

# KSZTAŁTOWANIE KLIMATU AKUSTYCZNEGO PROJEKTOWANYCH STANOWISK PRACY Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI WSPOMAGAJĄCYCH

Waldemar PASZKOWSKI, Artur KUBOSZEK

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono wykorzystanie metod wspomaganie zadań na etapie procesu projektowania i konstruowania nowych stanowisk pracy oraz modernizacji stanowisk już istniejących z uwzględnieniem przewidywanych lub istniejących zagrożeń ponadnormatywnym hałasem. Podjęte badania dają możliwość wariantowania rozwiązań dla potrzeb wyboru skutecznego rozwiązania eliminacji zagrożenia hałasem. Efektem nowego podejścia jest prognozowanie skutków przyjętych rozwiązań redukcji hałasu.

**Słowa kluczowe:** projektowanie, stanowisko pracy, hałas, klimat akustyczny, sposoby redukcji hałasu

## 1. Wprowadzenie

Podjęte badania opracowania skutecznego sposobu analizy i oceny zagrożenia hałasem pracowników na stanowiskach pracy koncentrowały się dotychczas na wykorzystaniu nowoczesnych metod wspomagających w tym zakresie. Nowe podejście do badań polega na wykorzystaniu metod wspomaganie zadań na etapie procesu projektowania i konstruowania nowych stanowisk pracy oraz modernizacji stanowisk zagrożonych ponadnormatywnym hałasem. W szczególności, przydatność zaproponowanego rozwiązania (sposobu) odnosi się do stanowisk pracy w zakresie wspomaganie zadań na etapie procesów projektowania/konstruowania i wytwarzania w układzie środków technicznych. Podjęte badania dają możliwość wariantowania rozwiązań dla potrzeb wyboru skutecznego rozwiązania eliminacji zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy. Efektem nowego podejścia jest prognozowanie skutków przyjętych rozwiązań redukcji hałasu w odniesieniu do wspomaganie zadań w procesach projektowo-konstrukcyjnych stanowisk pracy i podczas procesów wytwórczych na obsługiwanych stanowiskach pracy. W proponowanym ujęciu, zarówno na etapie projektowania/konstruowania jak i wytwarzania istnieje możliwość oszacowania skuteczności proponowanych rozwiązań redukcji zagrożenia ponadnormatywnym hałasem stanowisk pracy.

## 2. Opis problemu

Przedstawiony sposób wykorzystuje metody identyfikacji narażenia pracowników na hałas oraz oszacowania skuteczności rozwiązań redukcji hałasu na stanowiskach pracy. Problem kluczowy jaki występuje pomiędzy etapem identyfikacji stanu zagrożenia hałasem i etapem oszacowania skuteczności zaproponowanych rozwiązań sprowadza się do wygenerowania sposobów redukcji zagrożenia.

Proponowane ujęcie pozwala na przeprowadzenie analizy wariantowej sposobów redukcji zagrożenia hałasem. W tym celu konieczne jest wygenerowanie koncepcji

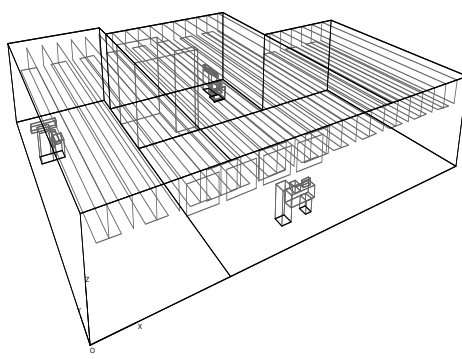
rozwiązań mieszczących się w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych. Zbiór ten ograniczony jest kryteriami, m.in. cechami konstrukcyjnymi, kosztami inwestycji, warunkami eksploatacji.

Koncepcje rozwiązań redukcji hałasu sprowadzać się mogą do propozycji rozwiązań technicznych i organizacyjnych, które mogą się wzajemnie uzupełniać. Proponowane ujęcie sprowadza się do wspomaganie zadań projektowania i modernizacji technicznych rozwiązań redukcji hałasu.

Wyniki analizy proponowanych rozwiązań dopuszczalnych będą podstawą następnie oszacowania skuteczności redukcji hałasu na stanowiskach pracy.

### 3. Przykład analizy badań układu technicznego

Dla potrzeb weryfikacji proponowanego sposobu przeprowadzono badania akustyczne w rzeczywistym układzie technicznym zagrożonym ponadnormatywnym hałasem na stanowiskach pracy. Badanym układem technicznym była hala przemysłowa o wymiarach 23 x 19,2 x 4 [m], w którym zagrożenie hałasem spowodowane było działaniem trzech źródeł hałasu, tj. piłą, frezarką i wiertarką, podczas realizacji operacji technologicznych związanych z procesem produkcji okien PCV.



Rys. 1. Widok modelu badanego obiektu przemysłowego

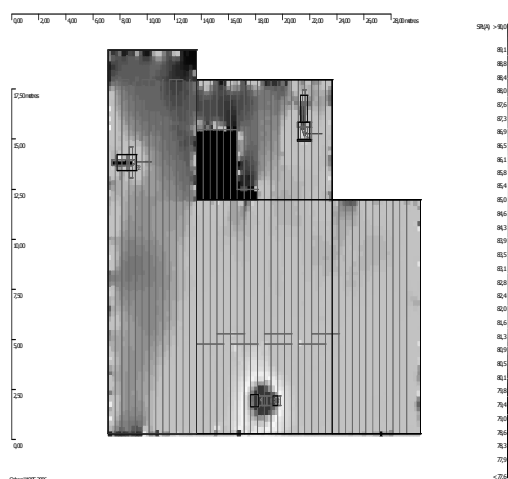
Badane stanowiska pracy stanowiły jednocześnie źródła dźwięku, tj. piła, frezarka i wiertarka. Każde ze stanowisk było obsługiwane oddzielnie przez pojedynczego pracownika. W celu wyznaczenia mocy akustycznej źródeł przeprowadzono pomiary poziomów dźwięku wokół źródeł [1].

Na podstawie otrzymanych wartości pomiarowych wyznaczono moce akustyczne źródeł w pasmach częstotliwości oktauwowych (tab. 1).

Tab. 1. Poziom mocy akustycznej źródeł

| lp | Nazwa źródła | Poziom mocy akustycznej dB |        |        |        |       |       |       |       |
|----|--------------|----------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|    |              | 63 Hz                      | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
| 1  | Piła         | 35,4                       | 47,8   | 58,2   | 67,3   | 75,6  | 82,6  | 80,0  | 72,4  |
| 2  | Frezarka     | 27,8                       | 40,0   | 55,6   | 62,9   | 73,4  | 73,4  | 79,4  | 70,1  |
| 3  | Wiertarka    | 32,                        | 38,4   | 50,7   | 73,6   | 82,2  | 86,8  | 92,7  | 87,9  |

Na podstawie pozyskanych informacji/danych z badanej hali utworzono model geometryczny obiektu technicznego wraz z modelami geometrycznymi stanowisk pracy (rys. 1). Ze względu na jakość otrzymanych wyników akustycznych, przyjęto w badanym układzie uogólnione modele geometryczne stanowisk pracy. Sposób uszczegółowienia modeli geometrycznych stanowisk pracy stanowi pewien problem badawczy, który dotyczy jakości otrzymywanych wyników symulacji rozchodzenia się dźwięku. Miejsca obecności pracowników przy stanowiskach pracy zamodelowano w sposób punktowy (na wysokości uszu pracowników), podczas realizacji przez nich operacji technologicznych. W celu identyfikacji zagrożenia hałasem stanowisk pracy przeprowadzono w utworzonym modelu obiektu rzeczywistego symulacje dźwięku. Otrzymano mapę akustyczną rozchodzenia się dźwięku w całym pomieszczeniu na wysokości ustalonych punktów obecności pracowników (rys. 2).

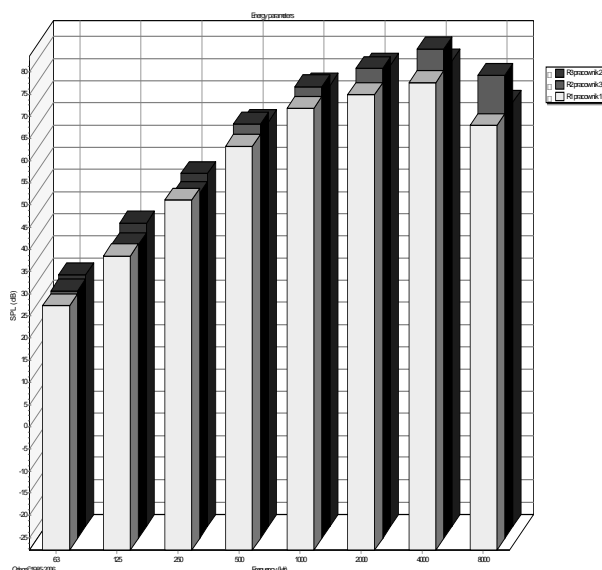


Rys. 2. Mapa pola akustycznego dla zidentyfikowanej sytuacji akustycznej źródeł dźwięku

Otrzymane wartości parametrów akustycznych w dziedzinie częstotliwościowej miejsc obecności pracowników wskazują na występujące zagrożenie hałasem na stanowiskach pracy (tab. 2). Wygenerowano rozkład widma dźwięku w badanych punktach odbiorczych, tj. miejsc obecności pracowników przy każdym ze zidentyfikowanych stanowisk pracy (rys. 3)

Tab. 2. Wartości poziomu dźwięku w odbiornikach dla zidentyfikowanego układu

| Nr odbiornika | SPL(A) dB | SPL dB |        |        |        |       |       |       |       |
|---------------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|               |           | 63 Hz  | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
| 1             | 81,3      | 27,3   | 38,5   | 51,1   | 63,3   | 71,7  | 74,9  | 77,6  | 67,9  |
| 2             | 85,7      | 28,0   | 38,3   | 50,0   | 65,6   | 73,9  | 78,0  | 82,5  | 76,4  |
| 3             | 81,5      | 28,9   | 40,6   | 51,7   | 63,5   | 71,6  | 76,1  | 77,2  | 87,8  |



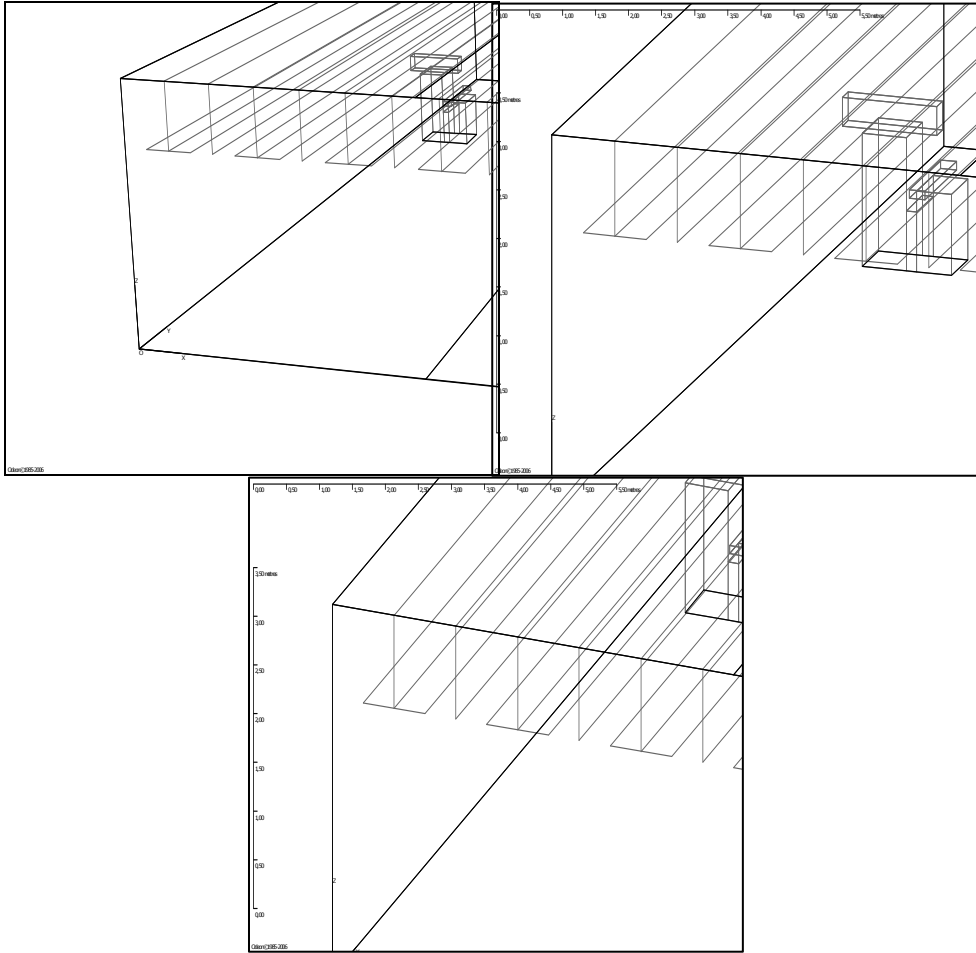
Rys. 3. Rozkład widma dźwięku w odbiornikach dla zidentyfikowanego układu

W celu minimalizacji zagrożenia hałasem zaproponowano jako rozwiązania techniczne montaż podwieszanych płyt pochłaniających dla trzech wariantowych koncepcji rozwiązań. Zaproponowane rozwiązania polegały na zastosowaniu dodatkowych obiektów wyciszających – w tym przypadku ustrojów dźwiękochłonnych. Przyjęto jednorodny rodzaj materiałów pochłaniających, w zależności od wyboru wariantu rozwiązania występowały zróżnicowane pola powierzchni materiałów pochłaniających (tabela 3, tabela 4). Dla każdego z rozwiązań przeprowadzono symulację rozchodzenia się dźwięku, w wyniku czego otrzymano zmienną postać pól akustycznych w modelu pomieszczenia i zróżnicowane wartości poziomu dźwięku w punktach obecności pracowników na stanowiskach pracy (rys. 4).

Zaproponowane koncepcje rozwiązań wariantowych ustrojów dźwiękochłonnych różniły się ilością powierzchni pochłaniających i sposobem ich ułożenia (rys. 4).

Tab. 3. Wartości cech materiałowych dla zastosowanych obiektów wyciszających

| Współczynnik $\alpha$ pochłaniania zastosowanego materiału dźwiękochłonnego |        |        |        |       |       |       |       |
|---|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 63 Hz   | 125 Hz | 250 Hz | 500 Hz | 1 kHz | 2 kHz | 4 kHz | 8 kHz |
| 0,22  | 0,42   | 0,65   | 1      | 1     | 1     | 1     | 0,90  |



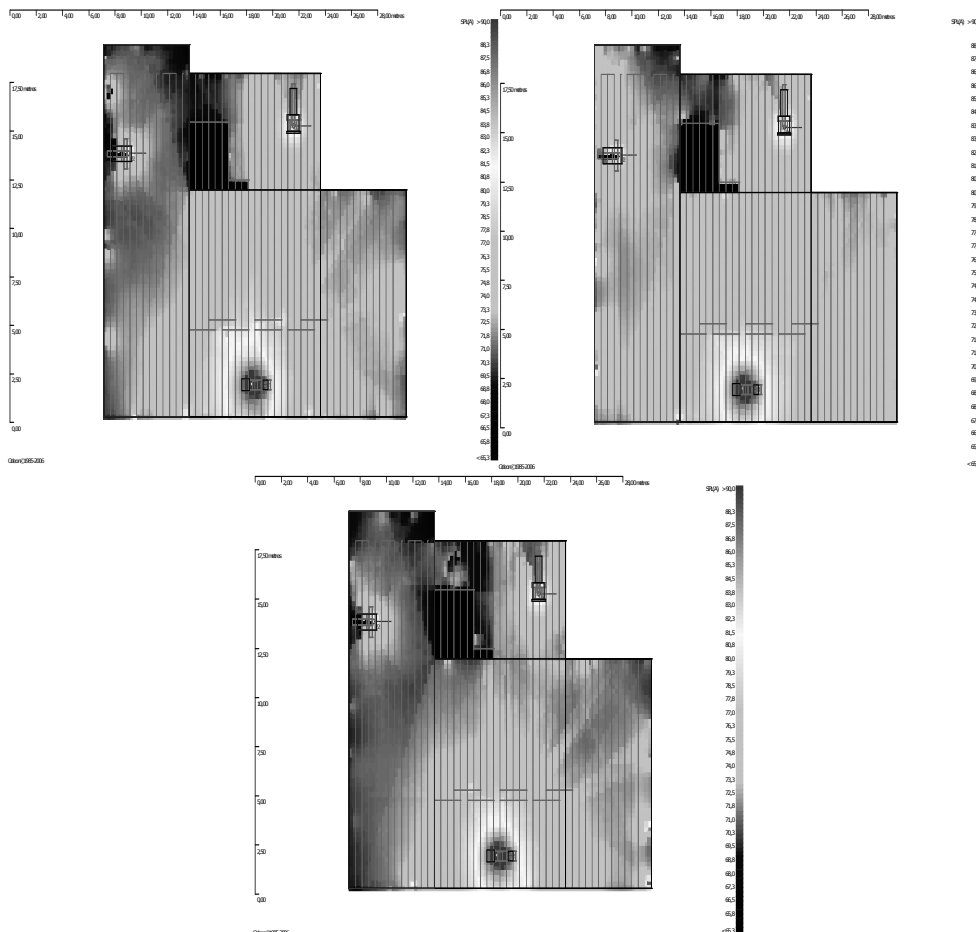
Rys. 4. Warianty rozwiązań i sposób lokalizacji płyt pochłaniających (1,2,3)

Przyjęto dla zaproponowanych rozwiązań wyciszających następujące pola powierzchni materiałów pochłaniających zwiększających chłonność akustyczną badanego obiektu (tab. 4).

Tab. 4. Pola powierzchni pochłaniających ustrojów dźwiękochłonnych

| Nr rozwiązania | Pole powierzchni materiału dźwiękochłonnego w m <sup>2</sup> |
|----------------|--|
| Rozwiązanie 1  | 353,4  |
| Rozwiązanie 2  | 176,7  |
| Rozwiązanie 3  | 530,1  |

Dla każdego wariantu rozwiązania przeprowadzono symulację rozchodzenia się dźwięku, w wyniku czego otrzymano zmienne pola akustyczne w modelu pomieszczenia i na stanowiskach pracy (rys. 5).



Rys. 5. Mapy pól akustycznych dla wariantowych rozwiązań (1,2,3)

W wyniku zastosowanych rozwiązań wariantowych przeprowadzono symulacje rozchodzenia się dźwięku i otrzymano zróżnicowane poziomy dźwięku w punktach odbiorczych (rys. 5). Wszystkie z zastosowanych rozwiązań spowodowały redukcję zagrożenia hałasem w miejscach obecności pracowników na stanowiskach pracy. Zestawiono otrzymane wyniki symulacji ze zidentyfikowanym stanem akustycznym dla występującej sytuacji wejściowej (tab. 5).

Tab. 5. Zestawienie otrzymanych wyników symulacji dla wariantowych rozwiązań z sytuacją wejściową

| Nr odbiornika | Wartości poziomu ciśnienia akustycznego SPL(A) w odbiornikach w dB |               |               |                     |
|---------------|--|---------------|---------------|---------------------|
|               | Rozwiązanie 1  | Rozwiązanie 2 | Rozwiązanie 3 | Sytuacja istniejąca |
| 1             | 73,9   | 74,7          | 73,5          | 81,3                |
| 2             | 84,0   | 83,4          | 83,3          | 85,7                |
| 3             | 76,1   | 76,3          | 75,0          | 81,5                |

W wyniku przeprowadzonej analizy porównawczej otrzymanych wyników symulacji wariantowych rozwiązań z sytuacją wejściową, za najbardziej efektywny wariant redukcji zagrożenia hałasem uznano wariant 1 - (tab. 5). Mimo, iż w wariacie rozwiązania 3 powierzchnia pochłaniająca była istotnie większa, wariant ten nie okazał się za najbardziej efektywny. Spowodowane jest to lokalizacją źródeł dźwięku i występującymi odbiciami energii rozproszonej w rozpatrywanym układzie.

#### **4. Wnioski**

Przydatność przedstawionego sposobu wykorzystania metod komputerowego wspomaganie zadań projektowania i modernizacji stanowisk pracy wskazuje na nowe podejście do rozwiązań wyciszenia stanowisk pracy oraz adaptację akustyczną obsługiwanych stanowisk pracy. Podjęte badania wymagają weryfikacji pomiarowej stanowisk pracy przy zastosowaniu przyjętych rozwiązań redukcji hałasu. Zaproponowany sposób umożliwi również badanie wdrażania nowych rozwiązań technicznych w zakresie stosowalności biernych redukcji hałasu maszyn.

Przyjęty sposób umożliwi identyfikację ponadnormatywnego narażenia pracowników na hałas na etapie już wyboru koncepcji wyciszenia stanowiska pracy, adaptacji akustycznej obsługiwanych stanowisk pracy – w zależności od doboru rodzaju i parametrów akustycznych źródła hałasu.

Dalsze prace koncentrować się będą na badaniu źródeł hałasu, znaczenia sposobu ich modelowania na otrzymywane wyniki symulacji. Istotna będzie w tym kontekście również ocena charakterystyk promieniowania źródeł hałasu. Badania w zakresie identyfikacji źródeł dźwięku oraz sterowania mocami akustycznymi źródeł w pomieszczeniach zostały podjęte w pracy [2]. Wskazano przy tym na możliwości dostosowania mocy akustycznych źródeł do wymagań akustycznych na stanowiskach pracy w projektowaniu i adaptacji stanowisk pracy obiektów przemysłowych.

#### **Literatura**

1. PN-EN ISO 3746:1999. Akustyka - Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego. Metoda orientacyjna z zastosowaniem otaczającej powierzchni pomiarowej nad płaszczyzną odbijającą dźwięk.
2. Paszkowski W., Kuboszek A.: Identification of sources of sound in the working place flow field. Artukul zgłoszony do Archives of Acoustics

Dr inż. Waldemar PASZKOWSKI

Dr inż. Artur KUBOSZEK

Zakład Inżynierii Systemów Technicznych

Instytut Inżynierii Produkcji, Wydział Organizacji i Zarządzania

Politechnika Śląska

41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26

e-mail: Waldemar.Paszowski@polsl.pl

Artur.Kuboszek@polsl.pl