

BORKOWSKI Bartłomiej¹
OLSZEWSKI Ryszard²
PLUTA Marek³

MOBILNY SYSTEM AUTOMATYCZNEGO POMIARU WŁASNOŚCI AKUSTYCZNYCH DUŻYCH OBIEKTÓW

Procedury pomiarów akustycznych nie zostały dotąd zautomatyzowane. Szczególnie w średnich i dużych pomieszczeniach wymagają dużego nakładu pracy i czasu, co wprost przekłada się na wzrost kosztów ich realizacji. Ponadto, stosowane obecnie techniki pomiarów, polegające na ustawianiu w wybranych punktach statywu z mikrofonem, dają informacje jedynie o małym wycinku pola akustycznego w badanym pomieszczeniu, na których podstawie trudno jest w wiarygodny sposób weryfikować wyniki modeli obliczeniowych. Artykuł zawiera opis powstającego mobilnego systemu pomiarowego dla zastosowań do pomiarów wielkości związanych z akustyką wewnątrz dużych obiektów takich jak poczekalnie dworcowe, hale odpraw lotnisk, hale sportowe czy sale koncertowe.

MOBILE SYSTEM FOR AUTOMATIC MEASUREMENTS OF LARGE OBJECTS ACOUSTIC PROPERTIES

So far, acoustic measurements procedures have not been automated. Particularly in medium and large rooms they require large amount of work and consume large amount of time, directly increasing total costs of room adaptation. Moreover, current measurements techniques, that require positioning of a microphone on a stand in selected spots, provide information only about a small section of acoustic field in the room in question. Such an information is insufficient to reliably verify results obtained from computational models. The paper covers a description of a developed mobile measurement system for measuring quantities related to acoustics of large rooms, such as stations waiting rooms, airports check-in halls, sports halls, and concert halls.

1. WSTĘP

Właściwości akustyczne pomieszczenia mają duży wpływ na jego wartość funkcjonalną [1, 2], dlatego gdy po ukończeniu obiektu okazują się one niezadowalające, dokonuje się bardzo kosztownej i pracochłonnej korekty błędów popełnionych na etapie projektu lub

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Kraków 30-059,
Al. Mickiewicza 30. email: bborkow@agh.edu.pl

² jw. email: olszewsk@agh.edu.pl

³ jw. email: pluta@agh.edu.pl

adaptacji. Ma to szczególne znaczenie w przypadku pomieszczeń o dużej kubaturze, takich jak obiekty dworcowe, hale odlotów, a także hale sportowe, audytoria czy sale koncertowe. Pomimo skrajnie różnego przeznaczenia obiektów, postępowanie jest podobne. Korekta własności akustycznych jest dokonywana w oparciu o pomiary w istniejącym obiekcie oraz o wyniki otrzymane na podstawie modelu obliczeniowego pomieszczenia po uwzględnieniu poprawek. Zatem na równi korzysta się z metody eksperymentalnej, jak i symulacyjnej. Porównując ich wyniki i na podstawie różnic proponuje się odpowiednią adaptację wnętrza. Ważne jest więc, aby wyniki z obydwu metod uzyskane dla tego samego obiektu były zgodne.

W akustyce wnętrz wyróżnia się trzy postacie pola akustycznego, które determinują wybór metody modelowania. Są to:

- pole akustyczne w pomieszczeniu falowo małym,
- pole akustyczne w pomieszczeniu falowo dużym o uporządkowanej strukturze frontów fal,
- pole akustyczne w pomieszczeniu falowo dużym o nieuporządkowanej strukturze frontów fal.

Dla modelowania wymienionych typów pomieszczeń stosuje się odpowiednio następujące metody [4,5,6]:

- metodę falową, metodę elementów skończonych i metodę elementów brzegowych,
- metody geometryczne (promieniową, źródeł pozornych, metodę stożków),
- metodę statystyczną.

Pomiary parametrów akustycznych pomieszczeń najczęściej wykonywane są [3,6,7,8]:

- metodą pomiaru odpowiedzi impulsowej, z wymuszeniem sygnałem MLS (*ang. Maximum Length Sequence*), sygnałem sine-sweep (*falą sinusoidalną przestrajaną przez zadany zakres częstotliwości*), szumem, albo rzeczywistym impulsem (np. wystrzałem),
- metodą pomiaru rozkładu pola akustycznego przy wymuszeniu sygnałem ciągłym.

W przypadku obydwu metod pomiary są dokonywane w ograniczonej i ustalonej arbitralnie liczbie punktów pomiarowych. Procedury pomiarów akustycznych dotąd nie zostały zautomatyzowane, dlatego szczególnie w średnich i dużych pomieszczeniach wymagają dużego nakładu pracy i czasu. W stosowanych obecnie procedurach pomiarowych w wybranych punktach pomieszczenia umieszcza się statyw z mikrofonem. Liczba takich punktów jest ograniczona koniecznością przenoszenia statywu. Zastosowanie w tym celu np. pojazdu jest zwykle niemożliwe ze względu na typowe wyposażenie takich pomieszczeń zależnie od przeznaczenia. Ponadto, wszystkie punkty znajdują się w przybliżeniu na tej samej wysokości względem podłogi. W ten sposób zebrane wyniki dają informacje jedynie o małym wycinku pola akustycznego w badanym pomieszczeniu, więc na ich podstawie trudno jest w wiarygodny sposób weryfikować wyniki modeli obliczeniowych.

Dużą wartość praktyczną wnosi opracowanie zautomatyzowanego systemu do badania akustyki pomieszczeń w całej ich objętości. Przedstawiany system ma w swoim założeniu umożliwić pomiar wybranych parametrów w dowolnie zdefiniowanym zbiorze punktów pomiarowych w całej objętości pomieszczenia. Na podstawie wyników pomiarów szeregu

różnorodnych pomieszczeń możliwa będzie weryfikacja stosowanych w akustyce metod symulacyjnych, co przyczyni się do lepszego poznania zjawisk akustycznych.

2. ZAŁOŻENIA SYSTEMU

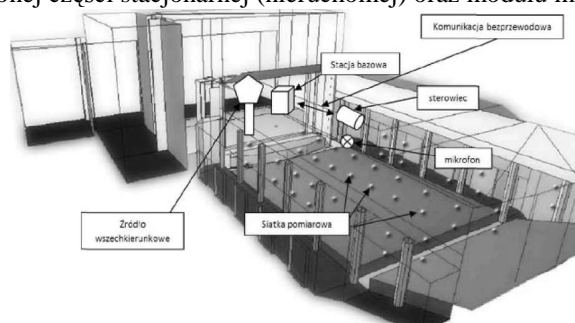
Pole akustyczne w pomieszczeniu można opisać albo na podstawie badań eksperymentalnych, albo w oparciu o szereg istniejących metod obliczeniowych, stosowanych na etapie projektowania budynków, gdy badane pomieszczenie jeszcze nie istnieje. Metody obliczeniowe mają różny zakres stosowalności, a wyniki otrzymywane za ich pomocą są zwykle obciążone dużym błędem, ponieważ w obliczeniach jedynie przybliżany, a niekiedy nawet pomijany jest szereg geometrycznych i materiałowych właściwości pomieszczenia.

Metody eksperymentalne, np. oparte o pomiar odpowiedzi impulsowej, są z kolei bardzo pracochłonne, szczególnie w większych pomieszczeniach, wymagają bowiem przemieszczania aparatury pomiarowej – mikrofonu na statywie – w kolejne punkty pomiarowe. Z tego względu badania takie ogranicza się zwykle do kilku lub kilkunastu punktów znajdujących się na wysokości głów słuchaczy, a ich wyniki obejmują jedynie mały wycinek pola akustycznego w całym pomieszczeniu. O ile w części zastosowań praktycznych jest to wystarczające, o tyle weryfikacja metod numerycznych na podstawie tak niepełnych danych – zebranych w zasadzie wyłącznie w dwóch wymiarach, na jednej wysokości – wydaje się mało wiarygodna.

Został opracowany system do automatycznego pomiaru parametrów akustycznych pomieszczenia tak, aby możliwe było ich wykonanie na dowolnej siatce punktów pomiarowych w trzech wymiarach przestrzennych. Narzędzie to umożliwia weryfikację modeli obliczeniowych oraz znacząco ułatwia pomiary w pomieszczeniach o dużych objętościach oraz w takich, których wyposażenie wewnętrzne (np. elementy rozdzielające obszar wnętrza jak np. barierki, ławki czy fotele na widowni) utrudniają przenoszenie aparatury pomiarowej.

3. ELEMENTY SYSTEMU POMIAROWEGO

Omawiany system został schematycznie przedstawiony na rys. 1. Złożony jest on z umownie określonej części stacjonarnej (nieruchomej) oraz modułu mobilnego.



Rys. 1. Poglądowy schemat systemu pomiarowego

Funkcją części stacjonarnej systemu jest:

- sterowanie częścią mobilną (sterowcem z wyposażeniem),
- generowanie sygnału wymuszającego odpowiedź pomieszczenia (np. MLS, „sweep”, itp.),
- gromadzenie danych pomiarowych,
- synchronizacja sesji pomiarowej, tj. równoczesne pozycjonowanie modułu pomiarowego wzbudzenie źródła wszechkierunkowego i wysłanie sygnału rozpoczęcia rejestracji pomiaru do części mobilnej.

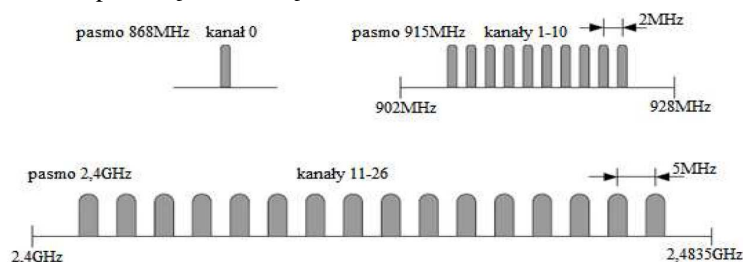
Funkcją części mobilnej jest:

- przemieszczanie elementów rejestrujących dane pomiarowe między wybranymi punktami pomieszczenia,
- rejestracja danych, po otrzymaniu sygnału od części stacjonarnej.

System ma możliwość pracy w oparciu o dane wprowadzane przed sesją pomiarową, obejmujące geometrię pomieszczenia i siatkę pomiarową. Poza regularnymi siatkami punktów pomiarowych możliwe jest wprowadzenie jako punktów pomiarowych dowolnego zbioru punktów przestrzeni trójwymiarowej (siatek „nieregularnych”). Zastosowanie odpowiednich metod statystycznych i właściwie dobranych zbiorów pozwoli uzyskać wyniki o założonej niepewności przy mniejszej liczbie punktów, skracając procedurę pomiaru. Droga sterowca jest automatycznie obliczana i planowana przez część stacjonarną z uwzględnieniem wybranych kryteriów, takich jak:

- czas pomiaru,
- zużycie energii,
- osiągnięcie założonej niepewności wyników.

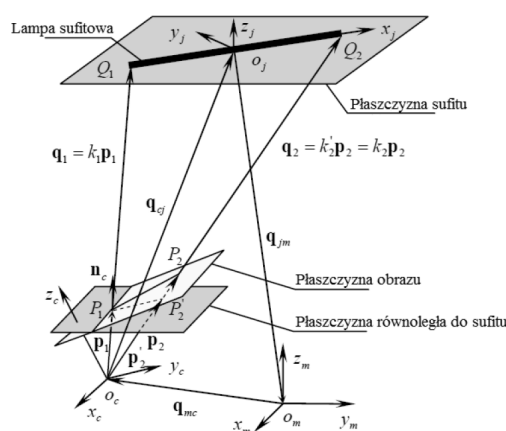
Jednym z istotnych problemów wymagających poprawy rozwiązania w omawianym systemie jest pozycjonowanie części mobilnej. Metodyka określania położenia urządzenia mobilnego jest częstym obiektem prac badawczych [9,10,11,12]. Metody pozycjonowania można podzielić na: pozycjonowanie względne i bezwzględne, jednak w rozważanym przypadku możliwe jest zastosowanie wyłącznie metod bezwzględnych. W metodach względnych po pewnym czasie następuje kumulacja błędów (poślizgów), co prowadzi do dużych niedokładności przy dłuższym pomiarze i dużym pomieszczeniu, a właśnie w takich warunkach system ma pracować. Możliwe do zastosowania metody bezwzględne to systemy pozycjonowania oparte na sieciach bezprzewodowych typu mesh, wykorzystujących ZigBee (rys. 2), systemy wizyjne, systemy satelitarne (GPS) i pozycjonowanie za pomocą ultradźwięków.



Rys. 2. Rozkład częstotliwości i kanałów używanych w protokole ZigBee

Najdokładniejszą lecz zarazem najdroższą metodą ustalania pozycji są systemy wizyjne, ich dokładność waha się w granicach kilku milimetrów. W skład systemów pozycjonowania wizyjnego wchodzi urządzenie rejestrujące otoczenie (kamery), urządzenia do przetwarzania danych, procesory analizujące zebrane dane oraz elementy oświetlające – tzw. oświetlacze.

W obrazie wyszukiwane są markery (specjalnie w tym celu umieszczone w pomieszczeniu symbole, ale też np. lampy, rys. 3), na podstawie których obliczana jest pozycja przemieszczanego obiektu (np. sterowca). Pozostałe metody są tańsze lecz ich dokładność jest mniejsza i wynosi około 25cm dla sieci bezprzewodowych, 1m dla ultradźwięków i powyżej 4m dla GPS.



Rys. 3. Związek pomiędzy współzrędnymi kamery a pojedynczą lampą oświetlającą

Jako alternatywa dla planowanego pierwotnie radiowego systemu pozycjonowania rozważany jest odmiana systemu pozycjonowania wizyjnego, w oparciu o projektor siatki i kamerę stereoskopową. Rozwiązanie to podniesie masę elektroniki podwieszanej na sterowcu i zwiększy złożoność obliczeń koniecznych do wykonania w czasie rzeczywistym podczas przemieszczania sterowca, ale zlikwiduje konieczność rozstawiania w pomieszczeniu elementów systemu orientacji i pozycjonowania, skracając procedurę badań. Możliwe jest tutaj zastosowanie przetestowanych rozwiązań, stosowanych obecnie w przemyśle gier komputerowych – kontrolerów używanych w konsolach do gier siódmej generacji.

System jest na bieżąco wyposażany w cały szereg narzędzi programowych, których główną rolą będzie sterowanie procedurą pomiaru, kontrola położenia i przemieszczania części mobilnej, a także częściowa obróbka danych. Są to m.in.:

- aplikacja do definiowania badanej przestrzeni i siatki pomiarów,
- aplikacja do planowania drogi sterowca z optymalizacją względem zadanych kryteriów,
- aplikacja do synchronizacji wszystkich elementów systemu podczas pojedynczego pomiaru,
- aplikacja kontrolująca rejestrację i transmisję danych,

- system gromadzenia i wstępnego przetwarzania danych pomiarowych.

4. PODSUMOWANIE

Zaletą opisywanego systemu jest możliwość prowadzenia badań z jednego miejsca przez jedną osobę i uzyskiwanie w relatywnie krótkim czasie wyników z dużej liczby punktów pomiarowych o dokładnie znanych położeniach. Wyniki mogą być zapisywane w formacie pozwalającym na ich łatwy import do narzędzi obliczeniowych. Same narzędzia obliczeniowe mogą być częścią wyposażenia systemu, podając część wyników już w trakcie przeprowadzania pomiarów.

System zaprojektowano jako rozwiązanie otwarte, i jako taki jest sukcesywnie rozbudowywany oraz ulepszany w oparciu o zdobyte z nim doświadczenia. Może on równie dobrze służyć do badań w różnorodnych pomieszczeniach w celu zwiększania bazy wyników eksperymentalnych i tym samym umożliwienia testowania modeli obliczeniowych w bardziej różnorodnych warunkach architektonicznych.

Pracę wykonano w ramach realizacji prac statutowych nr 11.11.130.885

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Engel Z., Engel J., Kosała K., Sadowski J.: *Podstawy akustyki obiektów sakralnych*, Instytut Technologii Eksploatacji - PIB, 2007.
- [2] Beranek L.: *Concert and Opera Halls. How they sound*, American Institute of Physics for Acoust. Soc. OfAm., 1996.
- [3] Kuttruff H.: *Room Acoustics (Fifth Edition)*, Spon Press, London & New York, 2009.
- [4] Fahy F.: *Foundation of engineering acoustics*, Academic Press, San Diego 2000.
- [5] Kulowski A., *Numeryczne modele pola akustycznego w pomieszczeniu*, Przegląd Techniki, Radia i Telewizji, z. 62, s.47-55, 1987.
- [6] Kulowski A.: *Akustyka sal*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2007.
- [7] Wróblewska D., Kulowski A.: *Czynnik akustyki w architektonicznym projektowaniu kościołów*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2007.
- [8] Cremer L, Muller H. A., *Principles and application of room acoustics*, Vol. 1, Vol. 2, Applied Science Publishers, London 1982.
- [9] Boernstein J., Everett H. R., Feng L., Wehe D., *Mobile Robot Positioning - Sensors and Techniques*, Journal of Robotic Systems, Special Issue on Mobile Robots. Vol. 14 No. 4, pp. 231 – 249.
- [10] Esko O. D., *Indoor Ultrasonic Position Estimation Using a Single Base Station*, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2004.
- [11] Hanafiah Y., *Robot Localization and Map Building*, ISBN: 978-953-7619-83-1, InTech, Marzec 2010.
- [12] Kuk Ch., JinOK S., Min-Sung K., WoongHee S., Sangdeok P., *Indoor Flying Robot Control and 3D Indoor Localization System*, Mat. Konferencyjne 11th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modeling and Simulation, Istanbul, Turcja, Maj 30 - Czerwiec 1, 2009.