

POMIAR ROZKŁADU WEKTORA NATĘŻENIA DŹWIĘKU W POBLIŻU DYFUZORA AKUSTYCZNEGO WERYFIKOWANY SYMULACJĄ KOMPUTEROWĄ

Adam KUROWSKI¹, Józef KOTUS², Bożena KOSTEK⁴, Andrzej CZYŻEWSKI³

Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Systemów Multimedialnych

1. tel.: (58) 347-16-36, e-mail: adakurow@sound.eti.pg.gda.pl

2. tel.: (58) 347-29-72, e-mail: joseph@sound.eti.pg.gda.pl

3. tel.: (58) 347-13-01, e-mail: andcz@sound.eti.pg.gda.pl

4. Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Laboratorium Akustyki Fonicznej

tel.: (58) 347-27-17, e-mail: bokostek@audioakustyka.org

Streszczenie: Projektowanie adaptacji akustycznej pomieszczeń jest złożonym procesem, który wymaga możliwości przewidywania wpływu zastosowanych ustrojów akustycznych na sposób propagacji fal akustycznym w pomieszczeniu. Przykładem ustroju stosowanego do korekcji akustyki pomieszczeń jest dyfuzor akustyczny. Niniejsza praca opisuje proces pomiaru oraz numerycznej symulacji rozkładu wektora natężenia dźwięku w pobliżu dyfuzora. Analiza tego rozkładu pozwala zaobserwować zjawisko transportu energii akustycznej w pobliżu badanego obiektu. Wyniki badań przedstawiono w formie graficznej. Przygotowane zostały także mapy różnic pomiędzy rozkładem wektora natężenia dźwięku zmierzonego bez i z dyfuzorem. Jako obiekt referencyjny wykorzystana została płaska powierzchnia odbijająca. Dzięki takiemu podejściu możliwe było zaobserwowanie i opisanie wpływu zjawiska rozproszenia dźwięku przez dyfuzor na rozkład otaczającego pola akustycznego.

Słowa kluczowe: dyfuzor akustyczny, akustyka pomieszczeń, wektor natężenia akustycznego, metoda elementów brzegowych.

1. WPROWADZENIE

Techniki projektowania adaptacji akustycznej pomieszczeń są jednym z zagadnień wchodzących w skład akustyki pomieszczeń. W dziedzinie tej prowadzonych jest wiele badań mających na celu, między innymi, opracowanie nowych sposobów projektowania i poprawy właściwości akustycznych pomieszczeń [1]. Istnieje kilka klas ustrojów stosowanych w celu modyfikacji akustyki pomieszczeń. W zależności od budowy i sposobu wpływania na dźwięk ustroje zasadniczo można podzielić na dwa rodzaje: absorbery oraz dyfuzory. Absorbery mają na celu pochłanianie energii padających na nie fal akustycznych. Mogą one bazować na zastosowaniu materiałów porowatych lub wykorzystaniu zjawiska rezonansu, które jest szczególnie przydatne do wytłumiania najniższych częstotliwości [2]. Z kolei dyfuzory wpływają na akustykę pomieszczenia poprzez zjawisko rozpraszania fali akustycznej. Są one wykorzystywane między innymi w przypadkach, gdy konieczne jest wyrównanie rozkładu pola akustycznego w pomieszczeniu [3]. Zaletą ich zastosowania jest fakt, że dyfuzor nie wprowadza tłumienia dźwięku lub wprowadza je w niewielkim stopniu. Ma zatem wpływ na równomierność rozkładu pola akustycznego w funkcji częstotliwości [1,3]. Jednym z popularnych

rodzajów konstrukcji jest dyfuzor Schroedera, który jest elementem rozpraszającym, składającym się z szeregu zagłębień wykonanych w materiale odbijającym dźwięk. Ich głębokość może być obliczona m.in. za pomocą metody pierwiastka pierwotnego, gdzie głębokość wnęki dyfuzora o indeksach (n, m) dana jest wzorem:

$$\bar{h}(k) = \left(\left[r^n + r^m \right] \bmod p \right) \cdot s, \quad (1)$$

gdzie $\bar{h}(k)$ oznacza głębokość k -tego zagłębienia, p jest nieparzystą liczbą pierwszą, r jest pierwiastkiem pierwotnym liczby pierwszej p , a s jest najmniejszą różnicą wysokości pomiędzy zagłębieniami. Dyfuzor wykonany według tego sposobu nazywany jest dyfuzorem PRD (ang. *Primitive Root Diffuser*) [3]. Przewidywanie dokładnych efektów adaptacji akustycznej pomieszczeń z wykorzystaniem dyfuzorów może być pracochłonne. Jedną z technik umożliwiających projektowanie akustyki pomieszczenia jest komputerowe modelowanie rozkładu wektora natężenia dźwięku w pobliżu ustroju akustycznego za pomocą metody elementów brzegowych (ang. *Boundary Element Method, BEM*) [2]. Podejście to ma kilka zalet. Obliczenia numeryczne pozwalają na szybką wstępną weryfikację wielu różnych podejść do danego problemu. Rozważanie pola akustycznego w formie rozkładu wektora natężenia dźwięku pozwala skupić się na zjawiskach transportu energii w pobliżu dyfuzora oraz w pozostałej części pomieszczenia. Poprzez numeryczną analizę rozkładu natężenia dźwięku możliwe jest lokalizowanie strzałek oraz węzłów fal stojących i lokalizacja obszarów pomieszczenia, które wymagają interwencji poprzez wprowadzenie odpowiedniego ustroju akustycznego. Ze względu na ograniczenia metod numerycznych konieczna jest walidacja uzyskanych wyników obliczeniowych za pomocą rzeczywistych pomiarów rozkładu wektora natężenia dźwięku. Pomiaru takie przeprowadza się z wykorzystaniem sondy natężeniowej – specjalistycznego czujnika akustycznego do pomiaru wektora natężenia dźwięku [4]. Przeprowadzenie walidacji modelu komputerowego w oparciu o rzeczywiste pomiary akustyczne umożliwia dobranie właściwych parametrów symulacji. Sprawdzony eksperymentalnie model

obliczeniowy umożliwia wiarygodną i skuteczną ocenę projektowanej adaptacji akustycznej.

2. POMIARY

W niniejszej publikacji analizie za pomocą pomiarów oraz symulacji komputerowej został poddany dwuwymiarowy dyfuzor Schroedera wykonany z drewna sosnowego. Składa się on z 255 elementów, a jego wysokość w zależności od miejsca pomiaru waha się w zakresie od 2,5 cm do 21 cm. Wymiary podstawy dyfuzora to 52 cm na 58,5 cm. Projekt dyfuzora opiera się na propozycji przedstawionej w raporcie BBC [5], modyfikacją w stosunku do pierwowzoru jest powiększenie dyfuzora poprzez powtórzenie u dołu, w lustrzanym odbiciu, elementów trzech górnych wierszy. W podobny sposób powtórzone są też po prawej stronie trzy lewe kolumny oryginalnego projektu. Deklarowane pasmo, w którym badany ustrój rozprasza fale akustyczne, to zakres częstotliwości od 860 Hz do 3440 Hz. Sygnałem pomiarowym, wykorzystanym w trakcie badań, jest wieloton składający się z częstotliwości 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz oraz 8 kHz. Pomiar został wykonany w warunkach zbliżonych do pola swobodnego zapewnianych przez komorę bezechową. Zrealizowane zostały trzy scenariusze pomiaru:

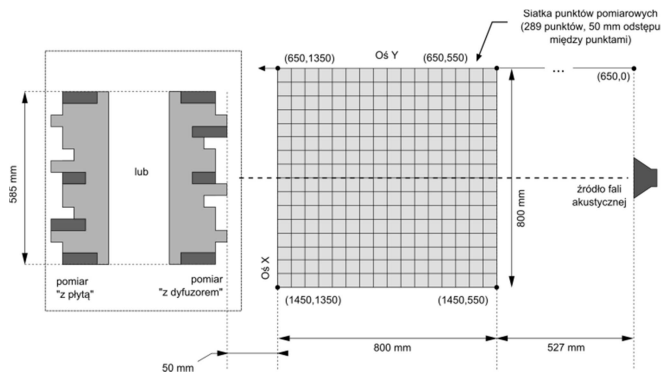
- dyfuzor ustawiony powierzchnią rozpraszającą w kierunku źródła fali,
- dyfuzor ustawiony płaską, tylną częścią w kierunku źródła fali,
- pomiar rozkładu pola akustycznego bez dyfuzora.

Mierzony jest rozkład wektora natężenia dźwięku \vec{I} . Wielkość ta dana jest wzorem [4]:

$$\vec{I} = p \cdot \vec{v} \quad (2)$$

gdzie p oznacza ciśnienie akustyczne w miejscu pomiaru, a \vec{v} oznacza wektor prędkości akustycznej cząstek. Pomiar wykonany został za pomocą sondy natężeniowej typu p-u firmy Microflown mierzącej trzy składowe wektora prędkości akustycznej za pomocą ortogonalnie zorientowanych mikroprzepływomierzy MEMS oraz ciśnienie akustyczne za pomocą konwencjonalnego przetwornika [4]. Wielkości te służą następnie do obliczenia składowych wektora natężenia dźwięku zgodnie ze wzorem (2). Pozycjonowanie sondy w kolejnych punktach w przestrzeni zostało zrealizowane za pomocą robota kartezyjskiego sterowanego przez komputer wyposażony w autorskie oprogramowanie zarządzające zautomatyzowanym procesem pomiaru [6]. Ścieżka, po której poruszał się czujnik pomiarowy została wcześniej obliczona, także za pomocą dedykowanego algorytmu, który uwzględnia techniczne uwarunkowania i wymogi wynikające z konstrukcji robota oraz usytuowanie badanego ustroju akustycznego w obszarze ruchu sensora pomiarowego [6]. System pomiarowy oraz algorytm obliczania tras zostały dokładniej opisane w publikacji [6]. Analogowe sygnały dostarczane przez sondę pomiarową zostały zarejestrowane w postaci cyfrowej z wykorzystaniem karty pomiarowej PXIe-4498 firmy National Instruments. Sygnał pomiarowy odtwarzano z komputera PC za pomocą zewnętrznego interfejsu audio Maya44 USB. Jako źródło fali akustycznej wykorzystany został pasywny monitor odsłuchowy Tannoy Reveal 601p współpracujący ze wzmacniaczem RT SLA-4. Zebrane w trakcie pomiarów sygnały i pochodzące z nich

dane również zostały przetworzone przez dedykowane oprogramowanie. Pomiar wykonano na wysokości 123,4 cm od podłogi komory bezechowej, na której umieszczone były ustroje rozpraszająco-pochłaniające o wysokości 45 cm. W pomiarach wstępnych wysokość umieszczenia sondy pomiarowej była mniejsza, co spowodowało zafałszowanie zjawisk zachodzących w pobliżu ustrojów akustycznych. Zostało to zidentyfikowane i skorygowane w procesie symulacji za pomocą metody elementów brzegowych. Sposób pomiaru został przedstawiony schematycznie na rysunku 1. Kontrolny pomiar powierzchni odbijającej w postaci płyty został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie sytuacji pomiarowej (widok z góry). Zaznaczone zostały punkty odniesienia dla układu współrzędnych robota, które wykorzystano do wizualizacji wyników pomiarów i symulacji



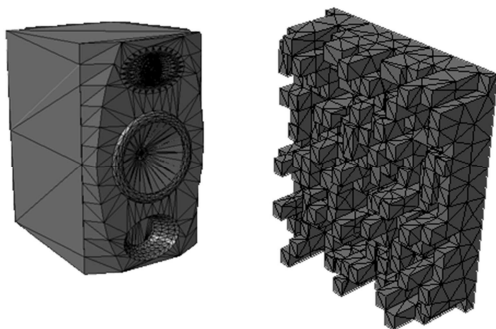
Rys. 2. Pomiar oddziaływania tylnej, płaskiej części dyfuzora (płyty). Pomiar na wysokości wynoszącej 123,4 cm od podłogi komory bezechowej do dolnej krawędzi dyfuzora. Na fotografii widoczne jest także źródło fali akustycznej (monitor odsłuchowy)

Wartość wektora natężenia dźwięku została zmierzona w 289 punktach. Pojedynczy pomiar, z uwzględnieniem procesu pozycjonowania ramienia robota, trwał około 5 sekund. Wymiary zmierzonego obszaru to 80 cm na 80 cm. Odległość między punktami wyniosła 5 cm.

3. SYMULACJA

W celu obliczenia rozkładu pola akustycznego w pobliżu badanego dyfuzora wykorzystana została pośrednia metoda elementów brzegowych (ang. IBEM). Obliczenia zostały wykonane za pomocą programu LMS Virtual Lab firmy Siemens [7]. Do tego celu wykorzystano dane opisujące zastosowane w trakcie pomiarów źródło fali akustycznej [8]. Dane te obejmowały: trójwymiarowy model geometrii wykorzystanego monitora odsłuchowego oraz warunki brzegowe definiujące sposób promieniowania przez

monitor poszczególnych składowych częstotliwościowych sygnału pomiarowego. Założono, że przetwornik niskotonowy promieniuje sygnały sinusoidalne o częstotliwości 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz oraz 2 kHz. Dla przetwornika wysokotonowego przyjęto, że emitowane będą częstotliwości: 2 kHz, 4 kHz oraz 8 kHz. Przygotowane na potrzeby symulacji modele trójwymiarowe pokazane zostały na rysunku 3. Model dyfuzora składa się z 1176 wierzchołków, model monitora odsłuchowego z 1737 wierzchołków.



Rys. 3. Trójwymiarowe modele obiektów istotnych z punktu widzenia propagującej się fali akustycznej: monitora odsłuchowego (po lewej) i dyfuzora (po prawej)

Właściwości akustyczne materiału dyfuzora zostały dobrane na podstawie przeglądu literatury, impedancja akustyczna obudowy monitora odsłuchowego znana była z wcześniejszych prac [8, 9]. Za impedancję akustyczną obudowy monitora odsłuchowego przyjęto wartość $13,8 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Jako wartość impedancji dyfuzora wykonanego z drewna sosnowego przyjęto wartość $5 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Założono, że impedancje akustyczne materiałów są stałe w funkcji częstotliwości, a prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 340 m/s. Ze względu na zwiększenie wysokości warstwy punktów pomiarowych możliwe było symulowanie zjawisk zachodzących podczas pomiaru tylko z modelem geometrii źródła i dyfuzora oraz odwzorowaną siatką punktów, dla których przeprowadzone zostały obliczenia. Po każdym pomiarze pola akustycznego przygotowywano powiązaną z nimi symulację komputerową. Z tego względu możliwa była bieżąca weryfikacja wyników pomiarów.

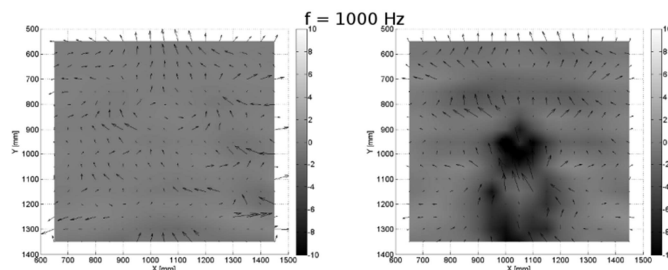
4. WYNIKI

Wyniki pomiarów i symulacji zobrazowano jako mapy w skali szarości z naniesionymi wartościami wektora natężenia dźwięku zmierzonymi dla poszczególnych punktów pomiarowych. Aby bardziej uwidocznić wpływ obiektów znajdujących się w polu akustycznym, obliczono pola różnicowe według wzoru (3):

$$\vec{I}_{diff} = \vec{I}_{zp} - \vec{I}_{bp} \quad (3)$$

gdzie przez \vec{I}_{diff} oznaczony jest rozkład pola różnicowego, \vec{I}_{zp} oznacza rozkład pola zmierzony w obecności przeszkody, zaś \vec{I}_{bp} - rozkład pola zmierzony bez przeszkody. Tego typu zabieg pozwala uwypuklić wpływ

badanej przeszkody na kształt obserwowanego pola akustycznego. Jednocześnie pozwala on o wyeliminowanie czynników zewnętrznych zaistniałych w trakcie pomiaru, gdyż są one uwzględnione w rozkładzie \vec{I}_{bp} , co sprawia, że w rozkładzie różnicowym \vec{I}_{diff} ich wpływ jest wyeliminowany. W niniejszej publikacji przedstawione zostały graficzne zobrazowania wyników symulacji i pomiarów. Wykonane zostały także analizy za pomocą matematycznych miar zmienności rozkładu pola akustycznego. Wpływ różnych ustrojów akustycznych na rozkład natężenia dźwięku może być także pokazany za pomocą różnicowego rozkładu wektora natężenia dźwięku wyliczonego za pomocą wzoru (3). Porównanie takie pokazano na rysunku 4. Pokazuje on zmierzone pola różnicowe powiązane z dyfuzorem oraz płaską, gładką płytą dla częstotliwości 1 kHz.



Rys. 4. Porównanie zmierzonych rozkładów pól różnicowych badanego dyfuzora oraz (rysunek lewy) drewnianej płyty (rysunek prawy) dla częstotliwości 1 kHz. Odcień szarości oznacza poziom modułu różnicowego wektora rozkładu natężenia dźwięku, strzałki wskazują kierunek wektora

W otoczeniu dyfuzora zaobserwowano pole różnicowe o mniejszych wartościach i nieregularnej strukturze. Aby dokładniej porównać dynamikę zmian pola w obydwu przypadkach, przeprowadzono analizę trzech parametrów. Pierwszym z nich jest stosunek skumulowanej wartości ekspozycji względnej rozważanych pól, obliczonej z modułu poziomu natężenia dźwięku, co pokazuje wzór (4):

$$r_e = \sum_{(x,y) \in P} 10^{0,1|\vec{I}_P(x,y)|} / \sum_{(x,y) \in P} 10^{0,1|\vec{I}_D(x,y)|}, \quad (4)$$

gdzie przez I_D oznaczono rozkład w pobliżu dyfuzora, przez I_P rozkład w pobliżu płyty, a sumy obliczane są dla wszystkich punktów \vec{x} znajdujących się w płaszczyźnie pomiaru oznaczonej przez P . Drugim parametrem jest stosunek różnic zakresów zmian wartości poziomu natężenia dźwięku, obliczonej za pomocą zależności (5):

$$r_l = \Delta I_P - \Delta I_D, \quad (5)$$

gdzie przez ΔI oznaczono różnicę między maksymalną a minimalną wartością rozkładu. Ostatnią rozważaną wartością jest stosunek odchylenia standardowego rozkładu poziomu wektora natężenia dźwięku rozkładu z płytą do rozkładu z dyfuzorem, który wyraża się wzorem (6):

$$r_\delta = \delta_P / \delta_D, \quad (6)$$

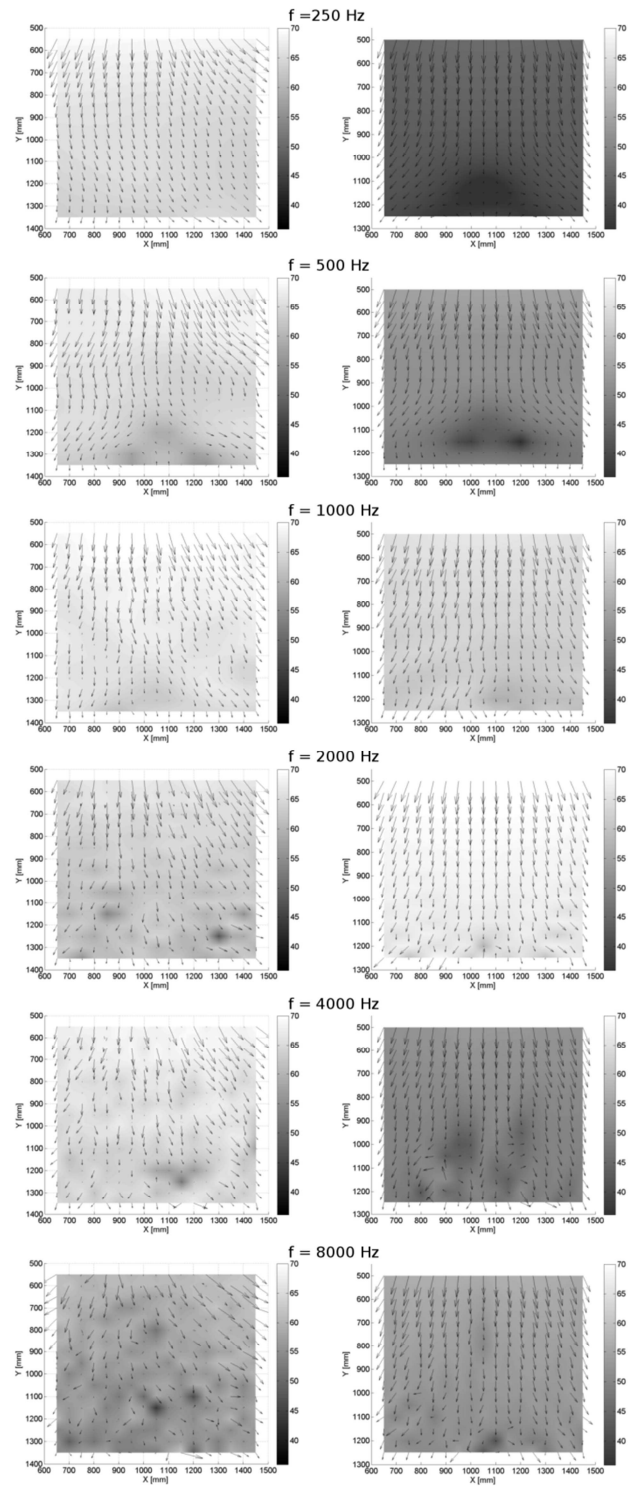
gdzie δ_P jest odchyleniem standardowym rozkładu pola akustycznego w pobliżu płyty, a δ_D jest analogicznym

parametrem rozkładu w pobliżu dyfuzora. Otrzymane wartości dla poszczególnych badanych częstotliwości zostały przedstawione w Tabeli 1. Dla częstotliwości skrajnych (250 Hz i 8 kHz) uzyskano zbliżone wyniki charakteryzujące oba ustroje akustyczne, jednak w miarę zbliżania się do częstotliwości 1 kHz, rozkłady pola w pobliżu ustrojów zaczynają coraz bardziej się od siebie różnić. Dla częstotliwości 1 kHz skumulowana wartość ekspozycji jest ponad półtora razy większa dla przypadku z płytą, zakres zmian wartości poziomu natężenia dźwięku jest większy o ponad 14 dB, a odchylenie standardowe w przypadku płyty jest 20 razy większe, niż dla pola w pobliżu dyfuzora.

Tabela 1. Zestawienie parametrów porównawczych rozkładów pola z płytą oraz dyfuzorem.

	częstotliwość [Hz]					
	250	500	1000	2000	4000	8000
r_e [-]	1,01	1,24	1,68	1,11	1,33	1,07
r_l [dB]	1,66	1,75	14,26	0,82	0,96	0,67
r_δ [-]	1,56	2,06	20,02	1,28	1,74	0,89

Dla częstotliwości 500 Hz, 4 kHz i 8 kHz uzyskano wyniki pośrednie w stosunku do pozostałych częstotliwości. Wpływ badanego ustroju na pole akustyczne w jego pobliżu ma charakter selektywny na osi częstotliwości, który w zbiorze badanych częstotliwości pobudzeń osiąga maksimum dla wartości 1 kHz. Pole związane z płytą jest symetryczne i charakteryzuje się rozbudowanymi obszarami występowania destruktywnej interferencji sygnału bezpośredniego i odbitego. Kształt ten wynika z faktu powstania fali stojącej przed płaskim elementem i interferencji fali padającej i odbitej. Powstały wzór interferencyjny jest widoczny w polu różnicowym w postaci symetrycznej struktury przed badanym obiektem. Porównanie wyników pomiaru z wynikami symulacji komputerowej w przypadku ustawienia dyfuzora stroną rozpraszającą fale w kierunku źródła pokazane zostało na rysunku 5. Zobrazowano wyniki dla wszystkich częstotliwości sinusoidalnych składowych sygnału pobudzającego. Dla skrajnych częstotliwości pobudzenia o wartościach 250 Hz i 8 kHz nie obserwuje się rozproszenia pola akustycznego. W przypadku częstotliwości 500 Hz oraz 4 kHz widoczne są jeszcze wyraźne obszary destruktywnej interferencji. Dla częstotliwości 1 kHz i 2 kHz zarówno pole symulowane, jak i pole zmierzone są jednorodne. Są to częstotliwości, dla których badany dyfuzor wywiera największy efekt na otaczające go pole akustyczne. Rozkład pola został z dobrym skutkiem zasymulowany za pomocą metody elementów brzegowych. W przypadku obliczeń rozkład jest bardziej symetryczny, większe są także różnice pomiędzy maksymalną i minimalną wartością modułu wektora natężenia dźwięku. W przypadku pomiaru na kształt pola wpływ wywierały dodatkowe czynniki takie, jak niejednorodności ośrodka propagacyjnego. W symulacji metodą elementów brzegowych zakłada się całkowitą liniowość medium propagacyjnego.



Rys. 5. Wizualizacja wyników pomiarów (po lewej) i symulacji (po prawej) dla wybranych częstotliwości sygnału pobudzającego.

Odcień szarości oznacza poziom modułu wektora natężenia dźwięku, strzałki wskazują kierunek wektora

5. WNIOSKI

Przeprowadzone pomiary oraz obliczenia numeryczne umożliwiły potwierdzenie działania badanego ustroju akustycznego w deklarowanym paśmie częstotliwości. Poprzez porównanie rozkładu pola w obecności dyfuzora i płaskiej, odbijającej płyty udało się pokazać, że badany dyfuzor rozprasza pole akustyczne i nie dopuszcza do formowania się tak wyraźnych interferencji, jak dzieje się to w przypadku płyty. Pole różnicowe związane z dyfuzorem charakteryzuje się mniejszymi wartościami bezwzględными

modułu natężenia dźwięku oraz mniej symetryczną strukturą. Wnioski te można uogólnić i tym samym potwierdzić potrzebę stosowania adaptacji akustycznej w formie dyfuzorów. Należy przy tym pamiętać, aby dobrać parametry dyfuzora do zakresu częstotliwości, w którym planowane jest wyrównanie rozkładu pola akustycznego. Warto także zwrócić uwagę, że w przypadku niezgodności między pomiarem i symulacją konieczna jest analiza poprawności zarówno procedury pomiarowej, jak i procesu symulacji badanego zjawiska.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kamisiński, T., Correction of Acoustics in Historic Opera Theatres with the Use of Schroeder Diffuser, *Archives of Acoustics*, 37 (3), 349-354, 2012.
2. Cox T., D'Antonio P.: *Acoustic Absorbers and Diffusers*, Taylor & Francis Group, New York, 2009.
3. Everest F., Pohlman K., *Master Handbook of Acoustics*, Fifth edition, McGraw-Hill, New York, 2009.
4. Jacobsen F., de Bree H-E., A Comparison of Two Different Sound Intensity Measurement Principles, *J. Acoust. Soc. Am.* 118 (3), 1510-1517, 2005.
5. [BBC_rep] Walker, R., The design and application of modular, acoustic diffusing elements, raport badawczy BBC nr 1990-15, 1990, dostępny w sieci Internet pod adresem:

<http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/reports/1990-15.pdf> (data dostępu: 14.11.2016)

6. Szczodrak M., Kurowski A., Kotus J., Czyżewski A., Kostek B., A System for Acoustic Field Measurement Employing Cartesian Robot, *Metrology and Measurement systems* 24 (3), 2016.
7. Siemens PLM Software, LMS Virtual.Lab Acoustics for Acoustic Simulation, http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/lms/virtual-lab/acoustics/boundary-element-acoustics.shtml (data dostępu: 30.06.2016).
8. Kurowski A., Kotus J., Kostek B., Czyżewski A., Numerical Modeling of Sound Intensity Distributions around Acoustic Transducer, 140th AES Convention, Paris, France, 2016.
9. Kretschmann, D., *Mechanical Properties of Wood*, Wood Handbook: Wood as an Engineering Material, raport techniczny, United States Department of Agriculture Forest Service, 2010.

7. PODZIĘKOWANIA

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji nr DEC-2012/05/B/ST7/02151.

NUMERICAL SIMULATION OF THE SOUND INTENSITY DISTRIBUTION IN THE PROXIMITY OF THE ACOUSTIC DIFFUSER

Acoustic treatment of rooms is a complex task which is often connected with simulation of the impact of used acoustic systems on the propagation of sound waves in the place of interest. An example of such sound system is the acoustic diffuser. In this work, we present a process of the measurement and numerical simulation of the sound intensity vector distribution in the proximity of the acoustic diffuser. This distribution may provide useful information related to the phenomena of energy transport in the sound field surrounding the diffuser. Results of the measurement and simulation are visualized in the form of grayscale maps of the sound intensity vector absolute value and arrows denoting its direction and sense. There are three types of measured sound field: one without any obstacle in front of the sound source, one with the diffuser placed in front of the source and the last one with the smooth reflecting plate in front of the source. The second and the third scenarios are used as references for the first measurement. Such an approach allowed the calculation of the map of differences between the acoustic field with the obstacle and without the obstacle in front of the sound source and a better visualization of the impact of those acoustic devices on the sound field.

Keywords: acoustic diffuser, room acoustics, sound intensity vector, boundary element method.

