

ANALIZA PÓL AKUSTYCZNYCH W POMIESZCZENIACH PRZEMYSŁOWYCH

Waldemar PASZKOWSKI

Streszczenie: Artykuł jest próbą wykorzystania metod symulacji dźwięku do analizy pól akustycznych pomieszczeń przemysłowych. Przeprowadzono analizę rozkładu pól akustycznych symulowanych geometrycznymi metodami modelowania rozchodzenia się dźwięku na przykładzie modelu dużego i małego pomieszczenia. Na podstawie otrzymanych wyników badań zaproponowano uwzględnienie energetycznych zjawisk falowych w analizach pól akustycznych małych pomieszczeń przemysłowych.

Słowa kluczowe: modelowanie, źródła dźwięku, pole akustyczne, zjawiska falowe.

1. Wprowadzenie

W modelowaniu pól akustycznych wykorzystywane są przybliżone metody, których stosowanie uzależnione jest przede wszystkim kształtem i wymiarami pomieszczeń. Wykorzystywane dotychczasowe metody modelowania pól akustycznych dotyczą przypadków uproszczonych, dla których określone są zakresy stosowalności obliczeniowej. Rozkład energii akustycznej od źródeł dźwięku w przestrzeniach ograniczonych wynika głównie ze stosunku między wymiarami pomieszczenia, a długością fal wypromieniowanych. Podstawowe uproszczenie stosowanych metod modelowania pól akustycznych polega na założeniu stabilności parametrów akustycznego pola w czasie. Powszechnie w ocenie pól akustycznych pomieszczeń stosuje się modelowanie pól akustycznych z wykorzystaniem metod geometrycznych, w których przyjmuje się promieniste rozchodzenie dźwięku ze źródeł dźwięku. W modelowaniu geometrycznym wykorzystuje się analizę odbić zwierciadlanych czoła fali kulistej od powierzchni ograniczających. Inaczej zachodzi rozkład energii akustycznej dla pola bliskiego i dalekiego ze względu na długość fali w stosunku do wymiarów pomieszczenia. Metody modelowania geometrycznego nie uwzględniają aspektów zachodzenia zjawisk o postaci energetycznej w odniesieniu do zmienności charakteru pola. Podjęcie badań w tym zakresie będzie próbą zidentyfikowania występowania zjawisk akustycznych w pomieszczeniach przemysłowych. Istotne będzie przeprowadzenie oceny uwzględnienia wpływu zjawisk akustycznych na dotychczasowo otrzymane wyniki metodami geometrycznymi, w zależności od wielkości pomieszczeń.

2. Modelowanie pól akustycznych metodami geometrycznymi

Dla potrzeb oceny właściwości pola akustycznego w zależności od wielkości geometrycznych pomieszczeń przemysłowych przeprowadzono odpowiednio badania rozchodzenia się dźwięku na kilku przykładach.

W szczególności, badania obejmowały analizę rozchodzenia się dźwięku w dużym i

małym pomieszczeniu przy zachowaniu niezmienności własności:

- materiałowych ścian – przyjęto idealnie „odbijające” wszystkie powierzchnie ścian,
- akustycznych źródeł – przyjęto kulistą charakterystykę promieniowania i równe wartości poziomów mocy akustycznych źródeł dźwięku,
- materiałowych powierzchni ekranu – przyjęto wartości chłonności akustycznej powierzchni na poziomie 50%.

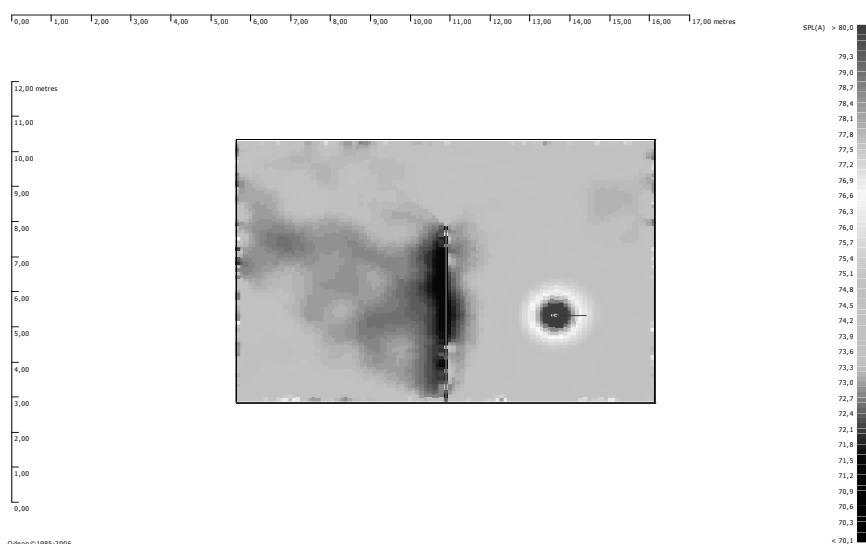
Symulacja dźwięku przeprowadzona została przy wykorzystaniu metod geometrycznych. Założono, że wymiary dużego pomieszczenia w zakresie: geometrii postaci, odległości pomiędzy źródłami dźwięku i wymiarów geometrycznych ścian ekranu akustycznego są pięciokrotnie większe od wymiarów przyjętych dla małego pomieszczenia.

2.1. Analiza rozkładu parametrów akustycznych w dużym pomieszczeniu

W celu przeprowadzenia symulacji rozchodzenia się dźwięku utworzono model symulacyjny o następujących parametrach geometrycznych i akustycznych:

- model geometryczny pomieszczenia o wymiarach 10.5x7.5x12.5[m],
- model ekranu akustycznego o wymiarach 5x5[m] zlokalizowany w połowie odległości i prostopadle do większego boku pomieszczenia,
- model źródła/źródeł dźwięku o poziomie mocy akustycznej 82[dB] zlokalizowanego w odległości 2.5x2.5x0.5[m] od dolnego prawego narożnika pomieszczenia.

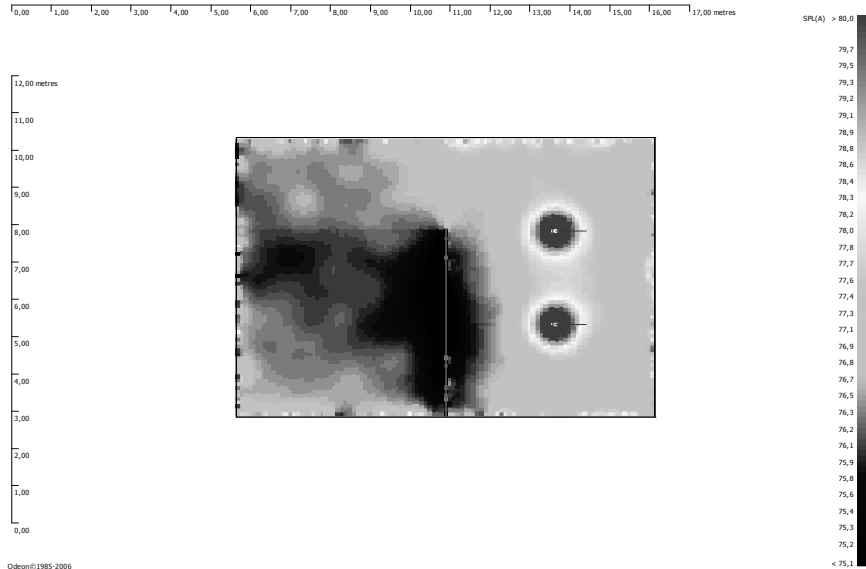
Przyjęto punkty odbiorcze na wysokości 1[m] – dwa mikrofony po przeciwnej stronie ekranu w stosunku do źródła/źródeł, jeden (M1) symetrycznie rozmieszczony względem źródła oraz drugi (M2) przesunięty względem pierwszego mikrofonu w płaszczyźnie ekranu o 4 [m]. Przeprowadzono symulację rozchodzenia się dźwięku na powierzchni znajdującej się w odległości 0.5[m] od podłoża modelu dla przypadku działania jednego źródła dźwięku (rys. 1) oraz działania dwóch źródeł (rys. 2).



Rys. 1. Mapa rozkładu poziomego ciśnienia akustycznego SPL(A) dla działania jednego

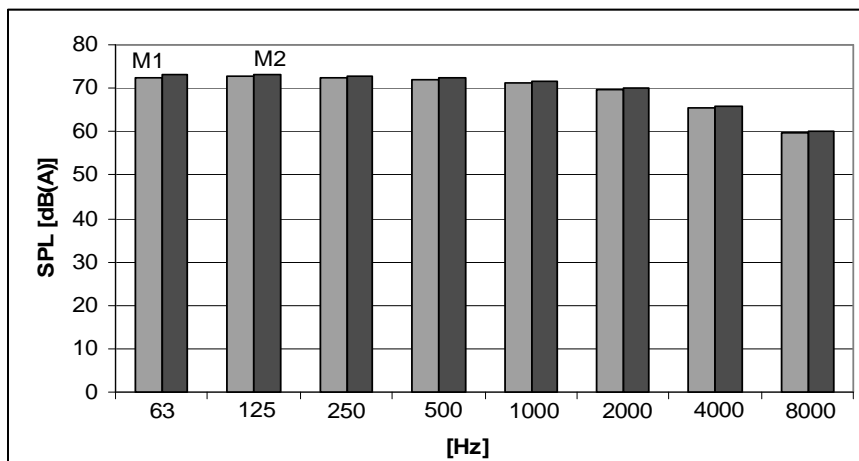
źródła dźwięku

W modelu zawierającym dwa źródła przyjęto odległość pomiędzy nimi 2.5[m].



Rys. 2. Mapa rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego SPL(A) dla działania dwóch źródeł dźwięku

Szczegółowej analizie poddano otrzymane wyniki dla przypadku działania dwóch źródeł w odniesieniu do działania jednego źródła. W przypadku działania dwóch źródeł istnieje większe „zaburzenie” pola akustycznego oraz występuje dodatkowo wzajemne oddziaływanie fal akustycznych. W wyniku symulacji dźwięku dla przypadku działania dwóch źródeł otrzymano w punktach M1 oraz M2 rozkład poziomów dźwięku w pasmach oktawowych (rys. 3).



Rys. 3. Rozkład poziomów dźwięku w punktach mikrofonowych M1 oraz M2 w modelu dużego pomieszczenia

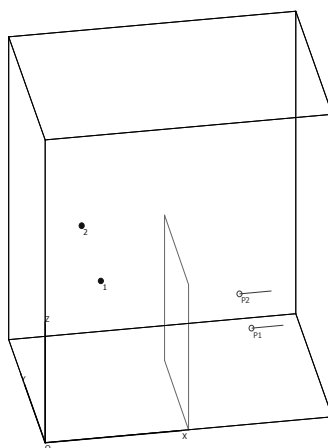
Otrzymane wyniki w punktach odbiorczych M1 oraz M2 nie wykazują większego zróżnicowania wartości, świadczy to o pewnej stabilności i niewielkiej niejednorodności pola. Potwierdzają to otrzymane rozkłady poziomów ciśnienia akustycznego (rys.1) i (rys.2).

2.2. Analiza rozkładu parametrów akustycznych w małym pomieszczeniu

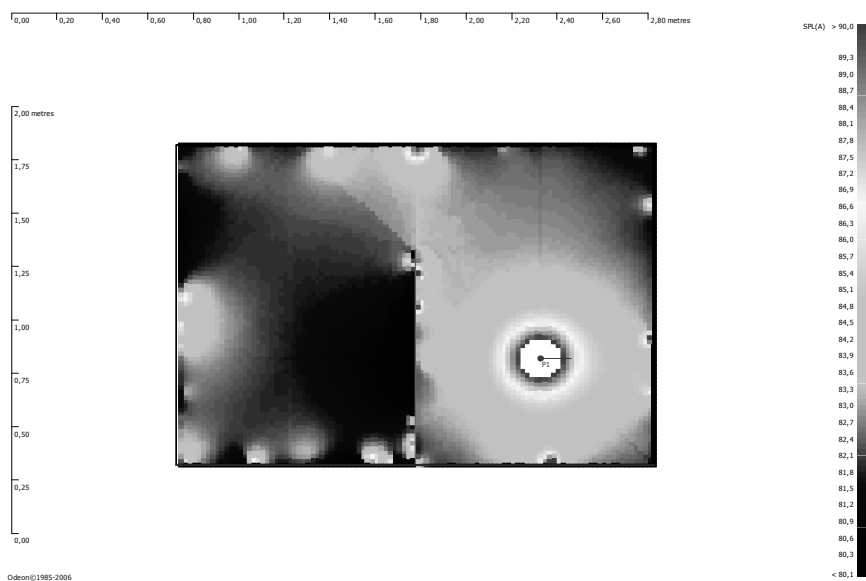
Przyjęto dla utworzonego modelu symulacyjnego następujące parametry geometryczne i akustyczne:

- model geometryczny pomieszczenia o wymiarach 2.1x1.5x2.5[m],
- model ekranu akustycznego o wymiarach 1x1[m] zlokalizowany w połowie odległości i prostopadle do większego boku pomieszczenia,
- model źródła/źródeł dźwięku o poziomie mocy akustycznej 82[dB] zlokalizowanego w odległości 0.5x0.5x0.5[m] od dolnego prawego narożnika pomieszczenia.

Przyjęto punkty odbiorcze na wysokości 1[m] (podobnie jak w przypadku dużego pomieszczenia) – dwa mikrofony po przeciwnej stronie ekranu w stosunku do źródła, jeden (M1) symetrycznie rozmieszczony względem źródła oraz drugi (M2) przesunięty względem pierwszego mikrofonu w płaszczyźnie ekranu o 0,8[m] – (rys. 4). Przeprowadzono symulację rozchodzenia się dźwięku na powierzchni znajdującej się w odległości 0.5[m] od podłoża modelu dla przypadku działania jednego źródła dźwięku (rys. 5) oraz działania dwóch źródeł (rys. 6).

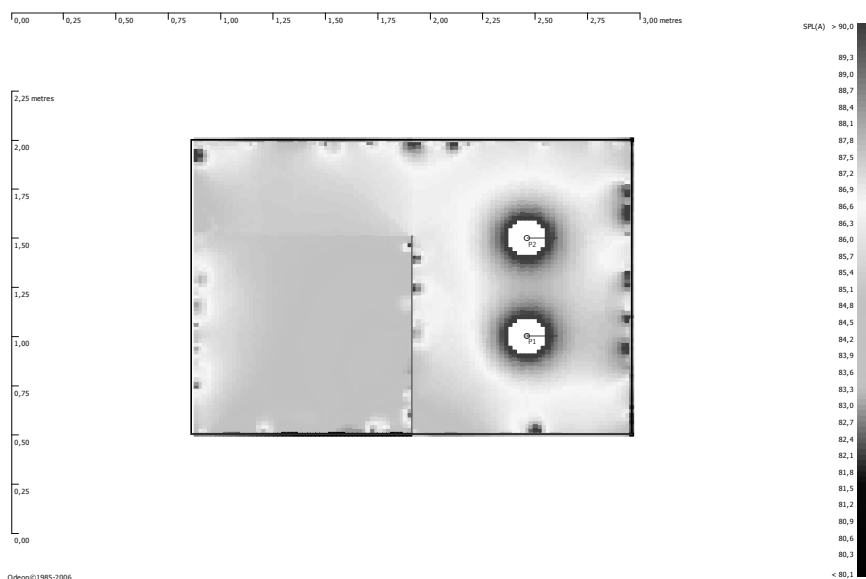


Rys. 4. Wizualizacja modelu symulacyjnego



Rys. 5. Mapa rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego SPL(A) dla działania jednego źródła dźwięku

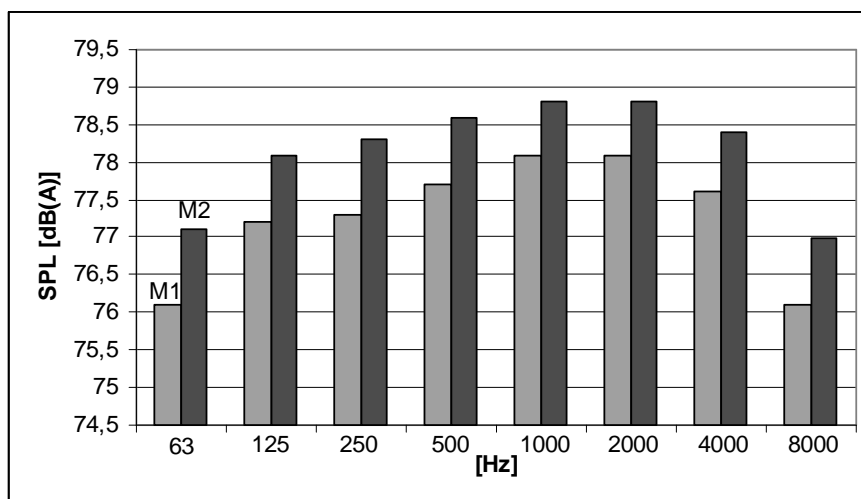
Dla przypadku działania dwóch źródeł przyjęto odległość pomiędzy nimi 0,5 [m].



Rys. 6. Mapa rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego SPL(A) dla działania dwóch źródeł dźwięku

Otrzymany rozkład pola akustycznego w małym pomieszczeniu (rys. 5, rys. 6) charakteryzuje się mniejszą dyfuzyjnością pola niż to miało miejsce w pomieszczeniu większym (rys. 1, rys. 2), spowodowane jest to przede wszystkim mniejszymi wymiarami

pomieszczenia. Występuje również w małym pomieszczeniu „zaburzenie” pola akustycznego efektem działania ekranu akustycznego, co dodatkowo spowodowało wzmocnienie niestabilności pola.



Rys. 7. Rozkład poziomów dźwięku w punktach mikrofonowych M1 oraz M2 w modelu małego pomieszczenia

Otrzymane wyniki symulacji dźwięku w punktach odbiorczych M1 oraz M2 wykazują zróżnicowanie wartości w odniesieniu do zmienności poziomu ciśnienia akustycznego oraz w odniesieniu do dziedziny częstotliwości (rys. 7). Analiza identyfikacji przyczyn występowania takiego zróżnicowania stanowi przedmiot dalszych badań. Z przeprowadzonych badań układów rzeczywistych dla małych pomieszczeń wynika, że w wielu przypadkach otrzymane wartości parametrów akustycznych za pomocą metod pomiarowych różnią się od wartości symulowanych, otrzymanych metodami modelowania numerycznego. Związane jest to między innymi z ograniczeniami zapisu postaci teoretycznego modelu dynamicznych efektów zaburzenia fali na przeszkodach. Uwzględnienie występowania zjawisk falowych w badaniach symulacyjnych może mieć istotne znaczenie w identyfikacji źródeł dźwięku w zakresie badania ich lokalizacji i charakterystyk promieniowania.

3. Modelowanie wektorowego pola akustycznego w małych pomieszczeniach

Wygenerowane pole akustyczne w warunkach środowiska pracy jest wypadkowym wynikiem jednoczesnego i wzajemnego wpływu różnorodnych energetycznych zjawisk falowych [1]. Problem jaki występuje w analizach pól akustycznych z wykorzystaniem stosowanych metod modelowania polega między innymi na braku uwzględnienia związków amplitudowo-fazowych zachodzących jednocześnie między elementarnymi zdarzeniami akustycznymi.

3.1 Opis zjawisk w wektorowym polu akustycznym

Przybliżone metody numeryczne symulacji poziomu dźwięku reprezentują rozkład parametrów akustycznych w polu skalarnym. Pole takie nie uwzględnia występowania zjawisk pola przepływowego oraz wszystkich związków amplitudowo-fazowych, jakie zachodzą jednocześnie w procesach interferencji, dyfrakcji i rozproszenia fali w układach rzeczywistych. Wektorowa reprezentacja pola akustycznego określa ogólną energię promieniowania danej maszyny/urządzenia oraz elementów konstrukcyjnych np. układów napędowych i transmisyjnych, elementów wykonawczych i instalacyjnych. Analiza wektorowego rozkładu pola akustycznego daje nowe możliwości badawcze szczególnie w małych pomieszczeniach, gdzie mechanizm ustalania się pól odbiega zazwyczaj od przyjmowanych założeń sprowadzających model do warunków teoretycznego pola dyfuzyjnego lub pola swobodnego [2]. Wektorowe pole akustyczne reprezentowane jest przez rozkład przestrzenny natężenia dźwięku opisującego transport energii oraz dynamikę ruchu falowego w polu akustycznym. Z rozkładów wartości natężenia dźwięku uzyskać można znacznie więcej informacji o dynamice zjawisk akustycznych występujących w zaburzonym polu, niż z opisów rozkładu poziomów ciśnień akustycznych. Strumień akustyczny wyrażony jako natężenie fali akustycznej proporcjonalne jest do iloczynu prędkości cząstki akustycznej i ciśnienia akustycznego. Strumień energii akustycznej jest zapisem transportu energii w polu akustycznym, reprezentuje przepływowy charakter pola określając zmiany amplitudowe i fazowe oraz kierunkowość powstałych zaburzeń.

3.2 Możliwości metod komputerowych w ocenie zagrożenia hałasem

Wyniki dotychczasowo przeprowadzonych badań eksperymentalnych na modelach i obiektach rzeczywistych stanowią istotny materiał poznawczy, zawierający graficzne zapisy wektorowych pól akustycznych i efekty zaburzeń fali na przeszkodach [2]. Metody graficznej reprezentacji rozkładu pola umożliwiają prowadzenie badań ukierunkowanych na identyfikację źródeł lokalnych działających w obszarze badanej struktury, ocenę skutków oddziaływania amplitudowo-fazowego źródeł i badanie rozkładu energetycznego (w polu bliskim i dalekim). Wykorzystanie metod pomiarowych i symulacyjnych w badaniu wpływu skutków energetycznych pola na wyniki parametrów akustycznych w małych pomieszczeniach dają nowe możliwości poznawcze w ocenie zagrożenia hałasem.

4. Wnioski

Przeprowadzone analizy rozkładów pól akustycznych w przykładowych pomieszczeniach przemysłowych uzasadniają kontynuację prowadzenia badań w małych pomieszczeniach. W pierwszej kolejności zakłada się przeprowadzenie weryfikacji zastosowanych metod geometrycznych w modelu symulacyjnym pomiarami poziomu ciśnienia akustycznego dla identycznego pomieszczenia. Dalsze badania koncentrować się będą nad badaniem wpływu występowania zjawisk akustycznych w małych pomieszczeniach przemysłowych na wyniki oceny zagrożenia hałasem. Zakłada się wykorzystanie w tym celu zastosowanie metod wektorowych dla potrzeb przeprowadzenia pomiarów parametrów akustycznych (natężenia dźwięku).

W ramach badań symulacyjnych pól akustycznych zakłada się przeprowadzenie analiz w zakresie:

- wpływu zmienności geometrii i kształtu pomieszczeń na wyniki obliczeń,

- identyfikacji charakterystyk promieniowania źródeł dźwięku w pasmach częstotliwości,
- wpływu obiektów wyposażenia pomieszczeń na wyniki obliczeń.

Literatura

1. Toyhama M., Suzuki H., Ando Y.: The nature of technology of acoustic space. A.C. Press, London 1995.
2. Weyna S.: Rozpływ energii akustycznych źródeł rzeczywistych. WNT Warszawa, 2005.

Dr inż. Waldemar PASZKOWSKI
Instytut Inżynierii Produkcji
Politechnika Śląska
41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28
tel.: (32) 277 73 92
e-mail: waldemar.paszkowski@polsl.pl