

METODA OCENY STOPNIA ZUŻYCIA ŁOŻYSK KÓŁ LINOWYCH DLA CHARAKTERYSTYCZNEGO PRZYPADKU WYCIĄGU SZYBOWEGO S 1.3 W L.W. „BOGDANKA”

Dariusz MAZURKIEWICZ*, Maciej GALIŃSKI**

* Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji,
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, e-mail: d.mazurkiewicz@pollub.pl

** Lubelski Węgiel "Bogdanka" S.A., Bogdanka 21-013 Puchaczów
e-mail: mgalinski@lw.com.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę oceny stopnia zużycia łożysk kół linowych, opracowaną dla charakterystycznego przypadku wyciągu szybowego S1.3 w L.W. „Bogdanka”. Przedstawiona metoda diagnostyczna może mieć również zastosowanie do badania łożysk kół linowych kierunkowych z ruchomą osią i łożyskami umieszczonymi na zewnątrz osi w korpusach, które przeważają w polskim górnictwie. Wyższość tej metody w stosunku do stosowanych do tej pory, polega na skróceniu czasu wykonywania badań, a także braku konieczności angażowania do jego wykonania dodatkowych pracowników obsługi szybu. Nie wymaga ona także specjalnego udostępnienia urządzeń szybowych na czas wykonywania badań.

Słowa kluczowe: zużycie łożysk, koła linowe, wyciąg szybowy.

ESTIMATION METHOD OF ROPE WHEEL BEARINGS WEAR EXTANT FOR SPECIAL CONDITIONS OF S 1.3 LIFT AT THE COAL MINE “BOGDANKA”

Summary

The paper presents estimation method of rope wheel bearings wear for special conditions of mining lift S 1.3 at the Coal Mine “Bogdanka”. Except presented application in special conditions of the Coal Mine “Bogdanka”, described diagnostic method can be also applied for bearings' wear estimation in ropes with another constructions, which are in most cases used by mining industry in Poland. With its use, diagnosis can be finished within much shorter time, without special activities of additional rope supervising staff members. Also special access to the machine under diagnostic action is not necessary.

Keywords: bearings' wear, rope wheel, mining lift.

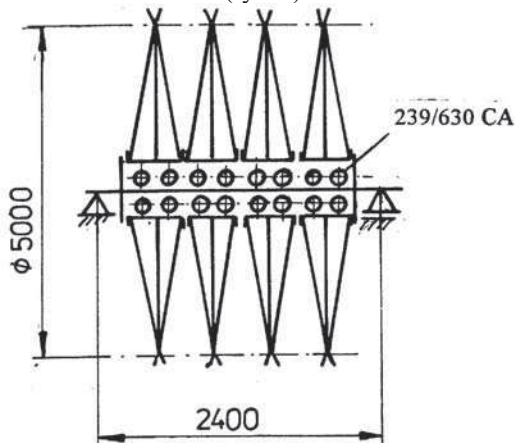
1. WPROWADZENIE

Jak podają Cholewa i Kościelny [3], maszyny i urządzenia mechaniczne podlegają wpływowi szeregu różnorodnych czynników zewnętrznych i wewnętrznych, które są przyczyną nieodwracalnych procesów, powodujących kumulacyjne zmiany stanu obiektów i stopniowe pogorszenie ich charakterystyk eksploatacyjnych. Ciągłość procesów zmian stanów obiektów mechanicznych zależy od warunków eksploatacyjnych, przeprowadzanych przeglądów, regulacji, czynności serwisowych itp. działań związanych z diagnostyką maszyn. Istotne z tego punktu widzenia jest właściwe rozpoznanie zmian stanu procesów przemysłowych lub urządzeń technicznych, rozumianych jako uszkodzenia i inne zdarzenia destrukcyjne. Zadaniem diagnostyki jest zatem wczesne wykrywanie i dokładne rozpoznanie powstających uszkodzeń, w przypadku zużycia – jego wykrycie i rozpoznanie po przekroczeniu

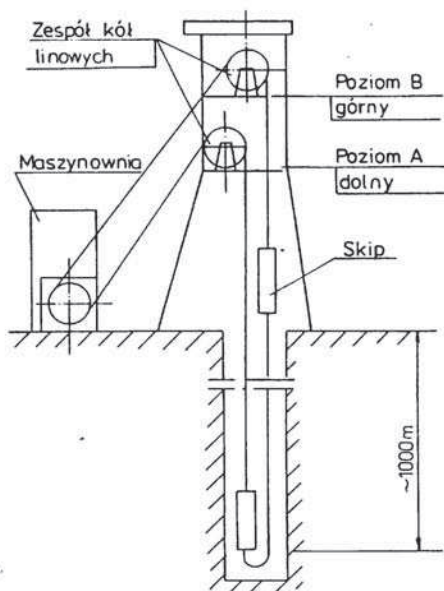
pewnej wartości granicznej. Diagnostyka maszyn zajmuje się zwykle oceną ich stanu poprzez bezpośrednie badania ich własności lub badania pośrednie, tzw. procesów resztkowych towarzyszących funkcjonowaniu tych urządzeń. Procesy resztkowe mogą mieć charakter mechaniczny, elektryczny, termiczny itp., a szczególną rolę wśród nich odgrywają procesy wibroakustyczne, ściśle związane z funkcjonowaniem każdej maszyny [2, 3].

Możliwość oceny stanu technicznego maszyny w ruchu, w trakcie realizacji zadania, przez obserwację procesów wibroakustycznych, jest szczególnie ważna w warunkach, gdy demontaż elementów i czasowe wyłączenie urządzenia z ruchu są ograniczone. Przykładem układu mechanicznego o utrudnionym dostępie do badanych elementów, charakteryzującym się jednocześnie specyficznymi parametrami pracy jest układ łożysk kół linowych górnictwa szybowego, a w szczególności układ z nieruchomą

osią, na której niezależnie łożyskowane są cztery koła linowe kierunkowe (rys. 1).



Rys. 1. Schemat łożyskowania zespołu kół linowych wieży szybu [4]



Rys. 2. Schemat układu wieży szybu S1.3 [8]

Taki układ łożyskowania występuje na niewielu obiektach szybowych w Polsce [4], w tym między innymi jako jedyny w L.W. "Bogdanka, co jest związane z konstrukcją zastosowanej wieży szybowej. Jest to wieża zastrzałowa z maszyną wyciągową usytuowaną na zrębie szybu (rys. 2). Występujący na wieży szybu S1.3 układ łożyskowania wynika również z obciążeń (masa skipów, urobku, lin nośnych i wyrównawczych), jakie muszą przenieść osie i koła linowe kierunkowe oraz z konieczności niezależnego obracania się każdego z kół [8].

Ocenie diagnostycznej podlega większość elementów górniczego wyciągu szybowego. Regulują to przepisy rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy. W Polsce badania elementów górniczych wyciągów szybowych prowadzone są przez rzeczoznawców Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego. Jednak

z powodu nietypowej budowy układu łożyskowego (brak dostępu do łożysk) kół linowych szybu 1.3 oraz krótkiego czasu przeznaczonego na badania i remonty, nie jest możliwe zastosowanie metody rzeczoznawców z CBiDGP, polegającej na ocenie produktów zużycia zawartych w smarze oraz pomiaru i monitorowania zmian szczelin pomiędzy elementami tocznymi łożyska. Metody wibroakustyczne w badaniach górniczych wyciągów szybowych stosowane są jedynie do oceny stanu wież basztowych żelbetonowych, które stanowią fundament dla maszyn wyciągowych. Metoda wibroakustyczna stosowana przez rzeczoznawców CBiDGP odnosi się jedynie do problemu konstrukcji wsporczej, wpływu drgań pochodzących od maszyny wyciągowej na stabilność i wytrzymałość wież basztowych żelbetonowych. Jak do tej pory nie stosuje się żadnej metody wibroakustycznej diagnostyki łożysk kół linowych górniczego wyciągu szybowego, która mogłaby zastąpić pracochłonną i czasochłonną metodę badania szczelin i produktów zużycia zawartych w smarze łożyska oraz umożliwiłaby poznanie stanu zużycia elementów łożysk w przypadku utrudnionego dostępu, jak w układzie łożysk kół linowych szybu 1.3.

Opracowane do tej pory liczne metody diagnozowania stanu maszyn są ukierunkowane przede wszystkim na diagnostykę wibroakustyczną urządzeń szybkoobrotowych. W przypadku diagnozowania kół linowych interpretacja otrzymanych wyników jest utrudniona z uwagi na małą prędkość obrotową, krótki cykl roboczy ze zmienną prędkością obrotową (rozruch - ruch ustalony - hamowanie skipu) i zakłócenia spowodowane drganiami konstrukcji wieży szybowej. Zatem standardowe metody diagnostyczne, stosowane do maszyn wirnikowych o wysokich prędkościach obrotowych, w tym przypadku nie dają podstaw do wiarygodnej oceny. W związku z powyższym opracowano specjalną metodykę określania granicznych wartości symptomów diagnostycznych, wibroakustycznych dla łożysk kół linowych górniczego wyciągu szybowego szybu 1.3, dla których prędkość obrotowa mieści się w zakresie prędkości od 0 do 61 obr/min. Otrzymane wyniki badań przeprowadzonych dla zestawu kół linowych, stanowiąc będą podstawę do późniejszej systematycznej oceny, celem stwierdzenia na jak najwcześniejszym etapie wszelkich zmian świadczących o nieprawidłowej pracy łożysk.

2. DRGANIA ŁOŻYSK TOCZNYCH

Drgania łożysk tocznych wywoływane są wieloma czynnikami, do których należy konstrukcja samego łożyska, jego wymiary, dokładność wykonania i gładkość współpracujących powierzchni, warunki montażu,

a także rozwiązania konstrukcyjne i dokładność wykonania całego zespołu łożyskowego [8]. Łożyska toczne przenoszą różnego rodzaju obciążenia zmieniające się okresowo lub nieokresowo. Zużycie elementów tocznych – zarówno ścierne jak i zmęczeniowe – występujące w trakcie eksploatacji, powoduje zmiany geometrii współpracujących powierzchni, zmiany warstwy podpowierzchniowej oraz sił występujących w obszarze styku. Prowadzi to do modyfikacji charakteru i poziomu drgań. Zmiany te rejestrowane we właściwy sposób i wykryte w odpowiednim czasie pozwalają ocenić na bieżąco stan łożyska [8]. Poziom drgań wytwarzanych przez zabudowane łożysko toczne zależy od jego rodzaju, konstrukcji, wymiarów i klasy dokładności, prędkości obrotowej, obciążenia, a także od konstrukcji i dokładności wykonania węzłów łożyskowych maszyny i warunków eksploatacji.

3. WARUNKI PRACY KÓŁ LINOWYCH L.W. „BOGDANKA”

W L.W. „Bogdanka” zastosowane są górnicze wyciągi szybowe dwulinowe i czterolinowe. Maszyna wyciągowa usytuowana na zrębie szybu wymusza zastosowanie kół linowych kierujących. Koła te wykonane są jako odlewy stalowe lub konstrukcje spawane. Koło linowe składa się z wieńca z rowkiem na linę, piasty oraz ramion łączących wieńca z piastą. Koła dwuczęściowe łączone są w całość śrubami pasowanymi. Kształt wieńca ma ściśle określone wymiary dopasowane do średnicy liny, a obrzeże wieńca ma znaczną wysokość (co najmniej półtorę średnicy liny), aby nie dopuścić do wyskoczenia liny. Rowki wieńca są wyłożone okładzinami z tworzyw sztucznych lub metalu. Powierzchnia rowków musi być gładka, aby uniknąć nadmiernego zużycia liny.

Ponieważ każde z kół linowych musi mieć niezależny ruch w celu ułatwienia wzajemnego przemieszczenia się lin po obwodzie koła, dlatego jedno koło jest zamocowane na stałe na osi za pomocą klina lub wpustu, zaś pozostałe są osadzone luźno na panewkach. Oś jest obrotowa i łożyskowana na końcach w łożyskach tocznych [1]. Innym rozwiązaniem przy zachowaniu warunku niezależności obrotowej kół jest niezależne łożyskowanie każdego z kół linowych. Koła osadzone są na stałej – nieobrotowej osi, która wsparta jest na dwóch podporach. Takie rozwiązanie zastosowano w kołach linowych górniczego wyciągu szybowego L.W. „Bogdanka” w szybie 1.3 [7].

Praca układu kół linowych górniczego wyciągu szybowego L.W. „Bogdanka” w szybie S 1.3. powinna być bezawaryjna, ponieważ jest to jedyny szyb wydobywczy transportujący urobek węglowy. Ilość wyciąganych skipów wynosi 630 na dobę. Czas przeznaczony na rewizję dobową wynosi 4 godziny i 20 minut. Ograniczenia czasowe, jak

i trudny dostęp do badanych elementów uniemożliwia zastosowanie tradycyjnych metod kontroli zużycia łożysk, takich jak pomiary szczelinomierzem zmian zachodzących w łożyskach, badanie produktów zużycia zawartych w smarze.

W urządzeniu wyciągowym szybu S 1.3 L.W. „Bogdanka” pracuje wyciąg skipowy z maszyną wyciągową 4L 5500/2x3600, z naczyniami o ładowności $Q = 35$ Mg i maksymalną dopuszczalną prędkością 16 m/s. Parametry te pozwalają osiągnąć zdolność wydobywczą szybu w wysokości 22.000 Mg/dobę [9].

Urządzenia szybowe charakteryzują się wysoką dyspozycyjnością, jak i krótkim czasem przeznaczonym na naprawy i remonty, podczas którego trzeba przeprowadzić wszelkie naprawy, kontrole, rewizje i ocenę stanu (diagnozowanie), zapewniając odpowiednie bezpieczeństwo funkcjonowania wyciągów [4]. W L.W. „Bogdanka” urządzenie wyciągowe szybu S1.3 jest niewątpliwie elementem najbardziej istotnym z punktu widzenia zapewnienia jego niezawodnej pracy. W tym celu stosuje się szereg metod mających na celu badanie lin nośnych i wyrównawczych, osi kół i wałów linopędni, wież wyciągowych zawieszonych linowych oraz badania łożysk kół.

4. BADANIA ELEMENTÓW GÓRNICZYCH WYCIĄGÓW SZYBOWYCH W ASPEKcie WYBRANYCH WYMAGAŃ PRZEPISÓW BRANŻOWYCH

Badania elementów górniczych wyciągów szybowych prowadzone są przez rzeczoznawców Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego. W treści przepisów rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, w odniesieniu do górniczych wyciągów szybowych ustalone zostały rzeczoznawcy do spraw ruchu zakładu górniczego.

Często w wyniku powstania awarii, w której istotną rolę odgrywał jeden element, tworzone są przepisy, które mają nie dopuścić do powtórzenia podobnego przypadku. Przykładem może być § 539 rozporządzenia Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 kwietnia 1995 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy (...), w którym mówi się że, łożyska toczne kół linowych należy okresowo obracać w kadłubie. Należy także uzupełniać smar w łożyskach. Innym przykładem jest pkt 5.12.6.5. załącznika nr 4 do rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy (...), w którym zaleca się, aby osie nowo zabudowanych kół po trzech latach eksploatacji poddać badaniom nieniszczącym przez rzeczoznawcę. Termin następnego badania ustala rzeczoznawca [14]. Przytoczone powyżej przepisy branżowe podkreślają, jaką wagę przykładają się do

bezpieczeństwa i niezawodności urządzeń szybowych.

W miarę rozwoju i wprowadzania nowych rozwiązań technicznych zmienia się zakres tematyczny działalności rzeczoznawców oraz metodyka wykonywania badań. Dotychczasowe metody badawcze nie zawsze mogą być stosowane w nowych rozwiązaniach konstrukcyjnych. Koła linowe szybu S1.3 L.W. „Bogdanka” są przykładem nowej konstrukcji, do której nie można zastosować tradycyjnych metod badawczych łożysk.

W celu zapewnienia rzeczoznawcom możliwości monitorowania stopnia zużycia eksploatowanych maszyn i urządzeń rozszerzono, tam gdzie to było konieczne, wymagany przepisami zakres działalności rzeczoznawczej [5]. Do obiektów o rozszerzonej działalności rzeczoznawczej należą wieże szybowe, które są podstawowym obiektem budowlanym o konstrukcji szkieletowej lub monolitycznej usytuowanym nad szymbem.

Z tego względu w oparciu o wymagania obowiązujących przepisów:

1. ustawy z dnia 4 lutego 1994r – Prawo geologiczne i górnicze (dz. U. Nr 27) – znowelizowane w dniu 31.07.2001r – (Dz.U. Nr 110 z 2001r – poz. 1190) [15],
2. rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002r w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych – (Dz. U. Nr 139 z 2002r – poz.1169) wraz z załącznikami [14, 15], zachodzi konieczność okresowych badań wież szybowych i głowic szybików wyciągów szybowych.

Szczegółowe warunki pomiarów oraz kryteria pozwalające ocenić ich wyniki określa norma PN-89/G-05500 „Basztowe wieże szybowe. Konstrukcje wsporcze maszyn. Pomiar i ocena drgań”. Przy ocenie drgań konstrukcji wsporczych pod maszyny wirujące, należy wykonać pomiar wartości szczytowej przyspieszenia drgań dla pasma 0.5÷2 Hz oraz dla pasm o częstotliwościach 8; 12,5; 16; 25; 50; 100 Hz. Najbardziej szkodliwe dla budowli betonowych są niskie częstotliwości, zatem analiza widmowa drgań powinna wystarczyć do określenia wpływu maszyn wirujących na budynek. Pomiary należy wykonywać w czasie, gdy maszyny wyciągowe pracują z największą dopuszczoną prędkością dla danego szybu. Pozostałe maszyny powinny pracować w stanie ustalonym. Pomiary drgań konstrukcji wsporczych maszyn wyciągowych i kół odciskowych należy realizować podczas jednego cyklu pracy maszyny. W przypadku pozostałych typów maszyn pomiarów należy dokonywać podczas jednej minuty pracy. Miejsca pomiaru drgań oraz ich liczbę należy ustalić w zależności od rodzaju maszyny wspartej

na badanej konstrukcji [5], a przetworniki drgań mocować w punkcie pomiaru za pomocą wkrętów. Dopuszcza się również mocowanie przetwornika za pomocą kleju zaleconego w instrukcji przetwornika. Parametry drgań konstrukcji wsporczych maszyn należy mierzyć w trzech kierunkach, zgodnie z nieruchomym układem współrzędnych, związanym każdorazowo z konstrukcją wsporczą maszyny [5].

Metoda pomiaru drgań konstrukcji wsporczej pod maszynami wyciągowymi, badanie wież szybowych basztowych, jest przykładem na skuteczne opracowanie metody diagnostycznej elementu górniczego wyciągu szybowego. Konstrukcja basztowa żelbetowa wieży szybowej posiadająca wiele walorów głównie ekonomicznych, powoduje jednak w okresie eksploatacji trudności diagnostyczne. Opisana wyżej metoda badania skutecznie umożliwia ocenę stanu obiektu, śledzenie rozwoju ewentualnych defektów oraz określenie przydatności do dalszej eksploatacji.

W miarę rozwoju i wprowadzania nowych rozwiązań technicznych zmienia się zakres tematyczny działalności diagnostycznej oraz metodyka wykonywania badań. Tak jest również w przypadku diagnostyki kół linowych kierunkowych szybu S1.3 L.W. „Bogdanka”. Opracowana metoda pomiaru i analizy stopnia zużycia łożysk kół linowych ma być odpowiedzią na pytanie, jaki jest rozwój uszkodzeń oraz ma określić czas bezawaryjnej eksploatacji.

5. METODA POMIARU I ANALIZY ZUŻYCIA ŁOŻYSK KÓŁ LINOWYCH DLA POTRZEB L.W. „BOGDANKA”

Wymogi związane z bezpieczeństwem zmuszają eksploatatorów maszyn do minimalizacji nieplanowych remontów i awarii z jednej strony, a z drugiej do eliminacji zbędnych remontów maszyn będących w dobrym stanie technicznym (mimo przekroczenia normatywnego czasu ich pracy). Jeśli przyjmijemy założenie, że procesy dynamiczne w maszynie odzwierciedlają jej stan eksploatacyjny, to jednym ze środków zaradczych służących rozwiązaniu problemu nieplanowanych remontów i awarii, bez wyłączenia maszyny z ruchu, jest diagnostyka wibroakustyczna [12].

Opracowana metoda badania łożysk jest metodą uniwersalną. Może mieć ona zastosowanie przy badaniu diagnostycznym każdego z rodzajów łożysk kół linowych. W przypadku typowej konstrukcji układu kół linowych kierunkowych, tj. z obrotową osią i łożyskami znajdującymi się na jej końcu w kadłubach, możliwe jest potwierdzenie jej skuteczności tradycyjnymi metodami diagnostycznymi. Wyższość opracowanej metody polega na tym, że badania mogą być przeprowadzone w dowolnym czasie podczas normalnej pracy kół linowych. Nie zachodzi

konieczność wyłączenia wyciągu szybowego z ruchu, nie ma potrzeby zatrudniania dodatkowych pracowników. Czas wykonywania pomiarów skrócony jest z 4,5 godziny do 40 minut, a analiza otrzymanych wyników jest prowadzona w warunkach komfortowych przed monitorem komputera z możliwością ich rejestrowania i odtwarzania w dowolnym czasie. W przypadku rozwiązania konstrukcyjnego jakie występuje na wieży wyciągowej szybu S1.3 L.W. „Bogdanka”, gdzie zastosowana została nieruchoma oś, a na niej niezależnie łożyskowane 4 koła linowe (przy braku bezpośredniego do nich dostępu), metoda ta jest jedyną, która może stosownie wcześniej zaalarmować o zbliżającej się awarii.

Zgodnie z zasadami opracowanej metody, pomiary należy przeprowadzić na poziomie dolnym i górnym wieży szybu, dla każdej podpory osi kół linowych, wykonując je w trzech kierunkach, zgodnie z nieruchomym układem współrzędnych związanym z konstrukcją wsporczą osi kół linowych. Czujniki piezoelektryczne należy mocować w punkcie pomiaru za pomocą magnesu stałego, natomiast czujnik elektrodynamiczny wewnętrzny dotykając obudowy. Ponieważ pomiary będą powtarzane, można przygotować wgłębienia w korpusie obudowy z oznaczeniami punktów pomiarowych. Pomiary należy wykonywać gdy maszyna wyciągowa pracuje z największą dopuszczalną prędkością w czasie ruchu ustalonego, dla którego prędkość obrotowa kół linowych wynosi 61.115 obr/min. Dla zachowania podobnych warunków, pomiar powinien być wykonywany przy wyciąganiu tego samego naczynia (skipu) z maksymalnym dopuszczalnym obciążeniem.

Z uwagi na zagrożenie wybuchem metanu występujące w kopalniach i w szybie wydechowym, wydobywającym urobek węglowy, do pomiaru może być zastosowane urządzenie, które posiada odpowiednie zabezpieczenie umożliwiające bezpieczną pracę w warunkach wspomnianego zagrożenia. Na wybór urządzenia diagnostycznego mają również wpływ trudne warunki atmosferyczne, zapylenie i wilgoć, z którymi to czynnikami można się zetknąć podczas wykonywanych pomiarów. Z uwagi na krótki cykl pracy (ok. 2 minuty), wymagane jest, aby pomiar i rejestracja wyników następowały w tym czasie.

Przenośny miernik drgań zastosowany w opracowanej metodzie jest uniwersalny i powszechnie stosowany do diagnozowania wielu urządzeń pracujących w podziemiach kopalni, od przekładni redukujących przenośników taśmowych poprzez silniki pomp głównego odwadniania, do wentylatorów głównych, przewietrzających sieć wyrobisk podziemnych kopalni. Użyty w omawianej metodzie miernik współpracuje z oprogramowaniem umożliwiającym rejestrowanie, przechowywanie oraz przetwarzanie danych pomiarowych wielu urządzeń.

Oprogramowanie oraz miernik, po ustaleniu granicznych wartości symptomów zużycia badanych obiektów, umożliwią obsługę diagnostyczną przez osoby, których wiedza z zakresu diagnostyki wibroakustycznej nie musi być zaawansowana. W ten sposób pomiary mogą być przeprowadzane przy okazji wykonywania codziennych obowiązków służbowych związanych z eksploatacją urządzeń.

Do pomiarów zastosowano zatem urządzenie typu Vibscanner firmy Prüftechnik. Jest to przenośne urządzenie pomiarowe do badania stanów maszyn, przetwarzania wyników i diagnozowania. Vibscanner pozwala na wykonanie analizy widmowej sygnału drganiowego w postaci widm prędkości i przyspieszeń drgań oraz na analizę widmową obwiedni. Vibscanner współpracuje z oprogramowaniem na komputerze PC – Omnitrend. Urządzenie pomiarowe Vibscanner wykorzystywane jest do pomiarów prędkości drgań, przyspieszeń drgań, stanu łożysk tocznych (metoda impulsów udarowych) oraz pomiaru prędkości obrotowej [6].

Istotną w opracowanej metodzie jest zasada przeprowadzania pomiarów. Odstępy czasowe pomiędzy kolejnymi odczytami zależą od stabilności pomiaru, aktualnego stanu ruchowego łożyska oraz od tempa rozwoju uszkodzenia łożyska. W przypadku rozpoczęcia kontroli nowego obiektu, dokonujemy pomiarów raz w tygodniu przez okres minimum dwóch miesięcy. Jest to okres rozpoznania wysokości wartości charakterystycznych. Jeśli różnica pomiędzy otrzymanymi wartościami jest niewielka, wykorzystujemy je jedynie dla późniejszych porównań. Stabilność wartości charakterystycznych pozwala nam przypuszczać, że badany obiekt reprezentuje dobry stan ruchowy, wtedy dokonujemy rutynowych pomiarów raz w miesiącu. Jeżeli wartości charakterystyczne zaczynają wzrastać lub są zmienne, oceniamy odczyty porównując je z wartościami z okresu rozpoczęcia badań i szukamy przyczyny powstania uszkodzenia. W przypadku rozwoju uszkodzenia łożyska, dokonuje się pomiarów 1-2 razy w tygodniu. Pomiarów dokonujemy rzadziej, jeśli odczyty pozostają stabilne (różnica pomiędzy otrzymanymi wartościami jest niewielka) lub rosną bardzo powoli. Jeżeli pomiary wskazują na zły stan ruchowy, dokonujemy pomiarów częściej. Jeżeli obserwujemy niestabilność pomiarów musimy również brać pod uwagę ewentualne zmiany w obiekcie wynikające z eksploatacji np.: zmiana intensywność smarowania łożysk, różnice w naciągu lin nośnych współpracujących z kołami linowymi, zużywanie wykładziny kół linowych. Kontrola całkowitego, szerokopasmowego poziomu drgań układu kół linowych kierunkowych wieży S1.3, jest zrealizowana przez zastosowanie zewnętrznego przetwornika drgań. Pomiary wykonywane są w punktach, w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach na podporach osi łożysk.

Uzyskujemy w ten sposób jedną liczbę charakteryzującą stan drganiowy maszyny. Jest nią wartość drgań średnich (RMS) wyrażona w [mm/s]. W przypadku tak prowadzonej oceny stanu dynamicznego układu łożysk kół linowych ograniczamy się jedynie do określenia stanu: dobry / zły, w odniesieniu do całego zespołu łożyskowego powiązanego z elementami wieży szybowej. Pomocna w określeniu stanu granicznego drgań układu kół linowych może być norma ISO 10816 [11]. W tabeli 1 podano wartości średnie (RMS) prędkości drgań, uzyskane w okresie wykonywania pomiarów, tj. od 23.10.03r. do 08.01.05r.. W tabeli 1 podano wartość średnią prędkości drgań z pomiarów oraz wartość maksymalną, jaką uzyskano dla każdego punktu pomiarowego. Zestawione wyniki pomiarów pokazują, że nawet wartości maksymalne prędkości drgań uzyskane podczas pomiarów znajduje się w obszarze, który w normie ISO 10816 określany jest jako „dobry”. Analizując wartości drgań dotyczące kierunku pomiarowego pionowego (tabela 1) można zauważyć, że istnieje różnica pomiędzy wartościami prędkości drgań koła górnego i dolnego. W przypadku koła dolnego mają one nieco wyższą wartość. Można to wytłumaczyć różnicą w rodzaju wykładki kół dolnego i górnego. Koła dolne nie posiadają wykładki, rowek linowy koła wypełniony jest stalą. Są to tak zwane „koła bosc”. Natomiast koła górne posiadają wykładkę z tworzywa sztucznego, które ma zapobiegać nadmiernemu wycieraniu się drutów liny nośnej. Wykładka wykonana z tworzywa posiada własności tłumiące drgania.

W celu diagnozowania łożysk zespołu kół linowych, skomplikowanego układu, na którego kinematykę ma wpływ wiele czynników, konieczne jest śledzenie amplitudy drgań w szerszym zakresie częstotliwości oraz wykonywanie pomiarów pozostałych wielkości charakterystycznych, czyli przyspieszeń drgań i impulsów udarowych.

Zastosowane metody diagnozowania układu kół linowych możemy podzielić zatem na dwie grupy. Pierwsza, to kontrola ogólnego poziomu drgań pozwalająca scharakteryzować stan drganiowy układu kół linowych za pomocą jednej wartości (wartość średnia (RMS) prędkości drgań). Ocena stanu dynamicznego jest dwustanowa: dobry, zły. Porównanie zmierzonych poziomu drgań odnosi się do stanów granicznych, pomocna w ich określeniu jest norma ISO 10816 [11]. Uzupełnieniem powyższej metody diagnostycznej jest analiza częstotliwościowa zarejestrowanych sygnałów prędkości drgań. Umożliwia ona w razie występowania wysokich wartości prędkości drgań określenie prawdopodobnej przyczyny ich występowania. Możliwe jest prowadzenie monitoringu, poprzez porównanie uzyskanych widm częstotliwościowych z widmem wzorcowym (zmierzonym w chwili bardzo dobrego stanu technicznego). Odzwierciedleniem zmiany stanu układu kół będzie zmiana postaci widma (pojawiają się inne niż zwykle pasma częstotliwości). Drugą grupą metod diagnostycznych skupiającą się na określeniu stanu łożysk kół linowych są pomiary impulsów udarowych oraz częstotliwościowa analiza przyspieszeń drgań. Wykonując regularne pomiary impulsów udarowych, można monitorować zmiany w stanie ruchowym łożyska, w całym okresie jego żywotności. Możliwe jest w ten sposób określenie trendu zużycia, co z kolei przy wykorzystaniu odpowiedniej analizy prognostycznej pozwala skutecznie zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia awarii.

Częstotliwości modulujące sygnał drganiowy pochodzący od uszkodzeń łożyska tocznego można uzyskać wykonując ich obliczenia. Porównanie uzyskanych widm częstotliwościowych z widmem wzorcowym umożliwia wychwycenie początkowej fazy zmiany stanu maszyny.

Tabela 1. Wartości średnie(RMS) prędkości drgań [mm/s]

Poziom	Podpora osi	Kierunek pionowy		Kierunek poziomy		Kierunek osiowy	
		wartość średnia	wartość max	wartość średnia	wartość max	wartość średnia.	wartość max.
Poziom	„N”	0,35	0,64	0,631	1,29	0,83	1,83
Górny	„S”	0,377	0,67	0,691	1,37	0,707	1,26
Poziom	„N”	0,412	0,78	0,749	1,38	0,65	1,36
Dolny	„S”	0,39	1,49	0,64	1,65	0,847	1,35

6. PODSUMOWANIE

Wykorzystanie w diagnostyce łożysk pomiarów procesów resztkowych, które w sposób niezamierzony, ale i nieodłączny, towarzyszą funkcjonowaniu maszyn, stwarza szansę na bezdemontażową ocenę stanu technicznego łożyska, bez potrzeby wyłączenia obiektu technicznego z ruchu [12]. Ma to ogromne znaczenie dla funkcjonowania kopalni, a w szczególności dla L.W. „Bogdanka”, ponieważ szyb S1.3 jest jedynym szybem wydobywczym, którego zadaniem jest transport urobku węglowego. Taka koncentracja wydobycia na jednym szybie zmusza do działań zmierzających do osiągnięcia jak największej bezawaryjności wszystkich elementów ciągu technologicznego związanego z wydobyciem. O ile awaria poszczególnych elementów ciągu technologicznego znajdującego się przed szybem wydobywczym umożliwia w pewnym stopniu uruchomienie układów rezerwowych, o tyle urządzenie wyciągowe szybowe jest elementem, którego zastąpić nie można. Jego awaria unieruchomiłaby cały proces wydobycia urobku górniczego, zaś dłuższy postój spowodowałby nieodwracalne zmiany zagrażające funkcjonowaniu kopalni.

Na podstawie analizy metod diagnostyki wibroakustycznej oraz wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Zadaniem diagnostyki wibroakustycznej w odniesieniu do zestawu kół linowych szybu 1.3 jest wykluczenie uszkodzeń przypadkowych i określenia chwili, w której rozpoczyna się okres przyspieszonego zużycia. Przeszkodą w poprawnym uchwyceniu chwili wejścia w obszar przyspieszonego zużycia łożysk kół linowych jest przypadkowy rozrzut intensywności symptomu zużycia.
2. Utrudnieniem w poprawnym określeniu okresu przyspieszonego zużycia łożysk kół linowych jest brak możliwości przenoszenia uzyskanych wyników na inne egzemplarze tego samego typu układu łożysk. Zastosowana w szybie 1.3 L.W. „Bogdanka” konstrukcja układu łożyskowego kół linowych nie powtarza się na innym szybie.
3. Wyznaczenie trendu zużycia dla badanych zestawów kół linowych na obecnym etapie nie jest możliwe, ponieważ monitorowane wartości charakterystyczne mają niskie i stabilne wartości. Nie obserwuje się wzrostu symptomów zużycia. Dla poprawnego określenia krzywej życia maszyny niezbędna jest odpowiednio duża liczba pomiarów. Przeprowadzone badania i otrzymane wartości symptomów zużycia będą odniesieniem do późniejszych badań i do wykreślenia trendu zużycia obiektu.
4. Przedstawiona metoda diagnostyczna może mieć również zastosowanie do badania łożysk kół linowych kierunkowych z ruchoma osią i łożyskami umieszczonymi na zewnątrz osi w korpusach, które przeważają w polskim

górnictwie. Wyższość tej metody w stosunku do stosowanych do tej pory (pomiaru szczelinomierzem, analiza zużytego smaru), polega na skróceniu czasu wykonywania badań, a także braku konieczności angażowania do jego wykonania dodatkowych pracowników obsługi szybu. Nie wymaga ona także specjalnego udostępnienia urządzeń szybowych na czas wykonywania badań.

5. Dokonana analiza zagadnienia oraz wnioski wynikające z opracowania koncepcji metody badawczej zestawu kół linowych szybu S1.3 nie wyczerpuje całości problemu. Szczególnie istotny jest fakt, że przeprowadzanie pomiarów wg opisywanej metody jest utrudnione przez niekorzystne warunki atmosferyczne. Rozwiązaniem mogłoby być dalsze prowadzenie pomiarów z zastosowaniem nadzoru diagnostycznego ciągłego, automatycznego.

LITERATURA

- [1] Antoniak J.: *Maszyny Górnicze Cz. 3, Transport kopalniany*. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1980.
- [2] Cempel C.: *Podstawy diagnostyki wibroakustycznej maszyn*. WNT Warszawa 1982.
- [3] Cholewa W., Kościelny J. M.: *Diagnostyka procesów i jej podstawowe zadania*. Diagnostyka procesów – modele, metody sztucznej inteligencji, zastosowania, Korbicz J., Kościelny J. M., Kowalczyk Z., Cholewa W. (red.), WNT, Warszawa 2002.
- [4] Hansel J.: *Aktualne problemy optymalizacji transportu pionowego w polskich kopalniach*, AGH Kraków 1999.
- [5] Kowalczyk J., Spindel N.: *Badania wież szybowych i głowic szybków w świetle obowiązujących przepisów*. CBiDGP Sp. z o.o.-Łędziny 2004
- [6] Pruftechnik-Wibrem: *Vibscanner wyważanie i analiza FFT*. Instrukcja obsługi, 2001.
- [7] Ratka S., Szady J.: *Dokumentacja do wniosku o dopuszczenie koła 4-linowego*. Biuro Inżynierii Górniczej – Sosnowiec 1998.
- [8] Strzelecki S., Siwiński G., Wojewoda J., Jagiełło B.: *Badania drgań łożysk układu kół linowych szybu 1.3*. Politechnika Łódzka, Łódź 1998.
- [9] Stachowicz S., Kozek B., Gałąż H.: *Przykłady przedsięwzięć profektywnościowych obniżających koszty wydobycia w KWK Bogdanka*. Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1999.
- [10] PN-90/N-01358 *Drgania. Metody pomiarów i oceny drgań maszyn*.
- [11] ISO-10816 *Klasyfikacja drgań*.
- [12] www.monitoring.ipnet.pl - *Diagnostyka eksploatacyjna maszyn i urządzeń*.

- [13] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.* (Dz. U. Nr 139 z 2002r – poz. 1169).
- [14] *Załącznik nr 4 do Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych.*
- [15] *Ustawa z dnia 4 lutego 1994r – Prawo geologiczne i górnicze* (dz. U. Nr 27) – znowelizowane w dniu 31.07.2001r – (Dz. U. Nr 110 z 2001r – poz. 1190).



Dr inż. Dariusz MAZURKIEWICZ jest adiunktem w Katedrze Podstaw Inżynierii Produkcji na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej. Zajmuje się tematyką monitorowania i diagnostyki maszyn i urządzeń oraz

procesów produkcyjnych. W większości dotyczy to systemów czasu rzeczywistego z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. W działalności dydaktycznej głównie koncentruje się na systemach wspomagania komputerowego w inżynierii produkcji, metrologii, monitorowaniu, obliczeniach inżynierskich itp.



Mgr inż. Maciej GALIŃSKI jest absolwentem Wydziału Mechanicznego Politechniki Lubelskiej. Aktualnie pracuje w spółce Lubelski Węgiel „Bogdanka” na stanowisku sztygara zmianowego urządzeń szybowych. Do jego obowiązków należy między innymi: - kierowanie ruchem

oddziału na danej zmianie, organizowanie bezpiecznego prowadzenia prac, przeprowadzanie codziennych i okresowych kontroli, rewizji i prób wyciągów szybowych i urządzeń zainstalowanych w oddziale oraz branie udziału w badaniach, rewizjach i kontrolach wyciągów szybowych, maszyn i urządzeń.