

Arkadiusz BOCZKOWSKI, Artur KUBOSZEK
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
arkadiusz.boczkowski@polsl.pl; artur.kuboczek@polsl.pl

WYKORZYSTANIE METOD SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W OPRACOWANIU STRATEGII DZIAŁAŃ ZMIERZAJĄCYCH DO OGRANICZENIA HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykłady wykorzystania komputerowych metod symulacji zjawisk akustycznych w pracach projektowych, zmierzających do opracowania optymalnych sposobów ograniczenia hałasu na stanowisku pracy. Zastosowanie symulacji komputerowej daje możliwość opracowania strategii prac wyciszeniowych, która jest najkorzystniejsza pod kątem skuteczności akustycznej oraz opłacalności ekonomicznej.

Słowa kluczowe: hałas, metody symulacyjne, ocena oddziaływania akustycznego.

THE USE COMPUTER SIMULATION METHODS FOR THE DEVELOPMENT OF STRATEGIES ACTIONS AIMED AT REDUCING NOISE AT WORKPLACE

Summary. This paper presents examples of using computer-based methods of acoustic simulation for optimal designing of noise reduction projects at the workplaces. Using of the acoustic simulations provides the opportunity to develop optimal strategies for noise reduction in terms of acoustic efficiency and cost-effectiveness.

Keywords: noise, simulation methods, the acoustic impact assessment.

1. Wstęp

Nadmierny hałas jest obecnie jednym z głównych zagrożeń z jakimi boryka się współczesny człowiek. Zwykle występuje w miejscu pracy, w drodze do domu oraz w miejscu naszego zamieszkania. Stała ekspozycja człowieka na hałas ma związek

z powszechnym oddziaływaniem hałasu komunikacyjnego, gdzie jego głównymi źródłami są środki transportu (samochody, pociągi, tramwaje, samoloty), jak również hałasu występującego w miejscu pracy. Ten ostatni jest zjawiskiem być może dotyczącym mniejszej części populacji niż w przypadku hałasu komunikacyjnego, za to jego natężenie jest zdecydowanie większe. Rocznik Statystyczny Przemysłu z 2014 roku podaje, iż w warunkach zagrożenia czynnikami związanymi ze środowiskiem pracy zatrudnionych było 290 tysięcy pracowników, z czego około 170 tysięcy w warunkach zagrożenia nadmiernym hałasem (wg stanu na koniec 2013 roku) [6].

Działania zmierzające do ograniczeniu hałasu na stanowisku pracy polegają na takim doborze środków i metod redukcji hałasu, by maksymalnie zwiększyć skuteczność proponowanych rozwiązań, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów wdrożenia tych zabezpieczeń. Dużą pomocą w tym zadaniu są programy komputerowe, umożliwiające symulację zjawisk akustycznych. Uzyskane mapy propagacji dźwięku w badanej przestrzeni z wykorzystaniem metod symulacji komputerowych dają możliwość prowadzenia wielokryterialnych analiz rozkładu pola akustycznego. W programach tych istnieje możliwość dowolnego kształtowania przestrzeni badawczej, określenia parametrów akustycznych otaczającej przestrzeni, źródeł hałasu oraz lokalizacji punktów receptorowych, które pokazują położenie pracowników narażonych na hałas. Badania symulacyjne realizowane są przez analizę wpływu poszczególnych źródeł na badaną przestrzeń. Przy tak realizowanej procedurze obliczeniowej możliwe jest „rangowanie źródeł”, czyli określenie, które źródła mają największy wpływ na określony punkt receptorowy. W konsekwencji daje to możliwość określenia najkorzystniejszej strategii prowadzenia prac wyciszeniowych, a więc takich, które przy minimalnej liczbie działań i minimalnym koszcie dają najlepszy efekt akustyczny. Systemy komputerowej symulacji zjawisk akustycznych dają również możliwość analizy skuteczności wprowadzanych rozwiązań przeciwhałasowych. Wykonywanie tego typu badań w przestrzeni wirtualnej powoduje, że możliwe jest praktyczne dowolne kształtowanie tej przestrzeni i testowanie dowolnej liczby rozwiązań przeciwhałasowych. Metodą kolejnych modyfikacji modelu symulacyjnego dochodzi się do uzyskania rozwiązania optymalnego – pod kątem akustycznym i ekonomicznym [1][2][3].

2. Wykorzystanie metod komputerowych w projektowaniu zabezpieczeń przeciwhałasowych

Zapewnienie właściwych warunków pracy człowieka przez realizację zadań zmierzających do ograniczenia emisji hałasu jest zadaniem dość trudnym, z uwagi na konieczność posiadania specjalistycznej wiedzy, dotyczącej sposobów redukcji hałasu, często

duży zakres inwestycji oraz wysoki koszt zabezpieczeń akustycznych. Specjalista realizujący tego typu zadania musi odpowiedzieć sobie na trzy podstawie pytania:

- Co należy wyciszyć?
- W jaki sposób zrealizować to wyciszenie?
- Jaka będzie skuteczność zaprojektowanych zabezpieczeń?

Jednoznaczna odpowiedź na powyższe pytania, bazując tylko na wartościach pomiarowych oraz wiedzy i doświadczeniu projektanta, często będzie niemożliwa, ponieważ skuteczność zaproponowanych rozwiązań może być weryfikowana dopiero po fizycznej realizacji inwestycji. Ryzyko pomyłki, polegającej na wyborze złej metody wyciszenia nadmiernego hałasu, powoduje że realizacja takich zadań powinna odbywać się z zastosowaniem komputerowych narzędzi wspomagających, służących do symulacji zjawisk akustycznych. Narzędzia takie dają możliwość analizy skuteczności zastosowania różnych środków redukcji hałasu, różnych rodzajów materiałów wyciszeniowych czy testowania najefektywniejszych lokalizacji ekranów akustycznych itd. Prawidłowo wykonany model geometryczny oraz poprawnie zbudowany na nim model symulacyjny (obliczeniowy) umożliwiają iteracyjne wprowadzanie różnych modyfikacji i sprawdzanie uzyskiwanych efektów akustycznych. W modelu swobodnie można włączać i wyłączać poszczególne źródła hałasu, zmieniać ich moce akustyczne, modyfikować położenie, wprowadzać dodatkowe przegrody, określać ich własności akustyczne, tym samym uzyskując informację o skuteczności wprowadzonych zmian czy zastosowanych zabezpieczeń akustycznych [4][5].

Celem dalszej części pracy jest przedstawienie przykładu wykorzystania narzędzi symulacji komputerowej do opracowania optymalnej strategii prac wyciszeniowych, zapewniającej skuteczne ograniczenie ponadnormatywnego hałasu, występującego na stanowiskach pracy w wybranym zakładzie przemysłu metalurgicznego.

3. Przykład zastosowania metod symulacyjnych w procesie opracowania strategii działań zmierzających do ograniczenia hałasu na wybranych stanowiskach pracy w przemyśle metalurgicznym

W niniejszym rozdziale przedstawiono przykład identyfikacji głównych źródeł hałasu oraz sposób opracowania strategii prac wyciszeniowych dla potrzeb redukcji hałasu na wybranych stanowiskach pracy w jednym z zakładów przemysłu hutniczego. Na podstawie przeprowadzonych analiz symulacyjnych określono wpływ poszczególnych źródeł na poziom hałasu, zarejestrowany na wybranych stanowiskach pracy, ustalono optymalną kolejność prac wyciszeniowych oraz oszacowano możliwą do uzyskania redukcję hałasu – wyrażoną zmianą wskaźnika NDN. Prace te poprzedzone zostały działaniami polegającymi m.in. na

przeprowadzeniu pomiarów poziomu dźwięku emitowanego przez poszczególne źródła, obliczeniu mocy akustycznych tych źródeł, inwentaryzacji geometrii hali produkcyjnej, analizie istniejących stanowisk pracy i określeniu liczby pracowników narażonych na hałas.

Z przeprowadzonych obserwacji wynikało, że za przekroczenia wartości dopuszczalnych poziomu hałasu na terenie analizowanych hal przemysłowych odpowiedzialne są przede wszystkim następujące grupy źródeł:

- piece odlewnicze, znajdujące się wewnątrz hal przemysłowych,
- wentylatory dmuchu technologicznego oraz instalacji odpylających, stanowiące bardzo istotne źródła hałasu, zlokalizowane na zewnątrz i wewnątrz hal przemysłowych,
- sprężarki, turbosprężarki, turbiny, dmuchawy i turbodmuchawy zlokalizowane we wnętrzu osobnych hal przemysłowych, emitujące bardzo duży hałas zarówno do wnętrza hal, jak i na zewnątrz (emisja budynków, hałas kolektorów oraz instalacji wentylacyjnej),
- przenośniki i ich napędy, przeważnie zlokalizowane na wysokich poziomach hal pieców (zasyp koncentratu do pieców, przygotowanie koncentratu),
- pompy wraz z silnikami, zlokalizowane w różnych miejscach na terenie całej huty.

Większość z wymienionych grup źródeł hałasu można skutecznie wyciszyć przez zastosowanie całkowitych lub częściowych obudów dźwiękochłonna-dźwiękoizolacyjnych lub przez odpowiednie ich ekranowanie. Należy jednak pamiętać, że wykonanie skutecznej obudowy akustycznej wymaga każdorazowo odrębnego podejścia do zagadnienia redukcji hałasu danego źródła. Przede wszystkim należy określić rodzaj projektowanej obudowy oraz możliwość redukcji hałasu w stosunku do wymagań wstępnych. Następnie należy bardzo dokładnie poznać cykl pracy urządzenia oraz sposób i częstotliwość obsług eksploatacyjnych (np. przeglądy, wymiana oleju, smarowanie, wymiana części). Obudowę należy zaprojektować w taki sposób, by nie tylko skutecznie tłumiła hałas, ale również, by nie przeszkadzała w wykonywaniu codziennych i okresowych czynności, związanych z eksploatacją obiektu. Obudowy dźwiękoizolacyjne z dużym powodzeniem można zastosować w celu takich źródeł hałasu jak: wentylatory, sprężarki, turbosprężarki, dmuchawy, turbodmuchawy, pompy, silniki itp.

Najpoważniejszy jednak problem dotyczy możliwości redukcji hałasu pieców metalurgicznych. Ze względu na warunki procesu produkcyjnego (kontakt z płynnym metalem, wysoka temperatura itp.), możliwość skutecznego wyciszenia pieców jest znacznie mniejsza niż innych źródeł.

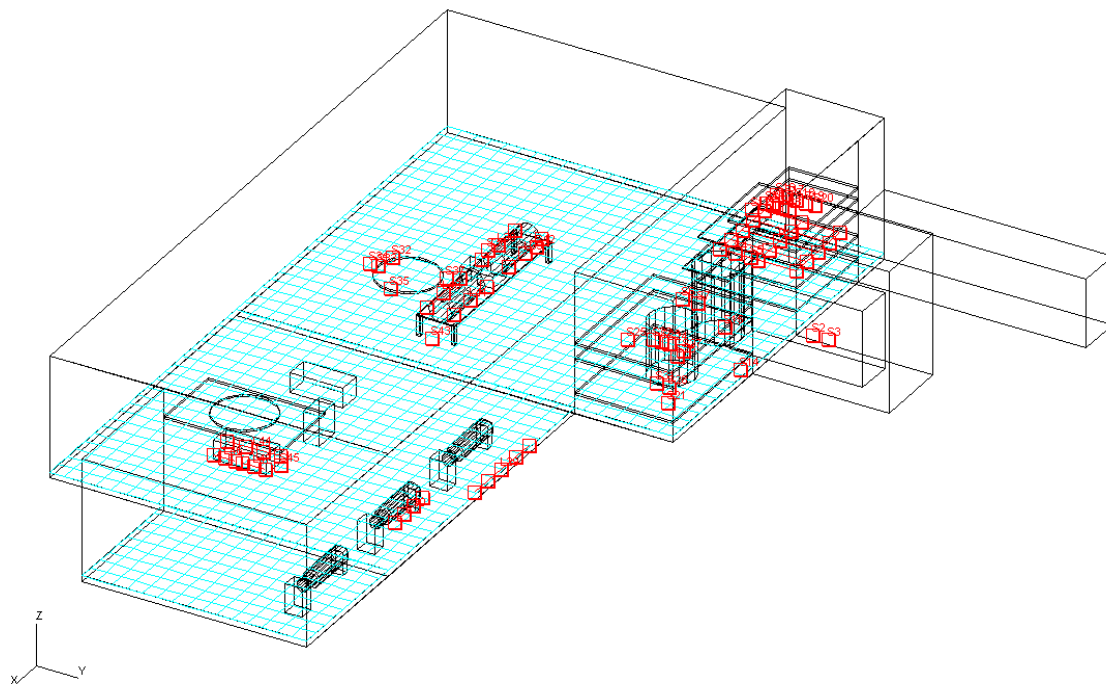
W celu zaproponowania najkorzystniejszego wariantu postępowania zaproponowano rozpatrzenie trzech niezależnie opracowanych strategii działań związanych z redukcją hałasu poszczególnych źródeł, a w konsekwencji z poprawą warunków pracy. Są to działania zmierzające do:

- ograniczenia emisji hałasu w środowisku zewnętrznym,
- poprawy klimatu akustycznego wewnątrz hal przemysłowych,
- ograniczenia hałasu w odniesieniu do ekspozycji na hałas na stanowiskach pracy.

Dwie pierwsze strategie dotyczą odpowiednio realizacji wyciszeń źródeł znajdujących się na zewnątrz hal przemysłowych oraz źródeł wewnętrznych, natomiast trzecia jest połączeniem dwóch pierwszych i dodatkowo uwzględnia informacje o stanowiskach pracy, dla których zanotowano przekroczone wartości NDN hałasu.

W przypadku strategii pierwszej i drugiej, w celu określenia kolejności realizacji zabezpieczeń przeciwhałasowych źródeł, odpowiednio zewnętrznych i wewnętrznych, dokonano szczegółowej analizy wielkości emisji hałasu do środowiska, okresowości pracy poszczególnych źródeł oraz ich wpływu na zewnętrzny klimat akustyczny, panujący na terenie huty. Następnie sporządzono listę wszystkich źródeł hałasu w kolejności zgodnej z malejącą emisją akustyczną i odrzucono źródła charakteryzujące się emisją poniżej 82 dB oraz te, których wyciszenie jest niemożliwe, niecelowe lub nieopłacalne. Pozostałe źródła posortowano w taki sposób, by realizacja kolejnych wyciszeń dała możliwie największe efekty redukcji hałasu. W przypadku strategii trzeciej zdecydowano o przeprowadzeniu szczegółowej analizy wpływu poszczególnych źródeł hałasu na stanowiska pracy pracowników huty. Złożoność zjawisk akustycznych powoduje, że bez przeprowadzenia badań nie można stwierdzić, że za przekroczenia dopuszczalnych wartości hałasu na stanowiskach pracy odpowiadają źródła o największym poziomie mocy akustycznej. Zjawiska odbicia i pochłaniania hałasu powodują, że często za hałas na stanowisku pracy odpowiadają źródła, które nie zawsze są najgłośniejsze. W celu określenia zależności pomiędzy parametrami geometrycznymi i akustycznymi źródeł dźwięku a wartością poziomu hałasu na stanowiskach pracy posłużono się metodami symulacyjnymi.

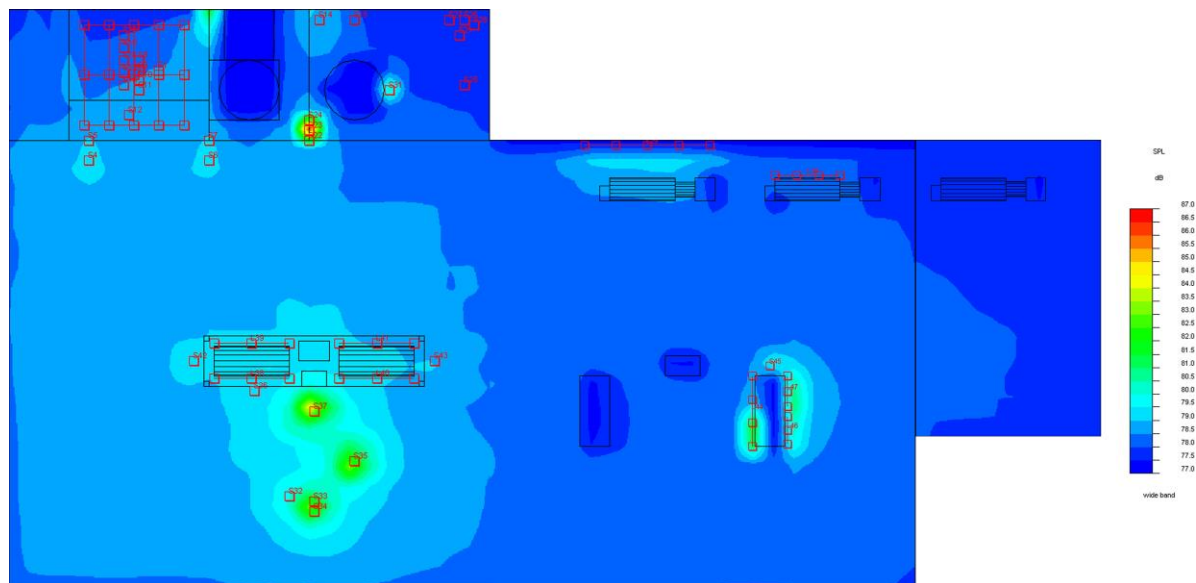
W pierwszej kolejności utworzono cyfrowy model geometryczny i akustyczny hali pieców, przedstawiony na rys. 1. Po wprowadzeniu do modelu lokalizacji głównych źródeł hałasu oraz ich charakterystyk akustycznych przystąpiono do przeprowadzenia obliczeń propagacji hałasu we wnętrzu hali z wykorzystaniem metod geometrycznych. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Raynoise® ver. 2.0. Zastosowano siatkę obliczeniową o rastrze 1,0×1,0 m, zlokalizowaną na wysokości 1,5 m nad poziomem podłogi. Mapę rozkładu pola akustycznego dla szerokiego pasma częstotliwości słyszalnych (od 31,5 Hz do 8 kHz) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Przestrzenny model hali

Fig. 1. Spatial model of the hall

Źródło: opracowanie własne.

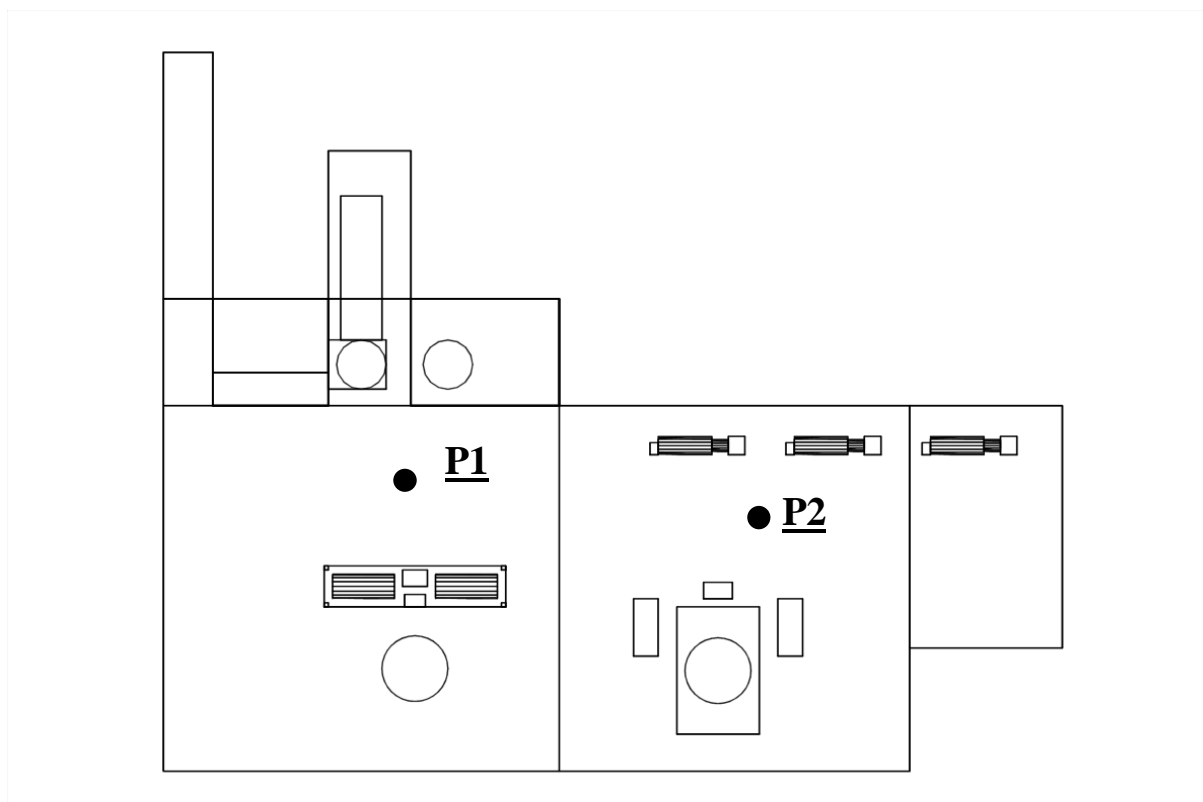


Rys. 2. Mapa pola akustycznego na terenie hali

Fig. 2. Map of the acoustic field in the industrial halls

Źródło: opracowanie własne.

Dla potrzeb określenia, które źródła hałasu odpowiadają w największym stopniu za podwyższony poziom hałasu na wybranych stanowiskach pracy przeprowadzono analizę wpływu poszczególnych źródeł w punktach obserwacji P1 i P2, reprezentujących miejsca przebywania pracowników. Położenie punktów kontrolnych przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Lokalizacja punktów kontrolnych hałasu na terenie hali przemysłowej

Fig. 3. Location checkpoints noise in industrial hall

Źródło: opracowanie własne.

W tabeli 1 przedstawiono uzyskane w wyniku symulacji komputerowej udziały poszczególnych źródeł hałasu w ogólnym hałasie, obserwowanym w punkcie kontrolnym P1.

Analiza otrzymanych wyników przeprowadzonych symulacji komputerowych dla wszystkich punktów kontrolnych umożliwia opracowanie optymalnej kolejności prac wyciszeniowych, które w środowisku pracy umożliwiają uzyskanie hałasu o dopuszczalnych parametrach. W analizowanym przykładzie zastosowano strategię polegającą na określeniu kolejności wyciszania źródeł hałasu wg kryterium największego wpływu na wartość NDN na stanowiskach pracy. Na terenie hali pieców przekroczenie wskaźnika NDN hałasu występuje na 2 stanowiskach pracy, co przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1

Udziały poszczególnych źródeł hałasu w punkcie kontrolnym P1

Oznaczenie	Nazwa źródła	Poziom dźwięku od źródła w dB
7_P22	Wentylator osiowy do chłodzenia sklepienia szybu	69,2
6_P22a	Napęd 1 przenośników koncentratu	67,0
6_P22b	Napęd 2 przenośników koncentratu	67,0
6_P22c	Napęd 3 przenośników koncentratu	66,9
6_P22d	Napęd 4 przenośników koncentratu	66,8
MO	Maszyna odlewnicza do anod	66,3
4_P22a	Wentylator 1 dmuchu pod trzon pieca	65,7

cd. tabeli 1

4_P22b	Wentylator 2 dmuchu pod trzon pieca	65,6
10_P22	Kolektory wody kesonowej	64,8
MZ	Emisja z magazynu żużła	64,2
Poziom całkowity $L_{A\text{sr}}$		81,2

Źródło: opracowanie własne.

Zaproponowana ostatecznie kolejność wyciszeń dla hali pieców została podzielona na dwa etapy. W etapie pierwszym należało wyciszyć źródła o największym wpływie na wszystkie stanowiska pracy znajdujące się w hali przemysłowej, a więc wentylator osiowy do chłodzenia sklepienia szybu (7_P22) oraz wszystkie napędy przenośników koncentratu (źródła 6_P22a-d), z kolei w etapie drugim należało wyciszyć dwa wentylatory dmuchu pod trzon (źródło 4_P22a-b). Realizacja wyciszeń zgodnie z przedstawioną strategią (kolejnością) pozwoli na obniżenie hałasu do wartości akceptowalnych i niezagrażających zdrowiu pracowników.

Tabela 2

Wykaz stanowisk z przekroczeniami wskaźnika NDN wraz z określeniem źródeł wpływowych oraz strategii wyciszeń

Nr	Stanowisko	NDN	L_{Aeq} [dB]	Źródła wpływowe	Strategia wyciszenia
1	Wytapiacz metali nieżelaznych – wsadowy	2,16	88,3	1_P22 2_P22 4_P22	Etap 1 6_P22a-d
2	Dyspozytor suwnicy lejniczej	1,28	86,1	5_P22 6_P22 7_P22	Etap 2 4_P22a-b

Źródło: opracowanie własne.

4. Podsumowanie

Wykorzystanie metod symulacji komputerowej w akustyce środowiska pracy pozwala na przeprowadzenie analizy wpływu poszczególnych źródeł na hałas skumulowany, występujący na wybranych stanowiskach pracy, dzięki czemu możliwe jest wytypowanie źródeł odpowiedzialnych za przekroczenia wartości normatywnych. Uzyskane w ten sposób informacje pozwalają na świadome planowanie strategii wyciszeń, z uwzględnieniem różnych kryteriów (np. wysokiej skuteczności, niskiego kosztu itp.). Metody symulacyjne pozwalają również na weryfikację skuteczności projektowanych zabezpieczeń, dzięki czemu już na wstępnym etapie prac możemy oszacować możliwe do uzyskania efekty redukcji hałasu.

Bibliografia

1. Boczkowski A., Kuboszek A.: Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap I. Ekspertyza akustyczna. Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach. Monografia. Red. Jan Kaźmierczak, Joanna Bartnicka. Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, s. 15-34.
2. Boczkowski A., Kuboszek A.: Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap II. Projekt akustyczny. Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach. Monografia, (red.): J. Kaźmierczak, J. Bartnicka. Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014, s. 35-48.
3. Boczkowski A.: Designing of noise protection systems in industrial environment. Monografia. Systems Supporting Production Engineering, (pod red.): W. Białego, J. Kaźmierczaka, Gliwice 2012.
4. Boczkowski A.: Komputerowe wspomaganie w procesie realizacji ocen oddziaływania akustycznego zakładów przemysłowych na środowisko. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Tom 2, (pod red.): R. Knosali. Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015, s. 372-383.
5. Kuboszek A.: Wspomaganie procesu projektowania zabezpieczeń akustycznych na stanowiskach pracy. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Tom 2, (pod red.): R. Knosali. Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2015, s. 427-438.
6. Rocznik Statystyczny Przemysłu 2014,
http://stat.gov.pl/download/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/5/8/1/rocznik_statystyczny_przemyslu.pdf. z dnia 26.05.2015.

Abstract

In spite of the variety of different methods and ways of noise reduction, the issue of excessive noise is still the main problem of modern world. The main sources of noise that affect people nowadays are the traffic noise and the noise at the workplaces.

This paper presents examples of using computer-based methods of acoustic simulation for optimal designing of noise reduction projects at the workplaces. The described example shows how to identify the main sources of noise affecting selected workplaces at the hall of blast furnaces in one of the steel works. By using the acoustic simulations the optimal strategies for noise reduction have been developed. These strategies take into consideration aspects connected with acoustic efficiency and cost-effectiveness of noise reduction projects.