

IDENTYFIKACJA ŹRÓDEŁ HAŁASU W MASZYNACH HYDRAULICZNYCH

WIESŁAW FIEBIG

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Politechniki Wrocławskiej

ul. Łukasiewicza 7/9, 51-377 Wrocław

wieslaw.fiebig@pwr.wroc.pl

SUMMARY

NOISE SOURCES LOCATION IN FLUID POWER MACHINES

In this paper, the noise generation mechanisms and techniques for noise reduction in fluid power units have been described. Using the sound intensity method, the major noise sources in fluid power units can be identified. It has been proved that components of power units with larger sound radiating surfaces such as the electric motor and the oil reservoir produce the major part of the global noise radiation.

WPROWADZENIE

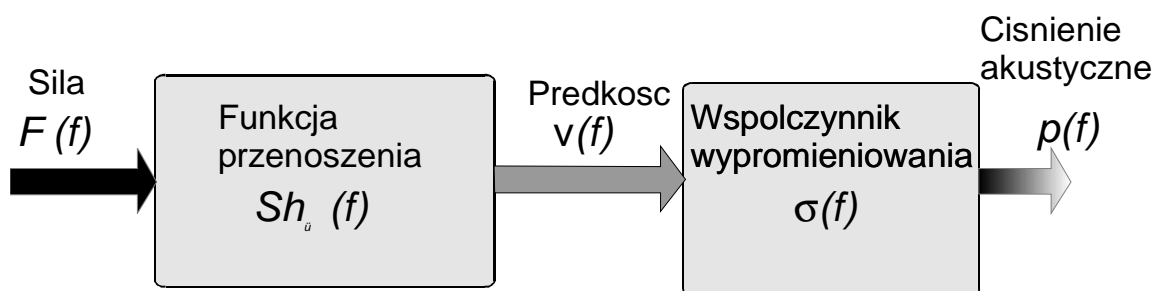
Hałaśliwość pracy wielu maszyn jest zdeterminowana poprzez maszyny i urządzenia hydrauliczne. Dotyczy to zarówno maszyn stacjonarnych jak i maszyn roboczych pracujących w ruchu.

Obciążenie hałasem na stanowiskach pracy w wielu zakładach przemysłowych jest wyższe od dopuszczalnego. Z tego względu muszą być czynione starania mające na celu redukcję hałasu w na stanowiskach pracy a najefektywniejszą metodą jest eliminacja hałasu u źródła tj. w maszynach. Problematyka hałaśliwości maszyn została podjęta między innymi w Dyrektywie Unii Europejskiej nr 89/392 z r. 1995, która definiuje, że każda maszyna wyprodukowana w krajach Unii Europejskiej powinna posiadać informację dotyczącą poziomów ciśnienia akustycznego emitowanego przez nią do otoczenia.

Jak powstaje hałas w agregatach hydraulicznych? Jakie źródła hałasu są dominujące? Odpowiedź na to pytanie jest bardzo istotna, ponieważ jak wiadomo, obniżka poziomu hałasu w każdej maszynie możliwa jest tylko wówczas gdy nastąpi obniżenie poziomu hałasu jej elementów, które są głównymi źródłami hałasu.

POWSTAWANIE HAŁASU W AGREGATACH HYDRAULICZNYCH

Hałas w agregatach hydraulicznych W sposób poglądowy powstawanie hałasu przedstawiono na rys. 1.



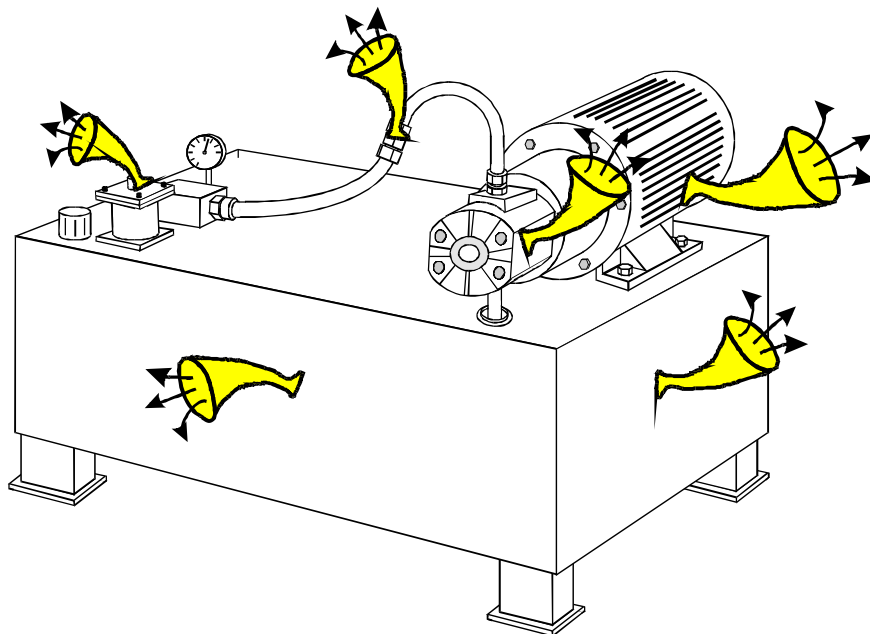
Rys. 1: Powstawanie hałasu w układach hydraulicznych

Siły wymuszające powodują powstawanie drgań komponentów a na skutek tych drgań emitowany jest hałas do otoczenia. Efektywność powstawania hałasu na skutek drgań jest definiowana przez współczynnik wypromieniowania. Jest to tzw. pośredni sposób wytwarzania hałasu w odróżnieniu od bezpośredniego powstawania hałasu np. na skutek pracy wentylatora.

Z rys. 1 wynika, że hałas wytwarzany w sposób pośredni w układach hydraulicznych można ograniczyć przez:

- wpływanie na siły wymuszające drgania, poprzez zmniejszenie ich amplitudy lub charakterystyki częstotliwościowej,
- poprzez wpływanie na funkcję przenoszenia i stosowanie tłumienia drgań oraz minimalizacją ich przenoszenia poprzez pulsację ciśnienia i dźwięki w cieczy,
- poprzez wpływanie na współczynnik wypromieniowania dźwięku głównie przez zmiany konstrukcyjne na głównych powierzchniach emitujących dźwięki.

Powstawanie hałasu w agregacie hydraulicznym wyjaśnia poglądowo rys. 2.

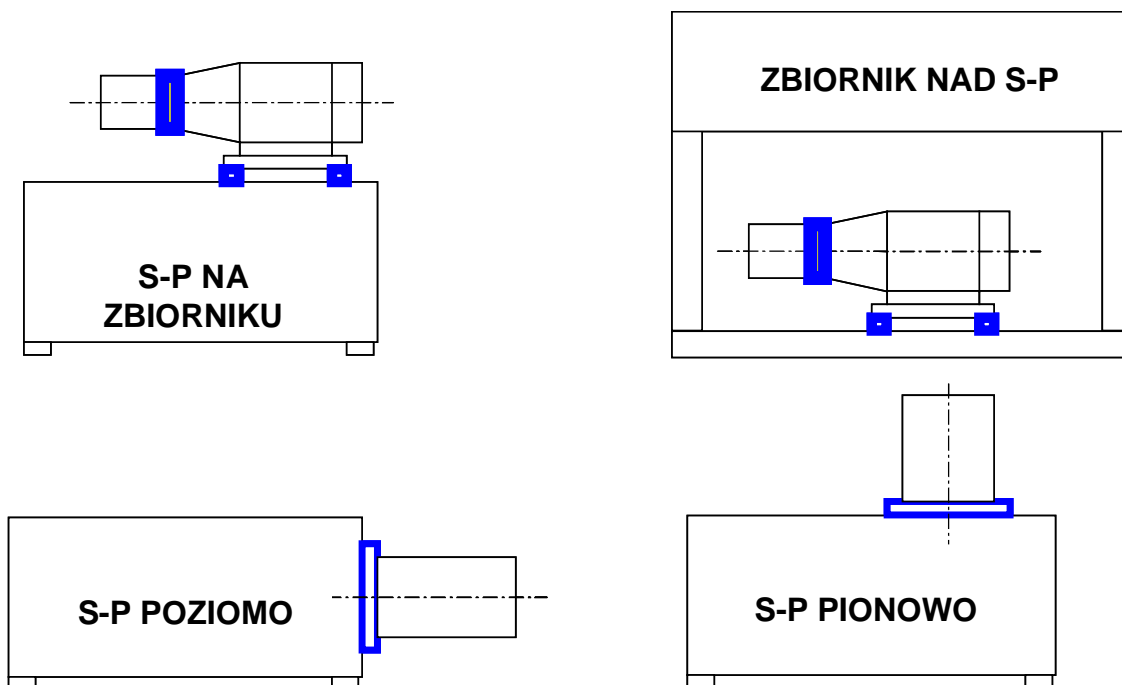


Rys. 2: Poglądowy sposób powstawania hałasu w agregacie jako oddziaływanie wielu źródeł dźwięku

Oprócz pomp hałas emitują silniki elektryczne, zawory, ścianki zbiornika a więc elementy które są w sposób mechaniczny lub hydrauliczny (za pomocą przewodów) połączone z pompami. Pozom mocy akustycznej emitowanej do otoczenia przez agregaty hydrauliczne jest jednak zazwyczaj 10 do 15

dB(A) wyższy niż poziom mocy akustycznej emitowanej przez pompy. Fakt ten wskazuje już na to, że pompy wyporowe nie mogą być traktowane jako główne źródła hałasu w agregatach hydraulicznych. Pompy wyporowe ze względu na ich nieciągły charakter pracy należą do najważniejszych źródeł wzbudzających drgania, które przenoszą się do elementów połączonych z pompami mechanicznie lub hydraulicznie. Udział hałasu samych pomp jest zazwyczaj mniejszy od udziału elementów agregatów hydraulicznych o większej powierzchni promieniujących dźwięki jak silniki elektryczne czy ścianki zbiornika. Odpowiedź na pytanie, czy dla powstawania hałasu ważniejsze są drgania mechaniczne pompy czy też pulsacja ciśnienia, prowadząca również do powstawania drgań i hałasu, jest zależna od konstrukcji agregatu hydraulicznego i nie może być podana bez wnikliwych badań. Relacje między tymi podstawowymi przyczynami powstawania hałasu w agregatach hydraulicznych są przy tym bardzo złożone.

W praktyce przemysłowej spotyka się 4 podstawowe typy agregatów hydraulicznych (rys. 3) w zależności od mocowania zespołu silnik-pompa.

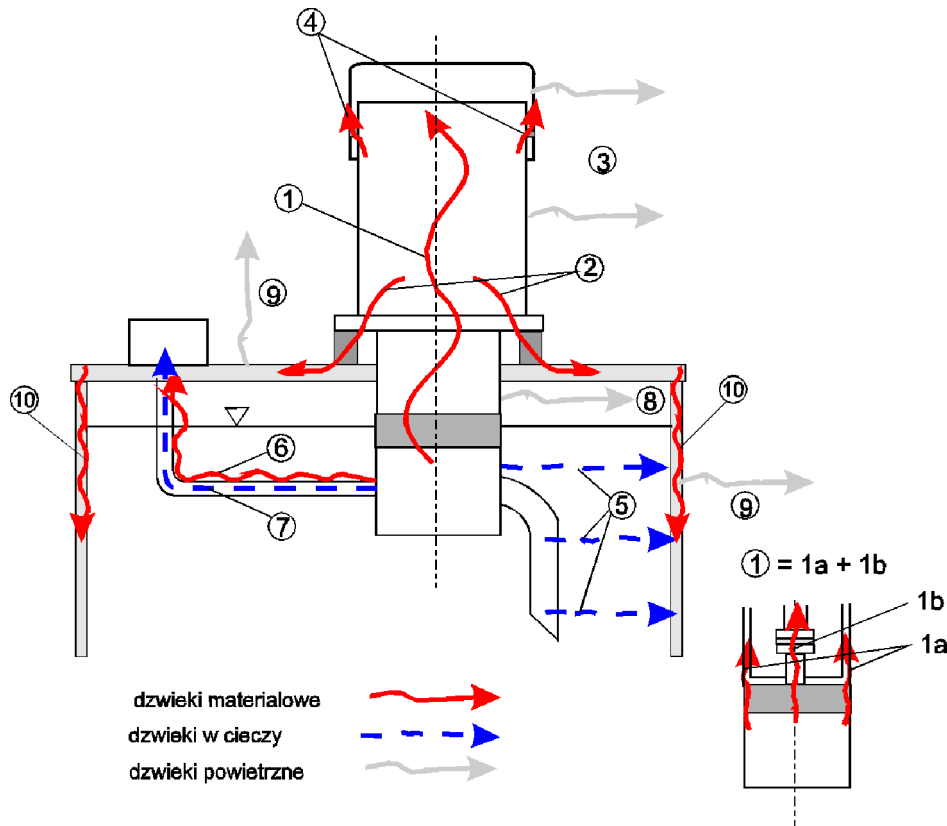


Rys. 3: Podstawowe typy agregatów hydraulicznych

Należy zaznaczyć, że mechanizmy powstawania hałasu w agregatach z zespołem silnik-pompa zamontowanym na zewnątrz zbiornika różnią się w sposób istotny od agregatów z pompą znajdującą się wewnątrz zbiornika i zanurzoną w oleju. W przypadku agregatów z zespołem silnik-pompa zamontowanym na zewnątrz zbiornika główne źródło hałasu stanowi zazwyczaj silnik elektryczny. Za powstawanie jego hałasu jest odpowiedzialna jednak pompa, ponieważ w spektrach hałasu silnika dominuje częstotliwość podstawowa pompy (wynikająca z prędkości obrotowej i ilości elementów wyporowych) oraz jej harmoniczne.

Na rys. 4 przedstawiono w poglądowy sposób proces powstawania hałasu w agregacie hydraulicznym z silnikiem elektrycznym zabudowanym pionowo. W tej sytuacji pompa wyporowa znajduje się w zbiorniku i jest zanurzona w oleju. Zbiornik stanowi więc w tym przypadku dla pompy rodzaj obudowy dźwiękochłonnej. Drgania mechaniczne pompy są przenoszone do silnika

elektrycznego drogą 1. Z jednej strony poprzez pierścień gumowy i konsolę (1a) a z drugiej strony poprzez sprzęgło elastyczne (1b).

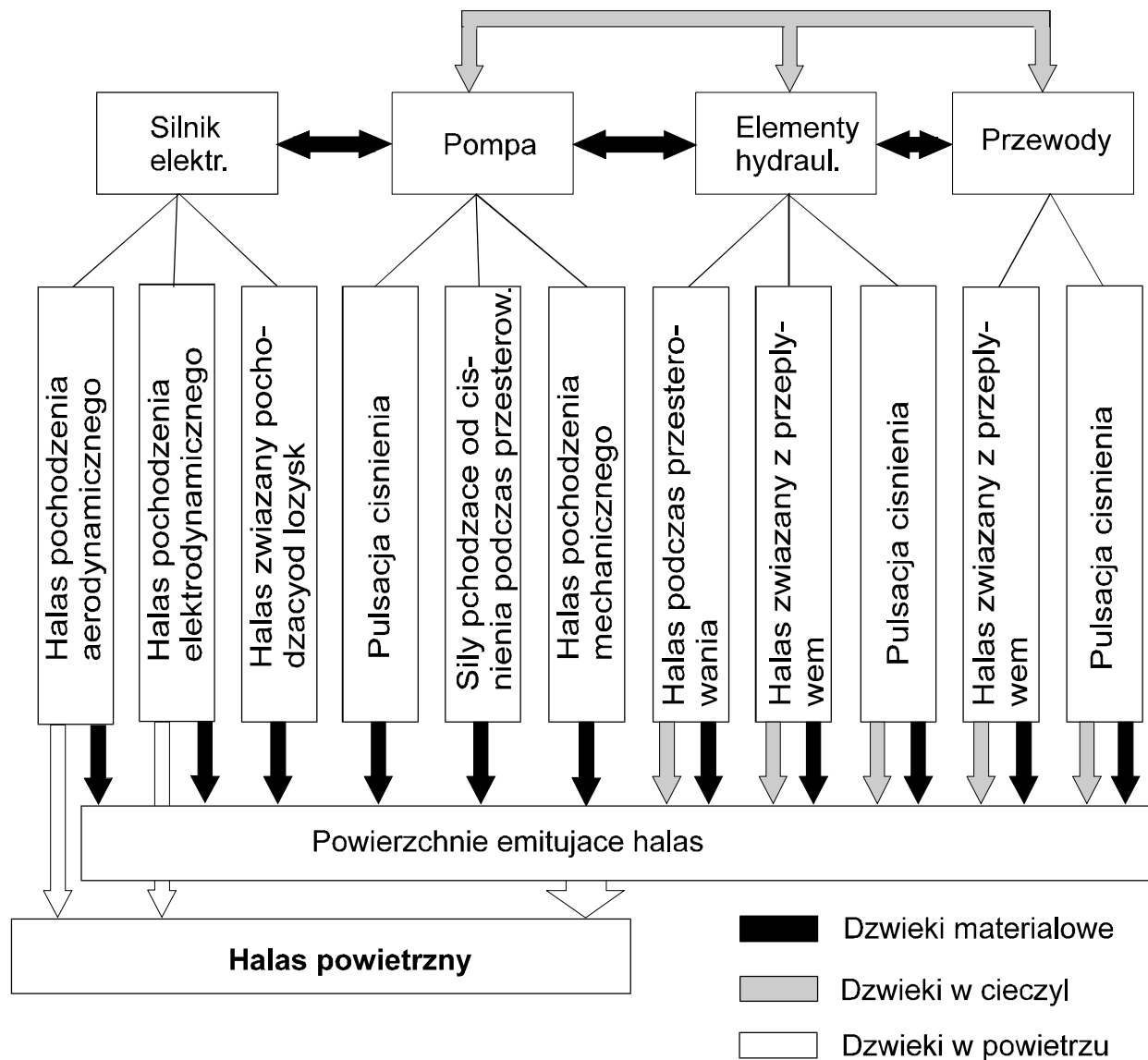


Rys. 4: Powstawanie hałasu w agregacie hydraulicznym z silnikiem zabudowanym pionowo

Poprzez silnik drgania są przenoszone na pokrywę wentylatora (droga 4) oraz do struktury zbiornika (droga 2). Część energii drgań jest przenoszona z pompy do zbiornika poprzez przewody łączące ją z zaworami (droga 7). Poprzez przewody przenoszona jest również energia drgań w formie pulsacji ciśnienia (droga 6). Na skutek drgań korpusu pompy i przewodu ssącego w zbiorniku wzbudzone są dźwięki w oleju, które przewodzone są poprzez olej na zbiornik (droga 5). Zbiorniki są zazwyczaj wypełnione w 80% olejem i z tego względu wewnątrz nich rozprzestrzeniają się dźwięki powietrzne, które przewodzone są do otoczenia (drogą 8). W efekcie do otoczenia hałas jest emitowany przez silnik elektryczny (droga 3) oraz zbiornik (droga 9). Przez drogę 10 zaznaczono przenoszenie drgań z pokrywy zbiornika do jego bocznych ścian.

Przyczyny powstawania hałasu w układach hydraulicznych zestawiono są na rys. 5. 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 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 10 m/s. Przy tych prędkościach dochodzi często hałas związany z występowaniem kawitacji w tych przekrojach. Udział hałasu pomp pochodzącego od przepływu w ogólnym poziomie ciśnienia akustycznego pompy jest zależny od tego jak szybko zmieniają się przebiegi ciśnień podczas procesów przesterowania. W pompach o powolnych przebiegach ciśnień w

obszarach przesterowania np. łopatkowych 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 nie wyważenia elementów wirujących. Elementy hydrauliczne, jak zawory oraz przewody hydrauliczne są wzbudzane do drgań na skutek zmiennych sił od przepływu czynnika roboczego oraz od pulsacji ciśnienia. Drgania tych elementów oraz przewodów są wzbudzane przez pompę, która jest połączona z nimi hydraulicznie i mechanicznie.



Rys. 5: Przyczyny powstawania hałasu w układach hydraulicznych

IDENTYFIKACJA ŹRÓDEŁ HAŁASU

Pomiary polegające na określeniu poziomu ciśnienia akustycznego nie pozwalają na określenie źródeł hałasu. Metodą która umożliwia lokalizację źródeł dźwięku jest metoda pomiaru natężenia dźwięku, która znajduje coraz większe zastosowanie w praktyce. Natężenie dźwięku jest zdefiniowane jako wartość średnia ciśnienia akustycznego p pomnożonego przez prędkość fali akustycznej v w danym punkcie pomiarowym :

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot v(t) \quad (1)$$

Natężenie dźwięku jest wielkością wektorową. Z tego względu może być określony kierunek emisji fal dźwiękowych i źródła dźwięku mogą zostać zlokalizowane. Zalety metody pomiaru natężenia dźwięku są następujące:

- możliwy jest pomiar natężenia dźwięku w bliskich odległościach od źródeł dźwięku,
- hałas stacjonarny pochodzący z otoczenia nie ma wpływu na wartości mierzonego natężenia dźwięku,
- wpływ pomieszczenia, w którym odbywa się pomiar nie jest duży,
- źródła dźwięku mogą być zlokalizowane oraz możliwe jest ustalenie ich stopnia intensywności w maszynach.

Pomiary natężenia dźwięku były prowadzone przy pomocy układu pomiarowego składającego się z sondy akustycznej oraz analizatora. Sonda akustyczna składa się z dwóch mikrofonów oddzielonych separatorem. Na podstawie gradientu ciśnienia z obu mikrofonów określana jest prędkość fali akustycznej. Następnie przy pomocy analizatora określane jest natężenie dźwięku w danym punkcie pomiarowym.

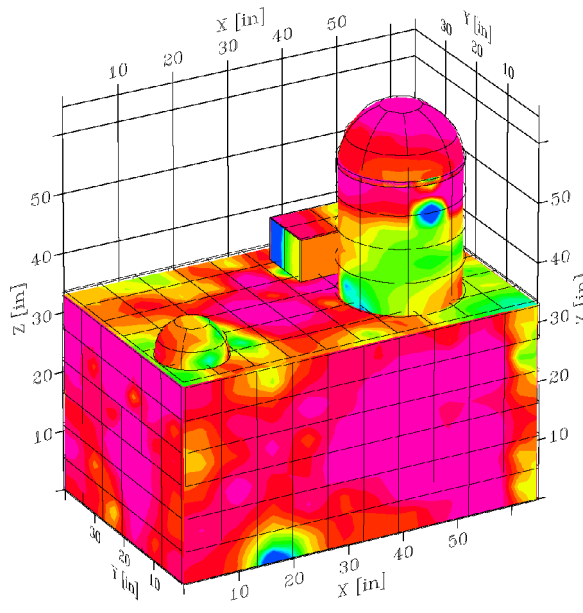
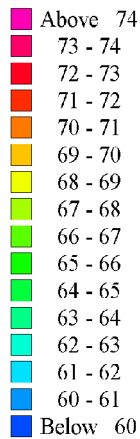
Dla agregatów z zespołem silnik-pompa zamontowanym na zewnątrz zbiornika głównym źródłem hałasu był silnik elektryczny. Jak potwierdzono to wieloma badaniami doświadczalnymi za emisję hałasu z silnika jest jednak odpowiedzialna pompa. Przeprowadzono badania z użyciem pomp zębatych, łopatkowych i wielotłoczkowych pokazały, że istnieje duży potencjał dla zmniejszenia hałaśliwości agregatów hydraulicznych poprzez zmiany konstrukcyjne w zespole silnik-pompa. Chodzi tutaj głównie o połączenie pomiędzy silnikiem a pompą- sztywność konsoli mocującej, mocowanie silnika oraz mocowanie pokrywy wentylatora. Dzięki zmianom konstrukcyjnym na tych elementach uzyskano dla agregatu z pompą wielotłoczkową osiową o wydajności 100 l/min zmniejszenie poziomu mocy akustycznej 5 dB(A) przy pełnej wydajności oraz 2 dB(A) przy wydajności minimalnej. Jest to wynik bardzo dobry zwłaszcza, że w badanym agregacie wyczerpane zostały wszystkie możliwości izolacji i tłumienia drgań.

Pomiary były przeprowadzone również na agregacie hydraulicznym z pionowo zamontowanym zespołem silnik pompa oraz pojemności zbiornika 800 l. Na rys. 6 przedstawiono rozkład poziomu natężenia dźwięku na powierzchni badanego agregatu w przypadku pełnej wydajności pompy oraz w przypadku minimalnej wydajności przy zachowanym ciśnieniu roboczym. Pokazana jest aktywna część natężenia dźwięku, która jest proporcjonalna do energii akustycznej emitowanej do otoczenia.

Na podstawie pomiarów stwierdzono, że powstawanie hałasu w obu przypadkach pełnej i minimalnej wydajności pompy różni się zdecydowanie. Jeśli w przypadku pełnej wydajności silnik elektryczny oraz zbiornik są głównymi źródłami hałasu to w przypadku minimalnej wydajności główna część wypromieniowanego hałasu pochodzi ze zbiornika. Hałas emitowany ze zbiornika jest intensywny szczególnie w zakresie wysokich częstotliwości powyżej 2 kHz.

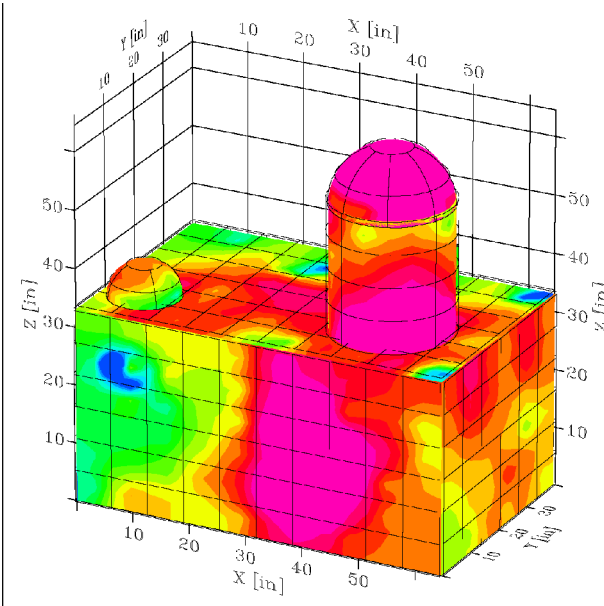
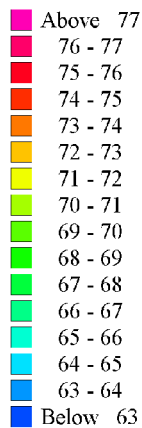
a)

Intensity Mag.
Freq: 100-8.00kHz



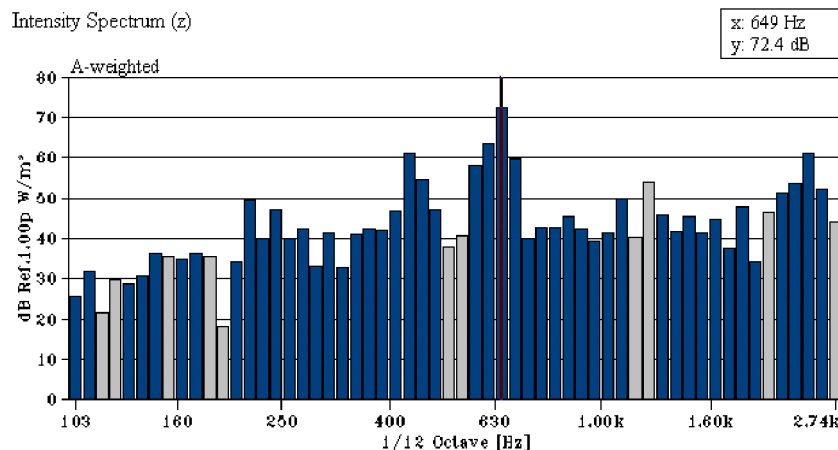
b)

Intensity Mag.
Freq: 100-8.00kHz



Rys. 6: Rozkład natężenia dźwięku na powierzchni badanego agregatu hydraulicznego $n = 1\ 180$ obr/min, $p = 12$ MPa a) $Q = Q_{\min}$, b) $Q = Q_{\max}$, zakres częstotliwości mierzonych 100 – 8000 Hz.

Silnik elektryczny emituje hałas szczególnie dla podstawowej częstotliwości pompy 216 Hz oraz harmonicznymi częstotliwościami 432 i 648 co jest widoczne na rys 7. Z tego faktu wynika, że pompa stanowi najważniejszą przyczynę powstawania drgań i emisji hałasu silnika elektrycznego.

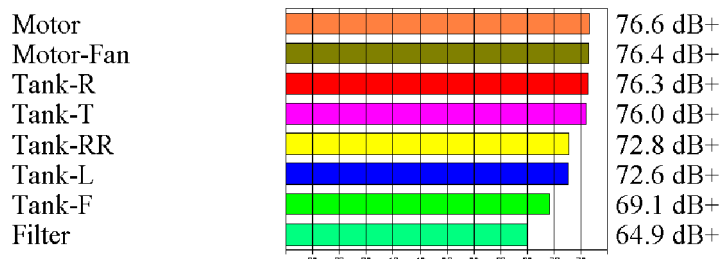


Rys. 7: Spektrum natężenia dźwięku dla wybranego przykładowego punktu pomiarowego na silniku elektrycznym ($n = 1\ 180$ obr/min, $p = 12$ MPa, $Q = Q_{max}$)

Na rys. 8 przedstawiono ranking poszczególnych źródeł hałasu dla badanego agregatu hydraulicznego w przypadku pełnej wydajności pompy oraz wydajności minimalnej.

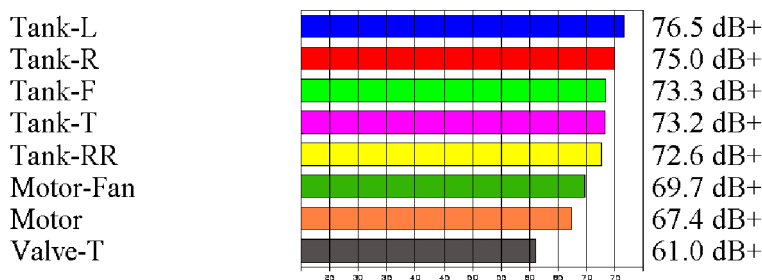
a)

A-Weighted
Freq: 100 - 8.00k Hz
Total Power Level: 83.4 dB+



b)

A-Weighted
Freq: 100 - 8.00k Hz
Total Power Level: 81.9 dB+

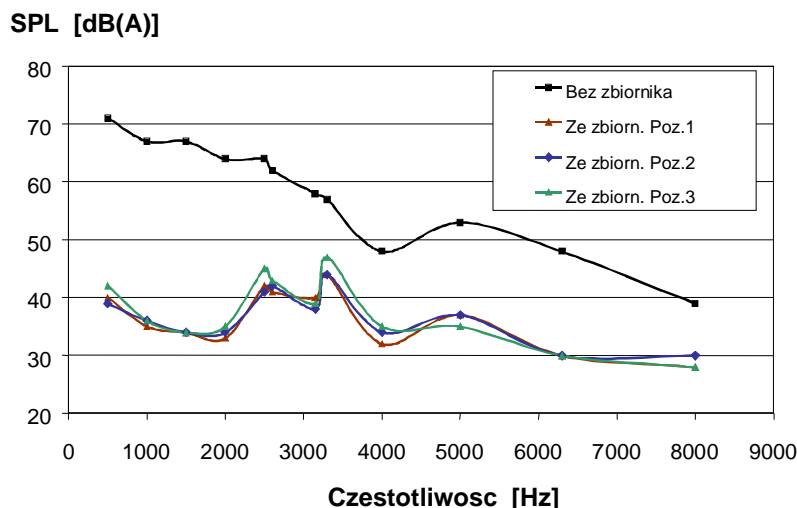


Rys. 8: Ranking poszczególnych źródeł dźwięku agregatu hydraulicznego $n = 1\ 180$ obr/min, $p = 12$ MPa, a) $Q = Q_{max}$ b) $Q = Q_{min}$

Jest widoczne, że w przypadku pełnej wydajności pompy silnik elektryczny wraz z przednią i górną powierzchnią zbiornika stanowią główne źródła hałasu. W przypadku wydajności minimalnej natomiast hałas emitowany z silnika elektrycznego nie odgrywa istotnej roli w porównaniu ze ścianami zbiornika.

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA ZBIORNIKA

Hałas wytwarzany przez pompę jest absorbowany na skutek obecności oleju jak również przez ściany zbiornika. Pompa znajduje się więc przy rozpatrywanym typie agregatu hydraulicznego w obudowie o określonej izolacyjności akustycznej. Aby ustalić jak wysoka jest izolacyjność tej obudowy wykonano badania modelowe z użyciem głośnika zabudowanego w szczelnej obudowie. Głośnik ten był umieszczany w różnych miejscach w zbiorniku i wytwarzał dźwięki o charakterze harmonicznym przy różnych częstotliwościach w zakresie 500 – 8000 Hz. Sygnał do głośnika pochodził z analizatora FFT z generatora sygnałów. Na rys. 9 przedstawiono określony na podstawie 4 mikrofonów (umieszczonych w odległości 1 m w środku każdej ze ścian zbiornika) średni poziom ciśnienia akustycznego (SPL) dla samego głośnika oraz dla głośnika umieszczonego w zbiorniku z olejem w trzech różnych miejscach.



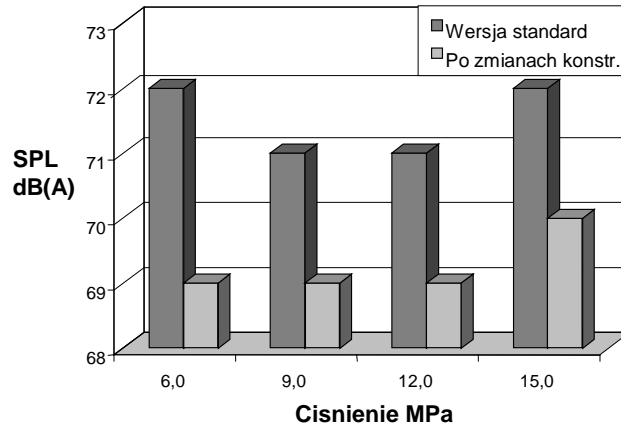
Rys. 9: Izolacyjność akustyczna zbiornika w zależności od częstotliwości

Z rys. 9 wynika, że w zakresie częstotliwości do 2 kHz występuje spadek SPL do 30 dB(A). Dla częstotliwości powyżej 2.6 kHz do 3.3 kHz spadek SPL jest niższy i wynosi dla 3.3 kHz 10 dB(A). Dla częstotliwości powyżej 4 kHz spadek SPL wynosi ok. 20 dB(A). Hałas pompy jest więc przewodzony przez zbiornik stosunkowo silnie w zakresie częstotliwości 2.2 do 3.5 kHz. Wyższe poziomy ciśnienia akustycznego były mierzone dla głośnika umieszczonego bliżej ścian zbiornika.. Z tego względu pompa z silnikiem powinna być umieszczona możliwie daleko od ścian zbiornika. Krytyczna odległość w badanym przypadku wynosiła 15 cm.

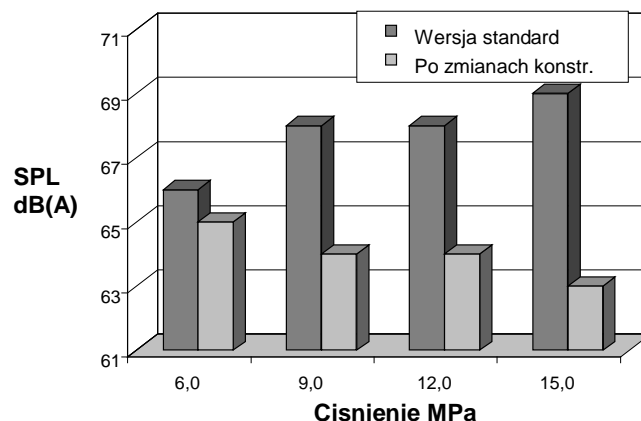
Na skutek drgań pompy oraz elementów połączonych z nią mechanicznie jak przewód ssący oraz tłoczny w zbiorniku wzbudzone są również dźwięki w cieczy, które transmitowane są do ścian zbiornika. Jest to efekt dodatkowy do hałasu pochodzącego z korpusu pompy.

Wyniki przeprowadzonych badań doprowadziły do wniosku, że najefektywniejszym sposobem na redukcję hałasu w badanym agregacie hydraulicznym (którego poziom hałasu był już stosunkowo niski- poniżej 72 dB(A))- jest zastosowanie elementów absorbujących dźwięk wewnątrz zbiornika w formie paneli pokrytych cienką warstwą blachy stalowej. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskano zmniejszenie poziomu hałasu 2 dB(A) przy pełnej wydajności pompy oraz do 6 dB(A) dla wydajności minimalnej (rys. 10).

a)



b)



Rys. 10: Porównanie średniego poziomu ciśnienia akustycznego agregatu hydraulicznego dla wersji standardowej oraz o zmniejszonej emisji hałasu

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono powstawanie oraz możliwości zmniejszenia hałasu w agregatach hydraulicznych. W agregatach z zespołem silnik-pompa zabudowanym na zbiorniku znaczną obniżkę hałasu można uzyskać poprzez ograniczenie hałasu pochodzącego z zespołu silnik-pompa. Natomiast w agregatach z pompą zabudowaną w zbiorniku znaczny udział w ogólnym poziomie ciśnienia akustycznego emitowanego do otoczenia ma emisja hałasu ze ścian zbiornika. Dla ustalenia, które źródła hałasu są dominujące w badanym agregacie zastosowano metodę pomiaru natężenia

dźwięku. Główną zaletą tej metody jest możliwość szybkiej identyfikacji źródeł dźwięku oraz ich rankingu w maszynach składających się z wielu źródeł dźwięku. W przypadku agregatów hydraulicznych istotną redukcję poziomu hałasu można uzyskać poprzez eliminację zjawisk rezonansowych wynikających ze struktury mechanicznej agregatu oraz w szczególności z sztywności połączeń między jego elementami. Informację dotyczącą zmian w strukturze prowadzących do zmiany częstotliwości rezonansowych i przez to ich oddalenie od częstotliwości podstawowej pompy oraz ich harmonicznych uzyskuje się na podstawie badań doświadczalnych połączonych z modelowaniem i analizą przy pomocy metody elementów skończonych (MES).

LITERATURA

1. Fiebig, W.; Wernz, Ch.: Untersuchung des Geräusch- und Schwingungsverhaltens von hydraulischen Systemen: o+p Ölhydraulik und Pneumatik, Nr 5, 1997, S. 368 – 372
2. Fiebig W.; Zirkelbach, T.: Simulation des Körperschallverhaltens von hydraulischen Systemen. Teil 2. Rehnnergestützte Strukturoptimierung: o+p Ölhydraulik und Pneumatik, Nr. 8, 1997, S. 610 - 614
3. Dahm, M.: Wirksame Schallreduzierung von Hydraulikaggregaten: o+p Ölhydraulik und Pneumatik, Nr 2, 1997
4. Fahy, F.J.: Sound Intensity, London, Elsevier Applied Science, 1989, 278 s.