MODELOWANIE OCENY ZAGROŻENIA HAŁASEM W MAŁYCH POMIESZCZENIACH PRZEMYSŁOWYCH

PASZKOWSKI Waldemar, LOSKA Andrzej

Politechnika Śląska, ul. Roosevelta 26-28, 41-800 Zabrze, POLAND
E-mail: wpaszkowski@polsl.pl

Streszczenie: Badania przeprowadzone w zakresie analizy i oceny hałasu zagrażającego miejscom pracy koncentrują się na identyfikacji źródeł dźwięku. W celu przeprowadzenia oceny zagrożenia hałasem w badanej przestrzeni, istnieje potrzeba zebrania dodatkowych informacji, m.in. o cechach konstrukcyjnych miejsca, jego wyposażeniu, itp. Proces wyboru stosowanych sposobów i metod jest zdeterminowany przez parametry akustyczne źródeł dźwięku, ich charakterystyki i lokalizacje. Informacje niezbędne do modelowania, reprezentowane przez miejsca położenia pracownika i źródeł oraz cechy materiałowe barier akustycznych tworzą zestaw parametrów niezbędnych do doboru metod redukcji poziomu hałasu. Ze względu na różne zastosowania metod modelowania pól akustycznych stwierdzono, że każda z nich ma ograniczone zastosowanie w badaniach ze względu na ukształtowanie pomieszczenia i cechy pola akustycznego. Głównym uproszczeniem jest założenie stabilności parametrów akustycznych polu akustycznego w czasie oraz pominięcie zjawisk falowych. Niniejszy artykuł opisuje sposób identyfikacji źródeł dźwięku jak emiterów energii akustycznej w miejscach pracy. W proponowanym podejściu źródła są traktowane jako punkty emitujące energię akustyczną.

Słowa kluczowe: zagrożenie hałasem, model, źródło dźwięku, ocena hałasu.

1 Wprowadzenie

Analiza rozkładu energii akustycznej w małych pomieszczeniach ma duże znaczenie z powodu występowania zjawisk falowych, takich jak: promieniowanie, absorpcja, załamanie i rozproszenie fali akustycznej. Uwzględnienie występowania zjawisk falowych w ocenie zagrożenia hałasem w środowisku pracy pozwala zidentyfikować znaczenie ich występowania w energetycznym opisie pola akustycznego. „Energetyczne" podejście do opisu pola akustycznego pozwala na wykonanie bardziej szczegółowej analizy sposobów przekazywania i rozproszenie energii akustycznej bezpośrednio ze źródła w badanym środowisku. W szczególności, dzięki takiemu opisowi pola akustycznego, można analizować zmienność kształtu fal i strumieni energii w dziedzinie częstotliwości. Zastosowanie zaawansowanych metod graficznych i oceny rozkładu energii akustycznej z wykorzystaniem metod pomiarowych pozwala na kształtowanie zagrożonych hałasem stanowisk pracy zgodnie z wymaganiami ergonomii [2,3].

2 Oszacowanie zagrożenia hałasem metodami geometrycznymi

Proponowany model wykorzystujący metody geometryczne symulacji dźwięku odnosi się w szczególności do nieruchomych źródeł dźwięku i sygnałów stacjonarnych ergodycznych (wartość średnia i funkcja autokorelacji nie zależą od czasu). Parametr intensywności dźwięku dla dowolnej liczby odbić promieni dźwięku można zapisać w postaci uogólnionej formuły (1).

$$I_{ki} = \frac{N_i}{\Omega_i \cdot R_{ki}{}^2} \Pi(1 - \alpha_k)_{k=1}^{N} \tag{1}$$

gdzie:

N_i - *moc akustyczna* j-tego *źródła dźwięku,*

R_{ki} - *droga promienia dźwięku od* i-tego *źródła do* k-tego *punktu,*

Ω_i $_i$- *kąt bryłowy promieniowania* i-tego *źródła dźwięku,*

α_k - *współczynniki pochłaniania dźwięku modelowanych powierzchni.*

Wyodrębniając z (1) cechy parametrów akustycznych wprowadza się współczynnik $a_{ik,}$, który opisuje związek:

$$a_{ik} = \frac{(1 - \alpha_k)}{\Omega_i \cdot R_{ki}{}^2} \tag{2}$$

Przekształcając równanie (2) do postaci macierzowej otrzymujemy:

$$|I| = |N| \cdot |A| \tag{3}$$

gdzie:

I – wektor natężenia dźwięku

N- wektor mocy akustycznych źródeł dźwięku,

A – macierz współczynników

Uwzględniając reprezentację macierzową równania (3) - przyjmuje ono wówczas uszczegółowioną postać:

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ ... \\ I_n \end{vmatrix} = \left|N_1 N_2 N_3 ... N_n\right| \cdot \begin{vmatrix} a_{11} a_{12} a_{13} ... a_{1n} \\ a_{21} a_{22} a_{23} ... a_{2n} \\ a_{31} a_{32} a_{33} ... a_{3n} \\ ... \\ a_{m1} a_{m2} a_{m3} ... a_{mn} \end{vmatrix} \tag{4}$$

Składowe (teoretyczne) wartości intensywności dźwięku pochodzących od poszczególnych źródeł dźwięku otrzymać można w wyniku postprocesu symulacji dźwięku, przyjmując wartości mocy akustycznych źródeł N=1[W]. Wektor intensywności dźwięku w tym przypadku uwzględnia w punktach odbiorczych teoretyczne wartości parametrów akustycznych. W celu wyznaczenia rzeczywistych mocy akustycznych źródeł dźwięku dla obliczonych wartości intensywności dźwięku w punktach odbiorczych konieczne jest przeprowadzenie operacji odwrócenia macierzy współczynników [A]. Macierz ta zawiera opis parametrów geometrycznych i akustycznych badanego układu. Istota proponowanego modelu sprowadza się do wyznaczenia macierzy odwrotnej [A], która uwzględnia związki przestrzenne położenia geometrycznego w relacji: źródło-odbiornik oraz geometrię pomieszczenia, z uwzględnieniem właściwości materiałowych powierzchni modelu [1].

$$\left|N\right| = \left|N_1 N_2 N_3 ... N_n\right| = \left|A\right|^{-1} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ ... \\ I_n \end{vmatrix} \tag{5}$$

Wyznaczenie rzeczywistych wartości mocy akustycznych źródeł dźwięku na podstawie otrzymanych wartości wektora intensywności w punktach odbiorczych polega na wykorzystaniu równania (5). Model narażenia na hałas wykorzystujący geometryczne metody symulacji dźwięku dla wyznaczonych rzeczywistych wartości mocy akustycznych źródeł w ujęciu potencjalnie występujących sytuacji akustycznych 3 źródeł dźwięku przyjmuje postać:

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{vmatrix} = \left|N_1 N_2 N_3\right| \cdot \begin{vmatrix} a_{11} a_{12} a_{13} \\ a_{21} a_{22} a_{23} \\ a_{31} a_{32} a_{33} \end{vmatrix} \tag{6}$$

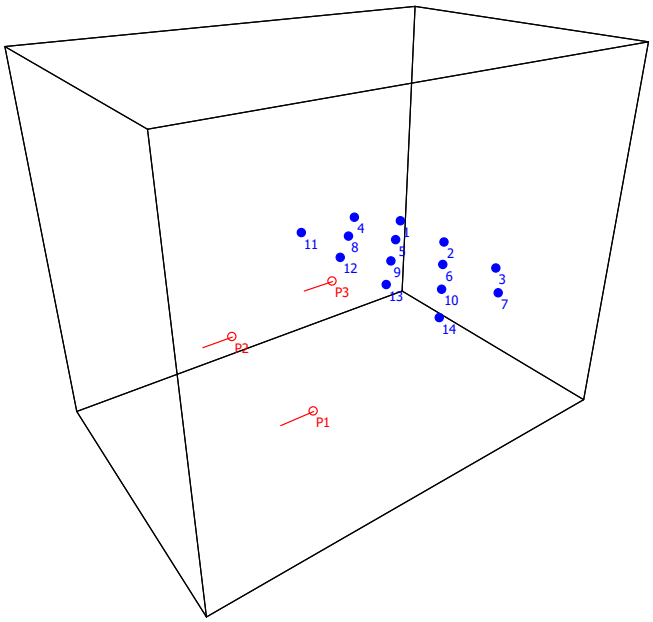
Otrzymany układ powiązań sytuacji akustycznych działania źródeł (3) dla symulowanego pola akustycznego w pomieszczeniu opisuje przybliżony model macierzowy oszacowania zagrożenia hałasem.

2.1 Analiza wyników symulacji dźwięku w modelu pomieszczenia

Dla potrzeb przeprowadzenia symulacji komputerowej utworzono teoretyczny model pomieszczenia o wymiarach: 3,2[m]x2,2[m]x2,7[m]. Przyjęto, że pomieszczenie stanowić będzie idealną komorę bezechową, dla wszystkich ścian przyjęto współczynniki α=1. Założono w pomieszczeniu działanie 3 źródeł kulistych oraz 14 punktów odbiorczych zlokalizowanych na wysokości 1 [m]. Ustalono, że źródła S_1 oraz S_2 zlokalizowane zostaną na wysokości 0,5 [m],

natomiast źródło S_3 znajdować się będzie na wysokości 1 [m]. W obliczeniach przyjęto jako parametry symulacji 5000 promieni dźwięku z każdego źródła oraz 2000 odbić. Zgodnie z przedstawionym równaniem (4) przyjęto równe poziomy wszystkich mocy akustycznych źródeł L_N o wartości 120 dB (A).

$$L_N = \left|120 \quad 120 \quad 120\right|\left[dB(A)\right]$$



Odeon©1985-2006

Rys.1. Model symulacyjny pomieszczenia

W wyniku symulacji dźwięku otrzymano dla wybranych 3 punktów odbiorczych (1,2,3) poziomy dźwięku pochodzące od poszczególnych źródeł: S_1, S_2, S_3.

Od źródła S_1 otrzymano w 3 punktach odbiorczych następujące wartości:

$$S_1 = \begin{bmatrix} 101{,}5 \\ 102{,}6 \\ 103 \end{bmatrix}\left[dB(A)\right]$$

Od źródła S_2 otrzymano w 3 punktach odbiorczych następujące wartości:

$$S_2 = \begin{bmatrix} 103 \\ 102{,}6 \\ 101{,}5 \end{bmatrix}\left[dB(A)\right]$$

Od źródła S_3 otrzymano w 3 punktach odbiorczych następujące wartości:

$$S_3 = \begin{bmatrix} 106 \\ 107 \\ 106 \end{bmatrix} [dB(A)]$$

Uwzględniając powyższe oraz dokonując zamiany jednostek w macierzy [A] przeprowadzono operację jej odwrócenia:

$$|A|^{-1} = \begin{vmatrix} 10{,}922 & 182{,}530 & -70{,}238 \\ -153{,}665 & -153{,}655 & 131{,}537 \\ 182{,}530 & 10{,}922 & -70{,}238 \end{vmatrix} \left[{}^{1}\!/_{m^2} \right]$$

Przekształcając odpowiednio jednostki oraz podstawiając do równania (6), po wymnożeniu otrzymujemy sumaryczne wartości wektora intensywności w poszczególnych punktach pochodzące od źródeł S_1, S_2, S_3.

$$|I| = \begin{vmatrix} 0{,}073 \\ 0{,}086 \\ 0{,}073 \end{vmatrix} \left[{}^{W}\!/_{m^2} \right]$$

Weryfikacja modelu sprowadza się do wyznaczenia wartości poziomu mocy akustycznych źródeł na podstawie otrzymanych wartości poziomu dźwięku w tych samych punktach odbiorczych badanego modelu. W wyniku symulacji dźwięku otrzymano w 3 punktach odbiorczych następujące wartości poziomu dźwięku – kolejno od źródeł S_1, S_2, S_3.

$$S_1 = \begin{bmatrix} 63{,}5 \\ 64{,}6 \\ 65 \end{bmatrix} [dB(A)],\ S_2 = \begin{bmatrix} 65 \\ 64{,}6 \\ 63{,}5 \end{bmatrix} [dB(A)],\ S_3 = \begin{bmatrix} 63 \\ 64 \\ 63 \end{bmatrix} [dB(A)]$$

Sumaryczne wartości wektora intensywności w badanych punktach wynoszą:

$$|I| = \begin{vmatrix} 0{,}000158 \\ 0{,}0000158 \\ 0{,}0000501 \end{vmatrix} \left[{}^{W}\!/_{m^2} \right]$$

Po podstawieniu do równania (5), wymnożeniu macierzy i dokonaniu zamiany jednostek otrzymujemy wartości poziomu mocy akustycznych źródeł S_1, S_2, S_3.

$$L_N = |80 \quad 80 \quad 75| [dB(A)]$$

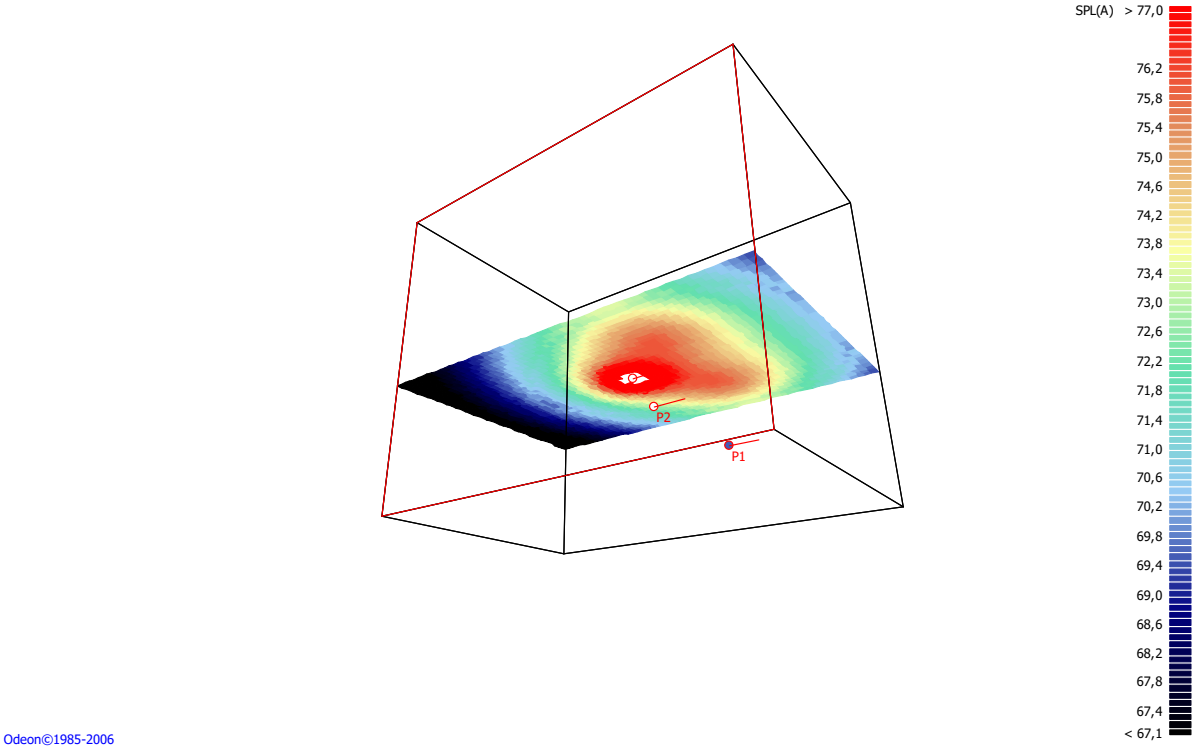
Weryfikacja zaproponowanego modelu macierzowego potwierdziła w badanym przypadku zgodność przyjętych wartości poziomów mocy akustycznych źródeł do symulacji. Po

podstawieniu do równania (5) wyznaczono dla badanych 3 punktów odbiorczych wartości poziomu mocy akustycznych L_N uwzględniając różne sytuacje akustyczne działania źródeł.

Tabela 1. Kombinacje sytuacji akustycznych, źródeł dźwięku i poziomów dźwięku

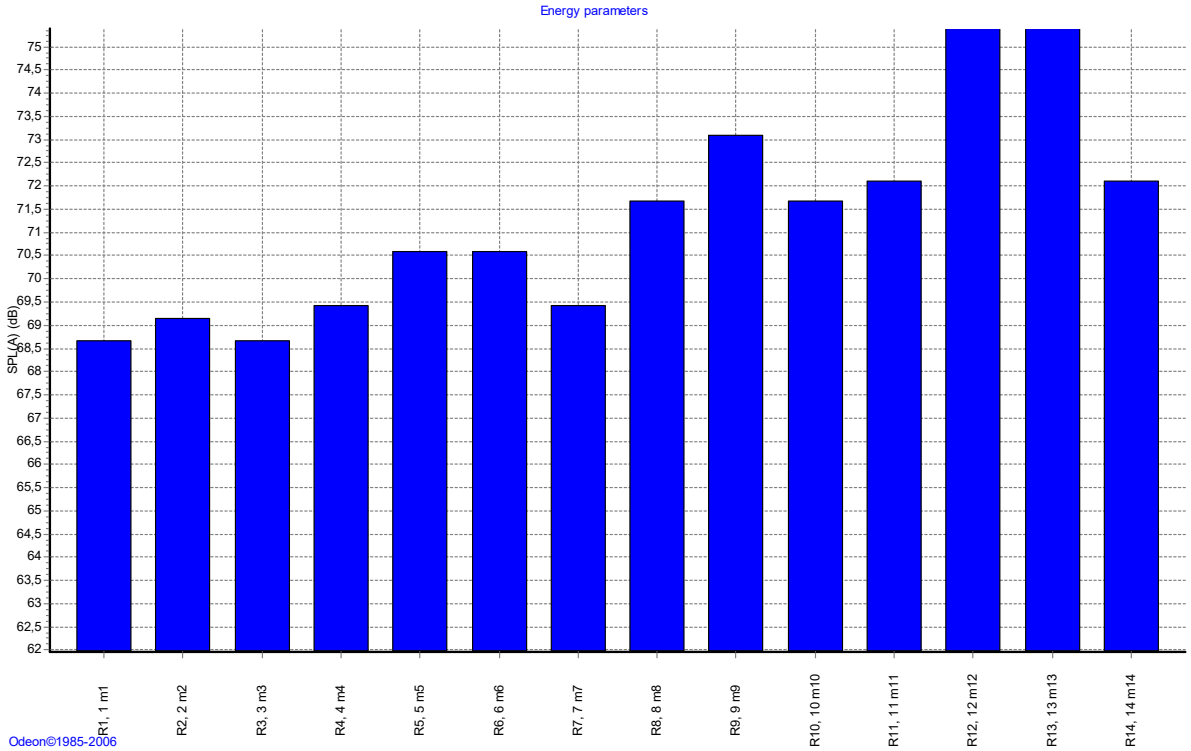
Sytuacje akustyczne	L_{N1} *[dB(A)]*	L_{N2} *[dB(A)]*	L_{N3} *[dB(A)]*
S_1	80	0	0
S_2	0	80	0
S_3	0	0	75
S_1,S_2	79,89	79,89	62
S_2,S_3	67,74	79,97	74,67
S_1,S_3	79,97	67,74	74,67
S_1,S_2,S_3	80,67	80,67	72,44

Otrzymane wartości poziomu mocy akustycznych w rozpatrywanych punktach odbiorczych dla wariantów działania dwóch i trzech źródeł (tabela 1) są zbliżone do wartości poszczególnych źródeł. Występują jednak w tych przypadkach sytuacji akustycznych wartości poziomu dźwięku od źródeł, które odpowiadać powinny wartościom zerowym. Dla wybranego wariantu działania źródeł S_1, S_2, S_3 przeprowadzono analizę wyników symulacji parametrów akustycznych z wykorzystaniem programu *Odeon 8.5*.

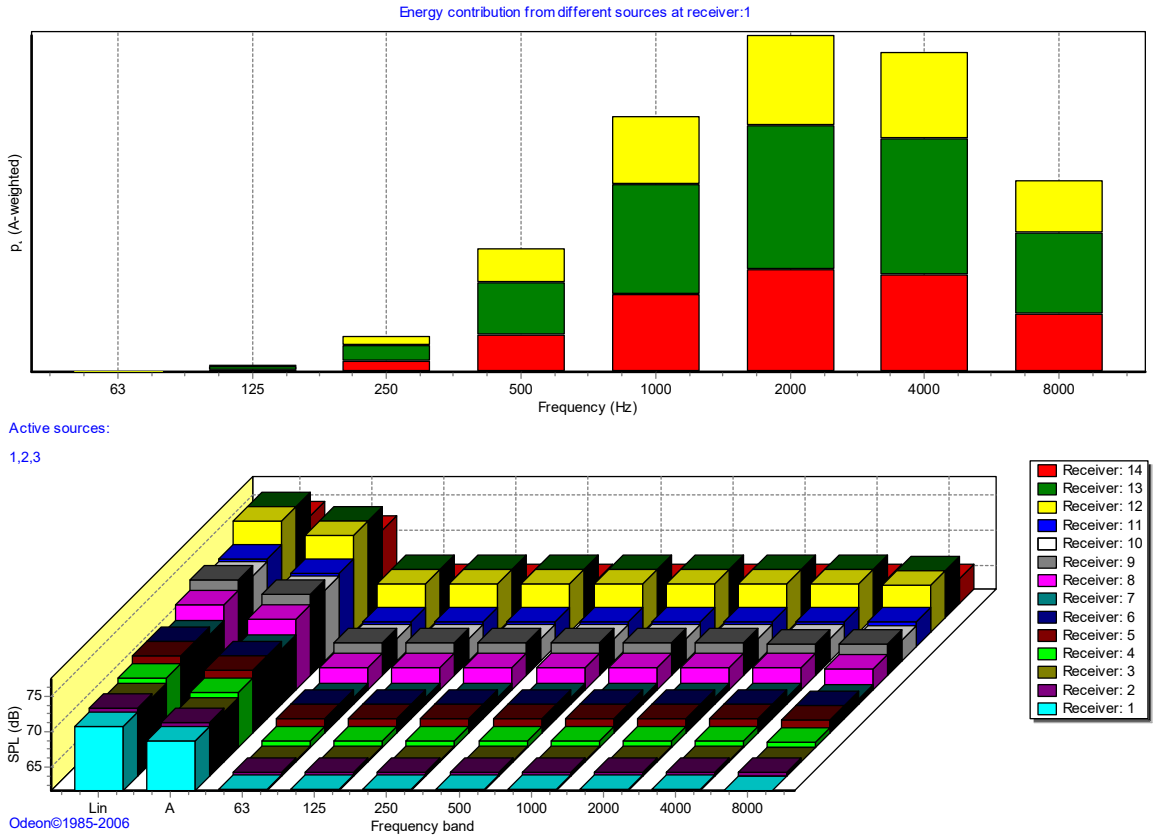


Rys. 2. Mapa rozkładu poziomu dźwięku na wysokości źródła S_3 w modelu pomieszczenia

W wyniku symulacji otrzymano zróżnicowane wartości poziomu dźwięku w punktach odbiorczych, ze względu na ich lokalizację przestrzenną (rys.3).



Rys. 3. Rozkład poziomu dźwięku w punktach odbiorczych



Rys. 4. Udział energii źródeł w punkcie 1 oraz rozkład poziomu dźwięku w punktach odbiorczych dla pasm częstotliwości oktawowych

Rozkład wartości poziomu dźwięku w punktach odbiorczych w częstotliwościach oktawowych nie wykazuje zmienności. Z otrzymanych wyników symulacji wynika, że największy udział energetyczny źródeł w 1 punkcie odbiorczym występuje dla częstotliwości równej 2000[Hz]. Otrzymane wyniki symulacji (Tabela 1) w badanych punktach odbiorczych dla proponowanego modelu oszacowania zagrożenia hałasem wykazują pewne rozbieżności. Spowodowane to jest wymiarami badanego pomieszczenia oraz ograniczeniami wykorzystywanymi geometrycznymi metodami symulacji. Rozkład energii akustycznej od źródeł dźwięku w przestrzeniach ograniczonych wynika głównie z kształtu i ze stosunku między wymiarami pomieszczenia, a długością fal wypromieniowanych. W badanym przypadku, wymiary pomieszczenia są stosunkowo niewielkie w odniesieniu do długości fal. W małych pomieszczeniach występują dodatkowo zjawiska falowe, które nie są uwzględniane przez geometryczne metody symulacji.

Wnioski

1. Zaproponowany macierzowy model narażenia na hałas pozwala na oszacowanie poziomu mocy akustycznych źródeł na podstawie wartości parametrów akustycznych w punktach odbiorczych. Istotnym elementem modelu jest macierz współczynników [A] badanego pomieszczenia, która odnosi się do przyjętych relacji: źródło –odbiornik i ich niezmiennych cech geometrycznych i akustycznych. Model ten zastosowany został do formuły opisującej metody geometryczne symulacji dźwięku, które dla badanego przypadku pomieszczenia nie są wystarczające, ze względu na ograniczenia stosowalności metody. Otrzymane wyniki analizy modelu wskazują na pewne rozbieżności przy badaniu wariantów akustycznych działania kilku źródeł.

2. W badaniach nad zjawiskiem interferencji źródeł w małych pomieszczeniach proponuje się wykorzystanie metod numerycznych MES/MEB w symulacji dźwięku. Analiza zjawiska interferencji źródeł w dziedzinie częstotliwości i jego skutków umożliwi w sposób precyzyjny ocenić wpływ tego zjawiska na zagrożenie hałasem. W tym celu, w pierwszej kolejności zakłada się przeprowadzenie takich badań na analizowanym modelu pomieszczenia (rys. 1) i porównanie wyników otrzymanych metodami geometrycznymi z MES/MEB.

3. Dalsze badania związane będą z utworzeniem modeli symulacyjnych pomieszczeń reprezentujących układy rzeczywiste, dla których badania symulacji dźwięku zweryfikowane zostaną metodami pomiarowymi. Potwierdzenie wyników symulacji wartościami pomiarowymi umożliwi opracowanie sposobu oceny wpływu zjawiska interferencji źródeł na zagrożenie hałasem.

Literatura

[1] Zmysłowski A., Kuboszek A.: Estymacja źródeł dźwięku i symulacja dyfuzyjnego pola akustycznego. Materiały XXVII Szkoły Zimowej Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych Gliwice-Ustroń, 1999.

[2] Paszkowski W.: Analiza pól akustycznych w pomieszczeniach przemysłowych. Komputerowo zintegrowane zarządzanie pod red. Ryszarda Knosali: Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją w Opolu, Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 2010, tom II, str. 378-385.

[3] Paszkowski W.: Wspomaganie projektowania obiektów technicznych zorientowane na identyfikację źródeł dźwięku. Mechanik 7/2011, XV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, Jurata 2011, str. 663-668.

MODELLING OF NOISE THREAT ASSESSMENT IN SMALL INDUSTRIAL ROOMS

Abstract: The research done in the area of analysis and assessment of noise threatened working place concentrate on identification of sources of sound. In order to perform the assessment of noise threat in the examined space, there is a need to gather additional information, among others about the construction features of the place, its equipment, etc. The process of selection of used ways and methods is highly determined by the acoustic parameters of the sources of sound, their characteristics and localizations. The information related to geometric models of the places as well as material features of the barriers create a set of complimentary parameters – necessary for proper selection of noise reducing methods. Due to variety of application of methods of modeling the acoustic fields it was stated, that each of them has limited applicability in the research because of the shape of the place and characteristics of the field. Its main simplification is related to the assumption of stability of acoustic parameters of the field in the domain of time simultaneously excluding the wave phenomena. This article is an attempt to identify the sources of sound as the emitters of acoustic energy in the working place. In this approach, the sources are treated as either points emitting acoustic energy.

Keywords: noise threat, model, source sound, assessment of noise.