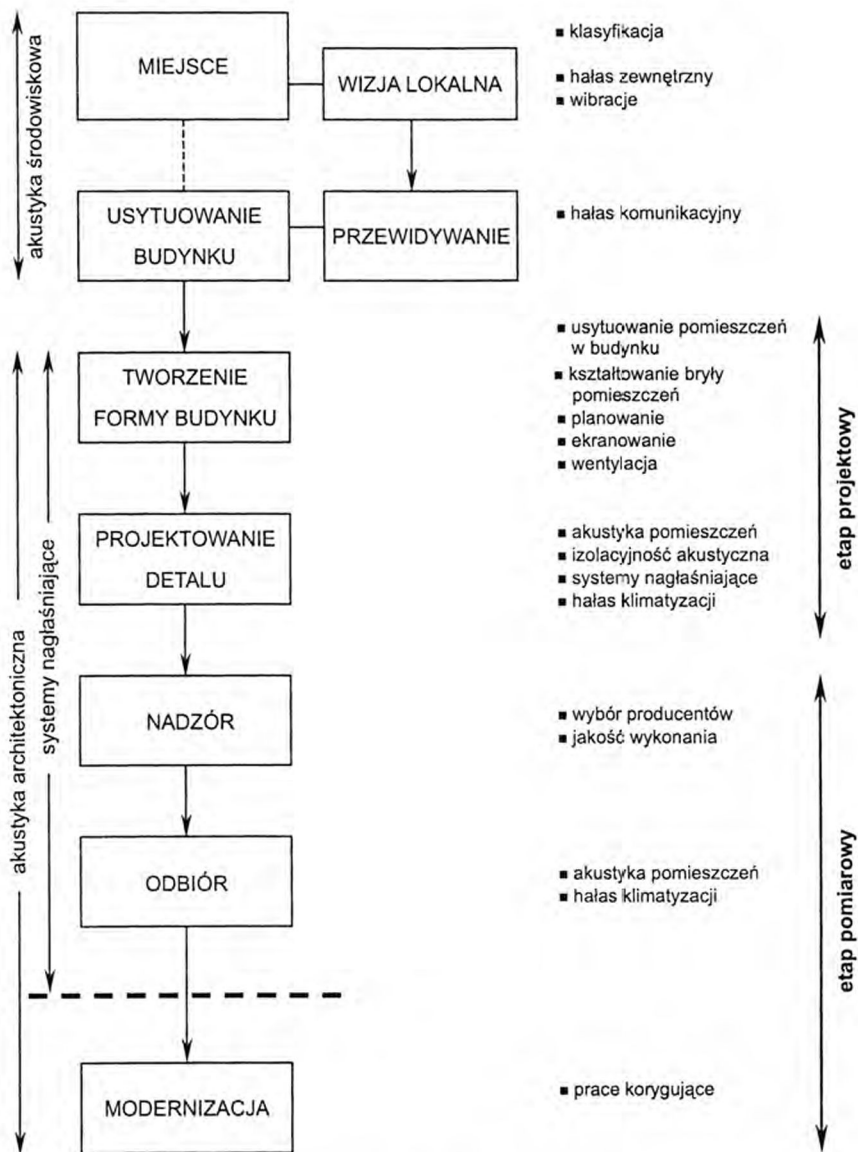
Zaproponowana klasyfikacja metod i parametrów opisujących warunki akustyczne pomieszczeń obejmuje dwa etapy:

- etap projektowy, na który składają się wstępne szkice i rysunki charakterystycznych rzutów i przekrojów danego pomieszczenia oraz niezbędne obliczenia parametrów akustycznych,

- etap pomiarowy, obejmujący zarówno pomiary sprawdzające na etapie nadzorowania realizacji budowy, jak również pomiary testujące warunki akustyczne wykonanej sali będące podstawą do wprowadzania niezbędnych prac korygujących.

Każdy z etapów jest ważną częścią realizacji inwestycji. Każdemu etapowi przypisano odpowiadające im parametry i metody charakteryzujące właściwości akustyczne wnętrz (tablica 2).

Ogólną klasyfikację pomieszczeń ze względu na ich funkcję i przeznaczenie przedstawiono na rysunku 2.

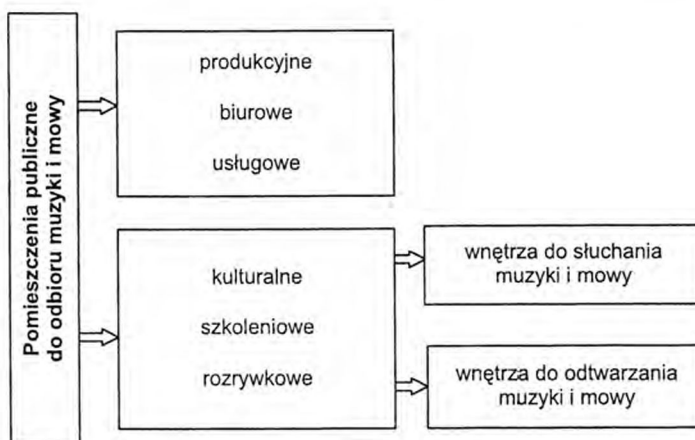


Rys. 1. Poziomy projektowania pomieszczeń pod względem akustycznym, według opracowania [10]

Fig. 1. Levels of acoustical designing, according to [10]

Tablica 2. Parametry i metody akustyczne odpowiadające etapom realizacji inwestycji
 Table 2. Acoustical parameters and methods regarding the levels of investment process

Etap projektowy		Etap pomiarowy
parametry i metody		parametry i metody
obliczeniowe	obliczeniowe i pomiarowe	
<ul style="list-style-type: none"> teoria geometryczna teoria falowa teoria statystyczna (współczynnik pochłaniania dźwięku w pomieszczeniu) odległość graniczna 	<ul style="list-style-type: none"> czas pogłosu T_{60} metoda RASTI metoda wskaźnikowa 	<ul style="list-style-type: none"> parametry pomieszczenia określane na podstawie odpowiedzi impulsowej pomieszczenia subiektywne metody oceny pomieszczeń (wg Beranka, Ando)

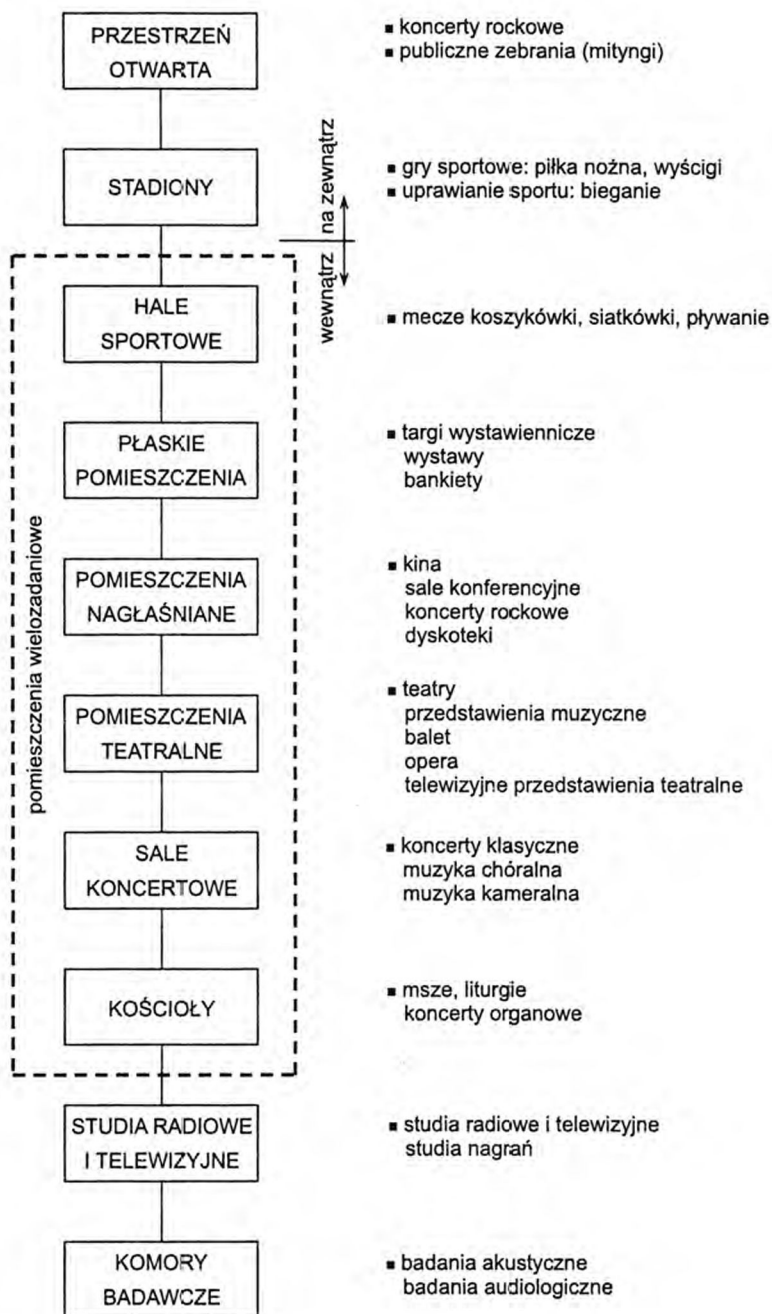


Rys. 2. Podział wnętrz budowlanych ze względu na ich funkcję
 Fig. 2. Division of building interiors with respect to their function

Projektując budynki z pierwszej grupy pomieszczeń (pomieszczenia produkcyjne, biurowe, usługowe), należy zwrócić uwagę przede wszystkim na zmniejszenie poziomu hałasów (aby poprawić warunki pracy) oraz na zwiększenie zrozumiałości mowy.

Pomieszczenia z drugiej grupy należą do wnętrz o akustyce kwalifikowanej. Na rysunku 3 przedstawiono szczegółowy podział wnętrz przeznaczonych do odsłuchu oraz zapisu mowy i muzyki.

Pomieszczenia tej grupy wymagają szczególnej uwagi w trakcie projektowania. W pomieszczeniach wielofunkcyjnych szczególną uwagę należy zwrócić na zrozumiałość mowy oraz na walory brzmieniowe muzyki.



Rys. 3. Klasyfikacja pomieszczeń do odsłuchu lub zapisu mowy i muzyki, według opracowania [10]
 Fig. 3. Classification of hearing or speech and music recording rooms, according to [10]

W tabelicy 3 podano ogólną klasyfikację metod według funkcji i przeznaczenia wnętrz budowlanych. Pomieszczenia biurowe, przemysłowe i usługowe są pomieszczeniami, w których należy zapewnić przede wszystkim dobrą zrozumiałość mowy. Uwagę trzeba również zwrócić na poziom hałasu oraz na izolacyjność ścian, tak zewnętrznych jak i wewnętrznych, działowych.

Tablica 3. Klasyfikacja parametrów i metod akustycznych według przeznaczenia pomieszczeń
Table 3. Classification of acoustic parameters and methods with respect to the room destination

Pomieszczenie	Parametry i metody akustyczne
Biurowe, przemysłowe, usługowe	teoria falowa (dla małych pomieszczeń biurowych)
	czas pogłosu
	metoda RASTI
Kulturalne, szkoleniowe, rozrywkowe	teoria geometryczna teoria falowa teoria statystyczna
	odległość graniczna czas pogłosu parametry pomieszczenia określone na podstawie odpowiedzi impulsowej
	metoda wg Beranka metoda wg Ando metoda RASTI metoda wskaźnikowa

W pomieszczeniach z drugiej grupy należy zapewnić dobry odbiór dźwięków mowy (dobrą zrozumiałość mowy) oraz muzyki (brak zakłóceń, wyrazistość, przestrzenność) [1]. W praktyce większość parametrów i metod opisujących właściwości akustyczne pomieszczeń odnosi się do tych pomieszczeń. Projektując tego typu pomieszczenia, należy pamiętać o zapewnieniu optymalnych warunków: przede wszystkim niskiego poziomu zakłóceń, dobrej zrozumiałości dźwięków mowy i muzyki, równomierności nagłośnienia bez dodatkowych odbić od ścian i echa oraz walorów brzmieniowych. Często konieczny jest kompromis, gdyż trudno jest uzyskać dobrą zrozumiałość mowy przy długim czasie pogłosu wymaganym dla dobrego odbioru muzyki, szczególnie dźwięków organowych.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono szereg parametrów i metod oceny właściwości akustycznych wnętrz oraz ich klasyfikację w zależności od funkcji pomieszczeń czy etapu projektowania danego wnętrza. Podsumowując należy podkreślić, że istnieje wiele metod opisanego pola akustycznego w pomieszczeniu oraz określenia warunków akustycznych odpowiednich do odsłuchu dźwięków mowy i muzyki. Ich systematyka ułatwi prace architektom i projektantom akustyki wnętrz.

Bibliografia

- [1] Sadowski J.: Akustyka architektoniczna. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań 1976
- [2] Rutkowski L.: Modyfikacja dźwięków o zmiennej częstotliwości w pomieszczeniu. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1999
- [3] PN-EN ISO 3382 Akustyka. Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi, luty 2001
- [4] Cavanaugh W. J., Wilkes J. A.: Architectural Acoustics. Principles and Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York 1999
- [5] Gołaś A.: Podstawy sterowania dźwiękiem w pomieszczeniach. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGD, Kraków 2000
- [6] Kosala K.: Zagadnienia akustyczne w obiektach sakralnych. Praca doktorska pod kierunkiem prof. zw. dr hab. inż. Zbigniewa Engla, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2004
- [7] Beranek L.: Music, acoustics and architectural design. R. Kruger Publ. Corp., New York 1979
- [8] Ando Y.: Concert hall acoustics. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985
- [9] Houtgast T., Steeneken H. J. M.: TECHNICAL REVIEW To Advance Techniques in Acoustical, Electrical and Mechanical Measurement. RASTI, No. 3 (1985)
- [10] Templeton D., Sacre P., Mapp P., Saunders D.: Acoustics in the Built Environment. Advice for the design team. Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1997

CLASSIFICATION OF METHODS AND PARAMETERS FOR THE ROOM ACOUSTICAL ASSESSMENT

Summary

In literature there is a lot of parameters for assessment of acoustical properties of room. There is also a lot of methods for these properties assessment. That is why there is a need to compile and systemize all knowledge concerning the room acoustics. It depends on destination of room which factors affect the room acoustical conditions. In the paper, widely used methods and parameters of room acoustic assessment are presented. The classification in relation to the assessment criteria, particular levels of investment process and room function is also described.

Praca wpłynęła do Redakcji 27 IV 2006