

Aleksander LUTYŃSKI, Stanisław FOBER  
Politechnika Śląska, Gliwice

## OCENA STANU TECHNICZNEGO POMP PH-250 METODĄ ANALIZY WIBROAKUSTYCZNEJ

**Streszczenie.** W referacie zaprezentowane zostały wyniki badań wibroakustycznych dwóch pomp odśrodkowych jednostopniowych poziomych PH-250 z zamkniętym wirnikiem łopatkowym, pracujących w zakładzie przeróbki mechanicznej jednej z kopalń węgla kamiennego. Badania przeprowadzono przy użyciu odpowiedniego zestawu aparatury: czujnika KD 1, przyrządu do pomiaru drgań TSM 101 i magnetofonu pomiarowego MP 224.

## ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITIONS OF THE PH-250 PUMPS BY THE METHOD OF VIBRATION ACOSTIC ANLYSIS

**Summary.** The results of vibration and acoustic tests of two PH-250 one-step centrifugal pumps with closed blade motor, operating at the mechanical processing plant of the hard coal mines, were presented in the paper. The test were carried out using the following special set of testing equipment: KD 1 sensor, TSM 101 instrument for vibration measurements and MP 224 measurement tape recorder.

### 1. Wstęp

Bezpieczeństwo eksploatacji, wysoki poziom dyspozycyjności, trwałość oraz niezawodność maszyn i urządzeń użytkowanych w procesach produkcyjnych mają podstawowe znaczenie w nowoczesnym zakładzie przemysłowym, decydując niejednokrotnie o jego powodzeniu ekonomicznym. Występujące bowiem awarie tych maszyn są przyczyną nie tylko strat produkcyjnych, ale także wysokich kosztów związanych z usuwaniem skutków awarii.

Z tego więc względu wczesne rozpoznanie zmian stanu technicznego maszyny czy urządzenia jest niezwykle istotne. Pozwala ono bowiem na dokonanie, w dogodnym dla

użytkownika czasie, zabiegów technicznych (odnowa wyprzedzająca) zapobiegających wystąpieniu awarii. Na wczesne rozpoznanie zmian stanu technicznego maszyn i urządzeń pozwalają systemy monitorujące stan dynamiki pracy, na podstawie pomiaru ich drgań. Są to systemy diagnostyki wibroakustycznej, która jest jedną z technik diagnostyki nieinwazyjnej.

Dobrze zaprojektowana, wykonana i zmontowana maszyna, po okresie dotarcia współpracujących ze sobą elementów, charakteryzuje się niskim poziomem drgań. Podczas eksploatacji jej elementy ulegają zużyciu i deformacji, a współpracujące zespoły i podzespoły zmieniają wzajemne położenie. Prowadzi to do zmian właściwości dynamicznych maszyny i wzrostu energii drgań potęgując zachodzące zmiany. Ich przebieg jest identyfikowany sygnałem diagnostycznym, który jest dowolnym materialnym nośnikiem informacji [6]. Jest to najczęściej przebieg wielkości fizycznej, umożliwiający przenoszenie w przestrzeni i czasie wiadomości o badanym stanie maszyny. Sygnał diagnostyczny pozwala na:

- ocenę aktualnego stanu technicznego,
- określenie przyczyn zmian stanu technicznego,
- wyznaczenie czasu przyszłej zmiany stanu technicznego.

Postęp w technice pomiarowej i komputerowej umożliwia sprawne diagnozowanie maszyn i ich systemów, a tym samym efektywne prowadzenie polityki ich eksploatacji.

W referacie przedstawiono wyniki badań i analizy wibroakustycznej pomp wirowych PH-250 powszechnie użytkowanych w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego.

## 2. Charakterystyka obiektów badań

Badaniami objęto dwa, identyczne konstrukcyjnie, obiekty eksploatowane w jednym zakładzie przeróbki mechanicznej kopalni węgla kamiennego. Były to pompy odśrodkowe jednostopniowe poziome PH-250 z wirnikiem zamkniętym łopatkowym i kanałem zbiorczym (kadłubem) spiralnym. Króciec tłoczny pomp usytuowany jest pionowo i skierowany w górę, a króciec ssawny poziomo w osi wału pompy. Układ przepływu składa się z wirnika, kadłuba oraz wkładek uszczelniających. Elementy układu przymocowane są do stojana łożyskowego. Pompa ma dławicę sznurową z zamkiem wodnym.

Wał pompy osadzony jest w łożyskach tocznych umieszczonych w tulei przesuwnej. Siły promieniowe wału przenoszą łożyska walcowe typu NU 320, a siłę poosiową przenosi dodatkowe łożysko kulkowe skośne jednorzędowe z dzielonym pierścieniem wewnętrznym

typu QJ 320. Łożyska są smarowane zanurzeniowo olejem maszynowym. Komora olejowa może być chłodzona wodą. Pompy napędzane są silnikiem elektrycznym połączonym bezpośrednio do wału sprzęgłem elastycznym. Pompy typu PH przeznaczone są do pompowania mieszaniny wody z ziarnami materiałów, takich jak piasek, ruda, węgiel, popiół itp. o granulacji nie przekraczającej 52 mm. Gęstość pompowanej tymi pompami mieszaniny nie powinna być większa od  $1700 \text{ kg/m}^3$ , zawartość ciał stałych w cieczy nie powinna przekraczać 50%, a temperatura mieszaniny nie powinna być większa od  $50^\circ\text{C}$ .

Pompy, które poddano badaniom wibroakustycznym, zabudowane były w wodno-mułowym układzie technologicznym zakładu przeróbki mechanicznej kopalni węgla kamiennego. Pompa oznaczana jako **A** podaje mieszaninę wodno-węglową o gęstości 1,025 do  $1,150 \text{ t/m}^3$  na cyklony klasyfikujące. Pracuje pięć dni w tygodniu przez 21 do 23 godzin na dobę. Dwa miesiące przed datą badania wibroakustycznego włączona została do układu po przeprowadzonym remoncie. Podczas remontu wymieniony został wał wraz z wirnikiem oraz łożyska. Pompa oznaczona jako **B** podaje czystą wodę do zbiornika wody obiegowej z rzepia przy zagęszczaczu promieniowym Dorra. Pracuje również ok. 21 godzin na dobę przez pięć dni w tygodniu. Pompa pracuje 4 lata bez remontu.

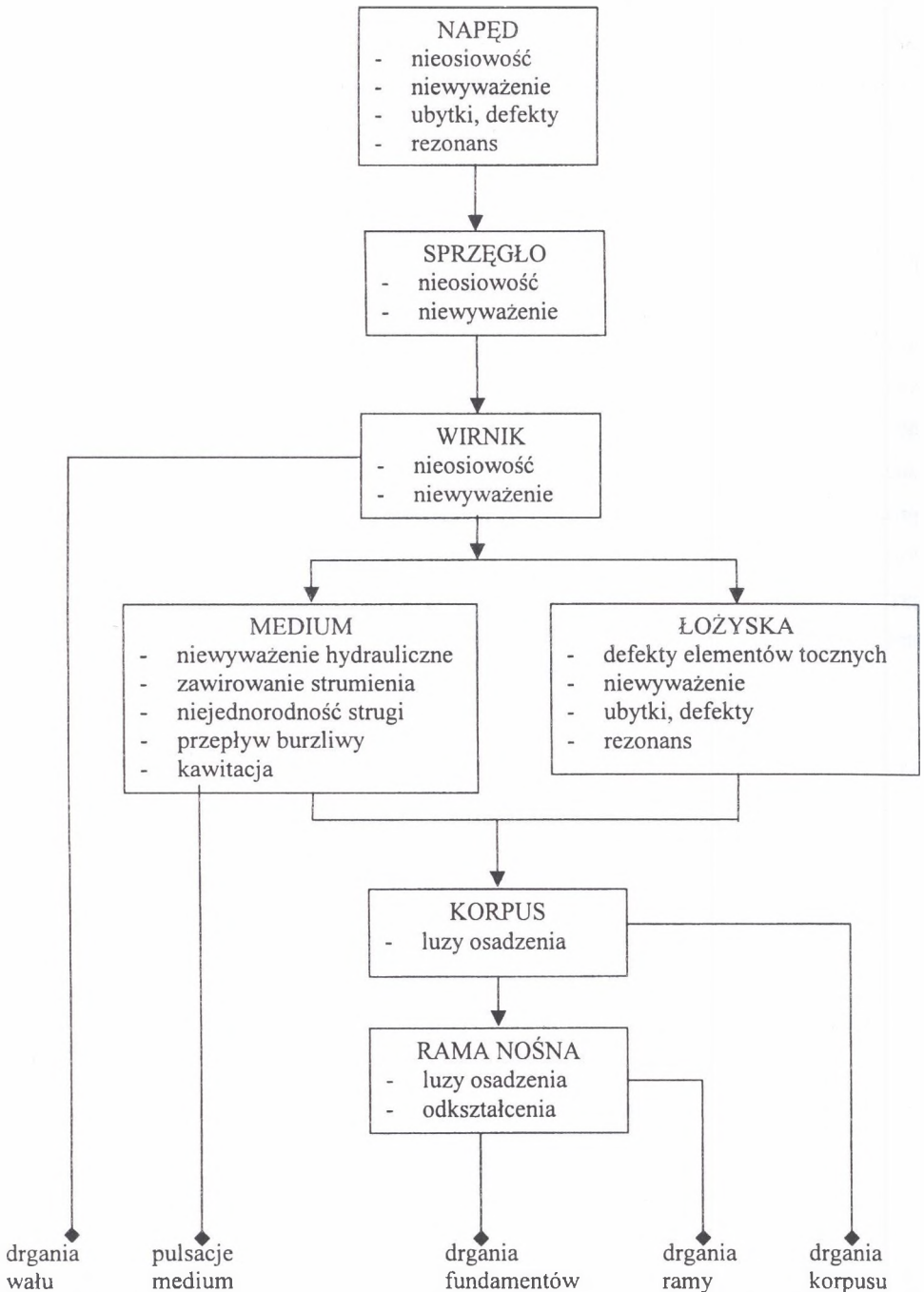
Struktura widm i hałasów pompy jest zależna od jej typu i warunków pracy. Najogólniej stwierdzić można, że składowe widm drgań i hałasów zespołu pompowego są wywołane mechanicznymi i hydrodynamicznymi źródłami zlokalizowanymi w silniku napędowym i łańcuchu kinematycznym przekazującym moment obrotowy z napędu do pompy i wreszcie w samej pompie [1], [2],[7]. Do źródeł mechanicznych zaliczyć możemy:

- nieosiowość,
- niewyważenie dynamiczne,
- ubytki i defekty,
- rezonans.

Natomiast źródła hydrauliczne to:

- niewyważenie hydrauliczne (asymetria rozkładu ciśnień),
- zawirowania strumienia cieczy (wiry Karmana),
- niejednorodność strumienia cieczy,
- przepływ burzliwy cieczy,
- kawitacja pęcherzykowa i profilowa.

Schemat oddziaływań siłowych wraz z potencjalnymi możliwościami odbioru sygnałów diagnostycznych przedstawia rys. 1.



Rys.1. Schemat oddziaływań siłowych wraz z potencjalnymi możliwościami odbioru sygnałów diagnostycznych pompy PH-250

Fig.1. Diagram of force reaction along with potential receiving of diagnostic signals relating to the pump PH-250

### 3. Charakterystyka aparatury do pomiarów i analizy drgań, sposób przeprowadzenia badań i uzyskane wyniki

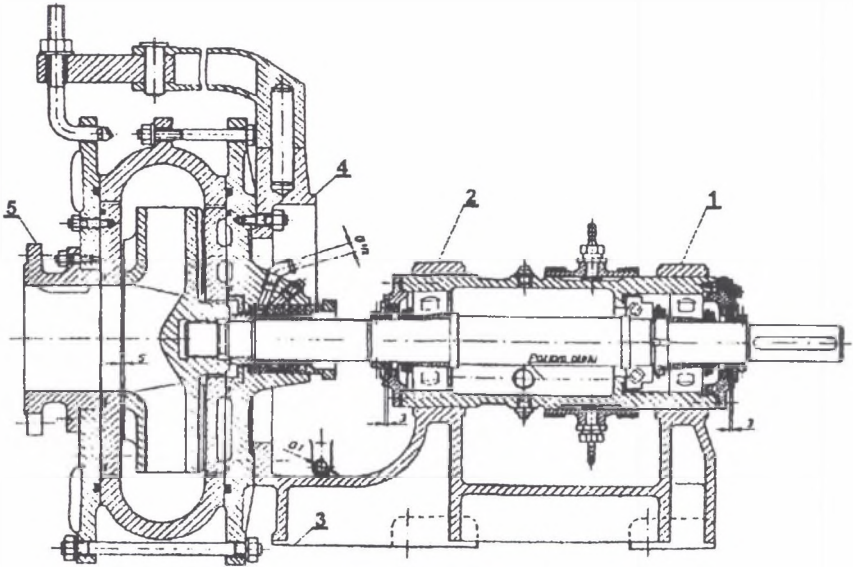
Utworzenie modelu diagnostycznego warunkowane jest znajomością ogólnych zasad klasyfikacji stanów obiektu i symptomów niesprawności, fizyki źródeł elementarnych dźwięków i drgań oraz konstrukcji diagnozowanego obiektu i jego podstawowych elementów. Do oceny drgań stosuje się układy aparatury, będące zespołami środków technicznych, które pozwalają na przesyłanie i przetwarzanie sygnałów od czujnika do odbiornika [5], [6]. Układy aparatury powinny umożliwiać pomiar parametrów drgań w szerokim zakresie częstotliwości i amplitud przyspieszeń lub prędkości [3], [4]. Wychodząc z tych założeń skonfigurowano zestaw aparatury pomiarowej, którego elementami były:

- czujnik przyspieszeń KD 1 o parametrach:
  - zakres czułości  $3,5 \text{ mV/cm}\cdot\text{s}^{-2}$ ,
  - zakres częstotliwości pomiarowej  $1 \div 20\,000 \text{ Hz}$ ,
  - zakres pomiarowy przyspieszeń  $0 \div 1000 \text{ m/s}^2$ ,
  - pojemność  $1400 \text{ pF}$ ,
  - temperatura pracy od  $-20$  do  $+100 \text{ }^\circ\text{C}$ ,
  - masa  $30\text{g}$ ;
- przyrząd do pomiaru drgań TSM 101, o wzmocnionej konstrukcji przystosowanej do pomiarów w warunkach przemysłowych o parametrach:
  - zakres pomiarowy przyspieszeń  $0 \div 1000 \text{ m/s}^2$ ,
  - zakres częstotliwości od  $4 \text{ Hz}$  do  $20\,000 \text{ Hz}$ ,
  - możliwość pomiaru przyspieszenia, prędkości i przemieszczenia (wbudowany układ całkujący),
  - max napięcie wyjściowe  $1\text{V}$ ,
  - oporność wyjściowa  $600 \text{ }\Omega$ ,
  - masa  $9,5 \text{ kg}$ ;
- magnetofon pomiarowy przenośny typu MP 224 jednokanałowy do pomiarów przemysłowych i laboratoryjnych posiadający następujące parametry:
  - taśma  $\frac{1}{4}$ " na szpulach  $7$ "
  - napęd taśmy różnicowy zapewniający wysoką równomierność przesuwu taśmy,
  - kompensacja zniekształceń typu flutter,

- znacznik wysterowania oraz głośnik kontrolny,
- zestaw baterii zapewniający pracę w czasie pięciu godzin,
- masa 2,5 kg.

Do analizy zarejestrowanych sygnałów użyty był: analizator drgań typu 2515 firmy Brüel & Kjør, interfejs (karta) typu IEEE 488 ze sterownikiem firmy Iotech oraz komputer klasy IBM.

Pomiary wibroakustyczne pomp PH-250 przeprowadzono w dwóch reżimach ich pracy: bez obciążenia oraz z pełnym obciążeniem, jak w warunkach normalnej eksploatacji. W wyniku dokonanej analizy wytypowano pięć punktów, w których mocowany był czujnik przyspieszeń. Rozmieszczenie punktów pomiarowych badanych pomp prezentuje rys.2.



Rys.2. Miejsca montażu czujników piezoelektrycznych podczas pomiarów wibroakustycznych pompy PH-250  
Fig.2. Places of mounting of piezoelectric sensors during acoustic vibration measurements on the pump PH-250

Czujniki mocowane były w następujących punktach pompy:

- punkt pomiarowy nr 1 – w płaszczyźnie pionowej na obudowie łożyska od strony silnika,
- punkt pomiarowy nr 2 – w płaszczyźnie pionowej na obudowie łożyska od strony pompy,
- punkt pomiarowy nr 3 – w płaszczyźnie pionowej na ramie nośnej od strony pompy,
- punkt pomiarowy nr 4 – w płaszczyźnie poziomej na obudowie pompy od strony silnika,
- punkt pomiarowy nr 5 – w płaszczyźnie pionowej na króćcu ssawnym.

Opisaną aparaturę przed pomiarami przemysłowymi poddano sprawdzeniu i weryfikacji z użyciem przyrządów wzorcujących w laboratorium Instytutu Mechanizacji Górnictwa.

Zarejestrowane wyniki poddano analizie. W celu określenia źródeł drgań posłużono się analizą widmową mocy w zakresie częstotliwości od 40 do 4680 Hz. Szerokość pasma wynosiła  $\Delta f = 80$  Hz. Dla każdego punktu pomiarowego wykonywano po dwie analizy. Uzyskane w ten sposób widma mocy posłużyły określeniu stanu technicznego wirówki. Na wykonanych analizach widma mocy odczytać można, w zależności od punktu pomiarowego, różne całkowite wartości skuteczne (Total) oraz rezonanse o różnych częstotliwościach ( $f$ ) i amplitudach przyspieszeń ( $a$ ). Pozwala to na wykrycie różnego typu uszkodzeń. Konieczna jest w tym przypadku znajomość częstotliwości drgań własnych elementów. Oprócz częstotliwości drgań wału, łopatek wirnika wyznaczono także częstotliwości drgań własnych elementów łożysk: elementu tocznego, bieżni zewnętrznej i wewnętrznej oraz koszyka. Posłużyły do tego odpowiednie zależności. Poniżej podano przykładowo zależność definiującą częstotliwość drgań pochodzących od elementu tocznego łożyska:

$$f_n = \frac{1}{2} * \frac{D_p}{d} * f_n * \left[ 1 - \left( \frac{d}{D_p} * \cos \varphi \right)^2 \right] \quad (1)$$

gdzie:

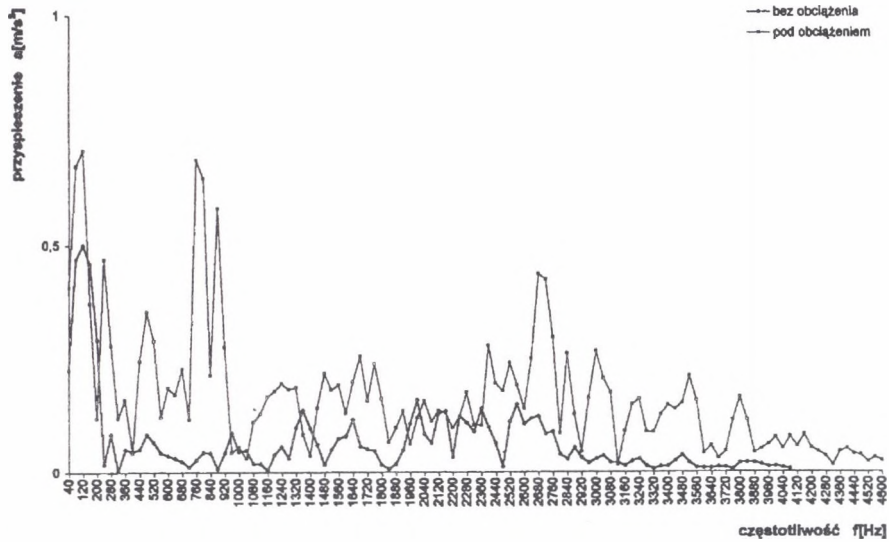
- $d$  – średnica elementu tocznego, mm,
- $D_p$  – średnica podziałowa łożyska, mm,
- $\varphi$  – kąt pracy łożyska, °C,
- $N$  – liczba elementów tocznych,
- $f_n$  – częstotliwość obrotowa wału, obr/s.

Przykład analizy widmowej dla punktu pomiarowego nr 5 pompy oznaczonej jako **A** przedstawia rys.3, a dla pompy **B** rys.4.

Przeprowadzona analiza widmowa oraz zdefiniowanie hipotetycznych źródeł rejestrowanych wyższych poziomów przyspieszeń wskazują na pewne nieprawidłowości w funkcjonowaniu badanych pomp PH-250.

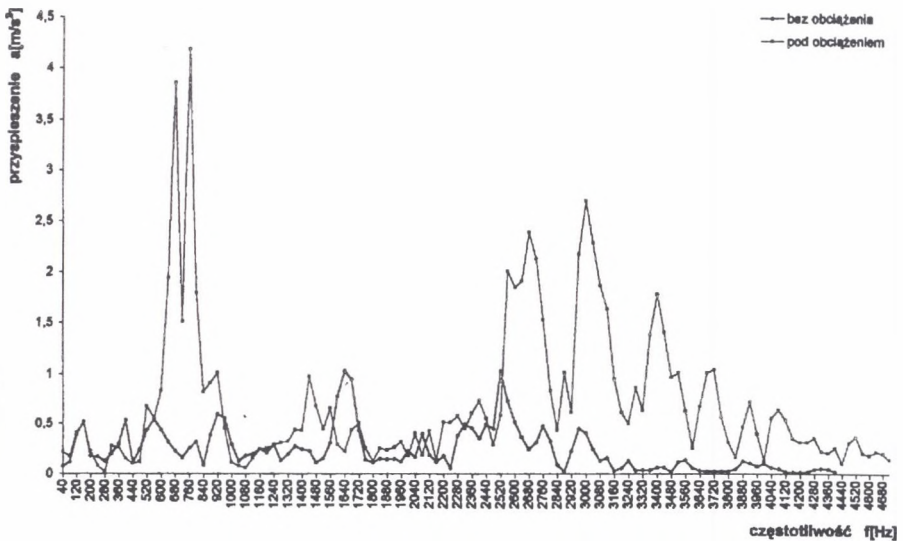
W przypadku pompy oznaczonej jako **A** analiza widm sygnałów wykazała w punktach pomiarowych nr 1 i 2 wyższy poziom rejestrowanych przyspieszeń dla rezonansów harmonicznycych częstotliwości 16 Hz (jest to częstotliwość wzbudzenia wału) oraz częstotliwości 40 Hz (częstotliwość wzbudzenia drgań elementów tocznych łożysk NU 320 i QJ 320). Przyspieszenia były wyższe dla pompy pracującej bez obciążenia. Wydaje się, że przyczyną powstawania drgań w zakresie niskich i średnich częstotliwości była zła

współosiowość wału pompy i silnika napędowego, jak również nieodpowiednie osadzenie łożysk na wale.



Rys.3. Analiza widmowa sygnału mocy. Punkt 5 - pompa A

Fig.3. Signal spectrum analysis of the power signal. The point 5 – the pump A



Rys.4. Analiza widmowa sygnału mocy. Punkt 5 - pompa B

Fig.4. Signal spectrum analysis of the power signal. The point 5 – the pump B

Prawdopodobną przyczyną drgań mogło być także docieranie się elementów łożysk, które wymienione były na dwa miesiące przed prowadzonymi badaniami wibroakustycznymi.



Wobec powyższego celowe byłoby ponowne przeprowadzenie badań po pewnym okresie użytkowania pompy. Badania te pozwolą na stwierdzenie, czy poziom rejestrowanych drgań uległ zmianie i w jakim kierunku zmiana ta nastąpiła. Być może po tym badaniu konieczne będzie dokonanie zabiegu korygującego współosiowość pompy czy luzu osadzenia łożysk na wale.

W przypadku pompy oznaczonej jako **B** analiza widm sygnałów wykazała wyższy poziom rejestrowanych przyspieszeń w punkcie pomiarowym nr 1 przy pracy pompy pod obciążeniem w zakresach harmonicznym częstotliwości zarówno elementów tocnych, jak i bieżni wewnętrznej łożyska NU 320. Wskazywać to może na zużycie elementów tego łożyska.

Ciekawe są wyniki analizy widmowej dla punktu pomiarowego nr 5. Są to wyniki prezentowane na zamieszczonych w referacie rysunkach. W przypadku pompy oznaczonej jako **B** (rys.4), w zakresie niskich częstotliwości, przy 760 Hz dla pompy pracującej pod obciążeniem, zanotowano amplitudę przyspieszeń wynoszącą  $4,18 \text{ m/s}^2$ . Jest to amplituda o wartości sześciokrotnie większej od amplitudy wyznaczonej dla tej samej częstotliwości w przypadku pompy **A** (rys.3), która była remontowana. Na rys.4 widoczne są również harmoniczne wzbudzenia łopatek wirnika (640, 680, 720, 800 Hz) oraz wyższe (2680, 3000 Hz). Jak się wydaje, rejestrowane drgania są wynikiem uszkodzeń wirnika i występowania zjawiska kawitacji. Pompa powinna być poddana zabiegom remontowym.

#### 4. Podsumowanie

Wykonane badania wibroakustyczne potwierdziły przydatność przyjętej metody nieinwazyjnego diagnozowania stanu technicznego pomp PH-250. Pozwoliły również na ocenę przydatności aparatury do pomiaru, rejestracji i analizy uzyskanych wyników.

Wydaje się właściwe prowadzenie systematycznych badań w odniesieniu zarówno do pomp, jak i innych maszyn wirujących pracujących w zakładach przeróbki mechanicznej kopalń węgla kamiennego.

Celem takich działań byłoby stworzenie podstaw do pełnej oceny stanu maszyn oraz wyznaczenie krytycznych poziomów amplitud przyspieszeń zarówno dla poszczególnych maszyn jak i poszczególnych rodzajów niesprawności, kwalifikujących maszyny do okresowych przeglądów lub zabiegów remontowych.

## LITERATURA

1. Cempel C.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. PWN, Warszawa 1989.
2. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982
3. Cholewa W., Kaźmierczak J.: Diagnostyka techniczna maszyn. Przetwarzanie sygnałów. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1904, Gliwice 1995.
4. Cholewa W., Moczulski W.: Diagnostyka techniczna maszyn – pomiary i analiza sygnałów. Politechnika Śląska, Skrypt Pol. Śląskiej nr 1758, Gliwice 1993.
5. Fober S., Lutyński A.: Ocena stanu technicznego wirówki sedymentacyjno-sitowej metodą wibroakustyczną. ZN Pol. Śląskiej Seria Górnictwo z. 246, Gliwice 2000.
6. Fober S., Lutyński A.: Pomiary drgań i hałasów w diagnostyce technicznej maszyn i urządzeń przeróbczych. ZN Pol. Śląskiej Seria Górnictwo (w druku), Gliwice 2002.
7. Morel J.: Drgania maszyn i diagnostyka ich stanu technicznego. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej. Warszawa 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Karol F. Reich

**Abstract**

The results of vibration and acoustic tests of two PH-250 one-step centrifugal pumps with closed blade motor, operating at the mechanical processing plant of the hard coal mines, were presented in the paper. The test were carried out using the following special set of testing equipment: KD 1 sensor, TSM 101 instrument for vibration measurements and MP 224 measurement tape recorder.

Vibration and acoustic measurements of pumps were taken during a typical operation. One of the pump has been completely repaired two months before testing, second pump was operated for four before testing. The tests were carried out the pumps that operated with and without load.

Five measurement points, where piezoelectric sensors should be installed were selected after the analysis. Special testing equipment was selected to realize the targeted test objectives.

The recorded test results fell within the range of frequencies from 40 to 4680 Hz. The assessment of technical conditions of the pumps was the base of results as well as reasons for some disadvantageous phenomena that occur were indicated.