

## **Przemysłowe zastosowanie metody natężeniowej w badaniach prowadzonych na stanowiskach pracy w zakładach górniczych**

### *Streszczenie*

Hałas jest ciągle istotnym zagrożeniem na stanowiskach pracy, zwłaszcza w zakładach górniczych. Ograniczenie hałasu wymaga stosowania zaawansowanych metod badawczych. Jedną z nich jest numeryczne modelowanie pola akustycznego w oparciu o pomiary natężenia dźwięku. Poprawna identyfikacja parametrów akustycznych źródeł dźwięku oraz parametrów pola akustycznego może przyczynić się do zwiększenia skuteczności projektowanych środków redukcji hałasu. W artykule zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w zakładach górniczych, m.in. w KGHM Polska Miedź S.A. celem zwiększenia skuteczności ochrony przed hałasem.

**Słowa kluczowe:** hałas, zakłady przeróbki surowców mineralnych, metoda natężeniowa, koncepcje ograniczenia hałasu, identyfikacja oddziaływania źródeł dźwięku

**Keywords:** noise, minerals' processing plants, sound intensity method, concepts for noise reduction, identification of impact of sound sources

---

### *Summary*

Noise is still a significant hazard at workplaces, especially in the mining plants. Reduction of noise requires use of advanced testing methods. Numerical modelling of acoustic field basing on the measurements of sound intensity is one of those methods. Correct identification of acoustic parameters of sound sources and parameters of acoustic field can contribute to increasing the effectiveness of planned measures for noise reduction. The results of tests carried out in mining plants, among others in KGHM Polska Miedź S.A., aimed at increasing the effectiveness of noise control are presented.

## **1. Wstęp**

Zagrożenie hałasem i wynikająca z niego utrata słuchu oraz inne choroby zawodowe związane z tym zagrożeniem są jednym z dominujących problemów zdrowotnych obserwowanych pośród pracowników zakładów przeróbki surowców mineralnych [3]. Obserwowane są zarówno w zakładach przeróbki (wzbogacania) węgla, jak i rud metali żelaznych i nieżelaznych. Przyczyn takiego stanu rzeczy jest wiele. Jedną z nich jest powszechnie stosowana technologia przeróbki surowców mineralnych. Najczęściej maszyny i urządzenia zgrupowane są w ciągi technologiczne, zlokalizowane jeden przy drugim, we wspólnej hali lub w połączonych ze sobą budynkach. Budynki niejednokrotnie tworzą wspólną przestrzeń, w której swobodnie propagują się fale akustyczne. Taka kompozycja przestrzenna przyczynia się do wzrostu poziomu mocy akustycznej przypadającej na jednostkę powierzchni, powodując także sumowanie się poziomu dźwięku emitowanego przez poszczególne maszyny i urządzenia [4]. Kolejną przyczyną powyżej opisanego problemu jest stosowanie na potrzeby projektowania metod i środków redukcji hałasu, niewłaściwych metod badań akustycznych,

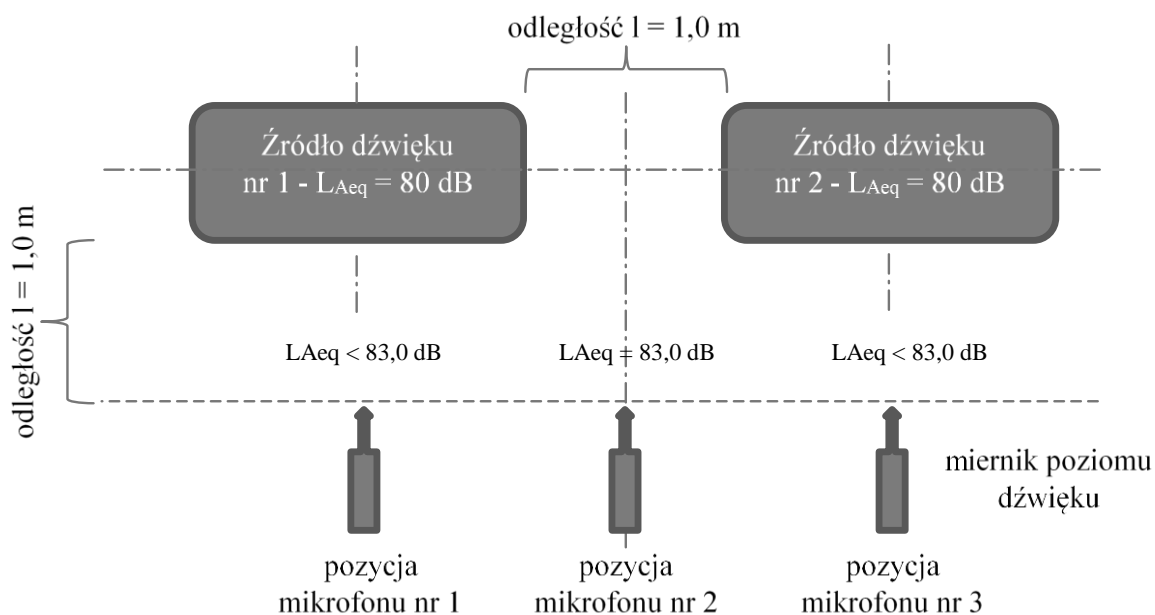
w tym przede wszystkim metody opartej na pomiarze ciśnienia akustycznego [1]. Należy podkreślić, iż możliwość skutecznego ograniczenia ponadnormatywnej emisji dźwięku uzależniona jest w znacznej mierze od poprawnej identyfikacji źródeł oraz identyfikacji parametrów akustycznych, takich jak:

- poziom dźwięku lub poziom natężenia dźwięku,
- poziom mocy akustycznej,
- charakterystyka częstotliwościowa dźwięku,
- charakterystyka kierunkowa dźwięku.

Klasykzna i szeroko stosowana metoda oparta na pomiarze ciśnienia akustycznego nie pozwala na rozgraniczenie oddziaływania jednego źródła od drugiego, zwłaszcza w sytuacji gdy w obszarze badań zlokalizowanych jest więcej maszyn i urządzeń [5]. Efektem tego jest najczęściej popełnienie błędu grubego i przypisanie w identyfikacji parametrów akustycznych źródła dźwięku, sumy oddziaływania kilku najbliższych źródeł dźwięku. Taki błąd jest dość powszechny w badaniach identyfikacji źródeł dźwięku zlokalizowanych w zakładach przeróbki surowców mineralnych. Błąd ten jest trudny do zauważenia podczas weryfikacji wyników pomiarów akustycznych. Ponieważ zabezpieczenia przeciwhałasowe mogą być

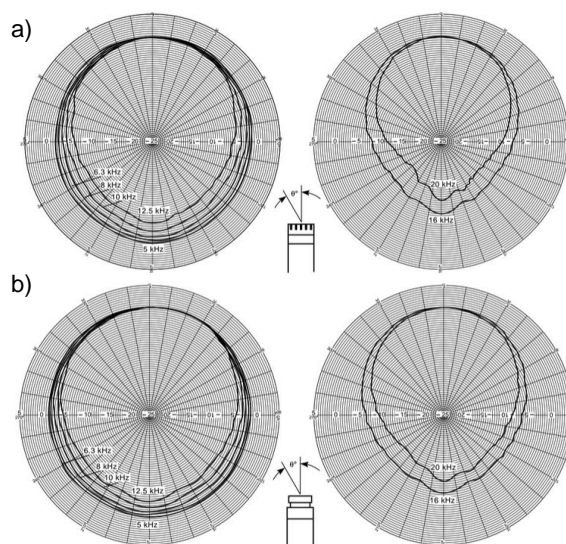
projektowane jedynie na podstawie badań numerycznych (symulacji komputerowych), stąd istnieje potrzeba numerycznej reprezentacji źródeł dźwięku w opracowywanym modelu. Nawet niewielki błąd popełniony w identyfikacji parametrów akustycznych źródeł dźwięku na etapie pomiarów akustycznych, może sumować się w modelu numerycznym, co w przypadku wielu źródeł dźwięku, może powodować, że wyniki badań numerycznych będą znacząco odbiegały od rzeczywistości. Graficzną interpretację opisanego powyżej problemu, przedstawiono na rysunku 1.

Przykład taki przedstawiono na rysunku 2. Taka charakterystyka mikrofonu dodatkowo utrudnia prowadzenie badań na potrzeby identyfikacji parametrów akustycznych źródeł dźwięku w przestrzeniach zamkniętych, gdzie występuje duże nagromadzenie maszyn i urządzeń o znacznej mocy akustycznej. Prawidłowym podejściem w takim przypadku byłoby zastosowanie mikrofonów kierunkowych, jednak i to nie zapobiegłoby możliwości popełnienia błędu w identyfikacji parametrów akustycznych źródeł dźwięku.



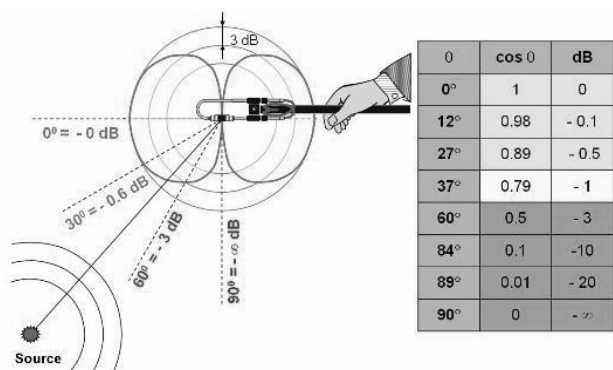
Rys. 1. Graficzna interpretacja sumowania się oddziaływania kilku źródeł dźwięku [opracowanie własne]

W sytuacji przedstawionej na rysunku 1, gdy w bezpośredniej bliskości znajdują się dwa źródła dźwięku o poziomie dźwięku 80,0 dB każde, dokonując pomiaru na potrzeby identyfikacji parametrów akustycznych źródła dźwięku nr 1, w pozycji mikrofonu nr 1 będzie można odczytać poziom dźwięku zbliżony do 83,0 dB (nieznacznie poniżej 83,0 dB). Prawidłowym podejściem w takim przypadku byłoby wyłączenie maszyn i urządzeń innych niż badane, a następnie przeprowadzenie pomiarów akustycznych. Gdy maszyny i urządzenia pracują w ciągu technologicznym, takie podejście nie jest możliwe, ponieważ występuje bezpośrednia zależność jednej maszyny od drugiej. Innym sposobem jest zastosowanie metody skrzynki pomiarowej, która jednak jest kłopotliwa i nie sprawdza się, gdy w badanym sygnale dominują częstotliwości poniżej 200 Hz. W badaniach metodą opartą na pomiarze ciśnienia akustycznego stosuje się najczęściej mikrofony, których charakterystyka kierunkowa odbioru, dla większości częstotliwości środkowych pasm tercjowych jest zbliżona do koła, o środku zlokalizowanym w środku membrany mikrofonu.



Rys. 2. Charakterystyka kierunkowa odbioru typowego mikrofonu pomiarowego [2]:  
a) z osłoną „siatkową” mikrofonu dla  $f = 5.0 \text{ kHz}; 6.3 \text{ kHz}; 8.0 \text{ kHz}; 10.0 \text{ kHz}; 12.5 \text{ kHz}; 16.0 \text{ kHz}; 20.0 \text{ kHz};$   
b) bez osłony „siatkowej mikrofonu” dla  $f = 5.0 \text{ kHz}; 6.3 \text{ kHz}; 8.0 \text{ kHz}; 10.0 \text{ kHz}; 12.5 \text{ kHz}; 16.0 \text{ kHz}; 20.0 \text{ kHz}$

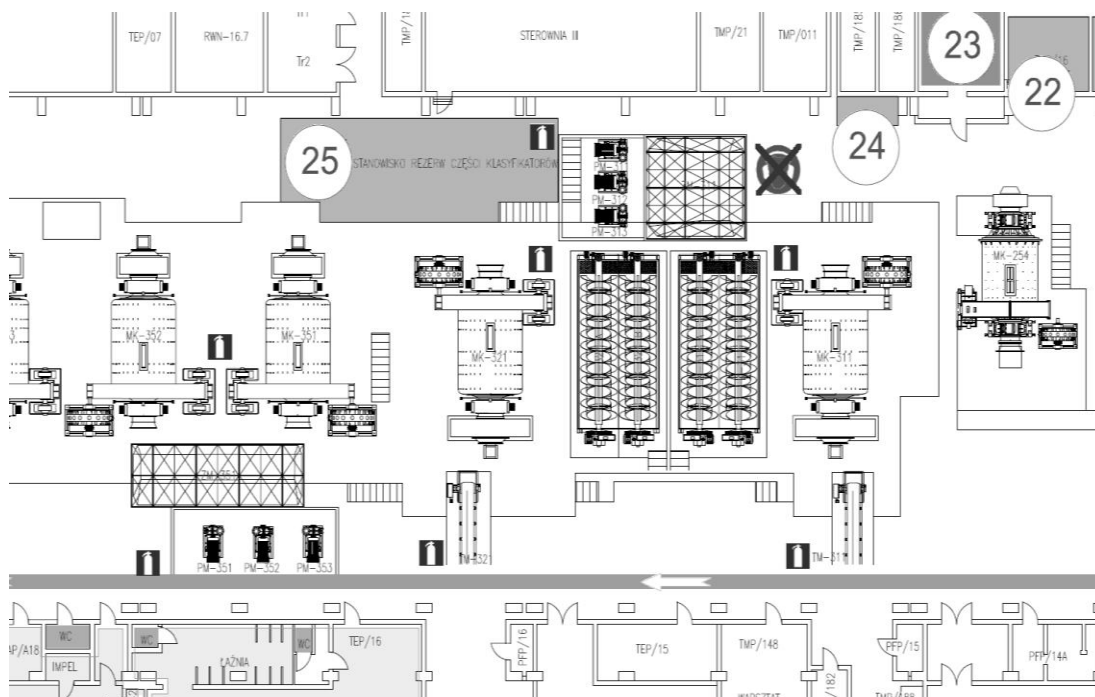
Metodą właściwą do prowadzenia badań w zakładach przeróbki surowców mineralnych jest metoda oparta na pomiarze składowej normalnej wektora natężenia dźwięku, zwana metodą natężeniową. Pomiar prowadzi się z użyciem sondy mikrofonowej lub sondy termicznej [7], która ze względu na swój niewielki rozmiar wprowadza najmniejsze zaburzenia pola akustycznego. Sonda ta może być stosowana do prowadzenia precyzyjnych pomiarów w niewielkich przestrzeniach, w tym m.in. w kanałach wentylacyjnych [8]. Sonda mikrofonowa składa się z dwóch mikrofonów rozdzielonych elementem dystansującym - spliterem, o dokładnie określonej długości. Czułość sondy uzależniona jest od kąta padania fal akustycznych, i pogarsza się istotnie po przekroczeniu kąta 37°, co pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Czułość sondy natężeniowej (mikrofonowej) w zależności od kąta padania fal akustycznych [6]

## 2. Badania parametrów akustycznych metodą natężeniową w zakładach przeróbki surowców mineralnych

Metodę natężeniową zastosowano m.in. podczas badań prowadzonych w Zakładzie Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A. Badania prowadzono w celu opracowania koncepcji zabezpieczeń wibroakustycznych na stanowiskach pracy i w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania pracowników. Badaniami objęto przesiewalnię, halę kruszarek, nową halę przesiewalni, młynownię, oddział PFP (rys. 4), w tym: halę młynowni, halę flotacji oraz halę główną suszarni. Tak szerokie przemysłowe zastosowanie metody natężeniowej, było nowością i służyło do identyfikacji parametrów akustycznych maszyn i urządzeń, jak również do określenia poziomu energii przenikającej z różnych przestrzeni badawczych. Badaniami objęto wiele grup maszyn i urządzeń, w tym: przenośniki oraz napędy przenośników taśmowych, kruszarki, młyny prętowe, pompy, klasyfikatory, itp. Pomiar akustyczne prowadzone metodą natężeniową stały się podstawą do opracowania modelu numerycznego rozkładu pola akustycznego Zakładu Wzbogacania Rud, jak również do numerycznej weryfikacji zabezpieczeń przeciwhałasowych. Możliwe było również określenie najbardziej pożądanych cech zabezpieczeń przeciwhałasowych, zarówno w zakresie cech konstrukcyjnych, jak i materiałowych.

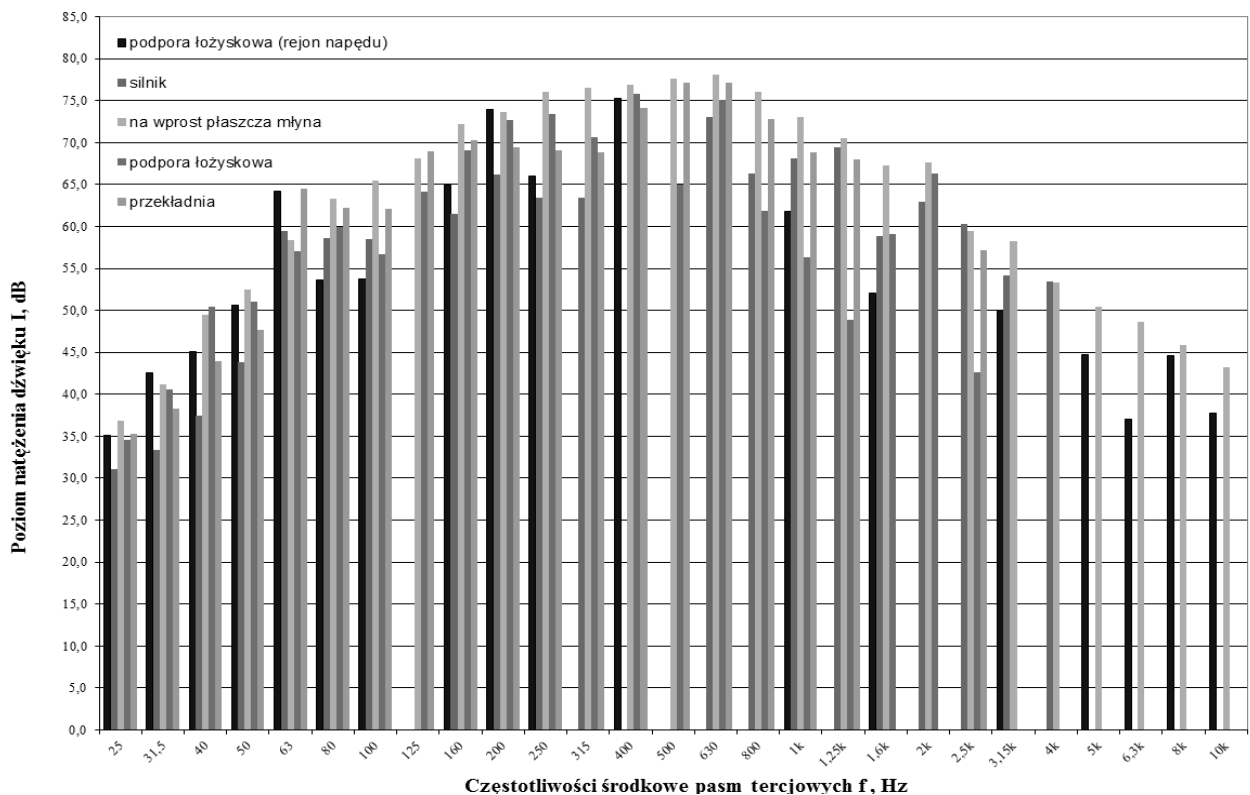


Rys. 4. Plan rozmieszczenia maszyn i urządzeń w oddziale PFP obrazujący skalę problemów badawczych związanych z gęstym rozmieszczeniem źródeł dźwięku [źródło: KGHM Polska Miedź S.A.]

Cechą charakterystyczną metody natężeniowej jest możliwość identyfikacji parametrów akustycznych badanej maszyny/urządzenia w przypadku oddziaływania na siebie różnych maszyn i urządzeń. Przykład takiej identyfikacji zaprezentowano na rysunku 5. Badanym źródłem dźwięku był młyn prętowy, zlokalizowany w rejonie innych źródeł dźwięku, takich jak klasyfikatory, pompy oraz pozostałe młyny surowców mineralnych. Młyn prętowy składa się m.in. z silnika, przekładni, podpór łożyskowych oraz bębna, w którym poruszają się pręty. Podczas badań określono poziom natężenia dźwięku dla poszczególnych częstotliwości środkowych pasma tercjowego, dla opisanych powyżej źródeł dźwięku młyna prętowego. Badania te pozwoliły na opracowanie modelu numerycznego młyna prętowego z podziałem na poszczególne źródła dźwięku. Nie byłoby to możliwe bez identyfikacji parametrów akustycznych każdego ze źródeł dźwięku. Identyfikacja taka możliwa była jedynie z użyciem metody natężeniowej, ponieważ źródła dźwięku znajdują się w niewielkiej odległości od siebie oraz charakteryzują się znacznym poziomem mocy akustycznej. Ponadto w czasie badań jednego źródła dźwięku, nie było możliwe powstrzymanie procesu generowania fal akustycznych z pozostałych źródeł.

Opracowanie modelu numerycznego młyna prętowego z podziałem na poszczególne źródła dźwięku umożliwiło m.in. dostosowanie parametrów transmisji środków redukcji hałasu do parametrów akustycznych źródła dźwięku. Prowadzenie badań numerycznych z przyjęciem takich założeń umożliwia także projektowanie indywidualnych zabezpieczeń przeciwhałasowych, co przyczynia się do ograniczenia kosztów działań inwestycyjnych oraz zwiększenia skuteczności ograniczania ponadnormatywnego hałasu.

Badając poziom natężenia dźwięku dla poszczególnych częstotliwości pasm tercjowych lub oktaowych, można z użyciem metody natężeniowej, identyfikować energię fal akustycznych pochodzących z badanego źródła dźwięku, jak również energię fal akustycznych, które mają inne pochodzenie, np. są to fale odbite lub pochodzące z innych niż badane, źródeł dźwięku. Mierzony z użyciem powyżej opisywanej metody poziom natężenia, jest uśrednionym w czasie przepływem strumienia energii fal akustycznych przez jednostkową powierzchnię, prostopadłą do kierunku fal. Jednakże w badaniach na obiektach rzeczywistych parametrem identyfikowanym w czasie pomiarów z użyciem tej metody, jest poziom natężenia dźwięku.

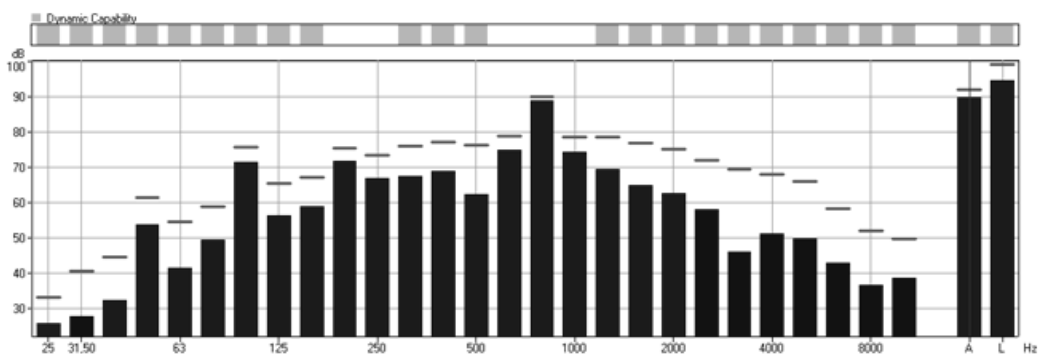


Rys. 5. Poziom natężenia dźwięku dla poszczególnych częstotliwości pasm tercjowych określony dla młyna MK-321 [badania własne]

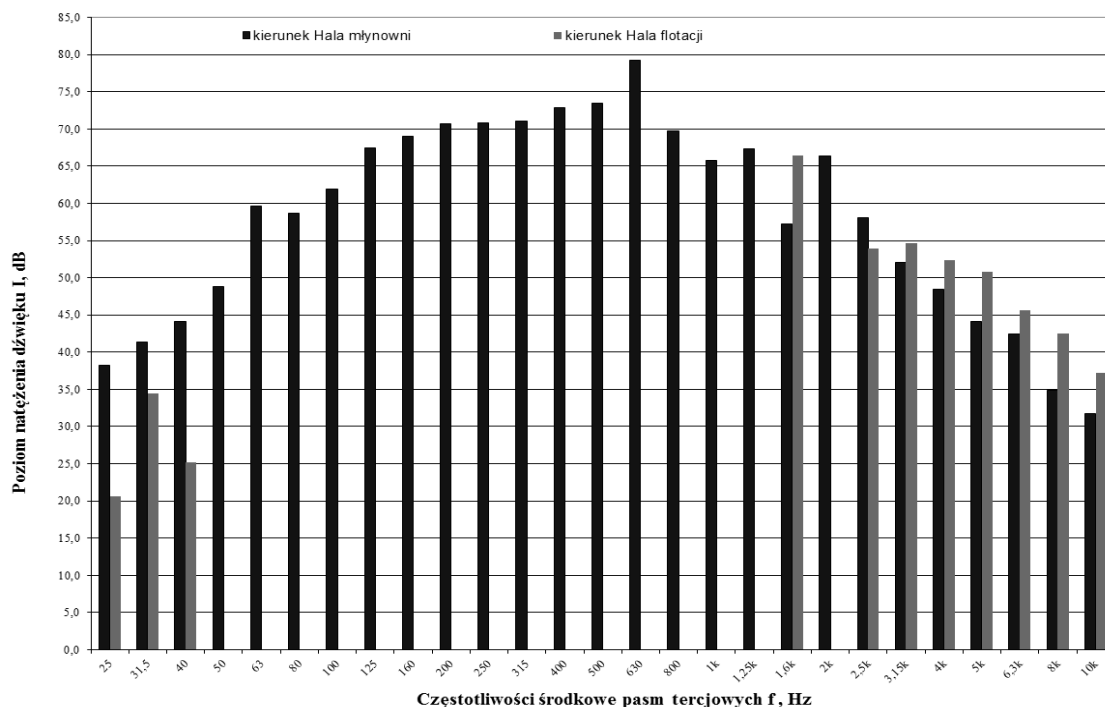
Na jego podstawie określa się najczęściej poziom mocy akustycznej źródeł dźwięku, co daje podstawę do numerycznej reprezentacji źródeł dźwięku w modelu. Dzięki temu w badaniach numerycznych możliwa jest identyfikacja pola akustycznego, a także dominujących źródeł dźwięku. Identyfikację natężenia dźwięku dla fal akustycznych pochodzących z badanego źródła oraz fal innego pochodzenia przedstawiono graficznie na rysunku 6. Kolorem bordowym określono oddziaływanie pochodzące z badanego źródła dźwięku, natomiast kolorem niebieskim, inne oddziaływanie. Metoda natężeniowa umożliwia również określenie oddziaływania na siebie dwóch przestrzeni, co zobrazowano na rysunku 7. Na podstawie przeprowadzonych badań w przejściu pomiędzy halą młynowni i halą flotacji, stwierdzono, iż dominujące oddziaływanie pochodzi z hali młynowni. Na tej podstawie określono potrzebę ochrony hali flotacji przed hałasem pochodzącym z hali młynowni, poprzez zastosowanie śluz o podwyższonej izolacyjności akustycznej.

### 3. Podsumowanie

Stosowana powszechnie metoda badań oparta na pomiarze ciśnienia akustycznego nie może być stosowana zwłaszcza w przypadku dużego nagromadzenia maszyn i urządzeń na jednostkę powierzchni. Problem ten występuje zwłaszcza w zakładach przeróbki surowców mineralnych. Należy wówczas stosować metodę badań opartą na pomiarze składowej normalnej wektora natężenia dźwięku, która z powodzeniem była weryfikowana podczas badań m.in. obiektów energetycznych. Metoda natężeniowa pozwala na identyfikację energii fal akustycznych pochodzących z badanego źródła dźwięku, jak również energii fal akustycznych, które mają inne pochodzenie. Otrzymane wyniki badań z użyciem metody natężeniowej, potwierdziły jej przydatność do prowadzenia analiz akustycznych złożonych przestrzennie obiektów przemysłowych.



Rys. 6. Pomiar natężenia dźwięku pompy tłokowej sondą mikrofonową [badania własne]



Rys. 7. Analiza oddziaływania na siebie przestrzeni dwóch hal: Hali młynowni i Hali flotacji [badania własne]

---

Określając koncepcję ograniczenia hałasu na stanowiskach pracy należy mieć na uwadze, iż zabezpieczenia przeciwhałasowe mogą być projektowane jedynie na podstawie badań numerycznych, które nie są obciążone błędami grubymi w identyfikacji parametrów akustycznych źródeł dźwięku.

## Literatura

1. Kinsler L., Frey A., Coppens A., Sanders J.: Fundamentals of Acoustics. J. Wiley. New York 1982.
2. Microphone Handbook. Technical documentation. Brüel&Kjær, Nærum, 1995.
3. Ocena zagrożenia i ograniczanie narażenia na hałas na stanowiskach pracy. Główny Inspektorat Sanitarny. Warszawa, 2011.
4. Pierchała M.: Analiza przyczynowo-skutkowa oddziaływania zakładów przemysłowych na klimat akustyczny aglomeracji. Masz. Gór. 2007 nr 1 s. 7-15, il.
5. Pierchała M.: Badania pola akustycznego w przestrzeniach zamkniętych obiektów energetycznych. Prace Naukowe - Monografie KOMAG nr 42, Instytut Techniki Górniczej KOMAG, Gliwice 2014 s. 1-80; wyd., ISBN 978-83-60708-81-1.
6. Sound Intensity Measurements with LAN-XI. Brüel&Kjær, Nærum, 2002.
7. Weyna S.: Rozpływ energii akustycznych źródeł rzeczywistych. Warszawa: WNT, 2005.
8. Weyna S.: Some comments about the existing theory of sound with comparison to the experimental research of vector effect in real-life acoustic near fields. Kraków-Zakopane: LIII Otwarte Seminarium z Akustyki, 2006, p. 75 ÷ 86.

*Artykuł wpłynął do redakcji w lipcu 2015 r.*