

WSPOMAGANIE PROCESU PROJEKTOWANIA ZABEZPIECZEŃ AKUSTYCZNYCH NA STANOWISKACH PRACY

Artur KUBOSZEK

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania metod komputerowych do analizy narażenia pracownika na ponadnormatywny hałas występujący na stanowisku pracy, ustalenia źródeł hałasu odpowiedzialnych za przekroczenia wartości dopuszczalnych, doboru optymalnego rodzaju zabezpieczeń przeciwhałasowych oraz oszacowania możliwych do uzyskania efektów redukcji hałasu.

Słowa kluczowe: hałas, metody symulacyjne, mapy akustyczne, narażenie na hałas, projektowanie zabezpieczeń przeciwhałasowych, adaptacja akustyczna pomieszczeń.

1. Wstęp

Problem nadmiernego hałasu na stanowiskach pracy jest jednym z najważniejszych problemów bezpieczeństwa pracy z jakim spotykają się pracodawcy. Problem nadmiernego hałasu w miejscu pracy jest tematem szeregu uregulowań prawnych krajowych i unijnych. Jednym z najczęściej przytaczanych dokumentów jest Dyrektywa 2003/10/WE [2] omawiająca obowiązki pracodawcy związane z ochroną pracownika przed zagrożeniem nadmiernym hałasem. Dyrektywa omawia sposoby wyznaczenia i oceny ryzyka, podaje sposoby unikania lub ograniczenia zagrożenia oraz przedstawia wymagania związane z informowaniem i szkoleniem pracowników w zakresie świadomości o zagrożeniach niesionych przez nadmierny hałas.

Wyniki badań przedstawione w [1, 2, 3] wykazały, iż stosowanie narzędzi komputerowej symulacji zjawisk akustycznych panujących we wnętrzu hal przemysłowych jest obecnie podstawowym i nieodzownym rozwiązaniem pozwalającym na skuteczne projektowanie zabezpieczeń przeciwhałasowych na stanowiskach pracy. Zastosowanie metod symulacyjnych ma na celu określenie wpływu poszczególnych źródeł dźwięku na łączny hałas obserwowany na danym stanowisku, a więc ustalenie źródeł odpowiedzialnych za stwierdzony stan. Na tej podstawie można już w prosty sposób oszacować skuteczność projektowanych prac wyciszeniowych, rozumianą jako zmniejszenie krotności przekroczenia wartości NDN na stanowisku pracy oraz określić optymalną kolejność prac wdrożeniowych.

Przykład przedstawiony w niniejszym artykule pokazuje procedurę postępowania zbliżoną do tej przedstawionej w [1], ale dla innej gałęzi przemysłu oraz nie obejmuje etapu projektowania i wdrażania zabezpieczeń przeciwhałasowych. Zastosowanie metod symulacyjnych ma w tym przypadku na celu określenie koncepcji ograniczenia hałasu na wybranych stanowiskach pracy oraz oszacowanie skuteczności proponowanych rozwiązań. Opisany przykład przedstawia sytuację, w której praktycznie wszystkie rozwiązania przeciwhałasowe opierają się na działaniach zmierzających do zwiększenia chłonności akustycznej badanej hali produkcyjnej. Dzieje się tak z uwagi na rodzaj przemysłu w jakim

prowadzono projekt (spożywczy), narzucone wymagania HACCP, bezpośredni kontakt z produktem oraz wymagania służb zajmujących się utrzymaniem ruchu.

2. Przykład wspomaganie komputerowego procesu projektowania zabezpieczeń akustycznych na stanowiskach pracy.

Głównym celem wykonanej ekspertyzy akustycznej prezentowanej jako przykład e-było przeprowadzenie analizy możliwości oraz opracowanie sposobu ograniczenia hałasu na terenie hal rozlewu piwa do butelek w jednym z browarów. Na terenie hali rozlewu piwa obserwowano przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu na niektórych stanowiskach pracy oraz ogólny (wysoki) poziom hałasu na hali. Istniała zatem potrzeba ograniczenia narażenia pracowników na działanie ponadnormatywnego hałasu i w konsekwencji doprowadzenie do zgodności panujących warunków akustycznych z obowiązującymi normatywami.

W tym celu przeprowadzono szczegółową inwentaryzację oraz pomiary charakterystyk akustycznych głównych źródeł hałasu zlokalizowanych na terenie hali rozlewu piwa butelkowego - linii A i B, opracowano obliczeniowy model geometryczno-akustyczny hali oraz przeprowadzono wariantową analizę efektywności akustycznej różnych sposobów redukcji hałasu. Szczegółowy zakres wykonanych prac obejmował:

- identyfikację i inwentaryzację źródeł hałasu, zapoznanie się z dokumentacją techniczno ruchową maszyn, procesem obsługi codziennej i okresowej maszyn, wykonanie szczegółowych obmiarów geometrycznych źródeł hałasu,
- analizę posiadanych przez zakład wyników pomiarów hałasu wykonanych na stanowiskach pracy,
- analizę i pomiary geometrii hal produkcyjnych, wykonanie modelu geometrycznego i akustycznego wybranych hal,
- wykonanie specjalistycznych pomiarów akustycznych mających na celu opracowanie projektu akustycznego wyciszeń poszczególnych źródeł, np.: określenie poziomów ciśnienia akustycznego w charakterystycznych punktach, wyznaczenie oktaowych i tercjowych charakterystyk częstotliwościowych dla poszczególnych źródeł hałasu, itp.,
- analizę pola akustycznego w obecnej sytuacji, określenie kierunków i możliwości poprawy warunków pracy przez zwiększenie chłonności akustycznej hali, wprowadzenie dodatkowych elementów ekranujących i pochłaniających, zastosowanie obudów akustycznych, itp.,
- opracowanie koncepcji wyciszeń poszczególnych źródeł lub grup źródeł hałasu, dobór rodzaju i typu środków redukcji hałasu (np. obudowy całkowite, częściowe, ekrany, pochłaniacze, itp.), opracowanie koncepcji adaptacji akustycznych hal, itp.,
- oszacowanie skuteczności zaprojektowanych zabezpieczeń – określenie spodziewanej redukcji hałasu w wyniku zastosowania zaproponowanych rozwiązań oraz oszacowanie wpływu wykonanych zabezpieczeń na zmniejszenie hałasu w miejscu pracy – na konkretnych stanowiskach.

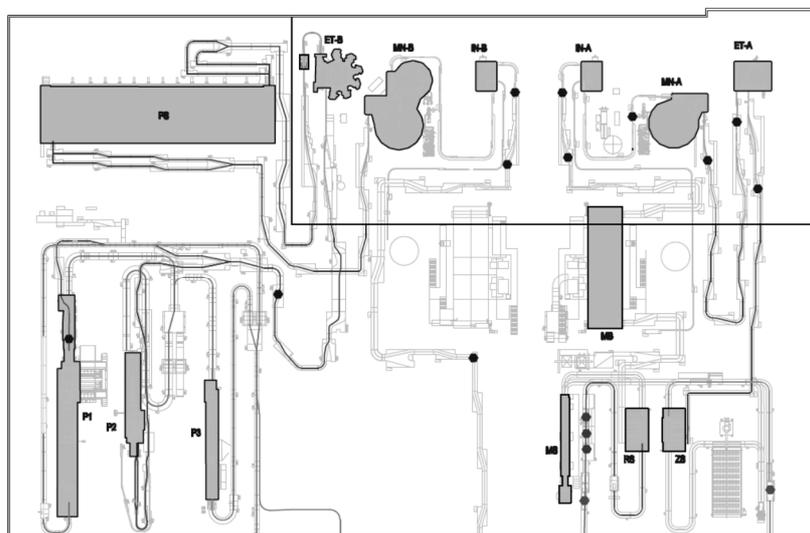
2.1. Identyfikacja głównych źródeł hałasu na terenie hali rozlewu piwa

Na terenie analizowanej hali rozlewu piwa do butelek znajdują się dwie linie rozlewnicze A i B. Na liniach A i B można wyszczególnić kilka istotnych grup źródeł

hałasu, które w znaczący sposób wpływają na kształtowanie klimatu akustycznego we wnętrzu hali. Należą do nich:

- a) monobloki (Krones i Krones Block), służące do napełniania oraz kapslowania butelek. Monobloki są dominującymi źródłami hałasu na terenie linii A i B, a emitowany przez nie hałas związany jest głównie z procesem napełniania butelek oraz dużą prędkością roboczą tych maszyn. Dodatkowo monoblok na linii B posiada dyszę powietrzną służącą do osuszania butelek, której praca powoduje powstawanie wysokoczęstotliwościowego hałasu o charakterze aerodynamicznym;
- b) etykieciarki (Krones Topmatic), służące do naklejania etykiet na napełnione butelki. Etykieciarki, praktycznie na równi z monoblokami, stanowią dominujące źródła hałasu na terenie hali rozlewu piwa;
- c) inspektory butelek (Krones Toptronic), których zadaniem jest ocena jakości i czystości butelek oraz odrzucenie butelek nie spełniających norm higienicznych i geometrycznych. Sam inspektor nie jest głównym źródłem hałasu. Obok niego znajdują się znacznie głośniejsze źródła (np. monobloki i etykieciarki). Hałas powodowany przez inspektor związany jest przede wszystkim z hałasem transporterów butelek oraz hałasem impulsowym spadających do kosza i często rozbijających się – odrzuconych butelek;
- d) maszyny pakujące (KHS Kisters, Aries oraz ZVT), służące do pakowania napełnionych butelek bezpośrednio do kartonów, w trzypaki lub sześciopaki. Maszyny te pracują w zależności od zapotrzebowania;
- e) pasteryzator na linii B, służący do pasteryzacji piwa metodą tradycyjną. Pasteryzator nie stanowi istotnego źródła hałasu. Wokół niego natomiast istnieje dodatkowy osprzęt jak: wentylatory, transportery, pompy, itp., które łącznie przyczyniają się do emisji hałasu do wnętrza hali. W bezpośrednim otoczeniu pasteryzatora nie znajdują się jednak stanowiska pracy;
- f) myjka butelek na linii A, służąca do mycia i dezynfekcji butelek zwrotnych przed ich ponownym napełnieniem. Hałas myjki związany jest głównie z miejscami wejścia i wyjścia butelek z myjki (objęcie się butelek) oraz z pracą pomp i ich napędów zlokalizowanych głównie na górze (dachu) myjki;
- g) myjka skrzynek, służąca do mycia skrzynek zwrotnych przed ich ponownym załadunkiem pełnymi butelkami. Myjka skrzynek jest cicha, jej pracy towarzyszy jedynie charakterystyczny szum wody we wnętrzu;
- h) załadowywarka butelek do skrzynek i rozładowywarka butelek ze skrzynek, których zadaniem jest odpowiednio wyjmowanie butelek zwrotnych ze skrzynek i stawianie ich na taśmie transportera oraz ładowanie napełnionych butelek do czystych (umytych) skrzynek;
- i) magazyn skrzynek, pracujący okresowo w zależności od konieczności magazynowania pustych skrzynek. W porównaniu z innymi źródłami hałasu nie stanowi on istotnego zagrożenia akustycznego dla środowiska pracy;
- j) transportery butelek, zlokalizowane praktycznie na całej hali rozlewu piwa służące do transportu butelek wzdłuż linii technologicznej w czasie cyklu produkcyjnego. Można wyróżnić transportery szybkie (z reguły pojedyncze i hałaśliwe) oraz wolne (przeważnie ciche i szerokie, choć w przypadku transportu butelek pustych ich pracy towarzyszy charakterystyczny hałas związany z objęciem butelek);
- k) transportery skrzynek, hałasują przeważnie transportery rolkowe, po których przemieszczają się skrzynki z pustymi butelkami na drodze z miejsca dostawy do rozładowywarki butelek;

Rozmieszczenie źródeł hałasu przedstawia Rys.1.



Rys.1. Rozmieszczenie źródeł hałasu na terenie hali rozlewu piwa

2.2. Pomiary podstawowych parametrów akustycznych głównych źródeł hałasu

Celem pomiarów akustycznych było przeprowadzenie szczegółowej inwentaryzacji źródeł hałasu oraz określenie podstawowych parametrów hałasu emitowanego przez poszczególne źródła w czasie ich normalnej pracy, sporządzenie charakterystyk częstotliwościowych hałasu oraz zebranie danych o okresowości pracy, liczbie przebywających w okolicy pracowników, sposobie obsługi, wpływie źródła na kształtowanie klimatu akustycznego w jego najbliższym otoczeniu, itd. Uzyskane wyniki pomiarów stanowią podstawę do określenia wpływu poszczególnych źródeł na klimat akustyczny panujący we wnętrzu hali oraz stanowią wyjściowy materiał badawczy do opracowania modelu geometryczno-akustycznego badanej hali.

Przed przeprowadzeniem zasadniczych pomiarów akustycznych dla każdego ze źródeł określono następujące parametry: liczbę wszystkich maszyn tej samej grupy, rodzaj emitowanego hałasu (ustalony, nieustalony, impulsowy, cykliczny) oraz wymiary gabarytowe źródła (wymiarzy obrysu hałasujących części maszyny).

Pomiary emisji akustycznej poszczególnych źródeł wykonywano ustawiając mikrofon w odległości d od obrysu maszyny w kierunku największej emisji. W większości przypadków odległość pomiarowa d wynosiła 1, 2 lub 3 m i dla każdego źródła została podana odrębnie. Z obserwacji wynika, że większość źródeł hałasu zidentyfikowanych w hali posiada równomierne charakterystyki kierunkowości. W przypadku źródeł o stosunkowo dużych wymiarach gabarytowych lub wyraźnej charakterystyce kierunkowej pomiary wykonano w kilku punktach pomiarowych, zlokalizowanych w taki sposób, by jednoznacznie wskazać na charakter emisji akustycznej źródła. W przypadkach, gdy maszyna posiadała ewidentnie kilka wyraźnych źródeł hałasu pomiary przeprowadzono osobno dla każdego źródła składowego, a wszystkie wyniki podano w kartach

pomiarowych. Przykładowe wyniki pomiarów akustycznych głównych źródeł hałasu znajdujących się na terenie hali (na linii A i B) przedstawiono w Tabelicy 1.

Tabelica 1. Przykładowe wyniki pomiarów akustycznych głównych źródeł hałasu

Lp.	Nazwa źródła	Licz. szt.	Poziom ciśnienia akustycznego L_{Aeq} w dB ¹⁾										D [m]	Lokalizacja	Nr karty pomiar.
			L_{Aeq}	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k			
1.	Monoblok Krones Bloc	1	106,3	34,8	49,3	63,8	74,3	79,4	85,5	94,8	99,9	103	1,0	Linia B	KP-B-02
2.	Maszyna pakująca KHS Kisters	1	98,6	39,1	51,3	59,9	68,6	74,8	86,7	95,3	93,3	88,3	1,0	Linia B	KP-B-05
3.	Monoblok Krones	1	97,4	37,0	52,3	64,6	75,7	80,6	86,8	90,9	92,0	91,9	1,0	Linia A	KP-A-01
4.	Etykieciarka Krones Topmatic	1	95,5	38,0	52,7	65,6	79,2	84,4	87,6	91,0	88,9	86,1	1,0	Linia A	KP-A-02
5.	Etykieciarka Krones	1	93,7	38,8	49,2	61,7	74,1	79,0	82,0	91,0	86,9	81,2	2,0	Linia B	KP-B-05
6.	Inspektor butelek Krones Toptronic	2	93,5	35,7	50,0	63,1	75,9	81,2	85,6	89,3	87,8	81,9	1,0	Linia A i B	KP-A-03

2.3. Identyfikacja klimatu akustycznego na terenie hali rozlewu piwa

W ramach realizacji przedstawionego opracowania wykonano również pomiary poziomu ciśnienia akustycznego skorygowanego charakterystyką A w wybranych punktach rozmieszczonych w różnych miejscach hali. Lokalizację punktów pomiaru hałasu przedstawiono na Rys.2, z kolei wyniki pomiarów akustycznych przedstawiono w Tabelicy 2. Przedstawione poniżej wyniki odnoszą się do ekstremalnych warunków pracy maszyn, przy maksymalnych prędkościach i pod pełnym obciążeniem. Celem ww. pomiarów jest identyfikacja klimatu akustycznego we wnętrzu hali w czasie pracy głównych źródeł hałasu oraz kalibracja opracowanego modelu akustycznego służącego do szacowania skuteczności różnych wariantów zabezpieczeń przeciwhałasowych.

W toku szczegółowej analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że:

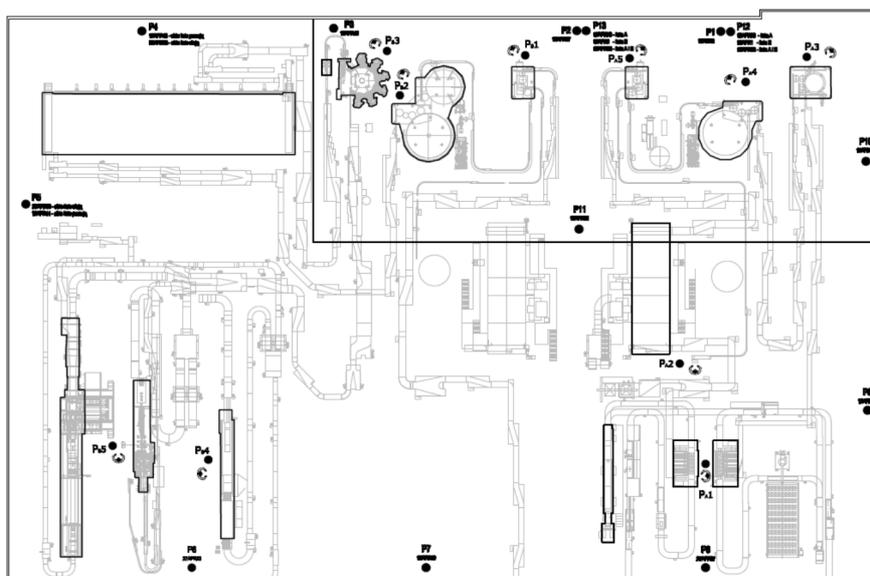
1. Na terenie hali panuje rozproszone pole akustyczne. Z uwagi na konstrukcję hali oraz zastosowane materiały, z których wykonane są ścianki działowe (jak szkło, blacha), udział dźwięków odbitych od ścian i sufitu jest bardzo duży. Szacuje się, że ich udział w zależności od miejsca waha się w granicach 6÷10 dB.
2. W okolicach monobloków i etykieciarek obserwuje się hałas na poziomie 94÷95 dB, co stanowi wartość o 10 dB większą od dopuszczalnego poziomu hałasu na stanowisku pracy odniesionego do 8-mio godzinowego dnia pracy.
3. W czasie chwilowej przerwy w pracy obu linii rozlewniczych (A i B) obserwuje się poziom hałasu w granicach 79÷80 dB w okolicach pasteryzatora oraz 80÷82 dB w okolicach monobloków.
4. Najgłośniejszymi źródłami hałasu piwa są monobloki (szczególnie monoblok na linii B) oraz etykieciarki. Są to źródła punktowe emitujące hałas głównie w kierunku pionowym do góry. Fala akustyczna odbijając się od dachu hali wraca ponownie do miejsca przebywania pracowników, działając tym razem na

zdecydowanie większej powierzchni.

5. Równie istotnymi źródłami hałasu są transportery butelek. Szczególnie hałaśliwe są transportery szybkie oraz miejsca obijania butelek o siebie, np. przejścia z szerokiej wolnej taśmy na taśmę wąską i szybką lub odwrotnie.

Tablica 2. Wyniki pomiarów akustycznych w wybranych punktach hali rozlewu piwa.

Punkt pomiarowy	Poziom dźwięku [dB]						h [m]	Uwagi
	L _{Aeq}	U _{B95%}	L _{Amin}	L _{Amax}	L _{Cpeak}	L _{eq}		
P1	92,2	±1,2	90,8	94,1	106,6	92,3	1,5	dół hali, pracuje linia A i B (etykietciarka na linii A nie pracuje przy pełnej mocy)
P2	94,4	±1,2	93,0	96,9	108,4	94,4	1,5	dół hali, pracuje linia A i B
P3	94,4	±1,2	93,1	95,7	107,6	94,7	1,5	dół hali, pracuje linia A i B
P4	88,3	±1,2	87,0	90,2	102,7	89,0	1,5	dół hali, pracuje linia A i B
	79,4	±1,2	78,3	81,3	96,1	83,4	1,5	dół hali, nie pracuje linia A i B



Rys.2. Lokalizacja punktów pomiaru hałasu na stanowiskach pracy

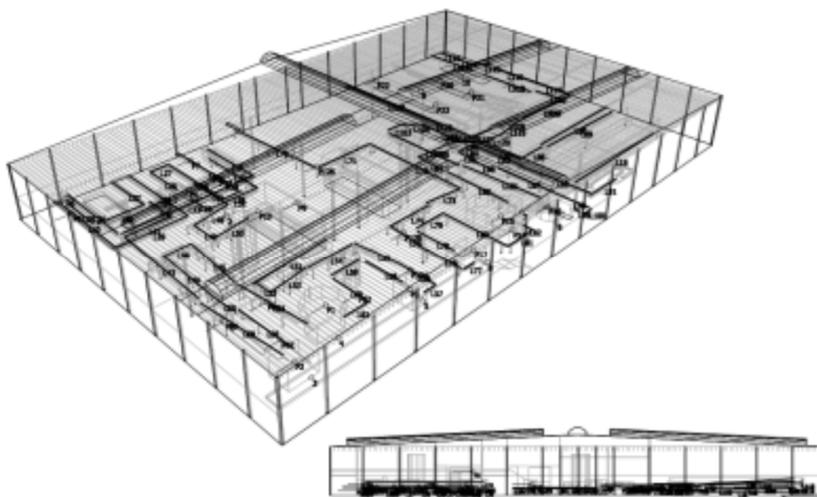
2.4. Komputerowa analiza istniejących warunków akustycznych w hali rozlewu piwa

Celem przeprowadzonej symulacji komputerowej było opracowanie mapy rozkładu pola akustycznego we wnętrzu hali oraz identyfikacja własności akustycznych hali w sytuacji obecnej, a więc bez wyciszeń. Posiadany model geometryczno-akustyczny w powiązaniu z zastosowaniem komputerowych metod analizy pola akustycznego pozwolił na oszacowanie możliwych do uzyskania efektów redukcji hałasu w związku z projektowymi wyciszeniami oraz na prognozowanie zmian wartości NDN hałasu na

wybranych stanowiskach pracy.

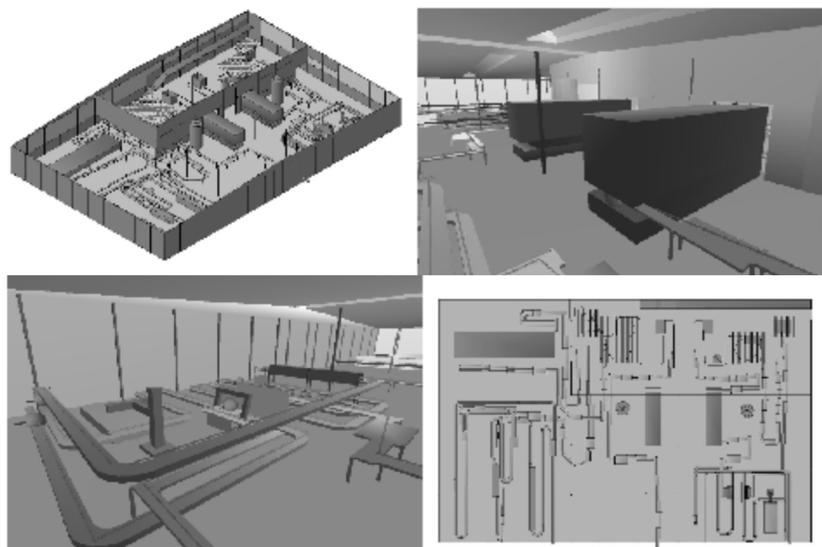
Podstawą do zamodelowania geometrii hali były 2-wymiarowe rysunki obrazujące lokalizację analizowanych linii rozlewniczych dostarczone w formacie DWG. Dla potrzeb modelowania akustycznego powyższy materiał wstępny został uproszczony, przekształcony oraz uzupełniony o 3 wymiar – wysokość. Wszystkie źródła 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.

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 (zgodnie z kartami pomiarowymi). W następnej kolejności wszystkim powierzchniom otaczającym halę (ściany, sufit, podłoga) nadano odpowiednie własności akustyczne, jak: pochłanianie dźwięku oraz izolacyjność akustyczną. Przygotowany w ten sposób przestrzenny model geometryczny i akustyczny przedstawia Rys.3 i 4.



Rys. 3. Przestrzenny model akustyczny hali rozlewni

Do modelu wprowadzono również dyskretne punkty obliczeniowe (tzw. mikrofony), których lokalizacja i oznaczenia są zgodne z punktami pomiarowymi oraz punktami określonymi jako punkty pomiaru hałasu na stanowiskach pracy. Po zakończeniu wprowadzania danych przeprowadzono obliczenia wstępne oraz procedurę kalibracji utworzonego modelu. Kalibrację przeprowadzono w oparciu o wyniki uzyskane w czasie pomiarów akustycznych wykonanych we wnętrzu hali, mając na względzie rozrzut między wynikami pomiarów a wynikami obliczeń modelowych nie przekraczający $\pm 2,0$ dB.



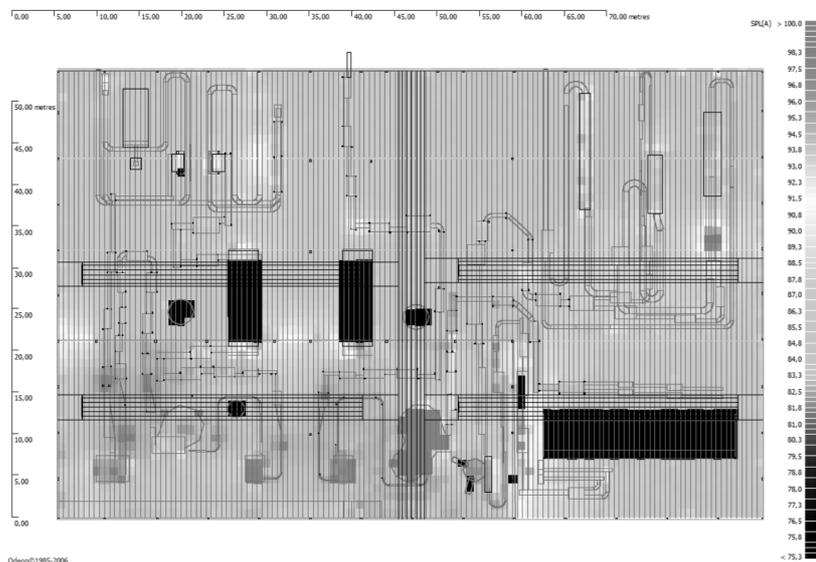
Rys. 4. Widok utworzonego modelu geometrycznego

W wyniku dostrojenia modelu do warunków rzeczywistych uzyskano założone rezultaty praktycznie we wszystkich punktach. Wyniki pomiarów oraz obliczeń modelowych, jak również maksymalny błąd modelu rozumiany jako różnica pomiędzy tymi wielkościami został przedstawiony w Tabelicy 3.

Tablica 3. Porównanie wyników obliczeń komputerowych oraz pomiarów akustycznych.

Punkt pomiarowy	Poziom dźwięku A w dB		Błąd modelu /różnica
	wynik symulacji	wynik pomiaru	
1	94,6	92,2	2,4
2	94,7	94,4	0,3
3	94,5	94,4	0,1
4	88,6	88,3	0,3
5	87,6	87,5	0,1
6	88,0	87,8	0,2

Skalibrowany model akustyczny posłużył do obliczeń mapy rozkładu pola akustycznego we wnętrzu hali rozlewu piwa do butelek. Mapę akustyczną obliczono w siatce punktów o rozmiarach 1,0m×1,0m rozmieszczonej na wysokości 1,5m nad poziomem podłogi hali. Przykładową mapę rozkładu dźwięku przedstawiono na Rys.5.



Rys.5. Przykładowa mapa rozkładu dźwięku na terenie hali rozlewu piwa

2.5. Analiza możliwości ograniczenia hałasu na terenie hali rozlewu piwa

W celu opracowania koncepcji ograniczenia poziomu hałasu na terenie hali rozlewu piwa przyjęto założenie, że należy podejmować tylko takie działania, które nie będą w żaden sposób zakłócać organizacji produkcji oraz ograniczać dostępu do obsługi codziennej i okresowej urządzeń. Szczególnie ważne jest zachowanie odpowiedniego przepływu powietrza przez niektóre maszyny (jak np. monobloki czy etykieciarki) w celu zapewnienia właściwych warunków pracy dla Elektroniki sterującej. Charakter działania urządzeń wykluczał praktycznie całkowicie klasyczne sposoby ograniczenia hałasu maszyn i urządzeń. Niemożliwe do zastosowania były wszelkiego rodzaju obudowy i ekrany akustyczne.

Kolejnym ważnym problemem jest brak możliwości wykorzystania większości powszechnie stosowanych w przemyśle materiałów pochłaniających hałas, z uwagi na ich własności higroskopijne oraz bakteriologiczne. Większość typowych materiałów pochłaniających w wilgotnym środowisku hali stałaby się pożywką dla bakterii i drobnoustrojów. Ze względów sanitarnych nie można umieszczać materiałów nie mających odpowiednich aprobat dopuszczających ich stosowanie w przemyśle spożywczym.

Mając na względzie przedstawione powyżej ograniczenia opracowano kilka możliwych do wdrożenia rozwiązań zmierzających do ograniczenia hałasu na linii A i B rozlewu piwa. Zaproponowane rozwiązania w pierwszej kolejności bazują na zwiększeniu chłonności akustycznej hali, a więc znaczącym zmniejszeniu udziału dźwięków odbitych od ścian i dachu hali. Rozwiązanie takie prowadzi docelowo do sytuacji, w której do każdego punktu odbioru docierać będzie tylko fala bezpośrednia, emitowana przez poszczególne źródła dźwięku. Dopiero po wykorzystaniu wszystkich możliwości zmierzających do ograniczenia czasu pogłosu we wnętrzu hali rozważono zastosowanie rozwiązań bazujących na wyciszeniu źródeł z wykorzystaniem obudów częściowych lub całkowitych.

W toku prac nad opracowaniem możliwych do realizacji wyciszeń opracowano 5

głównych wariantów działań wyciszeniowych (numery od 2 do 6), które winny być wdrażane kolejno po sobie. Szczegółowy opis zaproponowanych rozwiązań przeciwhałasowych realizowanych w ramach rozważanych wariantów akustycznych zamieszczono poniżej.

Wariant 1 – przedstawia warunki akustyczne we wnętrzu hali - stan obecny, a więc bez żadnych wyciszeń. Wariant ten stanowi odniesienie do oszacowania rezultatów działań wyciszeniowych. Na jego podstawie realizowana będzie porównawcza ocena skuteczności badanych środków redukcji hałasu.

Wariant 2 – polega na zwiększeniu chłonności akustycznej hali przez podwieszenie pod sufitem przestrzennych pochłaniaczy dźwięku o wymiarach 600×1200 i grubości 40mm. W wydzielonej – najgłośniejszej – części hali linii A i B oraz bezpośrednio nad maszynami pakującymi zastosowano ułożenie pochłaniaczy w rzędach o module 600 mm, natomiast nad resztą hali zastosowano moduł 2400 mm.

Wariant 3 – bazuje na wariacie 2 wyciszeń, do którego dołożono dodatkowo pochłaniacze ścienne rozmieszczone na pionowych ścianach hali ponad lamperią wykonaną z płytek ceramicznych. Wariant 3 zakłada również umieszczenie materiału pochłaniającego hałas na ścianie działowej wygradzającej pomieszczenie z monoblokami i etykietarkami od reszty hali. Założono, że materiał pochłaniający zostanie umieszczony tylko od strony wewnętrznej w miejscach istniejącej obecnie płyty warstwowej, natomiast istniejące przeszklenia pozostaną bez zmian.

Wariant 4 – bazuje na rozwiązaniach zastosowanych w Wariacie 3, do którego dodatkowo dołożono wyciszenia głównych źródeł hałasu. Ponieważ nie uzyskano zgody na całkowite zabudowanie głównych źródeł hałasu ze względów technicznych, eksploatacyjnych oraz higienicznych, postanowiono wyciszyć główne źródła hałasu (etykietarki oraz monobloki) poprzez zamontowanie nad nimi dodatkowych przestrzennych pochłaniaczy dźwięku.

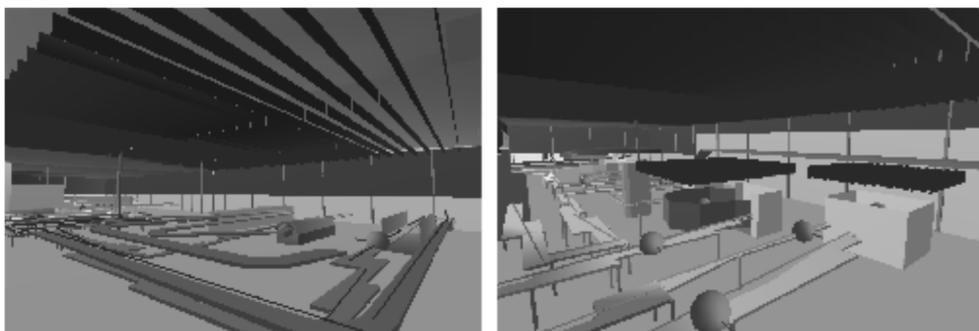
Wariant 5 – bazuje na Wariacie 4 i zakłada dodatkowe wyciszenia wszystkich zainwentaryzowanych głośnych miejsc na transporterach. Są to przede wszystkim miejsca stuków butelek, przejścia z wolnych transporterów butelek na szybkie i odwrotnie, miejsca obracania skrzynek w pionie i w poziomie, transportery rolkowe skrzynek, itp... Dla potrzeb symulacji przyjęto, że w wyniku przeprowadzonych prac wyciszeniowych poziom emisji akustycznej każdego wyciszanego źródła zmaleje o 5 dB.

Wariant 6 – bazuje na Wariacie 5 i zakłada wykonanie dodatkowych wyciszeń głośnych transporterów butelek przez ich obudowanie. Założono skuteczność wyciszeń na poziomie 5 dB.

Przykładowy wygląd modelu z wprowadzonymi rozwiązaniami wyciszającymi przedstawiono na Rys.6.

W kolejnym kroku przeprowadzono analizę skuteczności akustycznej opracowanych wariantów wyciszeniowych z wykorzystaniem istniejącego modelu komputerowego. Obliczenia efektów akustycznych towarzyszących wdrożeniom rozwiązań technicznych przewidzianych w ramach opisanych wyżej wariantów postanowiono przeprowadzić w dyskretnych punktach obliczeniowych, których lokalizacja odpowiada punktom pomiaru hałasu na stanowiskach pracy. Szczegółową lokalizację punktów pomiarowo-obliczeniowych przyjęto na podstawie udostępnionych przez zakład kart pomiarowych hałasu na stanowiskach pracy. Są to więc punkty, w których rzeczywiście przebywają pracownicy. Zaletą takiego podejścia jest możliwość bezpośredniego odniesienia się do poziomów równoważnych na stanowisku pracy, wyznaczenia poziomu ekspozycji w oparciu o pozostałe zapisy w karcie pomiaru (np. czas ekspozycji) oraz wyznaczenie dla

każdego z wariantów obliczeniowych wskaźnika k , będącego krotnością przekroczenia wartości NDN na stanowisku pracy.



Rys. 6. Wygląd modelu z wprowadzonymi rozwiązaniami wyciszającymi.

Zestawienie wyników przeprowadzonych obliczeń komputerowych w wybranych punktach obserwacji (stanowiskach pracy) w zależności od wdrożonego wariantu wyciszeń przedstawiono w Tabelicy 4.

Tabelica 4. Zestawienie wyników obliczeń poziomu hałasu w wybranych punktach pomiarowych po realizacji prac wyciszeniowych wg odpowiedniego wariantu.

Nr linii	Nr pkt.	Stanowisko pracy	Wartości równoważnego poziomu dźwięku A L'_{Aeq} w dB uzyskane na podstawie symulacji komputerowej dla wariantu nr					
			1	2	3	4	5	6
Linia A	PA1	Operator urządzeń rozlewniczych – strefa rozładowarki i załadowarki	88,2	80,9	80,2	79,8	77,0	76,9
	PA2	Operator urządzeń rozlewniczych – strefa myjki butelek	89,0	83,4	83,0	82,8	79,5	79,5
	PA3	Operator urządzeń rozlewniczych – strefa inspektora butelek	92,9	84,6	83,6	82,7	78,8	78,3
	PA4	Operator urządzeń rozlewniczych – strefa monobloku	91,7	84,0	83,3	82,8	78,8	77,6
	PA5	Operator urządzeń rozlewniczych – strefa etykieciarki	92,0	83,2	82,2	81,9	80,8	79,5

Z Tabelicy 4 wynika, że zastosowanie wyciszeń przewidzianych w wariantcie 3 pozwoli już uzyskać na wszystkich stanowiskach pracy ekspozycję na hałas niższą od dopuszczalnej. Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały jednoznacznie, że istnieje możliwość znacznego ograniczenia poziomu hałasu na terenie linii A i B rozlewu piwa butelkowego. Działania wyciszeniowe w pierwszej kolejności winny zmierzać do zapewnienia jak największej chłonności akustycznej we wnętrzu hali, a następnie dopiero winny skupiać się na wyciszeniach źródeł punktowych czy liniowych.

3. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule metoda projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych z wykorzystaniem komputerowego wspomaganie pokazuje możliwości metod symulacyjnych w analizach skuteczności proponowanych rozwiązań wyciszających. Z uwagi na specyficzne środowisko jakim jest hala rozlewu piwa, które z powodu uwarunkowań praktycznych wyklucza stosowanie klasycznych rozwiązań wyciszających takich jak obudowy czy ekrany akustyczne, jedynym możliwym sposobem ograniczenia hałasu było zastosowanie odpowiednich adaptacji akustycznych hali. Próby oszacowania wpływu zaprojektowanych elementów pochłaniających na chłonność akustyczną hali oraz przewidywane zmniejszenia hałasu na stanowiskach pracy, bez zastosowania metod symulacyjnych byłyby niemożliwe.

Artykuł powstał w ramach pracy statutowej BK-218/ROZ3/2014 pt. "Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach" realizowanej w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

Literatura

1. Boczkowski A., Kuboszek A.: Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap I. Ekspertyza akustyczna. - Monografia pt. „Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach” pod red. J. Kaźmierczaka, J. Bartnickiej, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. Opole 2014
2. Boczkowski A., Kuboszek A.: Techniczne i pozatechniczne aspekty wdrażania innowacyjnych metod projektowania zabezpieczeń przeciwhałasowych w przemyśle. Etap II. Projekt akustyczny. - Monografia pt. „Zarządzanie innowacjami w produkcji i usługach” pod red. J. Kaźmierczaka, J. Bartnickiej, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją. Opole 2014
3. Boczkowski A.: Designing of noise protection systems in industrial environment. Monografia pt. Systems Supporting Production Engineering pod redakcją Witolda Białego i Jana Kaźmierczaka, Gliwice, 2012.
4. PN-81/N-01306. Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne.
5. PN-N-1307:1994. Hałas. Dopuszczalne wartości hałasu w środowisku pracy. Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
6. 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.
7. Instrukcja oprogramowania Odeon Industrial w wersji 8.01 firmy Bruel & Kjaer.

Dr inż. Artur KUBOSZEK
Instytut Inżynierii Produkcji
Politechnika Śląska
41-800 Zabrze, ul. Roosevelta 26-28
Tel/fax: (032) 277 73 11/(032) 277 73 13
e-mail: artur.kuboszek@polsl.pl