

*Konrad Leśniewski**, *Jarosław Wiśniewski**, *Radosław Zimroz***

SYSTEM BIEŻĄCEJ DIAGNOSTYKI STANU ELEMENTÓW PRZENOŚNIKA

1. Wprowadzenie

Współcześnie wiele surowców jest wydobywanych przy wykorzystaniu technik i metod górnictwa odkrywkowego. Najbardziej ekonomicznym i niezawodnym środkiem transportu do tego celu okazuje się transport taśmowy. W górnictwie odkrywkowym, w tym także w Kopalni „Turów” wykorzystuje się przenośniki taśmowe o dużych długościach, wydajnościach i prędkościach ruchu taśmy. W celu podniesienia efektywności transportu taśmowego coraz częściej instalowane są systemy monitorowania i diagnozowania stanów elementów przenośnika [2–12]. O ile sama rejestracja parametrów, ich transmisja, przechowywanie i zarządzanie nie stanowią problemu o tyle analiza zgromadzonych informacji w celu określenia stanu technicznego i podjęcia decyzji dotyczącej wyłączenia przenośnika z eksploatacji lub kontynuowania pracy jest ciągle zadaniem skomplikowanym.

Wykorzystanie zaawansowanych technologii pomiarowych, analizy sygnałów i wnioskowania o stanie przenośników umożliwia wykrycie wczesnych form zmiany stanu, zapewniając bezpieczną, niezawodną eksploatację przed wystąpieniem uszkodzenia oraz detekcję i śledzenie rozwoju uszkodzenia lub zużycia do fazy nieopłacalnej ekonomicznie [2, 13].

Dostęp do informacji o stanie technicznym elementów przenośnika, umożliwia pełną kontrolę nad maszyną, zmniejsza koszty remontów, pozwala wyeliminować nieprzewidziane awarie i pozwala wykonywać remonty w czasie planowanych przestojów.

Zakład Systemów Maszynowych w Instytucie Górnictwa na Politechnice Wrocławskiej jest jednym z wiodących krajowych ośrodków naukowych, który prowadzi badania i prace naukowo-projektowe nad zagadnieniem wykorzystania zaawansowanych technologii pomiarowych, analizy sygnałów i wnioskowania o stanie technicznym przenośnika w celu wykrycia wczesnych form zmiany stanu.

* Oddział KWB Turów, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, Bogatynia

** Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wroclaw

W wyniku tych prac Instytut Górnictwa PWR w 2010 roku opracował projekt systemu diagnostycznego dla stacji napędowej przenośnika taśmowego zawierający ogólną modułowo-warstwową koncepcję budowy systemu w Kopalni „Turów”.

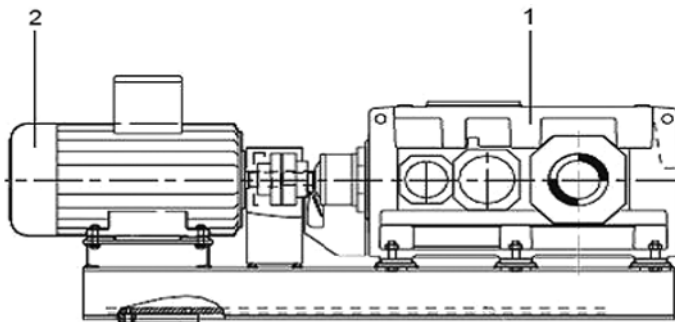
Do realizacji projektu w 2011 roku służby techniczne kopalni wytypowały przenośnik nadkładowy Z11.2 (rys. 1), który pracuje w trudnych warunkach. Zakres temperatur, w jakim pracuje (a zatem także będzie pracować system monitorowania i diagnostyki) to panująca temperatura otoczenia, między -30 do $+70^{\circ}\text{C}$. Wpływ warunków atmosferycznych nie ogranicza się tylko do temperatur, elementy systemu narażone są także na działanie opadów deszczu lub śniegu.

W czasie pracy przenośnika może występować duże zapylenie, zwłaszcza w pobliżu elementów wirujących, co może mieć wpływ na działanie czujników pomiarowych.

a)



b)



Rys. 1. Widok stacji napędowej z wyróżnionymi elementami do monitorowania (a), Schemat układu napędowego przenośnika (1 — przekładnia, 2 — silnik elektryczny) (b)

Przewidziany do realizacji projektu przenośnik taśmowy charakteryzuje się następującymi parametrami:

- szerokość taśmy $B = 2\ 000$ mm,
- prędkość taśmy $v = 5,9$ m/s,
- kąt niecki $\beta = 45^\circ$,
- wydajność przenośnika $Q = 11\ 000$ m³/h,
- długość przenośnika między przesypami $L = 756$ m,
- moc napędów głównych 630 kW,
- średnica bębna napędowego 1400 mm,
- średnica bębna napinającego 1050 mm.

Zestaw napędowy składa się z następujących elementów:

- silnik elektryczny o mocy $N = 630$ kW, $n_s = 1\ 000$ obr./min, $U = 600$ V — 2 szt.;
- sprzęgło przeponowe z tarczą hamulcową;
- reduktor stożkowo walcowy z kołnierzem na wale wyjściowym; przełożenie całkowite $i = 12,5$;
- połączenia bębnow napędowych z wałem wyjściowym przekładni zębatej odbywa się poprzez sprzęgła kołnierzone.

Określono następujące elementy przenośnika, które będą podlegały monitorowaniu:

- stan techniczny łożysk silników, przekładni, bębnow (uszkodzenia bieżni, elementów tocznych, koszyka);
- pracę wału wejściowego i wyjściowego przekładni zębatej (bicie, niewyważenie, ukosowanie);
- stan kół zębatach i współpracę kół zębatach w przekładniach zębatach (pitting, uszkodzenia lokalne, współpraca kół na danym stopniu).

W celu kontroli powyższych stanów należy rejestrować następujące wielkości:

- sygnały drganiowe (przyspieszenia drgań),
- prędkości obrotowe wału wejściowego przekładni (wał bębna napędowego wiruje tak samo jak wał wyjściowy przekładni, prędkość obrotową wału bębna napinającego można oszacować na podstawie założeń o braku poślizgu taśmy na bębnach),
- wartość natężenia prądu pobieranego przez silniki,
- temperatury,
- inne sygnały pomocnicze (napięciowe).

TABELA 1

Lista wielkości fizycznych do rejestrowania — drgania i temperatury

Lp.	Typ pomiaru	Typ pomiaru	Lokalizacja
1.	drgania	temperatura	Łożysko wyjście silnik A
2.	drgania	temperatura	Łożysko wejście przekładnia A
3.	drgania	–	Łożysko wał 2 przekładnia A
4.	drgania	temperatura	Łożysko wał 3 przekładnia A
5.	drgania	temperatura	Łożysko wał 4 przekładnia A
6.	drgania	temperatura	Łożysko lewe bęben napędowy A
7.	drgania	temperatura	Łożysko prawe bęben napędowy A
8.	drgania	temperatura	Łożysko wyjście silnik B
9.	drgania	temperatura	Łożysko wejście przekładnia B
10.	drgania	–	Łożysko wał 2 przekładnia B
11.	drgania	temperatura	Łożysko wał 3 przekładnia B
12.	drgania	temperatura	Łożysko wał 4 przekładnia B
13.	drgania	temperatura	Łożysko lewe bęben napędowy B
14.	drgania	temperatura	Łożysko prawe bęben napędowy B
15.	drgania	temperatura	Łożysko lewe bęben napinający
16.	drgania	temperatura	Łożysko prawe bęben napinający

TABELA 2

Lista wielkości fizycznych do rejestrowania — napięcia

Lp.	Typ pomiaru	Lokalizacja
1.	napięcie	Silnik A — pobór prądu
2.	napięcie	Wał wejściowy przekładnia A — pomiar prędkości obrotowej
3.	napięcie	Przekładnia A — pomiar poziomu oleju
4.	napięcie	Rezerwa
5.	napięcie	Silnik B — pobór prądu
6.	napięcie	Wał wejściowy przekładnia A — pomiar prędkości obrotowej
7.	napięcie	Przekładnia B — pomiar poziomu oleju
8.	napięcie	Rezerwa

Do rejestracji w/w wielkości fizycznych postanowiono zastosować następujące czujniki oraz aparaturę pomiarową:

- czujniki do pomiaru drgań VIS311A — 16 szt.,
- czujniki do pomiaru temperatury PT100 — 14 szt.,
- czujniki do pomiaru prędkości obrotowej PCID 15ZP (Sels) — 2 szt.,
- karty do rejestracji sygnałów drganiowych IEPE NI 9233,
- karty do rejestracji sygnałów temperaturowych NI 9219,
- karty do rejestracji sygnałów pomocniczych (uniwersalne napięciowe) NI 9215,
- punkty dostępowe do sieci bezprzewodowej AWK 3121 — 2 szt.,
- switch'e Ethernetowe EOS-205A/208A — 2 szt.,
- anteny zewnętrzne kierunkowe — 2 szt.,
- antena zewnętrzna o charakterystyce dookolnej — 1 szt.,
- komputer przemysłowy — 1 szt.

2. Metody diagnozowania

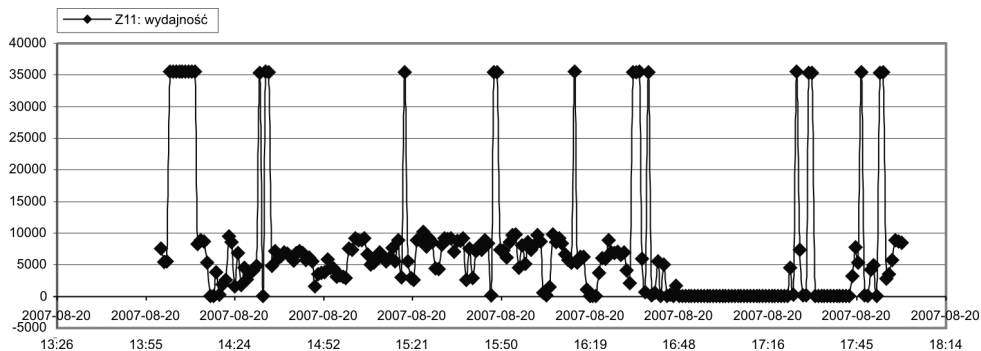
Ze względu na występowanie zmiennych warunków eksploatacyjnych proces diagnozowania przebiega w dwóch etapach tj.: identyfikacja warunków eksploatacyjnych a następnie przetwarzanie i analiza cech sygnałów diagnostycznych i wnioskowanie z uwzględnieniem warunków eksploatacyjnych.

Zastosowane metody określania warunków eksploatacyjnych można podzielić na dwie grupy:

- 1) z wykorzystaniem sygnałów pomocniczych;
- 2) bez wykorzystania sygnałów pomocniczych (tylko sygnały drganiowe).

W projekcie systemu diagnostycznego do opisu obciążeń zostały przedstawione możliwości wykorzystania:

- chwilowej wydajności (pomiar masy/objętości strugi nie stanowi pełnej informacji o obciążeniu układu napędowego. Dla układu napędowego przenośnika objętość transportowanego urobku jest bez znaczenia, istotna jest jego masa. Wydawało by się zatem, że dla układu przenośnika taśmowego pomiar wydajności związany z pomiarem masy urobku jest akceptowalny. Problemem pozostaje tylko czas próbkowania. Należy dodać, że w pewnych przypadkach pozostałe składowe wchodzące w skład obciążenia zewnętrznego (opory obracania krążników, bębnow, opory toczenia taśmy po krążnikach) mogą być również znaczące — pomiar wydajności ich nie obejmuje);



Rys. 2. Przykładowy pomiar chwilowej wydajności

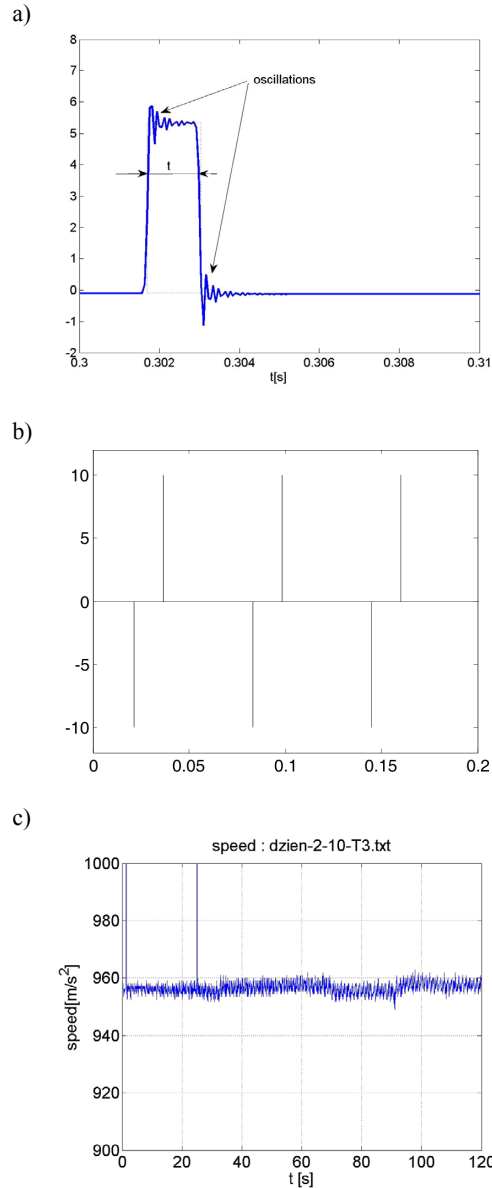
- chwilowej wartości pobieranego prądu (pomiar prądu pobieranego przez silnik elektryczny jest często stosowany jako sposób identyfikacji obciążeń zewnętrznych. Fizyczne uzasadnienie jest bardzo proste: przy stałym napięciu, zmiany prądu wskazują na zmiany mocy układu napędowego niezbędnej do pokonania np. oporów ruchu przemożnika. W warunkach kopalni pomiar prądu jest narażony na wiele zakłóceń pochodzących bezpośrednio z sieci elektrycznej lub będących efektem zakłóceń pola elektromagnetycznego, dlatego celowe jest odfiltrowanie sygnału przy udziale filtra pasmo-wo-przepustowego);



Rys. 3. Przykładowe profile prądowe dla układu napędowego przemożnika

- sygnału prędkości (identyfikacja warunków eksploatacyjnych może odbywać się poprzez określanie punktu pracy silnika — czyli np. wartości chwilowej prędkości obrotowej. Podobnie jak w przypadku pomiaru prądu pobieranego przez silnik, wymagany jest dodatkowy tor pomiarowy oraz oprogramowanie do wyznaczenia tzw. profilu prędkości. Sygnał zarejestrowany przez czujnik jest sygnałem typu fala prostokątna o okresie odpowiadającym obrotom wału i czasie wypełnienia odpowiadającym szerokości

taśmy odbijającej światło. Idea pomiaru prędkości obrotowej wiąże się z pomiarem czasu pomiędzy zboczami narastającymi sygnału czujnika i przeliczeniem czasu do częstotliwości a następnie do prędkości obrotowej.



Rys. 4. Określanie warunków eksploatacyjnych za pomocą chwilowej prędkości:
a) fragment sygnału tacho z widocznymi oscylacjami, b) sygnał z czujnika prędkości po eliminacji zakłóceń i różniczkowaniu, c) przykładowy profil prędkości

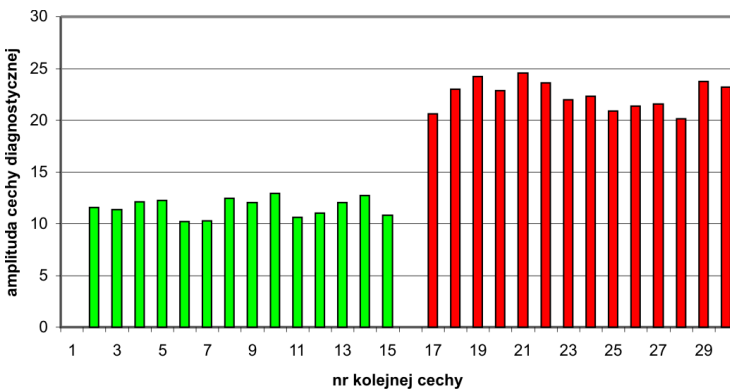
3. Monitorowanie zużycia

Zmiana stanu technicznego typu rozproszonego w przekładni zębatej powoduje wzrost błędów zazębienia, co daje wzrost wartości przyspieszeń drgań. Można zatem w najprostszym przypadku jako cechę zastosować amplitudę (energie) sygnału i ocenić stan stosując formułę:

IF wartość cechy > poziom alarmowy THEN alarm ELSE dobry stan techniczny

Tak ogólna cecha zwykle nie spełnia wymagań współczesnej diagnostyki. Diagnostyka w warunkach eksploatacyjnych tzn. w czasie normalnej pracy maszyny — zwłaszcza w środowisku kopalni odkrywkowej może okazać się trudna i nieskuteczna. Podejmowanie decyzji diagnostycznych na podstawie porównania widma jednego sygnału może być nieuzasadnione ze względu na szereg zakłóceń występujących w tak skomplikowanych systemach maszynowych. Wydaje się celowe przeprowadzenie wielu pomiarów i dokonanie analiz statystycznych, aby określić podstawowe parametry danych (wartość średnia, wariancja, wartości maksymalne i minimalne itd.) i wyznaczyć wartości graniczne (poziom alarmowy, poziom detekcji)

Dla serii pomiarowych pozyskanych dla stanu prawidłowego i nieprawidłowego wyznaczone zostaną histogramy cech a na ich podstawie ustalona zostanie wartość poziomu alarmowego.



Rys. 5. Przykładowe zestawy cech diagnostycznych dla stanu prawidłowego i nieprawidłowego

Wprowadzenie do systemu diagnostyki uszkodzeń lokalnych stanowi zdecydowanie większe wyzwanie, zwłaszcza, jeśli rozważymy problem detekcji uszkodzenia lokalnego we wczesnym stadium rozwoju. Uszkodzenia lokalne dotyczą głównie wielostopniowych przekładni zębatych i łożysk bębnowych napędowych stosowanych w systemach transportu przenośnikowego Ze względu na interakcje zachodzące pomiędzy elementami układu napędowego, wpływ warunków eksploatacyjnych, zakłóceń itd. należy stwierdzić, że struktura sygnałów generowanych przez elementy układu napędowego jest skomplikowana i zmien-

na w czasie, poszczególne elementy układu napędowego generują sygnały o różnych amplitudach i różnych właściwościach (np.: sygnał deterministyczny, losowy). Wspomniane interakcje dodatkowo wzbogacają sygnał o nowe składowe będące efektem modulacji. Zmienne warunki eksploatacyjne komplikują zadanie na kilka sposobów — zmienna prędkość obrotowa powoduje modulację częstotliwościową i przeskalowanie struktury częstotliwościowej (dotyczy składowych zależnych o prędkości obrotowej), zmienne obciążenie wpływa znacząco na amplitudy składowych sygnału, a zatem pośrednio na wartości cech diagnostycznych, ponadto powoduje zjawisko modulacji amplitudowej i powstawanie dodatkowych składowych w widmie sygnału.

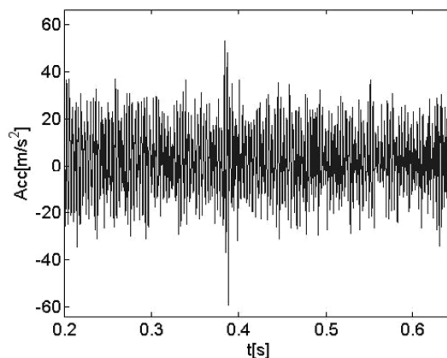
Diagnostyka uszkodzeń lokalnych dla tak skomplikowanego przypadku jest bardzo trudna i wymaga zastosowania bardzo zaawansowanych metod zarówno przetwarzania sygnałów jak wnioskowania diagnostycznego.

Twórcy systemu diagnostycznego wyszli z założenia, że cechy sygnału generowanego przez uszkodzoną parę kinematyczną, mogą być podstawą do stosowania metod pozyskiwania sygnału informacyjnego (sygnału zawierającego informację o uszkodzeniu), czy metod pozyskiwania cech diagnostycznych.

Biorąc pod uwagę analizę właściwości sygnału drganiowego postanowiono, że podstawowym założeniem procedur wykrywania uszkodzeń lokalnych jest chwilowe zaburzenie dynamiki pary kinematycznej wywołane uszkodzeniem ząbienia lub bieżni elementu tocznego dające w efekcie krótkotrwały (impulsowy) wzrost amplitudy sygnału diagnostycznego. Ze względu na obrotowy ruch elementów zaburzenie jest okresowe (np. występuje raz na obrót wału, na którym jest zamontowane koło z uszkodzonym zębem).

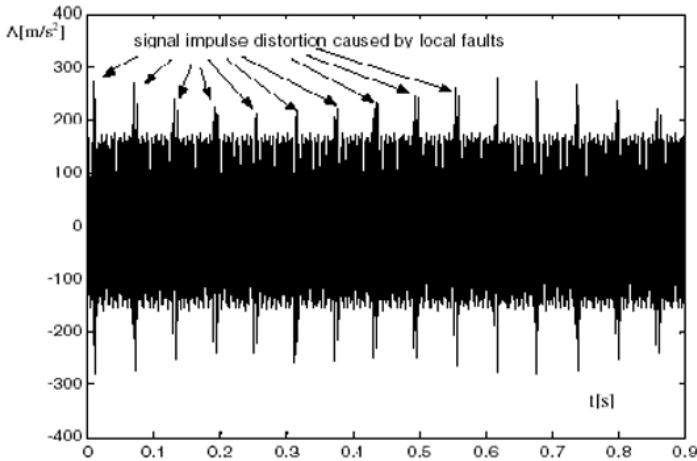
Właściwości sygnału generowanego przez parę kinematyczną z uszkodzeniem można rozważać ze względu na:

- impulsowość — sygnał generowany przez uszkodzenie lokalne charakteryzuje się gwałtownym krótkotrwałym wzrostem amplitudy spowodowanym zaburzeniem dynamiki pary kinematycznej (zębnik — koło zębate, bieżnia — element toczny itd.);



Rys. 6. Impulsowy charakter zaburzenia sygnału z przekładni z uszkodzeniem lokalnym

- okresowość — współpraca uszkodzonego np. zęba koła zębatego odbywa się cyklicznie z okresem wynikającym z obrotu wału, na którym zamocowane jest uszkodzone koło.

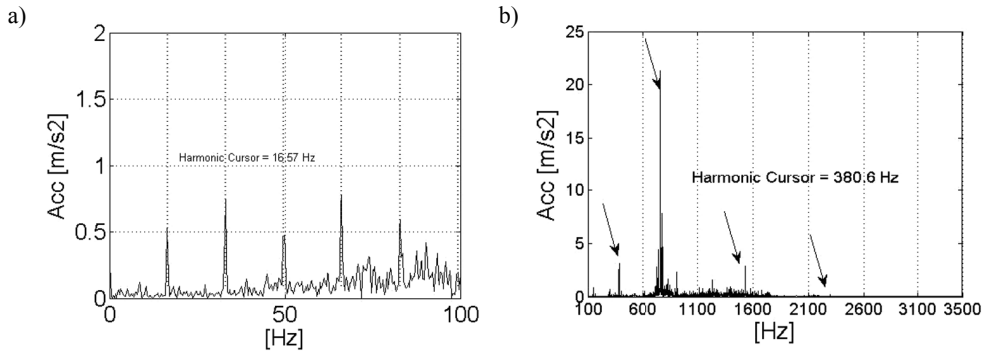


Rys. 7. Okresowe zaburzenia impulsowe

W odniesieniu do problematyki uszkodzeń lokalnych zakłada się, że sygnał rejestrowany na obudowie przekładni jest wynikiem różnych zjawisk zachodzących w obiekcie. Z punktu widzenia diagnostyki uszkodzeń lokalnych można powiedzieć, że sygnał rejestrowany stanowi mieszaninę: sygnału informacyjnego, sygnału generowanego przez zazębienie oraz szumu. Celem procedur diagnostycznych powinna być w pierwszej kolejności separacja źródeł sygnałów (ekstrakcja sygnału informacyjnego).

Wykonawcy systemu diagnostycznego zaproponowali także implementację zmodyfikowanej metody szerokopasmowej opracowanej przez Bartelmusa [2] w celu diagnozowania i wnioskowania o stanie przekładni zębatych stosowanych na przerośnikach. Wspomniana metoda diagnozowania oparta była na ekstrakcji cech diagnostycznych z sygnału na podstawie wartości RMS sygnału filtrowanego w trzech pasmach 10–100 Hz, 100–3 500 Hz, 3 500–10 000 Hz.

W metodzie tej podział widma sygnału na trzy podzakresy był związany ze stosowaniem filtrów analogowych i brakiem odpowiednich narzędzi do wyznaczania analizy Fouriera. Obecnie rozwój technik komputerowo wspomaganego przetwarzania sygnałów osiągnął taki poziom, że wyznaczanie widma w czasie rzeczywistym nie stanowi problemu. Metoda pozwalała na rozróżnienie uszkodzeń związanych z wałami, zazębieniami i łożyskami nie precyzując ich lokalizacji, co w przypadku np. trzystopniowej przekładni stosowanej w układzie napędowym przerośnika ma duże znaczenie. Zastosowanie szczegółowej analizy struktury częstotliwościowej sygnału pozwala ocenić stan techniczny każdego z wałów czy zazębien.



Rys. 8. Wąskopasmowa analiza widmowa:
 a) fragment widma w zakresie 0–100 Hz, b) widmo w zakresie 1000–3500 Hz

W celu pozyskania danych do wnioskowania zastosowano wąskopasmową analizę Fouriera. Dla uzyskanych widm sygnałów automatycznie wykrywa się składowe o częstotliwościach charakterystycznych (częstotliwości zazębienia każdego ze stopni i jej pięciu harmonicznymi) a następnie sumuje ich amplitudy uzyskując w ten sposób dwie wartości opisujące stan odpowiednio stopnia 1 i 2 czy 3. Warunki eksploatacyjne zidentyfikowano wg metody opisanej wcześniej. Wnioskowanie polega na analizie zachowania się wartości cech diagnostycznych w funkcji warunków eksploatacyjnych wyrażonych przez prędkość obrotową wału wejściowego przekładni.

4. Cele diagnostyczne

Dzięki przedstawionym powyżej metodom diagnozowania oraz ciągłym monitorowaniu zużycia elementów przenośnika można wykrywać następujące uszkodzenia lokalne w:

- kołach zębatych przekładniach zębatych,
- łożyskach w przekładniach zębatych,
- łożyskach bębna napędowego,
- łożyskach bębna napinającego,
- łożyskach silnika elektrycznego.

Można także wykrywać uszkodzenia rozproszone w układzie napędowym przenośnika:

- zużycia kół zębatych (pitting, zacieranie),
- ściernego zużycia łożysk tocznych (nadmierny luz),
- nieprawidłowej pracy wałów w przekładni zębatej (bicie, ukosowanie niewyważenie).

Przy okazji monitoringu powyższych elementów możemy mieć również udostępnione pozostałe parametry i wartości pomocnicze, takie jak:

- prędkość obrotowa na podstawie sygnału z czujnika prędkości,
- obciążenie na podstawie rejestrowanego prądu pobieranego przez poszczególne jednostki napędowe,
- temperatura wału wejściowego przekładni,
- temperatura wału pośredniego przekładni,
- temperatura wału wyjściowego przekładni,
- temperatura łożyska bębna napędowego,
- temperatura łożyska bębna napinającego,
- poziom oleju w przekładni (kanał napięciowy).

Ze względu na duże rozproszenie układów pomiarowych w przestrzeni, w celu zwiększenia niezawodności oraz minimalizacji kosztów zaprojektowano strukturę rozproszoną systemu. Jest to ogólnie przyjęta tendencja w przypadku projektowania systemów monitorowania [1]. W celu ograniczenia okablowania zdecydowano że system będzie wykorzystywał technologie bezprzewodowej transmisji danych. Ogólna koncepcja budowy systemu zakłada, że struktura systemu będzie modułowo-warstwowa. Wydzielona została warstwa czujników, transmisji kablowej 1, kart pomiarowych, transmisji kablowej/bezprzewodowej 2 i warstw aplikacji (poziom obliczeniowy, analiz diagnostycznych, wizualizacji, transmisji danych, zarządzania danymi i bezpieczeństwa systemu) pozwala na sprawniejsze zarządzanie i autodiagnostykę systemu. Koncepcja budowy systemu polega na wydzieleniu niezależnych bloków (modułów) w poszczególnych warstwach tak, aby można było łatwo je konfigurować i ewentualnie modyfikować w przyszłości według potrzeb.

System tworzą:

- warstwa czujników,
- warstwa kart pomiarowych,
- warstwa transmisji radiowej, pomiędzy skrzynkami z systemem akwizycji a centrum obliczeniowym na komputerze znajdującym się w rozdzielni.

W systemie można wyróżnić kilka modułów (podsystemów):

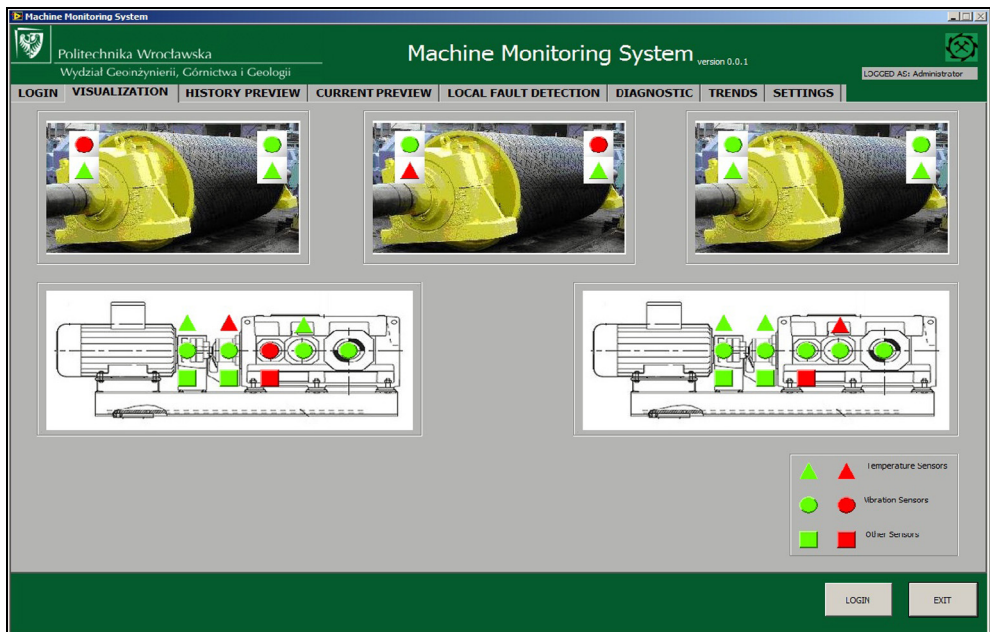
- główne elementy systemu (podsystem zarządzania danymi, podsystem wizualizacji i udostępniania danych);
- podsystem akwizycji;
- podsystemy przetwarzania sygnałów;
- podsystem analizy sygnałów i ekstrakcji cech diagnostycznych;
- podsystem analizy sygnałów w zakresie określenia warunków eksploatacyjnych.

Przedstawiony system jest systemem monitorowania i diagnostyki elementów przenośnika. Ze względu na specyfikę obiektów oraz koszty systemu zdecydowano się monitorować w sposób ciągły wybrane wolno zmienne parametry (prędkości, prądy, temperatury), dane kanałów diagnostycznych rejestrowane są sekwencyjnie, jeden po drugim. Rejestrowane sygnały wolno zmienne są przetwarzane w zależności od typu sygnału (temperatura, prąd, prędkość). Przetwarzanie sygnałów pomocniczych ma na celu uzyskanie profilu prędkości i profilu obciążeń. Natomiast przetwarzanie sygnałów drganiowych dla przekładni zębatych odbywa się równoległe w dwóch celach: detekcji uszkodzenia lokalnego i ekstrakcji parametrów do oceny stanu rozwoju uszkodzeń rozproszonych.

Moduł decyzji diagnostycznych ma za zadanie na podstawie wyników analizy warunków eksploatacyjnych, analizy sygnałów diagnostycznych oraz pomiaru temperatury określić stan techniczny jako zdalny lub niezdatny.

Moduły wizualizacji i udostępniania stanowią interfejs użytkownika zarówno w sensie stacji roboczej obsługiwanej przez operatora na stacji napędowej przenośnika jak i zdalnej stacji roboczej (interfejs udostępniony przez protokół http).

System diagnostyczny korzysta z dwóch baz danych — bazy zawierającej informacje o obiekcie (częstotliwości charakterystyczne, poziomy alarmowe itd.) oraz bazy przechowującej dane diagnostyczne w celu śledzenia zmian długoterminowych.



Rys. 9. Zakładka w systemie diagnostycznym z podglądem stanu zainstalowanych w systemie czujników

5. Podsumowanie

Zarządzanie transportem taśmowym w oparciu o stan techniczny staje się powoli standardem. Implementacja systemu monitorowania i diagnostyki dla układów napędowych jest krokiem w stronę zautomatyzowanych, bezpiecznych, niezawodnych i bezobsługowych systemów maszynowych. Monitorowanie stacji napędowej przenośnika taśmowego nie jest jednak zadaniem prostym ze względu na duże moce obiektów, zupełnie odmienną budowę poszczególnych elementów, właściwości sygnałów diagnostycznych generowanych przez poszczególne obiekty, a nawet elementy tych obiektów, duże rozproszenie w przestrzeni, warunki atmosferyczne i szeroko pojętą specyfikę sektora górniczego.

Ogólna koncepcja systemu bazuje na założeniu modułowo warstwowej struktury systemu, co zapewnia łatwość rekonfiguracji, większą niezawodność, możliwość kontynuowania pracy systemu jako całości w przypadku awarii jednego z modułów itd.

Niestety problem projektowania systemów monitorowania jest wielowymiarowy i należy podchodzić do problemu pod różnymi aspektami z uwagi na to, że układy napędowe przenośników taśmowych pracują w zmiennych warunkach eksploatacyjnych, które zasadniczo wpływają na postać sygnału diagnostycznego, dlatego należy identyfikować te warunki i włączyć je do procesu diagnozowania. Nasuwa się więc wniosek, iż system diagnostyczny dla maszyn górniczych musi być dedykowany.

LITERATURA

- [1] *Barszcz T.*: Advanced methods for condition monitoring of machinery in distributed online monitoring and diagnostic system. Kraków–Radom: Akademia Górniczo-Hutnicza, Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, 2009
- [2] *Bartelmus W.*: Diagnostyka Maszyn Górniczych górnictwo odkrywkowe. Śląsk, Katowice, 1998
- [3] *Bartelmus W., Zimroz R.*: Diagnostyka układów napędowych maszyn górnictwa odkrywkowego. Górnictwo Odkrywkowe, R. 49, nr 5/6, 2007
- [4] *Gładysiewicz L., Król R., Zimroz R.*: Problems of maintenance of belt conveyers (In Polish, Problemy obsługi technicznej przenośników taśmowych). Przegląd Górniczy 3/4 2010
- [5] *Hardygóra M., Bartelmus W., Zimroz R., Król R., Błażej R.*: Maintenance, diagnostics and safety of belt conveyors in the operations. Transport & Logistics (Belgrade). 2009, spec. iss. 6
- [6] *Leśniewski K., Przytułski M.*: System zdalnej diagnostyki układów sterowania maszyn podstawowych. Węgiel Brunatny 2007, nr 2/59
- [7] *Migdal W.*: Rola informatyki przemysłowej w procesie zintegrowanej informatyzacji przedsiębiorstwa na przykładzie górnictwa odkrywkowego. Górnictwo i Geoinżynieria 2007, R. 31, z. 2
- [8] *Rosseger A., Borczyk Z.*: Sterowanie i automatyzacja procesów technologicznych w kopalniach węgla brunatnego. Górnictwo Odkrywkowe, Vol. 47, nr 6, 2005
- [9] *Zimroz R.*: Diagnozowanie przekładni zębatych w układach napędowych przenośników taśmowych. Transport Przemysłowy, nr 4, 2007
- [10] *Zimroz R.*: Diagnozowanie przekładni zębatych w układach napędowych przenośników taśmowych — wykrywanie uszkodzeń lokalnych w warunkach zmiennego obciążenia. Transport Przemysłowy, nr 1, 2008
- [11] *Zimroz R.*: O problemie detekcji uszkodzeń łożysk tocznych w układach napędowych przenośnika taśmowego. Transport Przemysłowy i Maszyny Robocze, nr 2, 2008
- [12] *Zimroz R., Król R., Hardygóra M., Bartelmus W., Gładysiewicz L.*: Condition monitoring system for drive units in belt conveyor. Transport & Logistics (Belgrade), memoriałne čís. 7, 2010
- [13] *Żółtowski B., Cempel C., (Eds.)*: Inżynieria diagnostyki maszyn, PTDT ITE PIB Radom, Warszawa, Bydgoszcz, Radom 2004