

2

WYKORZYSTANIE METOD KOMPUTEROWYCH DO OSZACOWANIA SKUTECZNOŚCI REDUKCJI HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY

2.1 WPROWADZENIE

Proces kształtowania klimatu akustycznego w środowisku pracy człowieka opiera się w głównej mierze na działaniach zmierzających do ograniczenia nadmiernej emisji hałasu pracujących maszyn i urządzeń poprzez ingerencję w ich konstrukcję i sposób działania – metody czynne oraz na takim kształtowaniu stanowiska pracy i otoczenia człowieka, aby emitowany przez maszyny i urządzenia hałas został istotnie ograniczony – metody bierne. W obszarze metod biernej redukcji hałasu możemy stosować następujące zabezpieczenia przeciwhałasowe:

- indywidualne ochronniki słuchu,
- obudowy dźwiękochłonno-dźwiękoizolacyjne (częściowe i całkowite),
- ekrany akustyczne oraz elementy odbijające lub pochłaniające hałas,
- adaptację akustyczną całych pomieszczeń,
- zmianę organizacji pracy lub zmniejszenie czasu pracy na stanowisku.

Wybór właściwej metody ograniczenia hałasu jest zadaniem stosunkowo trudnym, z uwagi na konieczność oszacowania przewidywanych efektów oraz kosztów wyciszeń jeszcze na etapie projektowania zabezpieczeń. Niewłaściwy wybór często prowadzi do znacznego poniesienia kosztów lub nie gwarantuje uzyskania odpowiedniego efektu akustycznego. Dlatego też ocenę skuteczności proponowanych rozwiązań przeciwhałasowych przeprowadzić należy już na etapie ich projektowania. Realizacja tego zadania jest możliwa dzięki zastosowaniu systemów komputerowej symulacji zjawisk akustycznych.

2.2 WYKORZYSTANIE METOD KOMPUTEROWYCH W PROJEKTOWANIU ZABEZPIECZEŃ PRZECIWHAŁASOWYCH

Zapewnienie właściwych warunków pracy i życia człowieka poprzez realizację zadań zmierzających do ograniczenia ponadnormatywnej emisji hałasu jest zadaniem trudnym, z uwagi na konieczność posiadania specjalistycznej wiedzy dotyczącej sposobów redukcji hałasu, konieczność oszacowania skuteczności projektowanych zabezpieczeń, często duży zakres inwestycji oraz wysoki koszt wdrożeń. Specjalista realizujący tego typu zadania musi stwierdzić, które źródła hałasu należy wyciszyć w pierwszej

kolejności oraz w jaki sposób wykonać odpowiednio skuteczne zabezpieczenia przed hałasem. W większości przypadków skuteczność zaprojektowanych zabezpieczeń przeciwhałasowych można zweryfikować dopiero po realizacji inwestycji i wykonaniu kontrolnych pomiarów hałasu, co w przypadku niewłaściwie dobranych rozwiązań, wiąże się z ryzykiem pomyłki i poniesieniem niepotrzebnych kosztów. Dlatego też realizacja zadań z zakresu projektowania akustycznego powinna odbywać się z wykorzystaniem komputerowych narzędzi wspomagających, pozwalających na symulację zjawisk akustycznych. Narzędzia takie dają możliwość analizy rozkładu pola akustycznego w przestrzeni zamkniętej (hale produkcyjne, pomieszczenia, itp.) lub otwartej (środowisko zewnętrzne) oraz pozwalają oszacować wpływ projektowanych zabezpieczeń na zmniejszenie poziomu dźwięku w wybranych punktach kontrolnych.

W rzeczywistych obiektach przemysłowych zwykle spotykamy się z koniecznością ograniczenia hałasu środowiskowego emitowanego ze stosunkowo rozległego obszaru, na którym znajduje się duża liczba różnorodnych źródeł dźwięku, jak: niedostatecznie izolowane akustycznie hale przemysłowe lub fragmenty ich elewacji, wentylatory, dmuchawy, silniki (napędy), sprężarki, chłodnie wentylatorowe, itd. W takim przypadku nadrzędnym zadaniem jest określenie zakresu i kolejności prac wyciszających, uwzględniając przy tym możliwy do uzyskania efekt ekologiczny (definiowany, jako spadek wartości wskaźnika L_{AeqD} lub L_{AeqN} w dB w punkcie pomiarowym zlokalizowanym na terenie podlegającym ochronie przed hałasem) oraz koszt realizacji zabezpieczeń. Trudność realizacji tak postawionego zadania związana jest najczęściej z brakiem możliwości wykorzystania metod pomiarowych do określenia tzw. stopnia ważności źródła. Zwykle na terenie zakładu pracują wszystkie źródła hałasu i nie ma możliwości zatrzymania procesu produkcyjnego celem przeprowadzenia eksperymentu polegającego na kolejnym załączaniu poszczególnych źródeł hałasu i pomiarze ich wpływu na hałas obserwowany w punktach kontrolnych. Przyczyną tego są duże koszty przerwania produkcji lub brak możliwości przerwania produkcji z uwagi na specyfikę realizowanego procesu technologicznego. Bardzo często zdarza się, że nie ma nawet fizycznej możliwości takiego działania, gdyż praca jednego źródła wymusza pracę pozostałych (ciągi technologiczne). Dodatkowo, w szczególności, jeśli badane środowisko znajduje się na zewnątrz, na hałas generowany przez zakład przemysłowy nakłada się hałas tła akustycznego związanego z istnieniem sąsiednich zakładów przemysłowych, blisko zlokalizowanymi głównymi drogami (np. wojewódzkimi, krajowymi, autostradami) lub liniami kolejowymi. Warunki takie praktycznie uniemożliwiają wykonanie dokładnych pomiarów poziomu dźwięku – zwłaszcza, gdy zakład przemysłowy pracuje w systemie ciągłym.

Powyższe problemy uniemożliwiają poprawne wytypowanie liczby źródeł przeznaczonych do wyciszenia, określenie koniecznej redukcji mocy akustycznej wyciszanych źródeł i określenie właściwej kolejności realizacji prac wyciszających. Ryzyko popełnienia błędu można jednak znacznie ograniczyć lub niemal całkowicie wyeliminować poprzez zastosowanie metod symulacyjnych. Prawidłowo wykonany model geometryczny i co ważniejsze poprawnie zbudowany na nim model symulacyjny umożliwia

przeprowadzenie eksperymentu czynnego, polegającego na zmianie parametrów źródła (moc akustyczna, kierunkowość, charakterystyka czasowo-częstotliwościowa emisji hałasu, itp.) i jego otoczenia (obudowy, ekrany, elementy pochłaniające) oraz obserwacji wpływu tych zmian na zmniejszenie poziomu dźwięku w punktach kontrolnych (np. na stanowiskach pracy).

Optymalne rozwiązanie problemu redukcji hałasu w środowisku pracy wymaga zaproponowania rozwiązania najlepszego pod kontem akustycznym i ekonomicznym. Zaprojektowanie rozwiązań bardzo kosztownych, które będą miały niewielką skuteczność akustyczną, nie wchodzi w rachubę w gospodarce rynkowej. Z tego też powodu wiedza o tym, jaką przybliżoną skuteczność będą miały proponowane rozwiązania oraz jaki będzie ich przybliżony koszt, już na etapie ich projektowania, umożliwia wybór właściwej metody wyciszenia. Skuteczność środków ograniczających hałas na etapie projektowania oszacować można praktycznie tylko na drodze symulacji komputerowej. Metody symulacji komputerowej są również jedynymi metodami, które mogą pomóc w rozwiązaniu problemów nietypowych, w sytuacji, w których klasyczne (bierne) metody redukcji hałasu nie mogą zostać zastosowane. Np. przedstawiony przykład polegający na wyciszeniu hali produkcyjnej wyłącznie poprzez zastosowanie dźwiękochłonnej adaptacji akustycznej jest praktycznie niemożliwa do realizacji bez oszacowania możliwej do uzyskania skuteczności na drodze symulacji komputerowej. Oszacowanie zwiększenia chłonności akustycznej hali produkcyjnej o tak złożonej i skomplikowanej konstrukcji nie jest możliwe metodami innymi niż symulacyjne.

2.3 METODY I NARZĘDZIA SŁUŻĄCE DO KOMPUTEROWEJ SYMULACJI ZJAWISK AKUSTYCZNYCH

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych w Polsce metod analizy hałasu przemysłowego w środowisku zewnętrznym jest metoda określania emisji i imisji hałasu przemysłowego w środowisku opisana w instrukcji 338/2008 wydanej przez Instytut Techniki Budowlanej. Jest ona zalecana przez Ministerstwo Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa do stosowania przez projektantów, organa administracji państwowej oraz podmioty zajmujące się ochroną środowiska przed hałasem. Obliczenia wg algorytmów ww. metody realizuje program komputerowy o nazwie HPZ'2001. Po wejściu Polski do Unii Europejskiej zalecaną przez Dyrektywę 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady metodą obliczeniową propagacji hałasu przemysłowego w środowisku zewnętrznym jest metoda opisana w normie PN-ISO 9613-2:2002 pt. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólne metody obliczeń. W porównaniu z metodą opisaną w instrukcji 338/96 metoda ISO 9613-2 uwzględnia dodatkowo zjawisko tłumienia dźwięku przez grunt. Metoda ISO 9613-2 zaimplementowana jest w większości środowisk obliczeniowych realizujących zadania z zakresu tworzenia strategicznych map hałasu, tj.: CadnaA, Immi, LimaA, czy SoundPlan. Wykorzystanie metody ISO 9613-2 ogranicza się do analizy propagacji dźwięku w przestrzeniach otwartych, a więc w środowisku zewnętrznym. W przypadku analiz symulacyjnych zjawisk akustycznych w przestrzeni zamkniętej, np. wewnątrz hal prze-

mysłowych, stosowane są programy komputerowe wykorzystujące algorytmy obliczeniowe oparte o metody geometryczne analizy pola akustycznego, np.: Raynoise, Odeon Industrial, itp. Akustyka geometryczna zakłada, że fale dźwiękowe i promienie propagacji dźwięku zachowują się tak samo i mają te same własności. Promienie dźwięku odbijają się od stałych powierzchni tracąc przy tym część energii. Pomija się zazwyczaj falowy aspekt zachowania dźwięku. Algorytmy obliczeniowe programów komputerowych wykorzystujących metody akustyki geometrycznej stosowane obecnie opierają się na metodach będących połączeniem klasycznych metod geometrycznych, a więc metody źródeł pozornych i metody promieniowej. Przedstawione przykłady opierają się na zastosowaniu algorytmów akustyki geometrycznej i wykorzystaniu oprogramowania Raynoise oraz Odeon Industrial.

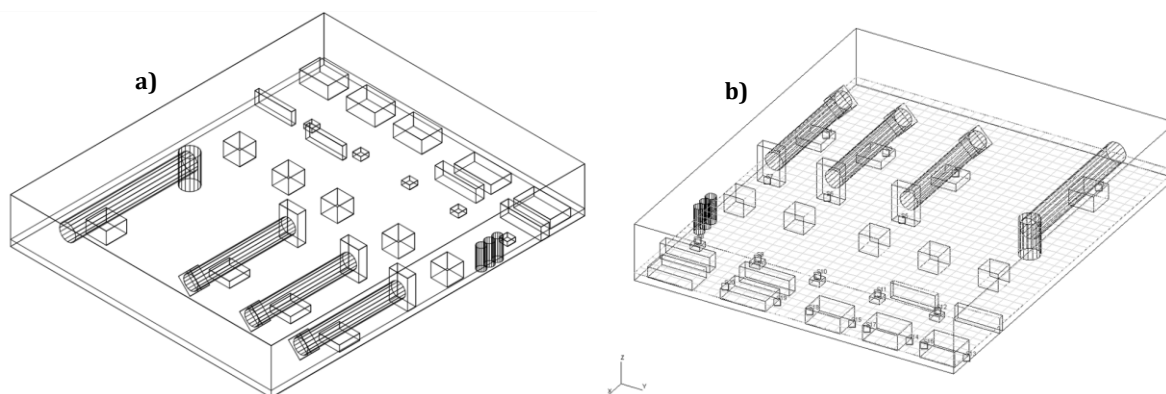
2.4 PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA METOD SYMULACYJNYCH DO IDENTYFIKACJI HAŁASU NA STANOWISKU PRACY

2.4.1 Identyfikacja źródeł hałasu oraz opracowanie kolejności wyciszeń w hali suszarni koncentratu w przemyśle metalurgicznym

W przykładzie przedstawiono sposób identyfikacji głównych źródeł hałasu mających wpływ na wybrane stanowiska pracy na terenie hali suszarni koncentratu w przemyśle hutniczym. Na podstawie przeprowadzonych analiz symulacyjnych określono wpływ poszczególnych źródeł na poziom hałasu zarejestrowany na wybranych stanowiskach pracy, ustalono optymalną kolejność prac wyciszających oraz oszacowano możliwą do uzyskania redukcję wskaźnika NDN. W celu realizacji opisanych wyżej działań wykonano następujące zadania:

- przeprowadzono identyfikację źródeł hałasu zlokalizowanych na terenie hali produkcyjnej,
- przeprowadzono pomiary poziomu dźwięku emitowanego przez poszczególne źródła wraz z identyfikacją charakterystyk oktafowych dźwięku,
- wykonano pomiary geometrii źródeł hałasu,
- obliczono poziom mocy akustycznej źródeł w funkcji częstotliwości oktafowych,
- wykonano inwentaryzację geometrii hali produkcyjnej oraz własności akustycznych materiałów elewacyjnych, podłóg i stropów,
- przeprowadzono inwentaryzację istniejących stanowisk pracy, liczby pracowników narażonych na hałas, okresowości pracy poszczególnych źródeł, itp.,
- utworzono cyfrowy model geometryczny i akustyczny hali suszarni koncentratu,
- przeprowadzono obliczenia rozkładu pola akustycznego we wnętrzu hali produkcyjnej,
- określono źródła odpowiedzialne za ponadnormatywną dawkę hałasu na wybranych stanowiskach pracy.

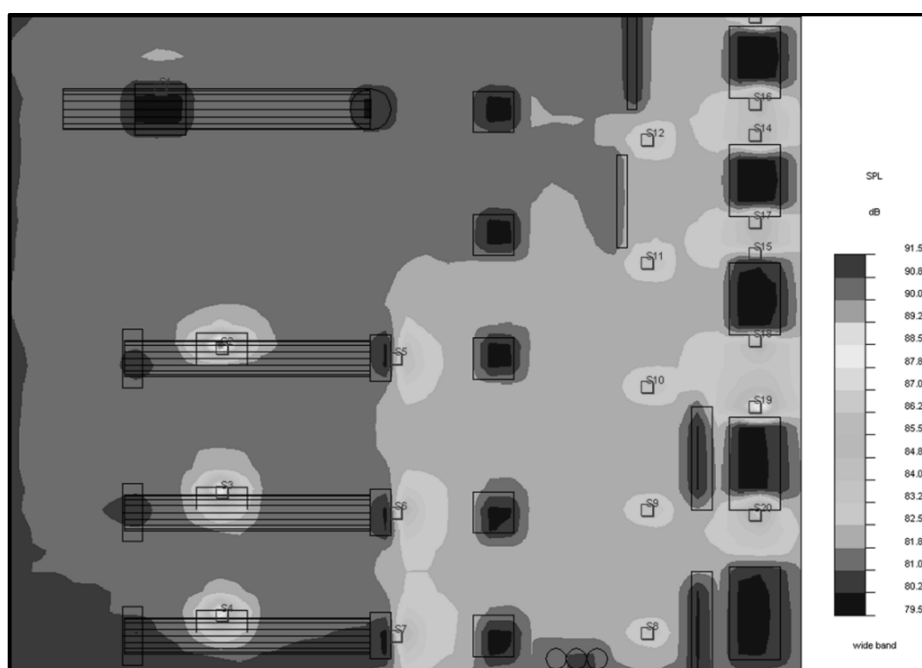
Opracowany model geometryczny i akustyczny hali suszarni koncentratu przedstawiono na rys. 2.1.



Rys. 2.1 Przeszrenny model hali suszarni koncentratu
a) model geometryczny **b) model geometryczno-akustyczny**

Źródło: Opracowanie własne

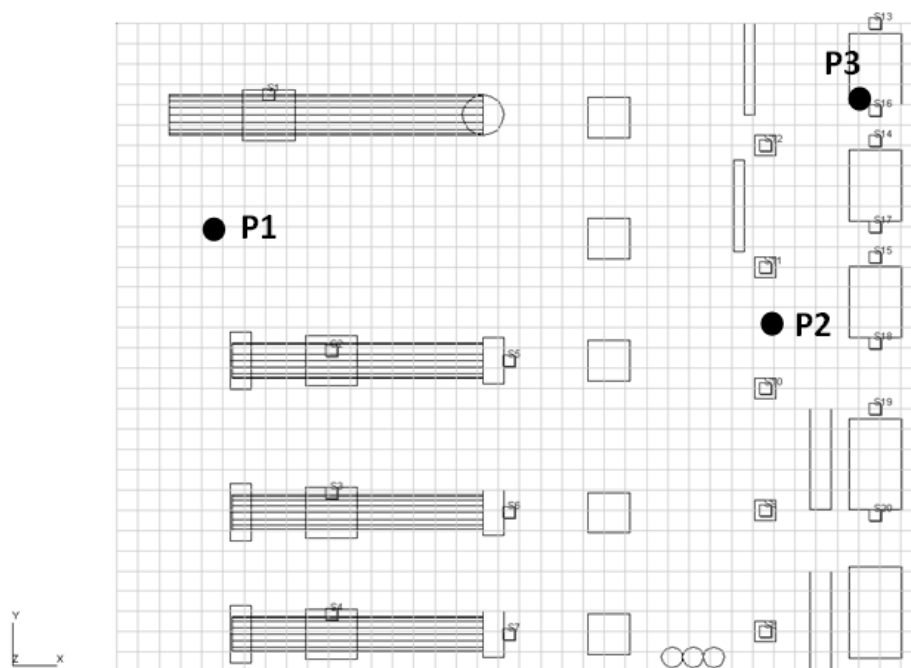
Został on utworzony na podstawie map sytuacyjnych hali oraz pomiarów własnych. Po wprowadzeniu do modelu lokalizacji głównych źródeł hałasu oraz ich charakterystyk akustycznych przystąpiono do przeprowadzenia obliczeń propagacji hałasu we wnętrzu hali z wykorzystaniem metod geometrycznych. W tym celu wykorzystano oprogramowanie Raynoise® ver. 2.0. Zastosowano siatkę obliczeniową o rastrze $1,0 \times 1,0\text{m}$ zlokalizowaną na wysokości 1,5m nad poziomem podłogi. Mapę rozkładu pola akustycznego dla szerokiego pasma częstotliwości słyszalnych (od 31,5 Hz do 8 kHz) przedstawiono na rys. 2.2.



Rys. 2.2 Mapa rozkładu poziomego dźwięku na terenie hali suszarni koncentratu

Źródło: Opracowanie własne

W następnej kolejności przeprowadzono analizę wpływu poszczególnych źródeł hałasu w punktach obserwacji P1÷P3, pokrywających się z najczęstszymi miejscami przebywania pracowników we wnętrzu hali suszarni koncentratu. Lokalizację punktów kontrolnych na terenie analizowanej hali przemysłowej przedstawiono na rys. 2.3.



Rys. 2.3 Lokalizacja punktów kontrolnych hałasu na terenie hali przemysłowej

Źródło: Opracowanie własne

W tab. 2.1 przedstawiono uzyskane w wyniku symulacji komputerowej udziały poszczególnych źródeł hałasu w ogólnym hałasie obserwowanym w punkcie kontrolnym P1. Przeprowadzona analiza wyników dla wszystkich punktów kontrolnych oraz stanowisk pracy pozwoliła na ustalenie optymalnej strategii prac wyciszających.

Tab. 2.1 Udziały poszczególnych źródeł hałasu w punkcie kontrolnym P1

Oznaczenie	Nazwa źródła	Poziom dźwięku od źródła w dB
8_P1 b	Napęd prasy brykietującej nr 4	72,0
3_P1 b	Napęd suszarni koncentratu nr 3	71,1
3_P1 c	Napęd suszarni koncentratu nr 4	70,2
3_P1 a	Napęd suszarni koncentratu nr 1	70,1
3_P1 d	Napęd suszarni koncentratu nr 5	69,7
4_P1 a	Palnik suszarni koncentratu nr 3	69,2
4_P1 b	Palnik suszarni koncentratu nr 4	68,9
4_P1 c	Palnik suszarni koncentratu nr 5	68,9
9_P1	Prasa brykietująca nr 4	68,9
6_P1 a	Napęd prasy brykietującej nr 2	67,8
L_{Aeq}		81,2

Źródło: Opracowanie własne

W przypadku stacjonarnych stanowisk pracy istnieje możliwość stosunkowo dokładnego określenia wpływu poszczególnych źródeł na łączny hałas obserwowany na stanowisku. Nieco gorzej wygląda sprawa w przypadku stanowisk niestacjonarnych

(ruchomych), np. mistrzów, z uwagi na charakter ich pracy, który wiąże się z częstym przemieszczaniem pracowników na terenie danego wydziału oraz poza nim. Wówczas pracownicy narażeni są na oddziaływanie hałasu o złożonym i zmiennym charakterze, emitowanym ze źródeł umiejscowionych w różnych rejonach danego wydziału, jak również zlokalizowanych na zewnątrz hal lub na terenie innych wydziałów. W analizowanym przykładzie zastosowaną strategię, polegającą na określeniu kolejności wyciszenia źródeł hałasu, wg kryterium największego wpływu na kształtowanie wskaźnika NDN na stanowiskach pracy znajdujących się bezpośrednio na tym wydziale.

Na terenie hali suszarni koncentratu przekroczenie wskaźnika NDN hałasu występuje na 8 stanowiskach pracy, co przedstawiono w tab. 2.2.

Tab. 2. 2 Wykaz stanowisk z przekroczeniami wskaźnika NDN wraz z określeniem źródeł wpływowych oraz strategii wyciszeń

Lp.	Stanowisko	NDN	LeqA [dB]	Źródła wpływowe	Kolejność wyciszeń
1	Operator ciągu transportu wsadu	2,72	89,3		Etap 1
2	Operator urządzeń odpylających	1,04	85,2	3_P1	3_P1
3	Mieszalnikowy	3,06	89,9	4_P1	4_P1
4	I-szy prasowacz koncentratu	2,46	88,9	5_P1	Etap 2
5	Prasowacz koncentratu	2,46	88,9	6_P1	6_P1
6	Operator przygotowania wsadu	78,95	104,0	7_P1	7_P1
7	Starszy mistrz (kontrola)	2,96	89,7	8_P1	8_P1
				9_P1	9_P1
8	Mistrz (kontrola)	4,47	91,5	10_P1	Etap 3
				11_P1	10_P1
					11_P1

Źródło: Opracowanie własne

Zaproponowana ostatecznie kolejność wyciszeń dla hali suszarni koncentratu została podzielona na trzy etapy. W etapie pierwszym należało wyciszyć źródła o najmocniejszym wpływie na największą ilość stanowisk pracy znajdujących się w hali przemysłowej, a więc napędy (źródło 3_P1) oraz palniki suszarni koncentratu (źródło 4_P1). W etapie drugim należało wyciszyć prasy brykietujące i ich napędy (źródła 6_P1, 7_P1, 8_P1, 9_P1), natomiast w etapie trzecim - napędy przenośników (źródła 10_P1 i 11_P1). Realizacja wyciszeń zgodnie z przedstawioną strategią (kolejnością) pozwoli na obniżenie hałasu do wartości akceptowalnych i nie zagrażających zdrowiu pracowników.

2.4.2 Identyfikacja źródeł hałasu oraz opracowanie sposobu redukcji hałasu na stanowiskach pracy w hali rozlewniczej w przemyśle spożywczym

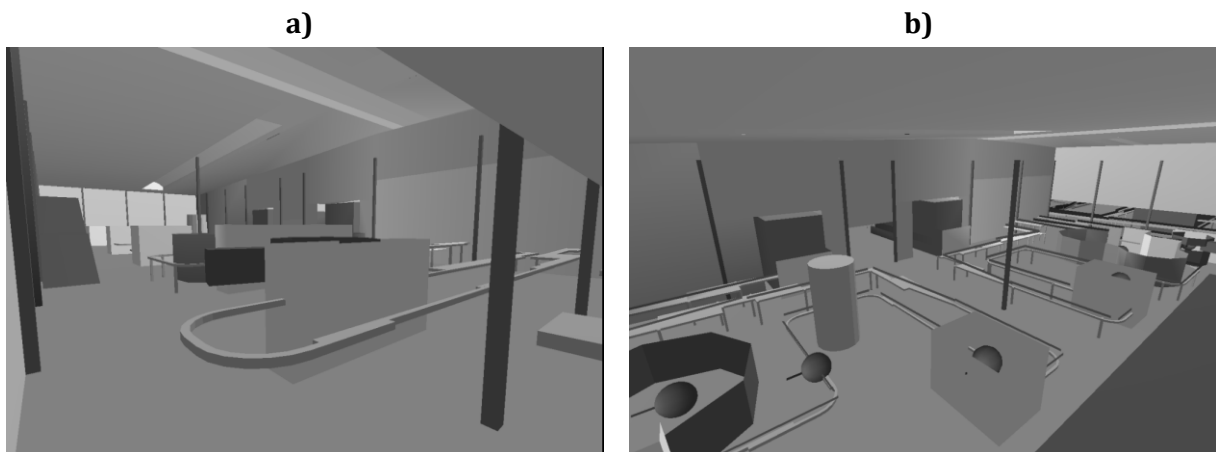
Przedstawiony poniżej przykład prezentuje sposób przeprowadzenie analizy możliwości redukcji hałasu oraz opracowanie sposobu ograniczenia hałasu na terenie hali rozlewniczej w przemyśle spożywczym. Na terenie analizowanej hali występują przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu na niektórych stanowiskach pracy oraz

ogólny (wysoki) poziom hałasu związany z charakterem pracy źródeł oraz panującym w hali akustycznym polem rozproszonym. Ze względu na rodzaj przemysłu (spożywczy), narzucone wymagania HACCP, bezpośredni kontakt z produktem oraz wymagania służb zajmujących się utrzymaniem ruchu, zastosowanie standardowych środków biernej redukcji hałasu oraz typowych materiałów pochłaniających dźwięki nie było możliwe. Dlatego też w większości zaproponowano rozwiązania przeciwhałasowe opierające się na działaniach zmierzających do zwiększenia chłonności akustycznej badanej hali przemysłowej.

W celu identyfikacji źródeł hałasu znajdujących się na terenie hali rozlewniczej w pierwszej kolejności przeprowadzono:

- inwentaryzację źródeł hałasu zlokalizowanych na terenie hali,
- szczegółowe obmiary geometryczne źródeł hałasu,
- analizę i pomiary geometrii hali rozlewniczej,
- specjalistyczne pomiary akustyczne dla potrzeb opracowania projektu akustycznego wyciszeń poszczególnych źródeł, np.: pomiary poziomów ciśnienia akustycznego w charakterystycznych punktach, wyznaczenie oktawowych i tercjowych charakterystyk częstotliwościowych hałasu źródeł, itp.

Następnie opracowano model geometryczno-akustyczny badanej hali. Podstawą do zamodelowania geometrii hali była uzyskana dokumentacja rysunkowa zawierająca lokalizację linii produkcyjnych (2D) wykonana w formacie DWG. Dla potrzeb modelowania akustycznego pozyskany materiał został uproszczony, przekształcony oraz uzupełniony o 3 wymiar – wysokość. Wszystkie źródła hałasu uzyskały 3 wymiar, ściany otaczające halę podzielono na powierzchnie o jednakowych własnościach materiałowych, zamodelowano elementy ekranujące (ścianki działowe, przegrody, itp.) oraz dodano dach ograniczający przestrzeń hali od góry.

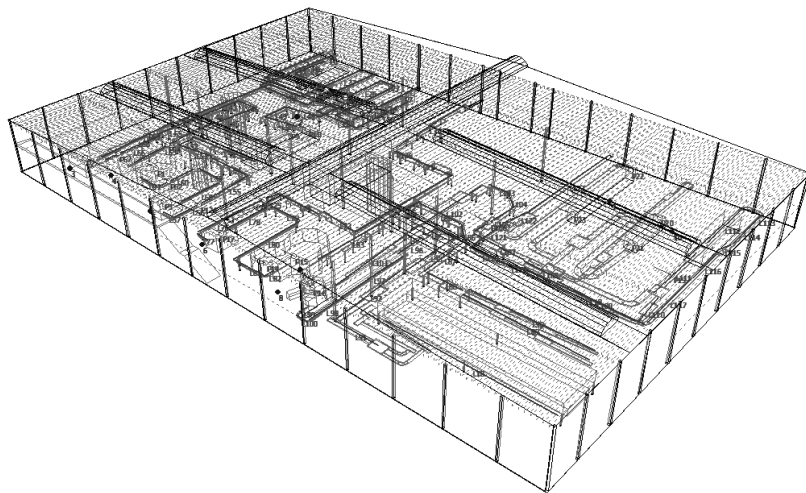


Rys. 2.4 Widok opracowanego modelu hali rozlewniczej:
a) model geometryczny, b) model geometryczno-akustyczny

Źródło: Opracowanie własne

W następnej kolejności model geometryczny zaimportowano do środowiska obliczeniowego Odeon Industrial w wersji 8.01 firmy Bruel & Kjaer, uzupełniono

o punktowe (np. monobloki, etykieciarki) i liniowe (transportery) źródła hałasu oraz przypisano im parametry akustyczne określone w czasie pomiarów. Wszystkim powierzchniom otaczającym halę rozlewniczą (ściany, sufit, podłoga) nadano odpowiednie własności akustyczne, jak: pochłanianie dźwięku oraz izolacyjność akustyczną. Przygotowany w ten sposób przestrzenny model geometryczny i akustyczny przedstawiono na rys. 2.4 i rys. 2.5.



Rys. 2.5 Przestrzenny model akustyczny (3D) hali rozlewniczej

Źródło: Opracowanie własne

Przeprowadzone wstępne obliczenia oraz kalibracja modelu symulacyjnego pozwoliła uzyskać rozrzut pomiędzy wynikami pomiarów a wynikami obliczeń modelowych nieprzekraczający $\pm 2,0$ dB. Skalibrowany model akustyczny posłużył do obliczenia mapy rozkładu pola akustycznego we wnętrzu hali rozlewniczej. Mapę akustyczną wyznaczono w siatce punktów o rozmiarach $1,0\text{m} \times 1,0\text{m}$ rozmieszczonej na wys. $1,5\text{m}$ nad poziomem podłogi hali. Przykładową mapę rozkładu dźwięku przedstawiono na rys. 2.6.



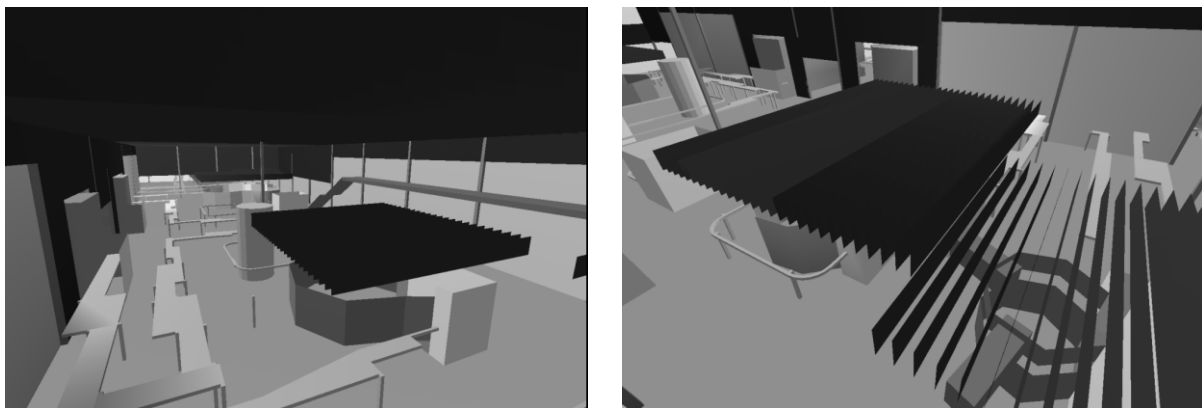
Określenie 1985-2006

Rys. 2.6 Mapa rozkładu dźwięku na terenie hali rozlewniczej

Źródło: Opracowanie własne

Zgodnie z założonymi ograniczeniami wynikającymi z charakteru pracy maszyn i urządzeń oraz koniecznością zapewnienia sterylności stanowisk opracowano kilka możliwych do wdrożenia rozwiązań przeciwhałasowych zmierzających do ograniczenia hałasu na terenie analizowanej hali. Zaproponowane rozwiązania w pierwszej kolejności bazują na zwiększeniu chłonności akustycznej hali, a więc znaczącym zmniejszeniu udziału dźwięków odbitych od ścian i dachu hali. Dopiero po wykorzystaniu wszystkich możliwości zmierzających do ograniczenia czasu pogłosu we wnętrzu hali rozważono zastosowanie rozwiązań bazujących na wyciszaniu źródeł z wykorzystaniem obudów częściowych lub całkowitych.

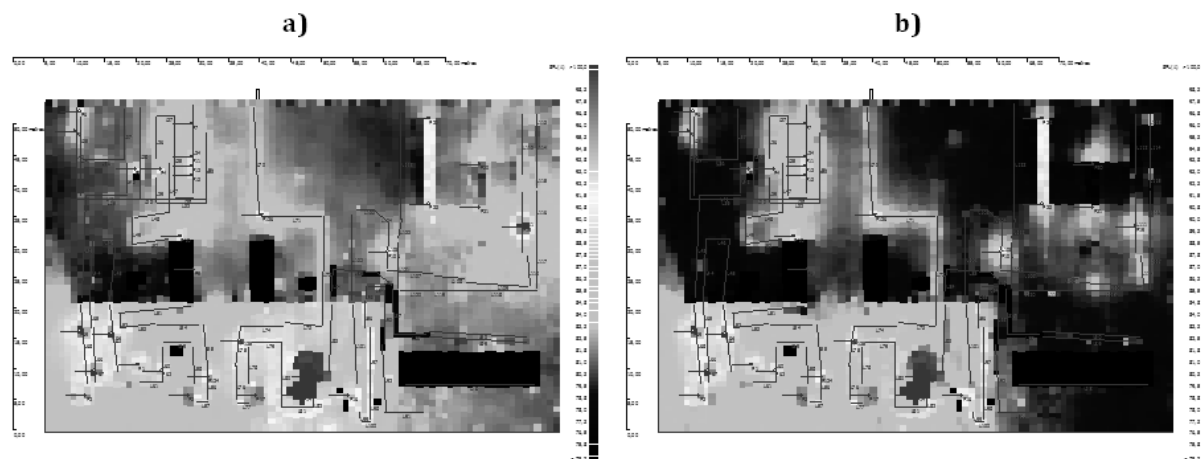
Opracowano kilka głównych wariantów działań wyciszających, które winny być wdrażane kolejno po sobie, polegających na zwiększeniu chłonności akustycznej hali przez podwieszenie pod sufitem przestrzennych pochłaniaczy dźwięku (wariant 1), dołożenie dodatkowych pochłaniaczy ściennych rozmieszczonych na pionowych ścianach hali ponad lamperią (wariant 2) oraz wyciszenie głównych źródeł hałasu (etykiеткиarki oraz monobloki) poprzez zamontowanie nad nimi dodatkowych przestrzennych pochłaniaczy dźwięku (wariant 3). Przykładowy model geometryczny hali rozlewniczej z wprowadzonymi rozwiązaniami wyciszającymi przedstawiono na rys. 2.7.



Rys. 2.7 Model hali rozlewniczej z wprowadzonymi adaptacjami akustycznymi -wariant 3

Źródło: Opracowanie własne

W kolejnym kroku przeprowadzono analizę skuteczności akustycznej opracowanych wariantów wyciszających z wykorzystaniem istniejącego modelu komputerowego. Obliczenia wpływu proponowanych rozwiązań przeprowadzono w wybranych punktach kontrolnych, których lokalizacja odpowiada punktom pomiaru hałasu na stanowiskach pracy. Dało to możliwość porównania wyników uzyskanych w wyniku symulacji komputerowej, z rzeczywistymi poziomami hałasu na stanowiskach pracy. Dodatkowo wygenerowano mapy hałasu przedstawiające rozkład pola akustycznego w przypadku zastosowania poszczególnych wariantów wyciszających. Przykładowe mapy rozkładu poziomu dźwięku we wnętrzu hali rozlewniczej po wprowadzeniu zabezpieczeń przeciwhałasowych ujętych w wariant 1 przedstawiono na rys. 8a, natomiast w wariant 3, na rys. 2.8b. Szczegółowa analiza wyników wykazała, że zastosowanie wyciszeń przewidzianych w wariant 3 pozwoli uzyskać na wszystkich stanowiskach pracy ekipy na hałas niższą od dopuszczalnej.



Rys. 2.8 Mapy rozkładu dźwięku na terenie hali rozlewniczej po wykonaniu zabezpieczeń akustycznych przewidzianych dla:

a) wariantu 1

b) wariantu 3

PODSUMOWANIE

Przetastawione wyniki badań wskazują na szeroki zakres zastosowania komputerowych metod symulacji zjawisk akustycznych. Wyniki symulacji komputerowych mogą być pomocne w procesie projektowania środków redukcji hałasu np. do oceny narażenia pracowników na nadmierny hałas, ale również do określenia wpływu obiektów przemysłowych na środowisko zewnętrzne i mieszkających w tym środowisku ludzi. Zastosowanie symulacji komputerowych na etapie projektowania umożliwia wybór optymalnego sposobu wyciszenia, ze względu na możliwy do uzyskania efekt akustyczny oraz przewidywany koszt wdrożenia.

LITERATURA

- 1 A. Boczkowski. „Designing of noise protection systems in industrial environment”. *Systems Supporting Production Engineering*. W. Biały, J. Kaźmierczak (red.). Gliwice: P.A. Nova S.A., 2012.
- 2 A. Boczkowski. „Komputerowe wspomaganie w procesie realizacji ocen oddziaływania akustycznego zakładów przemysłowych na środowisko”. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*. t.2. R. Knosala (red.). Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2015, s. 372-383.
- 3 A. Boczkowski. „Racjonalne projektowanie i wdrażanie zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle”. Materiały XXXIX Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, 28.02-4.03.2011. Gliwice: Polskie Towarzystwo Akustyczne. Oddział Górnośląski, 2011, s.117-126.
- 4 A. Boczkowski, A. Kuboszek. „Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap I. Ekspertyza akustyczna”. *Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach*. J. Kaźmierczak, J. Bartnicka (red.). Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, s. 15-34.

- 5 A. Boczkowski, A. Kuboszek. „Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap II. Projekt akustyczny”. *Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach*. J. Kaźmierczak, J. Bartnicka (red.). Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, s.35-48.
- 6 Z. Engel. *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Warszawa: PWN, 2001.
- 7 M. Komoniewski, A. Boczkowski, A. Kuboszek. „Przykład realizacji oceny oddziaływania akustycznego kompleksu metalurgicznego na środowisko zewnętrzne”. Materiały XXXII Zimowej Szkoły Zwalczania Zagrożeń Wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, 9-13.02.2004. Gliwice: Polskie Towarzystwo Akustyczne. Oddział Górnośląski, 2004, s. 39-50.
- 8 A. Kuboszek. „Badania symulacyjne wpływu źródeł dźwięku na klimat akustyczny w środowisku przemysłowym”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie*, z. 22. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2004, s. 111-130.
- 9 A. Kuboszek. „Wspomaganie procesu projektowania zabezpieczeń akustycznych na stanowiskach pracy”. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t.2. R. Knosala (red.). Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2015, s. 427-438.

WYKORZYSTANIE METOD KOMPUTEROWYCH DO OSZACOWANIA SKUTECZNOŚCI REDUKCJI HAŁASU NA STANOWISKACH PRACY

Streszczenie. Zastosowanie symulacji komputerowej umożliwia kształtowanie optymalnych warunków wibroakustycznych środowiska przez odpowiednie planowanie budowy nowych lub przebudowy istniejących miast, układów komunikacyjnych, zakładów przemysłowych. Daje również możliwość oceny działania biernych środków redukcji hałasu (ekranów, obudów) na etapie ich projektowania, jak również umożliwia oszacowanie wpływu tych środków na klimat akustyczny badanych obiektów.

Słowa kluczowe: hałas, metody symulacyjne, ocena oddziaływania akustycznego

THE USE OF COMPUTER METHODS FOR THE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE REDUCTION OF NOISE AT WORKPLACES

Abstract: Usage of computer simulation enables creation of optimal vibroacoustic conditions of environment by right planning builds of new towns, communication systems, plants and pre-build existing ones. This usage also gives possibility of estimation of activity of passive noise control media (for example acoustic baffle) on a stage of their design and also enables estimation of influence of these items acoustic environment of investigated object.

Keywords: noise, simulation methods, the acoustic impact assessment

Dr inż. Arkadiusz BOCZKOWSKI
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Arkadiusz.Boczkowski@polsl.pl

Dr inż. Artur KUBOSZEK
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Artur.Kuboszek@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 15.03.2015
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 28.05.2015