

Wiesław FIEBIG^{1*}
Jakub WRÓBEL¹

IDENTYFIKACJA ŹRÓDEŁ HAŁASU NA PRZYKŁADZIE AGREGATU HYDRAULICZNEGO

W artykule omówiono główne problemy związane z hałasem występującym w urządzeniach hydraulicznych oraz przyczyny jego występowania. Przeprowadzona została lokalizacja źródeł hałasu na przykładzie agregatu hydraulicznego. Zastosowana została metoda pomiaru natężenia dźwięku sondą dwumikrofonową oraz kamerą akustyczną. Stworzone zostały mapy akustyczne oraz ranking poziomów mocy akustycznej dla każdej z powierzchni. Porównano wnioski uzyskane w przypadku każdej z metod dotyczące lokalizacji głównego źródła hałasu dla dwóch zakresów częstotliwości.

1. WSTĘP

Agregaty hydrauliczne wielu przypadkach decydują o poziomie mocy akustycznej maszyn. Dlatego redukcja hałasu w tej grupie urządzeń jest szczególnie wymagana. W agregatach hydraulicznych występuje wiele źródeł dźwięku i zależności między nimi są złożone [1]. O ogólnym poziomie hałasu decydują przede wszystkim główne źródła hałasu. Ich lokalizacja i identyfikacja jest bardzo istotnym zagadnieniem w działaniach nad redukcją hałasu. W niniejszym artykule wykorzystane zostały dwie podstawowe metody lokalizacji źródeł hałasu: przy pomocy sondy natężeniowej oraz pomiar kamerą akustyczną.

2. PRZYCZYNY POWSTAWANIA HAŁASU W AGREGATACH HYDRAULICZNYCH

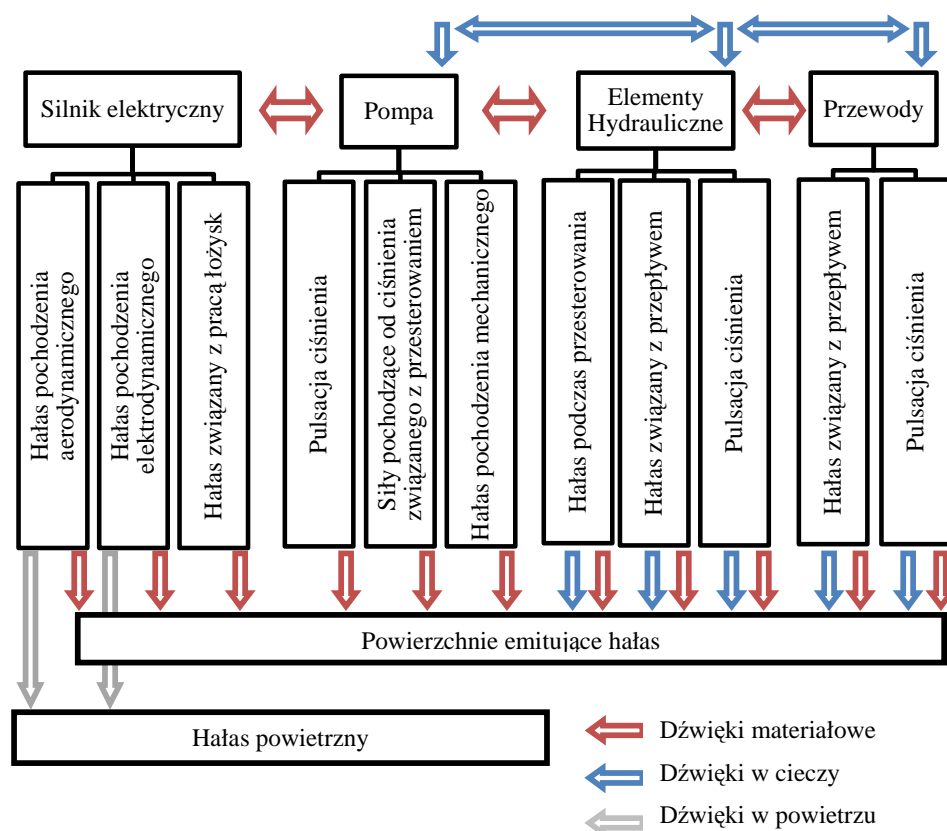
Przyczyny powstawania hałasu w agregatach hydraulicznych zestawiono na rys.1. W przypadku pomp wporowych są to głównie wymuszenia od zmiennych sił towarzyszących procesom przesterowania. Pewien wpływ na powstawanie hałasu pomp mają również: przepływ, pulsacja ciśnienia oraz przyczyny mechaniczne, wywołane na

¹Politechnika Wrocławska Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn i Układów Hydraulicznych, Wrocław

* Email: wieslaw.fiebig@pwr.edu.pl

skutek uderzeń występujących między elementami pompy. Należy zaznaczyć, że hałas towarzyszący przepływowi jest szczególnie intensywny w miejscach o bardzo małym przekroju przepływowym, gdzie prędkość przepływu osiąga bardzo wysokie wartości - powyżej 10m/s. Przy takich prędkościach występuje często hałas związany z występowaniem kawitacji.

Udział hałasu pomp pochodzącego od przepływu w ogólnym poziomie ciśnienia akustycznego pompy jest zależny od tego, w jakim stopniu przebiegi ciśnień podczas procesów przesterowania są dopasowane. W pompach, np. łopatkowych, o powolnych przebiegach ciśnień w obszarach przesterowania, hałas od przepływu może mieć przy określonych parametrach eksploatacyjnych decydujące znaczenie. Silnik elektryczny wzbudzany jest samoistnie do drgań na skutek sił pochodzenia elektrodynamicznego i aerodynamicznego, jak również od zmiennych sił w łożyskach np. na skutek niewyważenia elementów wirujących. Elementy hydrauliczne, jak zawory oraz przewody hydrauliczne, są wzbudzone do drgań na skutek zmiennych sił od przepływu czynnika roboczego oraz od pulsacji ciśnienia. Drgania tych elementów oraz przewodów są wzbudzone przez pompę, która jest połączona z nimi hydraulicznie i mechanicznie [1].



Rys. 1. Przyczyny powstawania hałasu w układach hydraulicznych
Fig. 1. Sources and causes of noise in hydraulic systems

Na rys. 2 przedstawiony został badany agregat hydrauliczny. Silnik elektryczny zamocowany jest pionowo a pompa wielotłoczkowa o 9 tłoczkach znajduje się wewnątrz

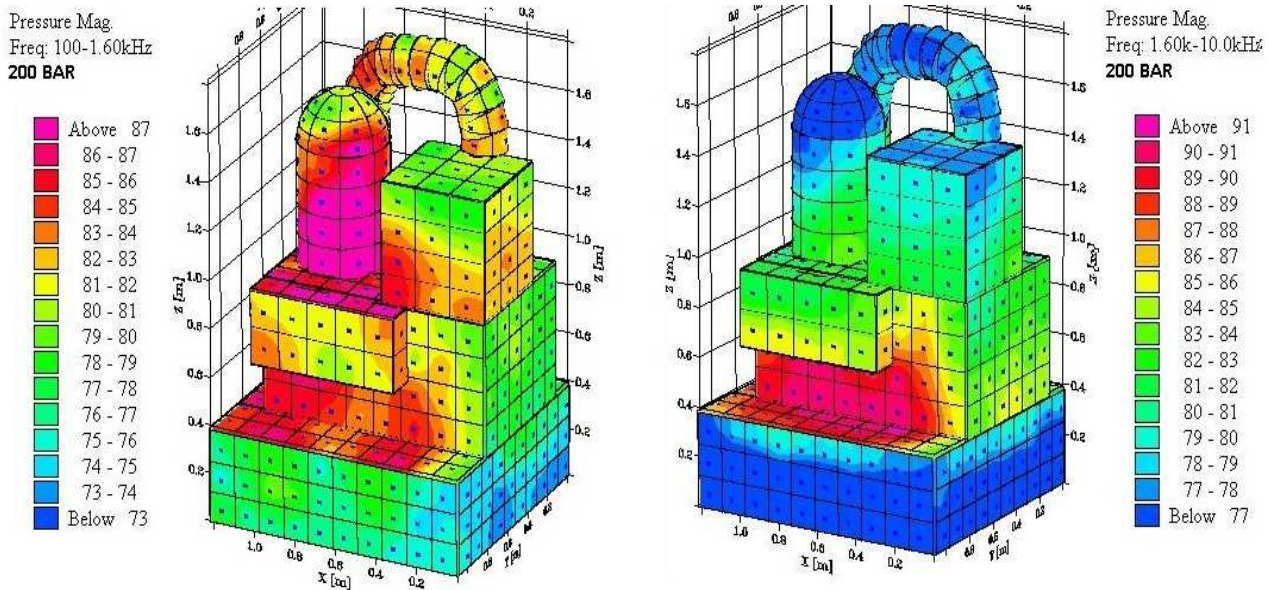
zbiornika. Ciśnienie pracy agregatu zmieniano przy pomocy nastawy na zaworze przelewowym w zakresie 0 – 200bar. Agregat jest wyposażony w wannę zabezpieczającą przed skutkami nieszczelności.



Rys. 2. 1 – Agregat hydrauliczny, 2 – Sonda dwumikrofonowa 3548 B&K, 3 – Analizator 2144 B&K,
4 – Kamera akustyczna Noise Inspector CAE, 5 – Kamera akustyczna GFaI
Fig. 2. 1 – Hydraulic unit, 2 – Intensity probe 3548 B&K, 3 – Signal analyzer 2144 B&K,
4 – Acoustic camera Noise Inspector CAE, 5 – Acoustic camera GFaI

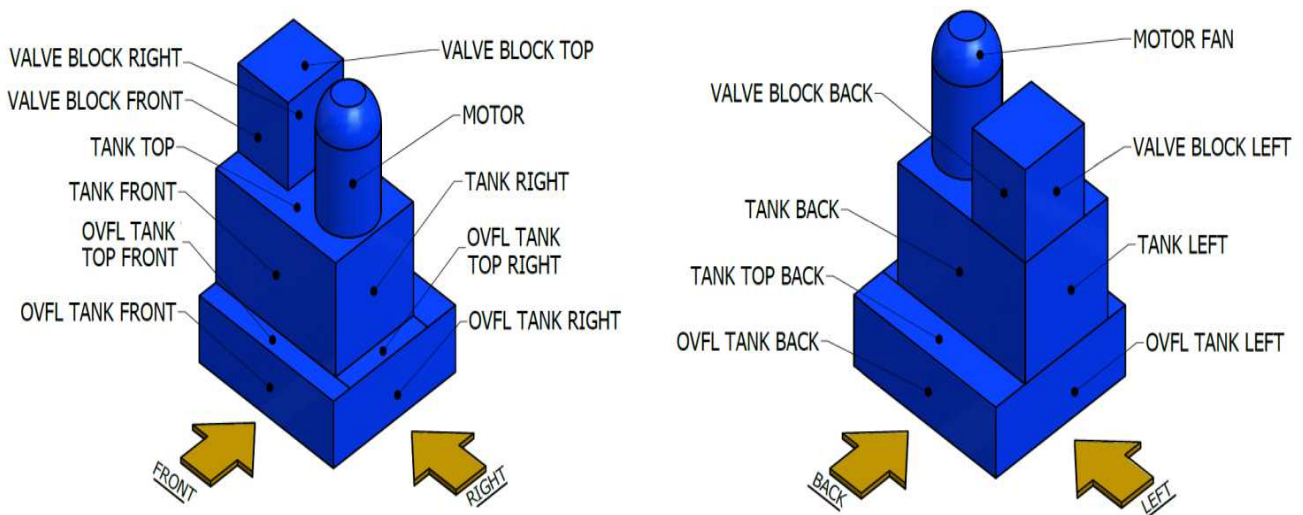
3. POMIAR SONDĄ DWUMIKROFONOWĄ

Lokalizacja źródeł hałasu przeprowadzona została z pomocą oprogramowania Noise Source Location (NSL), sondy dwumikrofonowej 3558 oraz analizatora 2144 firmy Bruel&Kjaer przedstawionych na rys. 2. Środowisko oprogramowania NSL pozwala na przygotowanie modelu 3D powierzchni otaczającej uproszoną geometrię rzeczywistego obiektu. Tak przygotowana powierzchnia stanowi powierzchnię pomiarową, na której umieszczone były 533 punkty pomiarowe. Przeprowadzenie pomiarów oraz wczytanie ich w odpowiednie punkty modelu pozwala na interpolowanie wyników na danej powierzchni, rezultatem czego jest stworzenie mapy akustycznej, wyznaczenie poziomu mocy, natężenia oraz ciśnienia akustycznego [2],[3]. Badania przeprowadzone zostały dla trzech wartości ciśnienia pracy odpowiednio 50, 100 i 200bar. Poniżej zaprezentowane zostały rozkłady ciśnienia akustycznego dla ciśnienia 200bar odpowiednio dla zakresu częstotliwości 0,1 – 1,6kHz oraz 1,6 – 10kHz (rys. 3).

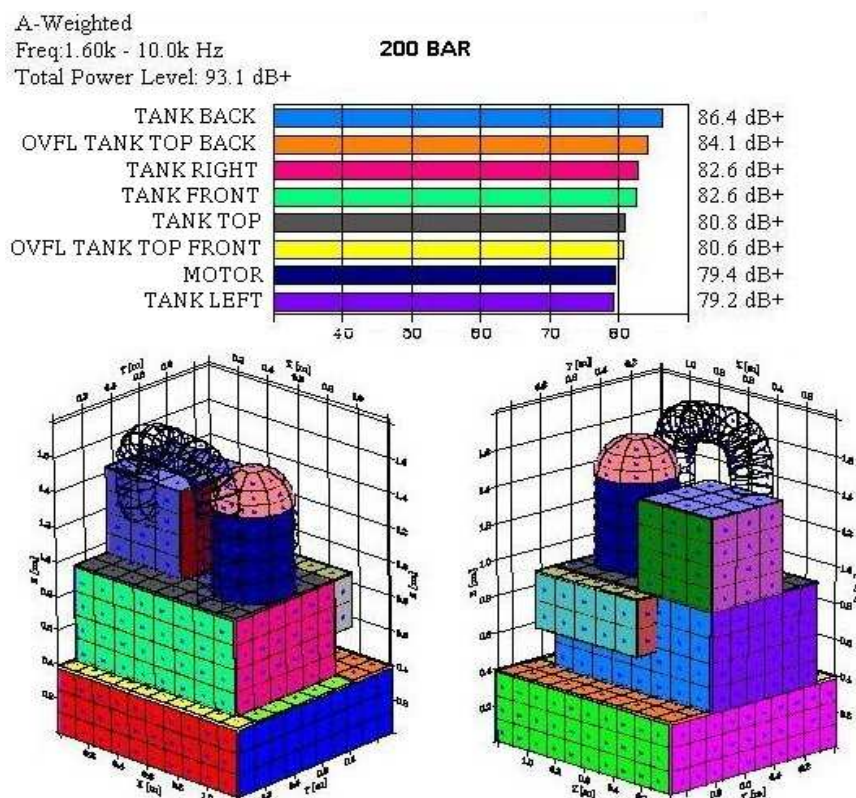


Rys. 3. Mapy ciśnienia akustycznego – widok tylnej części agregatu hydraulicznego
 Fig. 3. Acoustic pressure maps – back side view of the hydraulic unit

Przydatną funkcją programu NSL jest tworzenie rankingu mocy akustycznej [4] dla poszczególnych powierzchni składowych lub grup powierzchni zdefiniowanych jako elementy. Rysunek 4 przedstawia nazwy nadane poszczególnym powierzchniom modelu. Rysunek 5 przedstawia ranking poziomów mocy akustycznej badanego urządzenia dla ciśnienia hydraulicznego 200 bar. Kolory poszczególnych powierzchni odpowiadają kolorom na wykresie.



Rys. 4. Nazwy poszczególnych powierzchni modelu agregatu hydraulicznego
 Fig. 4. Names of hydraulic unit model measurement surfaces



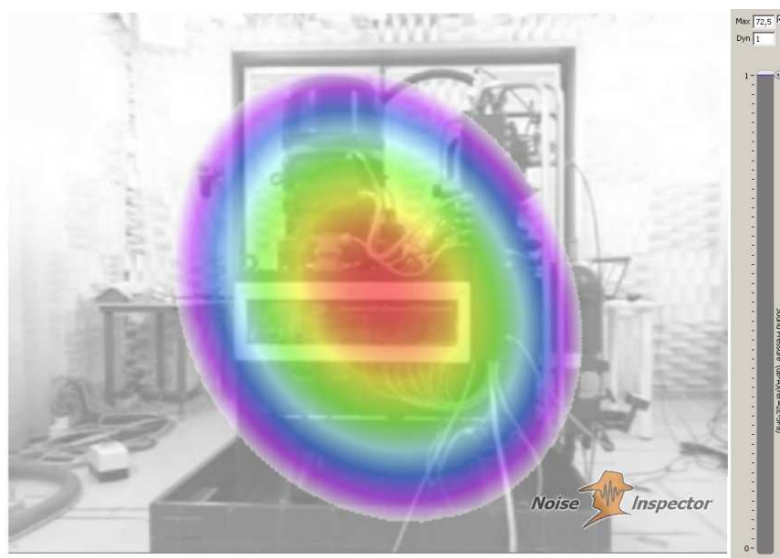
Rys. 5. Ranking poziomów mocy akustycznej dla poszczególnych powierzchni
 Fig. 5. Total acoustic power level ranking for defined model surfaces

Analizując wyniki przedstawione na rys. 3 można zauważyć, iż głównym źródłem hałasu w zakresie częstotliwości do 1,6kHz jest silnik elektryczny. Dla częstotliwości powyżej 1,6kHz źródłem hałasu jest tylna część zbiornika oraz górna część wanny. Całkowity poziom mocy akustycznej wynosi 93,1dB(A). Dalsze miejsca w rankingu zajmują prawa, przednia oraz górna powierzchnia zbiornika.

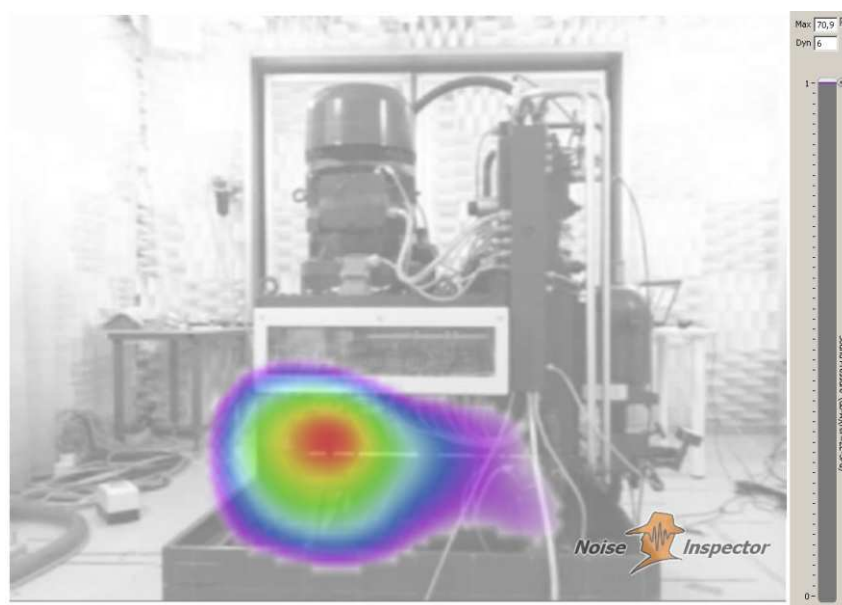
4. POMIAR KAMERĄ AKUSTYCZNĄ

Lokalizacja źródeł hałasu może zostać wykonana poprzez pomiary kamerą akustyczną [5]. Pomiary wykonane zostały za pomocą kamery Noise Inspector firmy CAE Systems & Software. Pozwala ona na konwersję emisji dźwięku do postaci obrazu. Dzięki wizualizacji poziomów dźwięku, na zdjęciu lub filmie wideo, możliwa jest szybka lokalizacja źródeł hałasu. Przy zastosowaniu kamery akustycznej można lokalizować zarówno źródło dźwięku jak i oceniać poziom emitowanego ciśnienia akustycznego. Kamera składa się z matrycy mikrofonowej, kamery wideo wbudowanej w matrycę, oraz modułów do przetwarzania obrazu i sygnału [5],[6]. Całość współpracuje z oprogramowaniem zainstalowanym na komputerze przenośnym. Matryca kamery jest jednokierunkowa tzn. wszystkie mikrofony znajdują się w tej samej płaszczyźnie i skierowane są w tą samą stronę. W takim wypadku

najlepiej sprawdzają się pomiary powierzchni zbliżonych do płaskich [6], a pomiar odbywa się w kierunku prostopadłym. Przeprowadzone zostały trzy serie pomiarów odpowiednio dla ciśnienia 50, 100 oraz 200bar, dla każdej ze stron agregatu hydraulicznego. Wyniki zamieszczone w rys. 6 oraz rys. 7 przedstawiają tylną stronę agregatu hydraulicznego, której izometryczny widok przedstawiony jest również na rys. 3. Zakres częstotliwości, podobnie jak w przypadku pomiaru sondą natężeniową, został podzielony na dwa przedziały: 0,1 do 1,6kHz oraz 1,6 do 7kHz.



Rys. 6. Zdjęcie wykonane kamerą. Ciśnienie 200bar – Zakres częstotliwości 0,1 – 1,6kHz
Fig. 6. Acoustic Photo. Operating pressure 200bar. Frequency range 0, – 1,6kHz



Rys. 7. Zdjęcie wykonane kamerą. Ciśnienie 200bar – Zakres częstotliwości 1,6 – 7kHz
Fig. 7. Acoustic Photo. Operating pressure 200bar. Frequency range 1,6 – 7kHz

5. PODSUMOWANIE

Zastosowane metody pomiarowe pozwoliły na lokalizację źródeł hałasu w agregacie hydraulicznym i porównanie uzyskiwanych z ich pomocą wniosków. Niezależnie od metody pomiaru, źródłem o najwyższym poziomie hałasu okazał się zbiornik cieczy hydraulicznej. Wyniki przedstawiane na rys. 3, uzyskane sondą dwumikrofonową, jak i rys. 6 i rys. 7, uzyskane z pomocą kamery akustycznej, są zgodne co do położenia źródła dźwięku. Analiza spektrogramów pozwoliła na określenie zakresów częstotliwości, w których dochodzi do wzmocnionej emisji hałasu. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że podczas pracy agregatu, występuje hałas w niższym zakresie częstotliwości 0,1 - 1,6kHz i jest on związany z pracą silnika elektrycznego. Dla wyższych częstotliwości $f > 1.6\text{kHz}$ występuje wzmoczona emisja hałasu ze zbiornika.

LITERATURA

- [1] ENGEL Z., 2001, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*, PWN, Warszawa.
- [2] FAHY F., 1995, *Sound intensity*, CRC Press.
- [3] GADE S., 1982, *Sound intensity*, Bruel & Kjaer Technical Review, 4.
- [4] Brüel & Kjær, Lecture notes, 2008, Brüel & Kjær University, Nærum Denmark, 17 – 18 November.
- [5] FIEBIG W., CEPENDA P., 2014, *Lokalizacja źródeł hałasu w koparko-ładowarce przy pomocy kamery akustycznej*, Napędy i sterowanie, 5, 05.
- [6] CHRISTENSEN J.J., HALD J., 2004, *Beamforming*, Bruel & Kjaer Technical Review, 1.

NOISE SOURCE LOCALIZATION – HYDRAULIC UNIT

This paper presents the main problems associated with noise emission and causes of noise in hydraulic devices. Noise source localization procedures were conducted on a hydraulic unit commonly used in industry. The noise localization measurements were conducted with use of two methods: Sound Intensity Probe measurement and an Acoustic Camera beamforming algorithm. A set of acoustic maps and acoustic photos was created. A total acoustic power level ranking was created. Results obtained in each method were compared. Main noise sources were detected and assigned to frequency ranges.

Keywords: *noise localization, hydraulic unit, intensity probe, acoustic camera*

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn i Układów Hydraulicznych, Wrocław