

ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY ZAPEŁNIENIEM WIDOWNI A AKUSTYKĄ AUDYTORIUM

Marek JABŁOŃSKI*

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

Streszczenie: W artykule przedstawiono wpływ ilości osób w pomieszczeniu na parametry akustyczne audytorium. Problem ten został przeanalizowany w programie ESP-r. Analizie poddano największe audytorium na Wydziale Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Analizowano wpływ zmian ilości osób zajmujących miejsca dla publiczności na parametry akustyczne audytorium.

Słowa kluczowe: akustyka pomieszczeń, czas pogłosu, chłonność akustyczna, równoważna powierzchnia dźwiękochłonna.

1. WSTĘP

Subiektywne metody oceny zrozumiałości mowy, tak ważne dla audytoriów, oparte na testach są coraz częściej zastępowane metodami obiektywnymi.

Z badań osób zajmujących się akustyką pomieszczeń [1], [2] wynika, że do najistotniejszych atrybutów akustycznych, odczuwanych subiektywnie zaliczamy pogłosowość. Znajomość tego parametru można wykorzystać do kształtowania akustyki audytoriów. Czas pogłosu zależy od objętości pomieszczenia i cech fizycznych jego powierzchni - takich jak współczynnik pochłaniania i odbijania fal dźwiękowych - jak i również znajdujących się tam przedmiotów a także od ilości osób. W pomieszczeniach, w których liczba osób ulega zmianie czas pogłosu również się zmienia.

Na zrozumiałość mowy wpływa w decydujący sposób wartość oraz charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu, który w całym zakresie częstotliwości powinien posiadać wartości zalecane dla kubatury i funkcji danego pomieszczenia. Dla mowy zalecane jest utrzymywanie stałej wartości czasu pogłosu w całym paśmie częstotliwości. Wzrost czasu pogłosu na małych częstotliwościach pogarsza zrozumiałość.

Projektowanie w audytoriach miękkich siedzeń, których współczynnik pochłaniania jest porównywalny z współ-

czynnikiem pochłaniania dla osoby siedzącej na drewnianym krześle, jest bardzo korzystny. W ten sposób można znacznie ograniczyć zmiany czasu pogłosu w zależności od liczby osób w pomieszczeniu.

W pracy przeanalizowano wpływ zmianapełnienia widowni na parametry akustyczne audytorium w przypadku zastosowania siedzeń drewnianych i miękkich.

2. CHARAKTERYSTYKA AULI

Analizie poddano audytorium Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Politechniki Łódzkiej. Wymiary auli (dł. x sz. x wys.): 8,0m x 16,3m x 5,7m. Kubatura wewnętrzna około 730m³. Liczba miejsc siedzących około 120. Wykończenie powierzchni: podłoga - linoleum na betonie, ściany boczne - tynk gipsowy, ściana przednia - tynk cementowo-wapienny i drewno, ściana tylna - drewno, sufit - konstrukcja z płyt pilśniowych twardych, wyposażenie - rzędy drewnianych siedzeń z unoszonymi siedziskami lub krzeselka wyściełane.

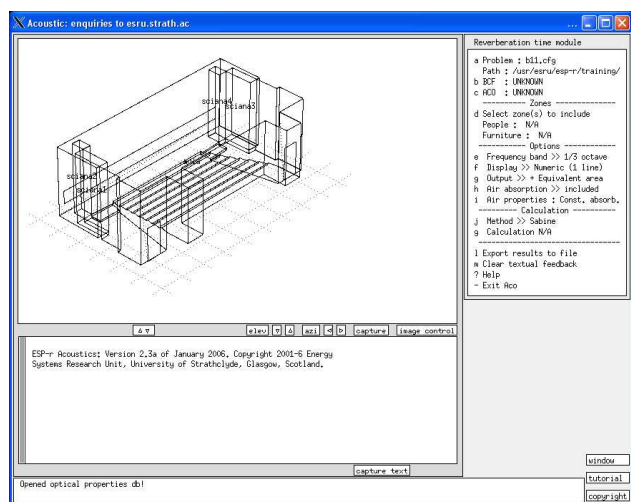
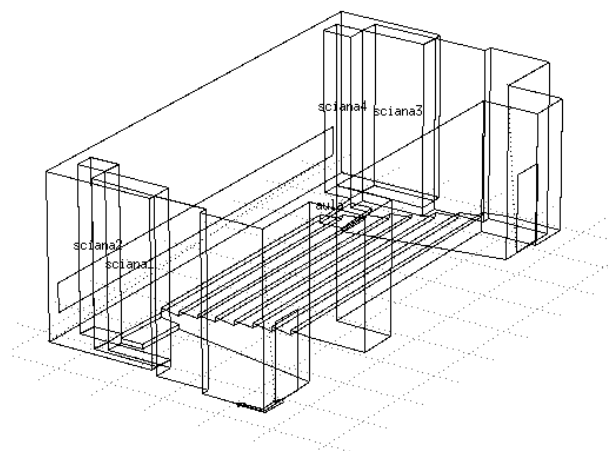
3. PROGRAM DO SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

W obliczeniach symulacyjnych wykorzystano program symulacyjny ESP-r [3], który umożliwia pełną symulację komputerową procesów wymiany masy i energii w budynku, z uwzględnieniem wpływu na te procesy warunków klimatycznych, otoczenia budynku oraz systemów sterowania instalacjami: grzewczą i wentylacyjną. Jednym z modułów programu ESP-r jest moduł do obliczeń akustycznych [4], który wykorzystuje trzy różne podejścia, bazujące na równaniach analitycznych: Sabine'a [5], Eyring'a [6] i Millingtona [7]. Uwzględnia absorpcje fal akustycznych przez powierzchnie otaczające, takie jak ściany, sufit, podłoga, ale również przez ludzi i meble

znajdujące się w pomieszczeniu. Uwzględnienie właściwości pochłaniających powietrza realizowane jest za pomocą modyfikacji klasycznej zależności o czynnik zawierający współczynnik m będący współczynnikiem pochłaniania przez powietrze zgodnie z normą PN – EN 12354-6:2005 [8].

4. SYMULACJA KOMPUTEROWA

W celu przeprowadzenia analizy zbudowano trójprze-strzenny model wnętrza przedstawiony na rysunku 1. Następnie zdefiniowano odpowiednie bazy danych w których znajdują się parametry akustyczne materiałów przypisanych w projekcie określonym powierzchniom analizowanego pomieszczenia. W procesie tworzenia modelu należy określić jeszcze liczbę osób, mebli i wyposażenia znajdującego się w pomieszczeniu. Tak przygotowany model pozwala na obliczenie podstawowych parametrów akustycznych pomieszczenia.



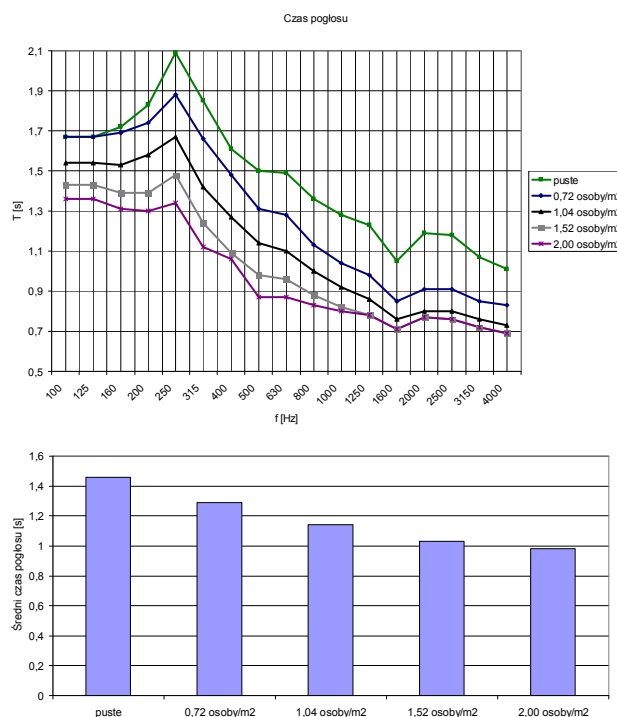
Rys. 1. Obliczeniowy model audytorium.

Fig. 1. Axonometric view (interior plan) of the University lecture theatre.

Materiały użyte do wykończenia wnętrza oraz ich współczynniki pochłaniania przedstawiono w tabelicy 1.

5. WYNIKI SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

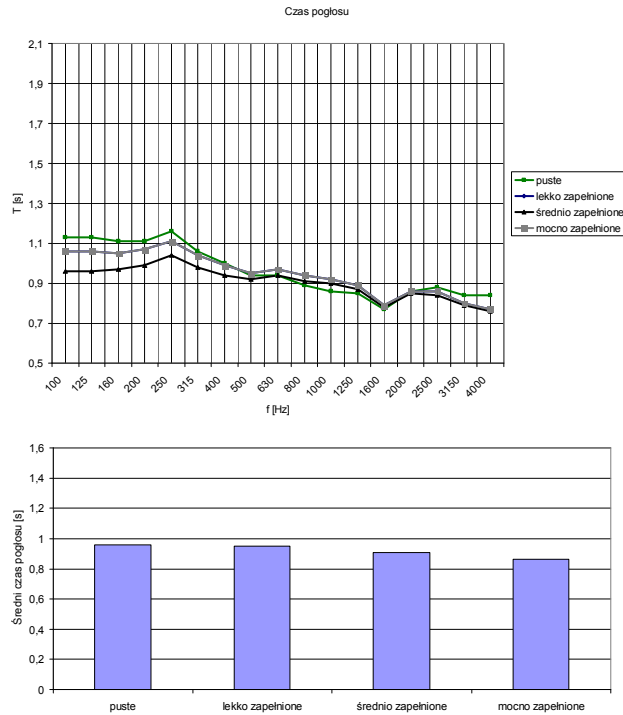
Wartości czasu pogłosu w pasmach częstotliwości oraz średniego czasu pogłosu uzyskane z analizy komputerowej dla geometrii pokazanej na rysunku 1 przedstawiono na rysunkach 2 i 3. Zamieszczono wartości czasu pogłosu obliczone metodą Sabine'a dla częstotliwości w pasmach 1/3 oktaowych 100Hz – 4000Hz oraz średni czas pogłosu w sytuacji gdy zmianie ulega ilość osób przebywających w sali. Program oferuje jeszcze możliwość obliczania czasu pogłosu metodą Eyringa i Millingtona.



Rys.2. Przebieg czasu pogłosu w pasmach 1/3 oktaowych 100Hz – 4000Hz oraz średni czas pogłosu w przypadku pomieszczenia z drewnianymi siedzeniami przy zmiennym zapelnieniu widowni.

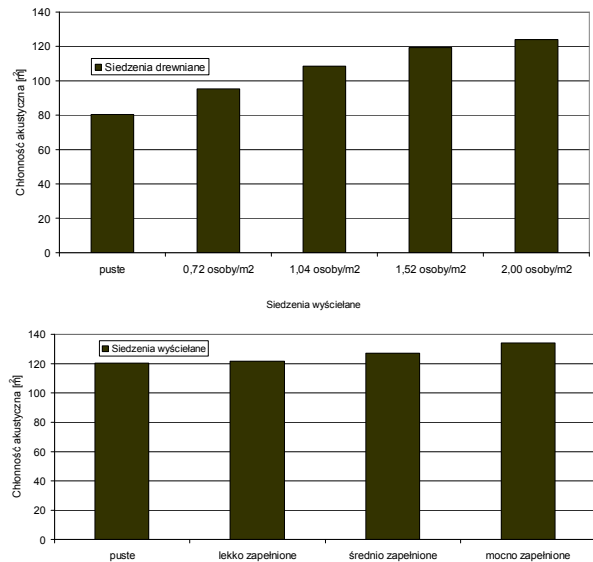
Fig. 2. Calculated reverberation time (Sabine's equation) for a analyzed room with audiences on wooden chairs with inconstant occupation.

Analizowano również całkowitą powierzchnię dźwiękochłonną (chłonność akustyczną) pomieszczenia. Wyniki obu analiza przedstawiono na rysunku 4.



Rys.3. Przebieg czasu pogłosu w pasmach 1/3 oktawowych 100Hz – 4000Hz oraz średni czas pogłosu w przypadku pomieszczenia z wyściełanymi siedzeniami przy zmiennym zapelnieniu widowni.

Fig. 3. Calculated reverberation time (Sabine's equation) for a analyzed room with audiences on heavily upholstered chairs with inconstant occupation.



Rys.4. Obliczona średnia chłonność akustyczna pomieszczenia z drewnianymi i wyściełanymi siedzeniami przy zmiennym zapelnieniu.

Fig. 4. Calculated average air absorption for analyzed room with inconstant occupation.

6. ANALIZA WYNIKÓW

Porównując przebiegi czasów pogłosu w pasmach częstotliwości uzyskane z obliczeń symulacyjnych dla przypadku pomieszczenia z twardymi siedzeniami i pomieszczenia z wyściełanymi siedzeniami można stwierdzić, że korzystniejszy przebieg ma charakterystyka uzyskana w pomieszczeniu z wyściełanymi siedzeniami. Charakterystyka ta wykazuje mniejszą zmienność i oscyluje w pobliżu wartości równej 1 sekundzie.

Wartość średnia czasu pogłosu w pomieszczeniu z wyściełanymi siedzeniami w sytuacji gdy zmianie ulega ilość osób przebywających w sali zmniejsza się nieznacznie. Potwierdza to zmienność średniej chłonności akustycznej. Zmiany w przypadku pomieszczenia z drewnianymi siedzeniami są większe niż w przypadku pomieszczenia z siedzeniami wyściełanymi.

W analizowanym pomieszczeniu przy zmianie zapelnienia widowni średni czas pogłosu zmieniał się w przypadku siedzeń drewnianych o około 0,5s (od 1,46s do 0,98s) a w przypadku siedzeń wyściełanych około 0,1s (od 0,96s do 0,86s).

7. UWAGI KOŃCOWE

W pracy przeanalizowano wpływ zmian zapelnienia widowni na parametry akustyczne audytorium. Obliczano i analizowano parametr najlepiej charakteryzujący akustykę pomieszczenia, jakim jest czas pogłosu. Wybrano czasu pogłosu obliczany metodą Sabine'a.

Aby ograniczyć zmiany czasu pogłosu w zależności od stopnia zapelnienia wnętrza, zaleca się stosowanie miękkich siedzeń, których współczynnik pochłaniania jest porównywalny z współczynnikiem pochłaniania dla osoby siedzącej na takim siedzeniu. W ten sposób można znacznie ograniczyć zmiany czasu pogłosu w zależności od liczby osób w pomieszczeniu.

Charakterystyka czasu pogłosu w pasmach częstotliwości w przypadku siedzeń wyściełanych utrzymuje się na stałym poziomie w całym paśmie częstotliwości w odróżnieniu od charakterystyki w przypadku siedzeń drewnianych.

Zmiany czasu pogłosu nie są znaczne i nie będą miały zasadniczego wpływu na komfort akustyczny tego pomieszczenia. Zmiana czasu pogłosu o około 0,5 sekundy będzie niezauważalna przez użytkowników pomieszczenia.

DEPENDENCES BETWEEN NUMBER OF PEOPLE IN ROOM AND ACOUSTIC CONDITIONS

Summary: The paper presents results of sound transport analysis. The calculation were done using advanced computer simulation program ESP-r. The analysed room was one of the

biggest lecture theatre at Technical University in Lodz, Poland with maximum sitting places for about 120 people. Presented results show the dependences between number of people in room and acoustic conditions (reverberation time and total equivalent area in zone).

Literatura

[1] Berenek L.L.: *Music, acoustics and architectures*. J. Wiley and Sons, New York, 1962
 [2] Ando Y.: *Concert hall acoustics*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 1985
 [3] Clarke J.A.: *Building Performance Simulation Using the ESP-r System*, fifth international IBPSA conference, Building simulation '97, Prague, Czech Republic, 1997

[4] Citherlet S.: *Towards the Holistic Assessment of Building Performance Based on an Integrated Simulation Approach*, PhD Thesis, Lausanne: LESO-PB, EPFL, 2001
 [5] Sabine W.C.: *Collected Papers on Acoustics (Originally 1921)*. Los Altos, CA: Peninsula Publishing, 1993
 [6] Eyring C.F.: *Reverberation time in "dead" rooms*, Journal of the Acoustical Society of America, pp. 217-241, 1930
 [7] Millington: *A Modified formula for reverberation*, Journal of the Acoustical Society of America, vol. 69, pp, 1932
 [8] PN-EN 12354-6: 2005 *Akustyka budowlana - Określanie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów - Część 6: Pochłanianie dźwięku w pomieszczeniach*

Tabela 1. Właściwości akustyczne materiałów wykończeniowych.
 Table 1. One-third octave band acoustic absorption coefficients.

	Częstotliwość [Hz]																
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Materiały																	
Tynk cem.-wap.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Deski drewniane	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Drzwi drewniane	0,22	0,20	0,18	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,10	0,10	0,01	0,08	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05
Linoleum na betonie	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
Płyty drewniane	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10
Osoby i wyposażenie																	
Puste krzesła drewniane	0,10	0,10	0,12	0,14	0,15	0,18	0,26	0,30	0,35	0,40	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46
Osoby siedzące na drewnianych siedzeniach (0.72 os./m ²)	0,10	0,10	0,13	0,17	0,21	0,25	0,32	0,41	0,48	0,57	0,65	0,68	0,71	0,75	0,74	0,73	0,71
Osoby siedzące na drewnianych siedzeniach (1.04 os./m ²)	0,16	0,16	0,20	0,24	0,29	0,37	0,45	0,55	0,63	0,71	0,80	0,84	0,88	0,92	0,91	0,91	0,90
Osoby siedzące na drewnianych siedzeniach (1.52 os./m ²)	0,22	0,22	0,28	0,34	0,38	0,49	0,60	0,71	0,79	0,87	0,95	0,96	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
Osoby siedzące na drewnianych siedzeniach (2.00 os./m ²)	0,26	0,26	0,33	0,40	0,46	0,59	0,63	0,87	0,91	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Krzesła wyściełane	0,44	0,44	0,49	0,55	0,60	0,65	0,70	0,77	0,81	0,85	0,89	0,87	0,85	0,82	0,78	0,75	0,70
Krzesła wyściełane lekko zapelnione	0,51	0,51	0,55	0,59	0,64	0,67	0,71	0,75	0,77	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82	0,82	0,83	0,83
Krzesła wyściełane średnio zapelnione	0,62	0,62	0,65	0,68	0,72	0,74	0,77	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85
Krzesła wyściełane mocno zapelnione	0,72	0,72	0,74	0,77	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90