

KRZYWA ROZKŁADU DŹWIĘKU W PRZESTRZENI JAKO PARAMETR CHARAKTERYZUJĄCY AKUSTYKĘ POMIESZCZENIA

Marek JABŁOŃSKI*, Jerzy WĄTŁY**

* Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: Marek.Jablonski@p.lodz.pl

** Instytut Techniki Ciepłej
ul. Dąbrowskiego 113, 93-208 Łódź, e-mail: j.watly@itc.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 sali konferencyjnej i auditorium oraz weryfikację pomiarową tego parametru w obiektach rzeczywistych.

Słowa kluczowe: akustyka pomieszczeń, krzywe rozkładu dźwięku, ciśnienie akustyczne, właściwości akustyczne pomieszczeń.

1. WSTĘP

Krzywa rozkładu dźwięku w przestrzeni ilustruje zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego wraz ze wzrostem odległości od źródła dźwięku. Zależy od częstotliwości i podobnie jak czas pogłosu, charakteryzuje właściwości akustyczne pomieszczenia. Zasadniczą różnicą między krzywą zaniku przy podwojeniu odległości od źródła a czasem pogłosu jest to, że czas pogłosu określa to zawieszenie dźwięku w pomieszczeniu po usunięciu sygnału wzbudzającego na przykład po wyłączeniu głośnika, z którego wydobywający się dźwięk jest jeszcze słyszalny przez pewien odcinek czasu, natomiast krzywa zaniku przy podwojeniu odległości od źródła pokazuje redukcję dźwięku na pewnym, określonym dystansie.

Krzywa zaniku wyliczana jest dla trzech różnych dystansów (bliski, średni i daleki).

Dla odległości około $1\text{m} \leq r \leq 5\text{m}$ od źródła (dystans bliski), krzywa zaniku przy podwojeniu odległości od źródła zależy w szczególności od źródła dźwięku i jego usytuowania.

Dla odległości około $5\text{m} \leq r \leq 16\text{m}$ od źródła (dystans średni), krzywa zaniku zależy od zdolności pochłaniania (współczynników pochłaniania) powierzchni podłogi, ścian i sufitu.

Dla odległości około $16\text{m} \leq r \leq 64\text{m}$ od źródła (dystans daleki), krzywa zaniku przy podwojeniu odległości od źródła zależy od ilości i rozmieszczenia obiektów w rozpatrywanym pomieszczeniu.

Krzywa rozkładu daje możliwość określenia, dla danego zakresu odległości od źródła dźwięku spadku wartości poziomu ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 oraz nadwyżki poziomu ciśnienia akustycznego DL_f .

Wielkości DL_2 i DL_f są stosowane do oceny jakości pomieszczenia pod względem akustycznym.

Znajomość tych oraz innych obiektywnych parametrów akustycznych pomieszczenia pozwala na kształtowanie lub adaptację pomieszczeń pod względem akustycznym.

2. PARAMETR DL_2

Spadek poziomu ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości od źródła DL_2 [dB] obliczany jest zgodnie z normą PN-EN ISO 14257 wg zależności [1]:

$$DL_2 = -0,3 \frac{z \sum_{i=n}^m \left[D_i \lg \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \right] - \sum_{i=n}^m D_i \sum_{i=n}^m \lg \left(\frac{r_i}{r_o} \right)}{z \sum_{i=n}^m \left[\lg \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \right]^2 - \left[\sum_{i=n}^m \lg \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \right]^2} \quad (1)$$

gdzie: $z = m - n + 1$

D_i - określa się z równania $D_j(r) = L_{pj}(r) - L_{wj}$

r_o - odległość odniesienia (równa zazwyczaj 1m)

r_i - odległość i - tego źródła dźwięku od pozycji mikrofonu, w zasięgu odległości obszaru $[r_n, r_m]$

L_{wj} - poziom mocy akustycznej referencyjnego źródła dźwięku użytego do badania

$L_{pj}(r)$ - poziom ciśnienia akustycznego w każdym punkcie pomiarowym, umieszczonym w odległości r od źródła dźwięku

j - liczba pasma oktawowego

Parametr DL_2 stosuje się w celu scharakteryzowanie akustyki pomieszczeń. Oczekiwane wartości parametrów DL_2 :

- wartości od 1 do 3dB dla pomieszczeń pogłosowych,

- wartości od 2 do 5dB dla pomieszczeń wyciszonych.

Według ISO 3382-1 [1] optymalne wartości parametru DL_2 powinny być większe bądź równe 3.5dB.

Parametry DL_2 są wyliczane dla wszystkich zdefiniowanych punktów odbioru. Obliczenia prowadzone są dla przypadku, gdy aktywne jest jedno źródło dźwięku (źródło punktowe) oraz zdefiniowany jest więcej niż jeden odbiornik. Odległości pomiędzy źródłem a wszystkimi odbiornikami powinny być różne.

Parametr DL_2 jest obliczany dla pasm częstotliwości 63Hz do 8kHz lub dla pasm częstotliwości 125Hz do 4kHz ważony według krzywej A.

Punkty pomiarowe i pozycja źródła są istotne dla parametrów DL_2 i powinny być wyznaczane zgodnie z normą PN-EN ISO 14257 [2]. Zastosowany w pracy do obliczeń program komputerowy ODEON [3] zaleca przyjęcie ustawiania odbiorników w następujących odległościach od źródła (używając logarytmicznego wzrostu): 1, 2, 4, 5, 6.3, 8, 10, 12.6, 16, 20 metrów.

3. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTÓW

Przedmiotem rozważań jest sala konferencyjna oraz audytorium. Sala konferencyjna znajduje się w budynku SDS Politechniki Łódzkiej przy Al. Politechniki 3a. Aula zlokalizowana jest na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej.

Sala konferencyjna ma kształt prostopadłościenny o wymiarach wewnętrznych ok. 17.8m x 16.8m i wysokości około 8.1m. Kubatura wewnętrzna pomieszczenia wynosi około 2422m³. Liczba miejsc około 200. Ściany boczne posiadają ruchome ekrany akustyczne. Strop podwieszony wykonany jest z takich materiałów, że po części pochłania, a po części odbija dźwięk. Elementem łączącym salę z foyer są drzwi wypełnione szkłem „weneckim” w konstrukcji aluminiowej [4].

Aula ma kształt prostopadłościenny o wymiarach około 16.0m x 10.0m i zmienną wysokość spowodowaną kształtem sufitu. Kubatura auli około 730m³. Liczba miejsc 150. Materiały wykończeniowe to: linoleum na podłodze, stalowa konstrukcja z płytą pilśniową twardą jako sufit, ściany boczne – tynk cementowo-wapienny, ściana tylna,

panele drewniane, ściana przednia – tynk cementowo-wapienny, widownia - krzesła drewniane.

Materiały użyte do wykończenia wnętrz przedstawiono w tablicy 1 i tablicy 2.

Tabela 1. Współczynniki pochłaniania materiałów wykończeniowych sali konferencyjnej.

Table 1. Octave band acoustic absorption coefficients for conference room.

Materiał	Polożenie	Pow. [m ²]	Współczynnik pochłaniania dźwięku							
			Częstotliwość							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Płyta AM-STRONG	Ustrój sufitowy	240	0.50	0.60	0.85	0.95	0.98	0.99	0.99	0.99
Whisper Walls	Bok	270	0.15	0.15	0.17	0.41	0.70	0.91	0.92	0.92
Płyta gips-karton	Przód	137	0.14	0.14	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03
Tynk cem-wap.	Sufit	371	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
Drewno	Podest	95	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.12	0.10	0.10
Drewno	Drzwi	9.6	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Szkoło	Drzwi	9.6	0.10	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02
Parkiet	Przejścia	49	0.02	0.02	0.03	0.04	0.06	0.12	0.10	0.10
Krzesła wyściełane	Widownia	144	0.44	0.44	0.60	0.77	0.89	0.82	0.70	0.70

Tabela 2. Współczynniki pochłaniania materiałów wykończeniowych w audytorium.

Table 2. Octave band acoustic absorption coefficients for auditorium.

Materiał	Polożenie	Pow. [m ²]	Współczynnik pochłaniania dźwięku							
			Częstotliwość							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Panele drewniane	Ściana tylna	67	0.20	0.20	0.15	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
Płyta pilśniowa	Sufit	148	0.04	0.04	0.40	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
Linoleum	Podłoga	186	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.05
Tynk cem-wap.	Sufit	175	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05
Drewno	Drzwi	15	0.14	0.14	0.10	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
Krzesła drewniane	Widownia	80	0.10	0.10	0.15	0.30	0.44	0.45	0.46	0.46

4. SYMULACJA KOMPUTEROWA

Wykorzystano komputerowy model pola akustycznego, oparty na zmodyfikowanej metodzie promieniowej, przy użyciu którego obliczono parametry opisujące charakter akustyki pomieszczenia.

Ocenę właściwości wnętrza pod względem jakości akustyki dokonano na podstawie wielu parametrów, które są możliwe do porównania z zalecanymi w literaturze dla tego typu pomieszczeń [4]. W niniejszym artykule ograniczono się do przedstawienia tylko jednego z nich: spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 .

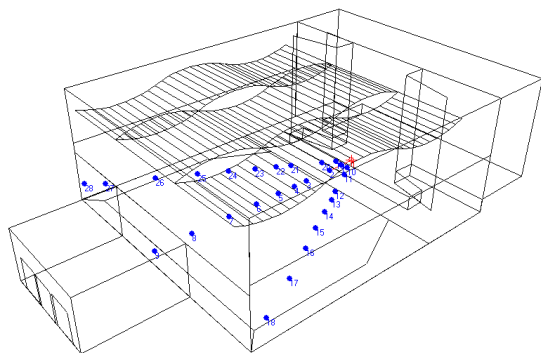
Sala konferencyjna została zamodelowana jako trójwymiarowa bryła przez 149 powierzchni. Całkowita powierzchnia sali konferencyjnej około 1925m².

Aula została zamodelowana przez 114 powierzchni. Całkowita powierzchnia auli wynosi około 805m².

Model obliczeniowy obu pomieszczeń przedstawiono na Rys.1. Jako źródła dźwięku przyjęto źródło wszechkie-

runkowe usytuowane w przypadku sali konferencyjnej na scenie a w przypadku auli na katedrze. Po wprowadzeniu kształtu sali i współczynników pochłaniania dźwięku przez materiały wykończeniowe, program symulacyjny oblicza odpowiedź pomieszczenia na pobudzenie impulsowe, a na tej podstawie parametry akustyczne sali.

Spadek wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości obliczono dla trzech kierunków, zwanych dalej ścieżkami. Ścieżka 1 – punkty odbioru na osi sali na wprost źródła, ścieżka 2 – punkty odbioru usytuowane na prostej łączącej źródło i jeden z narożników sali, ścieżka 3 – punkty odbioru usytuowane na prostej łączącej źródło z drugim z narożników sali.



Rys. 1. Obliczeniowy model sali konferencyjnej i audytorium z zaznaczonymi punktami odbioru.

Fig. 1. Axonometric view (interior plan) of the conference room and auditorium.

5. WYNIKI SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

Wartości spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 uzyskane z analizy komputerowej dla geometrii jak na Rys.1 przedstawiono na Rys.2 i 3. Poszczególne rysunki przedstawiają wartość spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 dla ścieżki 1. Wartości uzy-

skane z symulacji dla innych ścieżek przedstawiono poniżej.

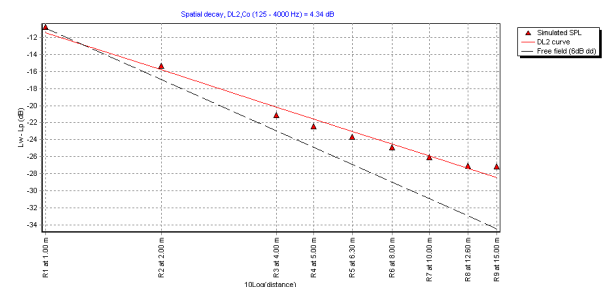
Dla sali kinowej uzyskano następujące wartości DL_2 :

- dla ścieżki 1 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.34 dB,
- dla ścieżki 2 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.49 dB,
- dla ścieżki 3 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.70 dB.

Dla audytorium uzyskano następujące wartości DL_2 :

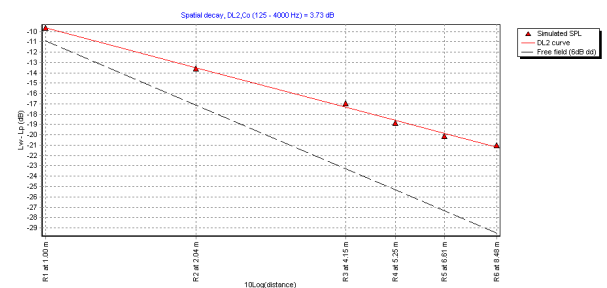
- dla ścieżki 1 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.73 dB,
- dla ścieżki 2 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.49 dB,
- dla ścieżki 3 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.54 dB.

Uzyskane wartości odpowiadają optymalnym dla pomieszczeń wyciszonych.



Rys. 2. Spadek wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 dla sali konferencyjnej (ścieżka 1), uzyskany z obliczeń symulacyjnych.

Fig. 2. Predicted value of spatial decay curves DL_2 for conference room (path no 1).



Rys. 3. Spadek wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 dla audytorium (ścieżka 1), uzyskany z obliczeń symulacyjnych.

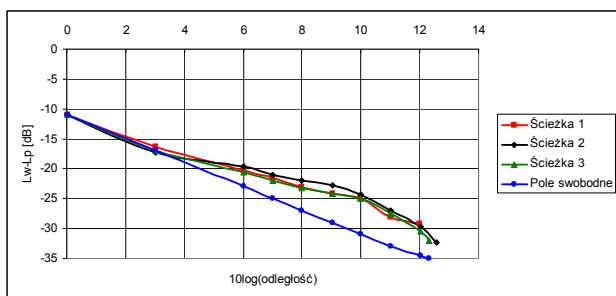
Fig. 3. Predicted value of spatial decay curves DL_2 for auditorium (path no 1).

6. WYNIKI POMIARÓW

Pomiarów poziomu dźwięku od źródła usytuowanego na scenie i na katedrze dokonano w takich samych odległościach od źródła jak to zostało zamodelowane w przypadku obliczeń komputerowych. Uzyskane wartości różnicy poziomu mocy źródła oraz poziomu dźwięku w poszczególnych punktach pomiarowych na wszystkich kierunkach przedstawiono na rysunku 3 i 4.

Wartości spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 uzyskane z obliczeń po wykorzystaniu procedury obliczeniowej opisanej w punkcie 2 dla sali konferencyjnej:

- dla ścieżki 1 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.4 dB,
- dla ścieżki 2 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.5 dB,
- dla ścieżki 3 obliczona wartość DL_2 wynosi 4.7 dB.

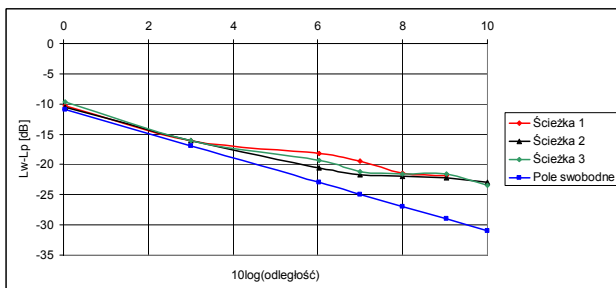


Rys. 3. Wartości uzyskane z pomiarów w sali konferencyjnej dla trzech kierunków pomiarowych.

Fig. 3. Measured value for all paths for conference room.

Wartości spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 uzyskane z obliczeń po wykorzystaniu procedury obliczeniowej opisanej w punkcie 2 dla audytorium:

- dla ścieżki 1 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.7 dB,
- dla ścieżki 2 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.7 dB,
- dla ścieżki 3 obliczona wartość DL_2 wynosi 3.9 dB.



Rys. 4. Wartości uzyskane z pomiarów w audytorium dla trzech kierunków pomiarowych.

Fig. 4. Measured value for all paths for auditorium.

7. UWAGI KOŃCOWE

W pomieszczeniach poddanych analizie (sala konferencyjna, audytorium) akustyka ma istotne znaczenie dla ich funkcji. Istotnym elementem tej funkcji jest słuchanie lub rejestracja dźwięku, niosącego z reguły treść artystyczną lub dydaktyczną, często z udziałem większej liczby osób.

W analizie uwzględniono tylko jeden parametr akustyczny jakim jest spadek wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 .

Wartości uzyskane z obliczeń symulacyjnych zostały przewidziane w sposób dokładny. Potwierdziły to wyniki badań w obu pomieszczeniach. Obliczone na podstawie pomiarów wartości spadku wartości ciśnienia akustycznego w przestrzeni z podwojeniem odległości DL_2 są bardzo zbliżone do wartości uzyskanych z symulacji.

Dla tego typu obiektów rola akustyka sprowadza się do odpowiedniego balansowania pomiędzy różnymi parametrami. Zazwyczaj jest to czas pogłosu i jeden, bądź więcej innych parametrów, charakteryzujących w zależności od funkcji pomieszczenia jego akustykę. Bazowanie w takim przypadku tylko na jednym parametrze, jakim jest stopień przestrzennego zaniku, jest niewystarczające.

SPATIAL DECAY CURVE AS CHARACTERISTIC ACOUSTIC PARAMETER OF ROOM

Summary: This paper presents the results of spatial decay in conference room and auditorium, obtained using numerical techniques. They were compared with measurements data of this parameter in real rooms.

Literatura

- [1] PN-EN ISO 3382:2001 Akustyka - Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi.
- [2] PN-EN ISO 14257:2002 Pomiary i określanie parametrów krzywych rozkładu hałasu przestrzennego na stanowiskach pracy w celu oceny ich właściwości akustycznych.
- [3] ODEON Room Acoustics Program. Version 5.0. User Manual. Industrial, Auditorium and Combined Editions. 2001
- [4] Jabłoński M., Szer J. *Koncepcja modernizacji sali kinowej i jej wpływ na akustykę wnętrza*. Materiały konferencyjne IV Sympozjum „Wpływ Środowiska na Budowlę i Ludzi – obciążenia, oddziaływania, interakcje, dyskomfort, Susiec 2004