

dr inż. Marcin Michalak^{1,2}, dr Marek Sikora^{1,3}, dr inż. Jurand Sobczyk²

¹Institut Informatyki
Politechnika Śląska
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Polska
E-mail: {Marek.Sikora, Marcin.Michalak}@polsl.pl

²Somar S.A.
ul. Karoliny 4, 40-186 Katowice, Polska
E-mail: {M.Michalak, J.Sobczyk}@somar.com.pl

³Institut Technik Innowacyjnych EMAG
ul. Leopolda 31, 40-189 Katowice, Poland
E-mail: Marek.Sikora@emag.pl

Analiza pracy łańcucha przenośnika ścianowego w oparciu o analizę harmoniczną

Keywords: *diagnostyka urządzeń, analiza harmoniczna, przenośnik ścianowy*

Abstract: Artykuł opisuje zastosowanie analizy harmonicznej do analizy stanu łańcucha przenośnika ścianowego. Poprawna i stabilna praca łańcucha wiąże się zarówno z bezpieczeństwem prowadzenia prac jak i ekonomiczną wydajnością procesu. Celem przeprowadzonych badań było wskazanie możliwości wykrywania zmian pracy przenośnika związanych z uszkodzeniem bądź przeprowadzoną w sposób nieprawidłowy procedurą zmiany długości łańcucha. Obserwacja pracy łańcucha przenośnika polegała na monitorowaniu poboru prądu przez trzy silniki napędzające przenośnik. Analizie poddano blisko 26 000 uruchomień, jakie odnotowano w okresie 20 miesięcy pracy przenośnika. W pracy opisano etap wstępnej analizy surowych danych pomiarowych, a także analizy danych przekształcony transformacją Fouriera. W rezultacie analizy danych zaproponowano procedury diagnostyczne pozwalające sygnalizować odstępstwa od normalnych warunków pracy przenośnika.

1. Wstęp

W przemyśle, w tym także w górnictwie węgla kamiennego, obserwuje się znaczący wzrost znaczenia informacji pochodzącej z systemów monitorowania urządzeń. Zasadniczym zadaniem systemu monitorowania jest wizualizacja wartości parametrów odpowiedzialnych za przebieg monitorowanego procesu (np. pobór prądu, temperatura, poziomy i ciśnienia płynów (chłodniczych, hydraulicznych) itd.).

Można uznać, że w obecnej chwili funkcjonalność systemów monitorowania zapewnia pełne monitorowanie i wizualizację dowolnego procesu przemysłowego (produkcji, pracy maszyn i urządzeń, zagrożeń naturalnych itd.). Dane gromadzone przez te systemy wykorzystywane są głównie do bieżącej wizualizacji i raportowania.

W obecnej chwili coraz częściej producenci oprogramowania i użytkownicy systemów monitorowania wskazują na potrzebę analizy danych gromadzonych w repozytoriach tych systemów. W szczególności celem takiej analizy może być, zdefiniowanie modeli diagnostycznych monitorowanych urządzeń [2,7,15]. Identyfikacja modelu diagnostycznego może odbywać się na drodze zaplanowanych eksperymentów lub na podstawie analizy danych

gromadzonych w czasie eksploatacji urządzenia. W niniejszym artykule koncentrujemy się na tym drugim podejściu. Na podstawie danych gromadzonych rutynowo przez system monitorowania kompleksu ścianowego SMOK [13], prezentujemy jak zastosowanie transformacji Fouriera może zostać wykorzystane do wykrywania zmian długości łańcucha przenośnika ścianowego (w szczególności poprzez łączenie łańcuchów o różnych parametrach).

Niniejsza praca zorganizowana jest w następujący sposób: w kolejnym rozdziale przedstawiono krótko przegląd prac związanych z analizą pracy maszyn górniczych, w szczególności przenośników ścianowych. W dalszej części opisano etapy wstępnego przetwarzania danych i zasadniczą część przetwarzania zarejestrowanych sygnałów. Następnie przedstawiono modele diagnostyczne, bazujące na analizie wielkości nazwanej w pracy *okresem zasadniczym*.

2. Analiza pracy przenośników ścianowych

Problem monitorowania oraz diagnozowania stanu maszyn użytkowanych w przemyśle wydobywczym poruszano m.in. w pracach [2,4,5,6,10,11,15]. Obszernie i przeglądowo tematyka ta poruszana jest w pracach [2,5,15]. W pracach [2,15] przedstawiono również nowe metody ekstrakcji i przetwarzania cech diagnostycznych w celu odkrywania nowych relacji diagnostycznych. W szczególności część pracy [2] poświęcono diagnostyce przenośników taśmowych wykorzystywanych, jako główne urządzenie transportowe w przemyśle wydobywczym. W pracy [11] monitorowano pobór prądu oraz temperaturę organu urabiającego kombajnu chodnikowego. Na tej podstawie zdefiniowano trzy stany pracy kombajnu. Dwa stany spośród zidentyfikowanych stanów opisywały różne ale poprawne warunki prowadzenia robót górniczych. W pracy tej zdefiniowano także parametr określający wydajność całego układu chłodzenia kombajnu.

Diagnostyka przenośników ścianowych była przedmiotem m.in. prac [4,6,10]. W [4] przedstawiono sposób wykrywania uszkodzeń rynny przenośnikowej na odspągowej stronie przenośnika. W oparciu o analizę poboru prądu przez silniki napędzający przenośnik ścianowy podczas zmiany remontowej uszkodzenie zostało zlokalizowane z dokładnością do jednej sekcji. W [6] zaproponowano kompleksowy system zarządzania podzespołami przenośnika taśmowego, który pozwala na generowanie raportów o charakterze: ewidencyjnym, eksploatacyjnym i analitycznym. Raporty te pozwalają na ocenę monitorowanych w systemie przenośników.

W pracy [10] przedmiotem analizy jest prąd pobierany przez silniki napędzające przenośnik. Rezultatem prowadzonych badań jest zaproponowanie raportów podsumowujących parametry pracy silnika z uwzględnieniem poziomu przekroczeń wartości prądu znamionowego jak również czasu trwania tych przekroczeń. Ponadto zaproponowano również reguły opis parametrów pracy silnika, w oparciu o reguły asocjacyjne [1].

3. Akwizycja danych pomiarowych

Wyniki prezentowane w dalszej części artykułu uzyskano na podstawie analizy poboru prądów każdego z silników napędzających układ transportowy przenośnika. Analizie poddano dane pochodzące z dwóch okresów eksploatacji przenośnika. W dalszej części artykułu, przedział czasu pomiędzy uruchomieniem i wyłączeniem przenośnika nazywany będzie *uruchomieniem*. W pierwszym okresie (ozn. P) trwającym ponad 19 miesięcy, zaobserwowano ponad 24 500 uruchomień przenośnika, w drugim okresie (ozn. NP) odnotowano ponad 1200 uruchomień. Najbardziej istotna z punktu widzenia analizy danych była informacja o tym, że w okresie drugim na pewno zastąpiono część łańcucha innym.

Niestety, informacja o różnicy w budowie obu łańcuchów nie była dostępna, zatem nie można było założyć czy zastępująca część łańcucha składała się z ogniw o innej wielkości czy też może zgrzebła znajdowały się w innych odstępach.

Obserwacja pracy przenośnika polegała na pomiarze prądu pobieranego przez każdy z trzech silników przenośnika z jednosekundową częstotliwością. Silniki oznaczane w pracy jako M1 i M2, pełniły funkcję „ciągnącą”, zadaniem silnika oznaczonego jako M3 było wyciąganie łańcucha spod przenośnika (zawracanie). Analizowany przenośnik wyposażony był w dwubiegowy układ rozruchowy.

3.1. Wstępne przetwarzanie danych

Celem analizy była ocena pracy przenośnika w pewnym stanie ustalonym, w danych pomiarowych związanych z każdym uruchomieniem pominięto dwie pierwsze fazy przenośnika: pracę na biegu wolnym oraz moment przełączania silników z biegu wolnego na szybki. Czas fazy przełączania biegów i związany z tym wzrost wartości prądów ustalono na podstawie obserwacji na 20 sekund od chwili włączenia biegu szybkiego.

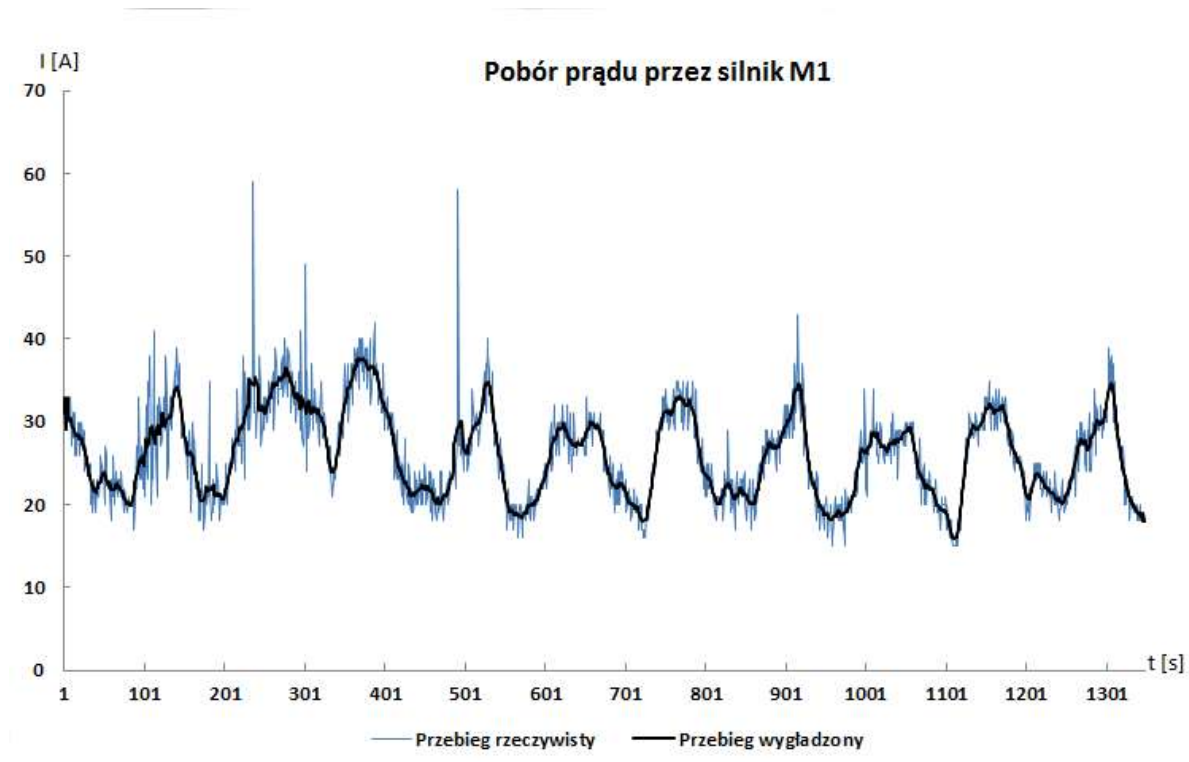
W kolejnym kroku przetwarzania danych, z analizy odrzucono wszystkie uruchomienia, których czas trwania był krótszy niż 80 sekund, gdyż zakładając prędkość przesuwania przenośnika wynoszącą około 1.5 m/s w tym czasie przenośnik przebywał drogę krótszą niż długość ściany (wynosiła ona powyżej 120 m).

Ostatni etap wstępnego przetwarzania danych stanowiło ich wygładzenie. Proces wygładzania polegał na uśrednianiu wartości poboru prądu na podstawie n poprzedzających i n następujących pomiarów (średnia krocząca).

Przyjmując jako $x(i)$, niewygładzoną wartość prądu w chwili i , wartość wygładzona w chwili i wyraża się wzorem (1):

$$\hat{x}(i) = \frac{\sum_{j=i-n}^{i+n} x(j)}{2n+1} \quad (1)$$

Gdzie: $\hat{x}(i)$ oznacza nową, wygładzoną wartość, n jest parametrem wygładzania, którego wartość ustalono na 5 (co odpowiada uśrednianiu dziewięciu kolejnych wartości). Wartość ta pozwalała zachować kompromis pomiędzy odfiltrowaniem szybkozmiennych składowych przebiegu natężenia prądu a zachowaniem charakteru samego przebiegu. Wartość została wyznaczona w oparciu o obserwację jej wpływu na charakter przebiegów dla losowej grupy 30 długich (ponad 120 s) uruchomień. Dla pierwszych czterech oraz ostatnich czterech pomiarów nie przeprowadzono uśredniania. Przykładowe porównanie przebiegu oryginalnego oraz wygładzonego przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Porównanie niewygładzonych i wygładzonych danych, opisujących pobór prądu przez jeden z silników.

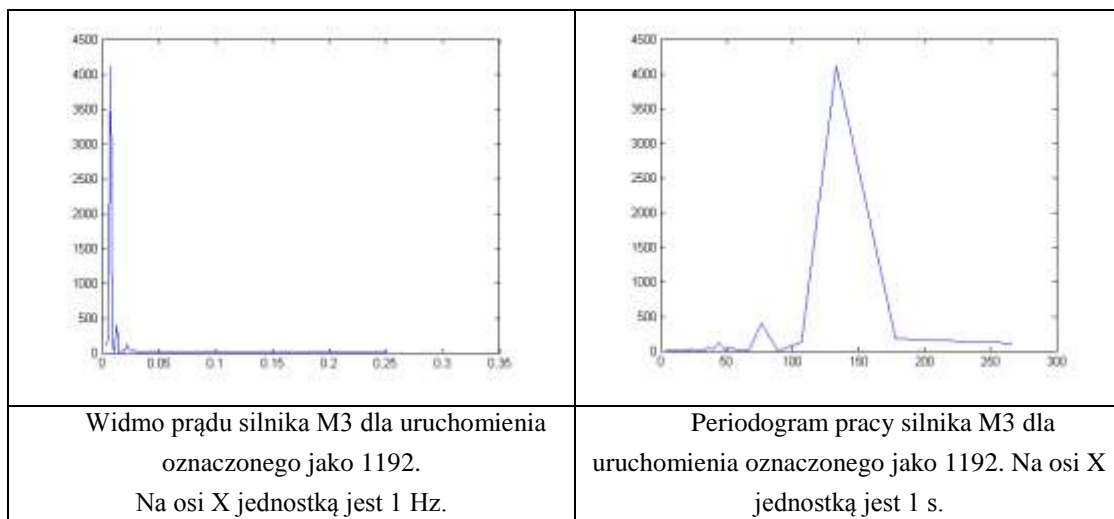
3.2. Transformacja danych w dziedzinę częstotliwości

Diagnostyka łańcucha znajdującego się w przenośniku ma na celu badanie okresowości jego przetaczania się przez przenośnik. Celem badań jest sprawdzenie czy w czasie eksploatacji przenośnika da się zarejestrować okresowość pracy oraz czy zmiany okresowości mogą zostać powiązane z uszkodzeniami lub przeprowadzonymi w sposób nieprawidłowy „naprawami” łańcucha.

Należy zaznaczyć, że niemożliwa jest diagnostyka poszczególnych ogniwi łańcucha, dzieje się to z powodu częstotliwości próbkowania danych pomiarowych. Okres próbkowania w systemie monitorowania wynosi jedną sekundę, przenośnik w czasie swojej pracy porusza się z prędkością około 1.5 m/s ($\pm 10\%$), wynika z tego że pomiędzy dwoma kolejnymi próbkami przenośnik na ogół przebywa drogę dłuższą niż długość pojedynczego ogniwa.

Do zgromadzonych danych pomiarowych zastosowano transformację Fouriera. Dla każdego z silników otrzymano widmo częstotliwości zmian natężenia prądu. Po przeanalizowaniu widm dla wielu silników z wielu uruchomień zaobserwowano, że początkowe wartości widma (odpowiadające najniższym częstotliwościom) przyjmują niewspółmiernie wysokie wartości (zwłaszcza dla pierwszego argumentu, odpowiadającego składowej stałej sygnału), zniekształcając tym samym widmo pracy silników. Stąd też uznano, że dziedzina widma powinna zostać pomniejszona o początkowe argumenty. Ostatecznie ustalono, że wykluczane będą pierwsze dwa pierwsze argumenty uzyskanego rozkładu.

Ponieważ wartości rozkładu wykazywały największą istotność w początkowej (najniższej) dziedzinie częstotliwości (ułamkowe części herca) postanowiono zamiast w dziedzinie częstotliwości poruszać się w dziedzinie czasu. Dalsza analiza opierała się zatem na obserwacji periodogramu, obrazującego jak wejściowy przebieg zmiany natężenia prądu rozkłada się na składowe sinusoidalne zmiany o określonym okresie. Porównanie widma oraz periodogramu dla pewnego wybranego uruchomienia przedstawia Rys. 2.



Rys. 2. Ilustracja przekształcania widma w periodogram.

W podanym przykładzie, dla każdego pojedynczego uruchomienia i jednocześnie dla każdego z trzech silników, otrzymano wykresy przedstawiający siłę zmian natężenia prądu w zależności od okresu tychże zmian. Dalsza analiza danych skupiła się na maksimach lokalnych w otrzymanych periodogramach. Dla każdego z silników pod uwagę wzięto pięć okresów charakteryzujących się największymi maksimami lokalnymi w periodogramie sortując je od najbardziej znaczącego. Okresy te oznaczono: M11, M12, ..., M15 i analogicznie M21, M22, ..., M25 oraz M31, M32, ..., M35.

4. Analiza pracy silników przenośników ścianowych

Po analizie periodogramów, w sposób taki jak opisano to w poprzednim rozdziale, każde uruchomienie przenośnika charakteryzowane było przez wektor 15 liczb. Analiza uzyskanego zbioru danych wykazała, że nie można ustalić zależności pomiędzy *zasadniczym okresem* (przez *zasadniczy okres* T rozumiemy czas, w którym łańcuch przebywa drogę równą podwojonej długości przenośnika), a jedną (np. największą) wartością w periodogramie.

Pierwsza próba identyfikacji zasadniczego okresu polegała na obliczeniu średnich wartości M11, M21 i M31, oddzielnie dla uruchomień uznanych za poprawne (uruchomienia z okresu P) i uruchomień niepoprawnych (uruchomienia z okresu NP). Średnie wartości M11, M21, M31 dla uruchomień poprawnych oznaczono jako γ_i , $i \in \{1,2,3\}$. Średnie wartości M11, M21, M31 dla uruchomień niepoprawnych oznaczono jako β_i , $i \in \{1,2,3\}$. Następnie dla każdego uruchomienia obliczano odległość pomiędzy γ_i , i M11, M21 i M31 oraz β_i , i M11, M21 i M31. Na tej podstawie próbowano klasyfikować uruchomienia jako poprawne bądź niepoprawne. Największą dokładność uzyskano dla średnich γ_3 i β_3 . Jednak uzyskane wyniki, nie były zadowalające, gdyż wariancja zmiennej M31 dla uruchomień poprawnych i niepoprawnych była bardzo duża. W efekcie czego, algorytm realizujący przedstawiony sposób klasyfikacji charakteryzował się niską czułością i swoistością (tzn. duża liczba uruchomień poprawnych rozpoznawana była jako uruchomienia niepoprawne i odwrotnie)

Konieczne było podjęcie działań, prowadzących do sytuacji, w której wariancja najsilniejszego okresu wynikającego z analizy periodogramów silników M3, M2, M1 byłaby jak najmniejsza (przy czym określamy taki filtr aby minimalizować wariancję dla uruchomień poprawnych, nie zwracając uwagi na uruchomienia niepoprawne zakładając że w przypadku uruchomień niepoprawnych zasadniczy okres powinien się zmienić).

Podjęto zatem następujące działania:

1. Usunięto uruchomienia o czasie krótszym niż 4 minuty. Dla uruchomień trwających krócej niż 4 minuty w przeważającej liczbie przypadków najsilniejszy okres wynosił poniżej 70 sekund, uznano zatem, że długość łańcucha jest dłuższa niż 110 metrów, dlatego okresy te uznano za niepoprawne;
2. W celu wyznaczenia zasadniczego okresu pozwalającego odróżnić uruchomienia poprawne od niepoprawnych ustalono następującą regułę logiczną (*RL*):

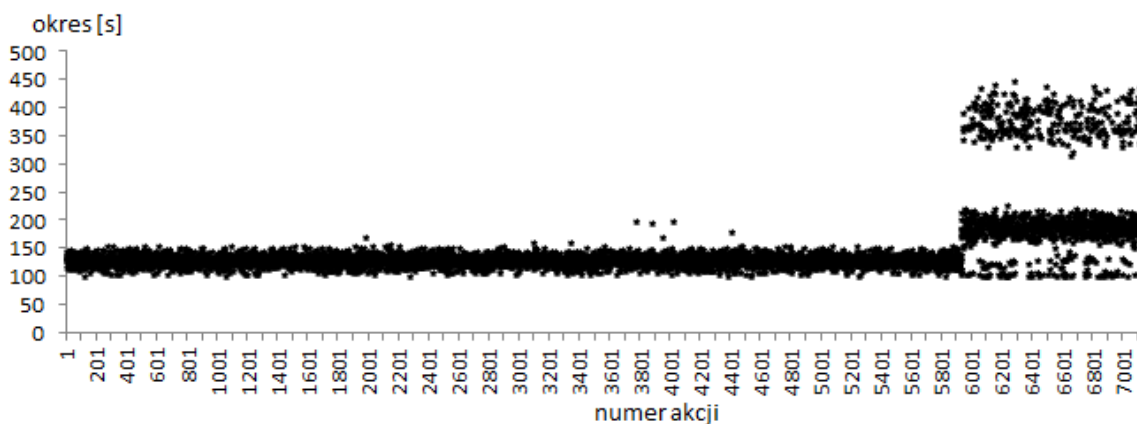
```

IF M31=M21=M11 THEN T=M31
ELSE
IF ((M31=M22=M12) OR (M31=M23=M13) OR (M31=M24=M14) OR
(M31=M25=M15)) THEN T=M31
ELSE
IF ((M31<M22) AND (M22=M12) AND (Czas>300)) THEN T=M22
ELSE T=M31

```

W powyżej formule widać, że konieczne było dalszej wydłużenie czasu trwania uruchomienia do 5 minut (300 sekund), pozostała część formuły odpowiedzialna jest niejako za negocjowanie długości zasadniczego okresu, jaki da się zidentyfikować w periodogramie

Stosując przedstawioną powyżej metodykę uzyskano średnią wartość zasadniczego okresu dla uruchomień poprawnych równą $\gamma=117$ s, z odchyleniem standardowym $\sigma=36.28$. Dla uruchomień niepoprawnych wartości te wynosiły $\beta=158.43$ s, $\sigma=105.66$. W celu dalszego zmniejszenia wariancji zasadniczego okresu dla uruchomień poprawnych, usunięto wszystkie uruchomienia dla których okres zasadniczy $T<100$. Ostatecznie uzyskano 7125 uruchomień, spośród których dla uruchomień poprawnych średnia zasadniczego okresu wynosiła $\gamma=128.45$, a odchylenie standardowe $\sigma=8.63$ (Rys. 3.).



Rys. 3. Wykres zasadniczego okresu każdego uruchomienia po ostatecznej filtracji danych.

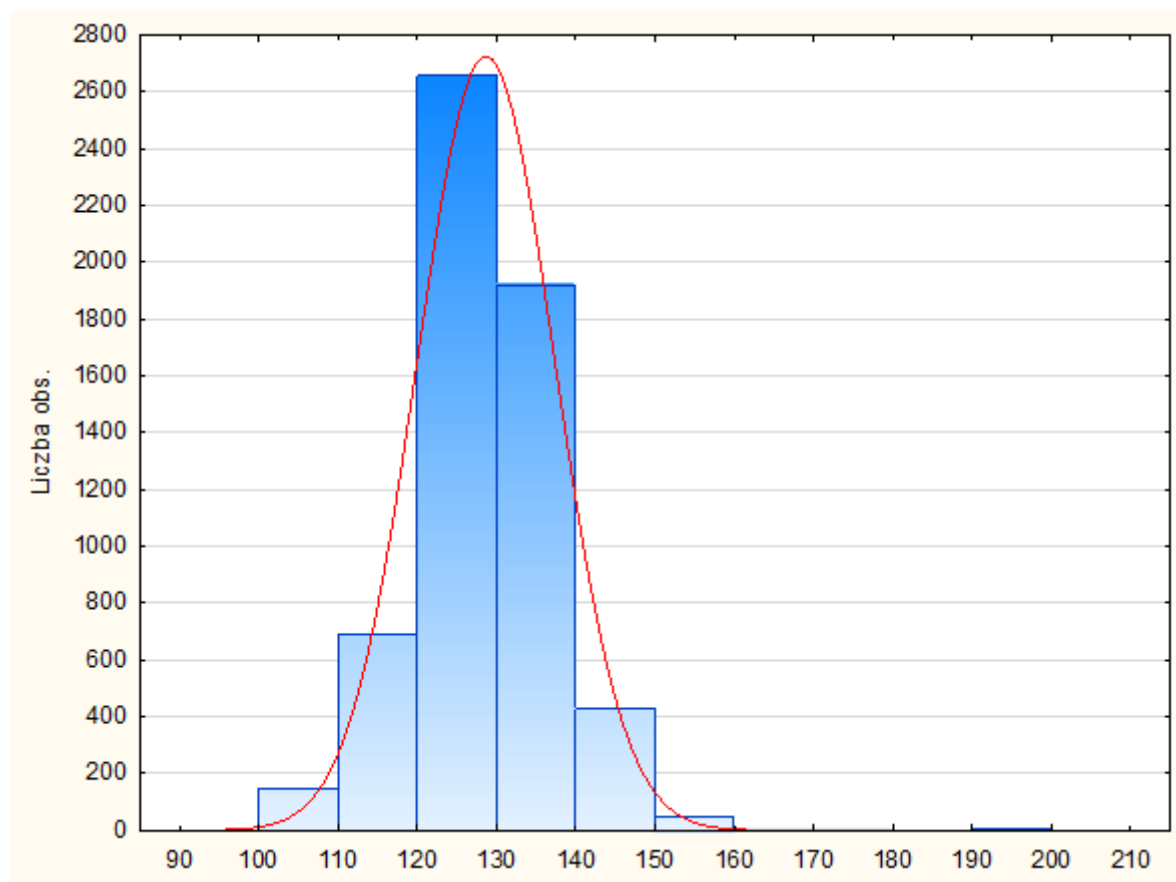
Przedstawiony sposób filtracji i identyfikacji okresu zasadniczego nie pozwala co prawda na diagnostykę przonośnika po każdym uruchomieniu, gdyż uruchomienia krótsze od 5 minut nie zostaną poddane ocenie, mimo tego uzyskujemy jednak możliwość diagnostyki średnio dla co drugiego uruchomienia. Średnia, dzienna liczba uruchomień wynosiła w badanym okresie czasu 25, natomiast średnia dzienna liczba uruchomień, dla których można przeprowadzić procedurę diagnostyczną wynosi 12.

Obecnie można już przeprowadzać procedurę diagnostyczną za pomocą parametrów γ i β . Jednakże będzie to procedura diagnostyczna dla konkretnego typu zmiany warunków pracy

przenośnika (wydłużenie łańcuch poprzez połączenie różnych łańcuchów). Aby diagnozować również nieznanne typy awarii należy monitorować czy zasadniczy okres oraz jego odchylenie standardowe zmienia się.

Rozkład zasadniczego okresu dla uruchomień prawidłowych był rozkładem normalnym (przeprowadzono test W Shapiro-Wilka), dziewięćdziesiąt pięć procent uruchomień powinno się zatem mieścić w przedziale $[\gamma - 1.95996\sigma, \gamma + 1.95996\sigma]$. Wydaje się, że można założyć, że rozkład zasadniczego okresu będzie rozkładem normalnym, z różnymi wartościami średniej (γ) oraz odchylenia standardowego σ . Gdyby jednak okazało się że tak nie jest, to w mocy pozostaje zawsze nierówność Czebyszewa, która mówi, że dla dowolnego $k > 1$ prawdopodobieństwo, że wartość losowo wybranej cechy różni się od wartości oczekiwanej o więcej niż $\pm k\sigma$ wynosi co najwyżej $1/k^2$, czyli poza przedziałem $[\gamma - 2\sigma, \gamma + 2\sigma]$ leży co najwyżej 25% wartości cechy.

Informacje te mogą zostać wykorzystane w taki sposób, że jako nieprawidłowe uruchomienie (a w zasadzie: różniące się od wzorca uznanego za poprawne diagnostycznie) będziemy uważać takie, którego okres zasadniczy nie będzie mieścił się w przytoczonych przedziałach. W takim przypadku użytkownik miałby możliwość przeglądania przebiegów prądów ze wszystkich trzech silników oraz przeglądania periodogramów. W efekcie czego, mógłby kwalifikować uruchomienie jako rzeczywiście nieprawidłowe lub np. zmieniać wartość zasadniczego okresu jeśli wyraźnie wynikałoby to z periodogramu, a tym samym rzeczywistej przebudowy przenośnika. Druga możliwość wiązałaby się z fazą aktualizacji parametrów stosowanych w procedurze diagnostycznej. Często bowiem informacje o przebudowie struktury monitorowanego urządzenia czy też jego lokalizacji, wprowadzane są do systemów diagnostycznych, czy też systemów monitorowania, z opóźnieniem.



Rys. 4. Normalność rozkładu zasadniczego okresu dla prawidłowych uruchomień.

Aby w większym stopniu ograniczyć liczbę interwencji użytkownika można uznawać za uruchomienia nieprawidłowe tylko te, dla których okres zasadniczy będzie tzw. wartością odstającą.

Dla odfiltrowanych okresów zasadniczych można policzyć wartości mediany M oraz pierwszego i trzeciego kwartyła (odpowiednio Q_1 i Q_3), wtedy rozstęp międzykwartyłowy IQR wyraża się wzorem (2)

$$IQR=Q_3-Q_1 \quad (2)$$

Wartości leżące w przedziałach $(Q_3+1.5IQR, Q_3+3IQR]$ oraz $[Q_1-3IQR, Q_1-1.5IQR)$ uznaje się za wartości odstające. Obserwacje większe niż Q_3+3IQR i mniejsze niż Q_1-3IQR uznaje się za obserwacje ekstremalnie odstające.

W przypadku diagnostyki, o której mowa w niniejszym artykule, użytkownik przyglądałby się wszystkim uruchomieniom, dla których zarejestrowano odstające obserwacje w zakresie zasadniczego okresu.

Zbiorcze zestawienie pokazujące dokładność różnych metod diagnostyki przenośnika przedstawiono w tabelicy 1. Kolumna Poprawne/Poprawne oznacza liczbę uruchomień, które procedura diagnostyczna w prawidłowy sposób uznała za Poprawne. W kolumnie Niepoprawne/Niepoprawne zamieszczono informacje na temat liczby uruchomień, które procedura diagnostyczną w sposób prawidłowy uznała z Niepoprawne. Pozostałe kolumny zawierają informację o błędach porównywanych procedur diagnostycznych (w szczególności o liczbie tzw. fałszywych alarmów). Weryfikacja procedur diagnostycznych odbywała się na tym zbiorze danych, który był podstawą do ich zdefiniowania.

Tabela 1. Porównanie dokładności różnych metod diagnostyki przenośnika

Metoda	Poprawne/ Poprawne	Poprawne/ Niepoprawne	Niepoprawne/ Niepoprawne	Niepoprawne/Poprawne
Rozkład normalny (2σ)	5713	212	123	1077
Rozkład normalny (1σ)	5119	806	316	884
Wartości odstające	5718	207	1146	54
Odległość od średnich γ, β	5921	4	923	277

Z przeprowadzonych analiz wyłania się następujący schemat diagnostyki przenośnika:

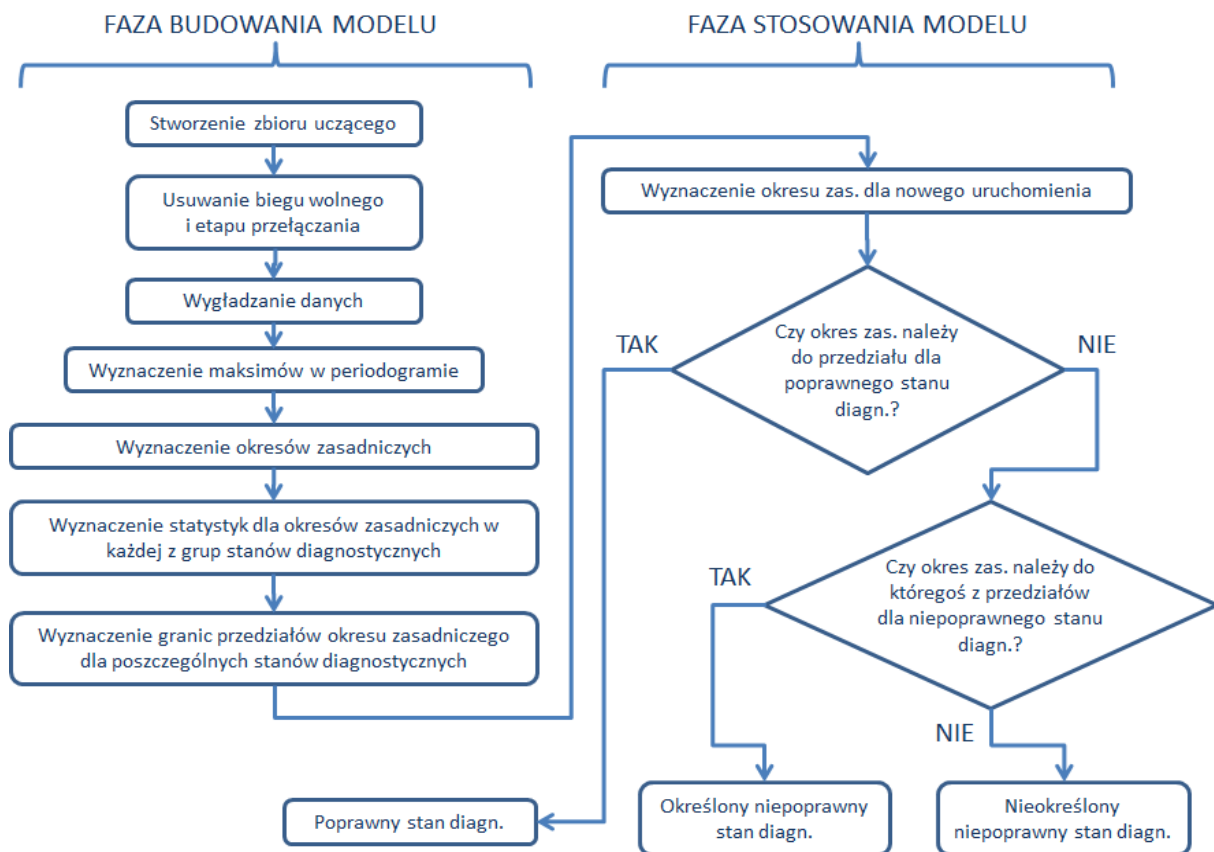
1. Wybierz grupę uruchomień odzwierciedlających poprawne działania przenośnika.
2. Wybierz grupę uruchomień odzwierciedlających niepoprawne działania silnika (jeśli dane są uruchomienia opisujące różne rodzaje awarii to dla każdego typu awarii utwórz oddzielną grupę). Punkt 2 może być pominięty, jeśli dysponujemy tylko przykładami uruchomień poprawnych.

(w dalszych punktach opisane działania dotyczą wszystkich trzech silników, działania te dotyczą jedynie uruchomień wybranych w kroku 2)

3. Dla wszystkich uruchomień przeprowadź proces wycinania biegu wolnego oraz przełączania na bieg szybki.
4. Dla wszystkich uruchomień przeprowadź proces wygładzania danych.

5. Dla wszystkich uruchomień przeprowadź proces wyznaczania transformaty Fouriera, pominięte dwie pierwsze składowe oraz wyznacz odwrotności argumentów w dziedzinie częstotliwościowej.
6. Dla wszystkich uruchomień, znajdź pierwszych pięć maksymalnych wartości na periodogramie oraz wyznacz argumenty, którym odpowiadają.
7. Określ dla każdego uruchomienia wartość okresu zasadniczego zgodnie z regułą *RL* (punkt 4.).
8. Wyznacz wartość średnią i odchylenie standardowe, a także kwartyle i rozstęp międzykwartylowy dla grupy uruchomień poprawnych.
9. Wyznacz wartości średnie i odchylenie standardowe dla wszystkich zidentyfikowanych grup uruchomień niepoprawnych.
10. Wyznacz granice dla wartości odstających (wzór (2)).
11. Dla każdego nowego uruchomienia przeprowadź procedurę sprawdzającą, czy parametry uruchomienia kwalifikują go, jako uruchomienie poprawne czy niepoprawne.

Schemat blokowy procedury przedstawiony jest na Rys. 5.



Rys. 5. Schemat blokowy procedury diagnostycznej.

Przedstawiony powyżej schemat postępowania zawiera pewne niedogodności. Największą z nich jest konieczność zdefiniowania reguły logicznej identyfikującej *okres zasadniczy*. Taka metodyka nie jest odpowiednia, jeśli nadrzędnym celem jest maksymalna automatyzacja procesu diagnostyki. Jak wiadomo, do zdefiniowania diagnostycznego modelu urządzenia można zastosować również algorytmy uczące się [7,15]. Ponieważ dysponowano zbiorem prawidłowych (okres A) i nieprawidłowych (okres B) uruchomień przenośnika, uruchomiono

algorytm indukcji reguł klasyfikacyjnych PART [3,14] i sprawdzono z jaką dokładnością wyznaczone reguły będą klasyfikować poprawne i niepoprawne uruchomienia przenośnika. Do obliczeń wykorzystano środowisko Weka [14]. Dokładny opis algorytmu PART można znaleźć w [3].

W zbiorze danych przekazanych do algorytmu każde uruchomienie charakteryzowane było przez wspomniany już w rozdziale 3.2 wektor 15 liczb (maksymalne lokalne w periodogramach) użytych również do identyfikacji reguły logicznej RL. Uzyskane wyniki zaprezentowano w tabelicy 2. W pierwszym wierszu tabelicy 2 zaprezentowano wyniki otrzymane przez zastosowanie 10-krotnej walidacji krzyżowej. W drugim wierszu zaprezentowano rezultatem analizy całego dostępnego zbioru przykładów (czyli bez wydzielania zbioru testowego).

Tabela 2. Dokładność automatycznej metody identyfikacji okresu zasadniczego

Metoda	Poprawne/ Poprawne	Poprawne/ Niepoprawne	Niepoprawne/ Niepoprawne	Niepoprawne/Poprawne
PART (10CV)	5875	51	1138	60
PART	5896	30	1173	25

Jak widać wyniki uzyskane przez algorytm PART oraz przez metodę diagnostyczną bazującą na odległości od średnich γ , β (ostatni wiersz tabelicy 1) są dobre. Przy czym najlepszą czułością i specyficznością charakteryzuje się metoda stosująca algorytm PART do rozpoznawania uruchomień poprawnych i niepoprawnych. W związku z czym w schemacie diagnostycznym (punkty 1-11), punkty 8 i 9 mogą zostać zastąpione działaniem polegającym trenowaniu klasyfikatora i włączeniu go do procesu diagnostycznego.

Faktem jest, że przedstawione metody rozpoznawania prawidłowej wartości *okresu zasadniczego* (w tym również metoda bazująca na algorytmie uczącym się) wymagają zbioru przykładów pozytywnych (uruchomień prawidłowych) oraz negatywnych (uruchomień nieprawidłowych). Ten sposób diagnostyki może być stosowany jedynie po pewnym okresie eksploatacji przenośnika. W początkowym okresie eksploatacji możemy uznać, że przenośnik działa prawidłowo, a analiza Fouriera (w szczególności wartości uznanych za odstające pod względem zasadniczego okresu) pozwala na identyfikację uruchomień kandydujących do zakwalifikowania, jako nieprawidłowe. Po zebraniu wystarczającej liczby przykładów negatywnych na podstawie analizy Fouriera (na podstawie cech będących rezultatem tej analizy) wyznaczany jest klasyfikator, który następnie stosowany jest do w pełni automatycznej diagnostyki.

Zauważmy również, że zbiór przykładów negatywnych mogą tworzyć uruchomienia uznane za nieprawidłowe z różnych powodów (z różnych przyczyn; ilustrujące różne rodzaje uszkodzeń). W tej sytuacji możemy mieć do czynienia z tzw. *plywaniem pojęć* (ang. *concept drift*), skutkującym koniecznością ponownego trenowania klasyfikatora, na rozszerzonym zbiorze przykładów negatywnych, w celu poprawy jego czułości i znamienności. Proces ten można jednak zautomatyzować.

Sugerowany tutaj sposób postępowania obejmujący: akwizycję zbioru przykładów pozytywnych i negatywnych, monitorowanie jakości klasyfikatora i jego ponowne trenowanie; z sukcesem zastosowano do: prognozowania sumarycznej energii wstrząsów sejsmicznych jaką rejestrowano w pewnym zadanym przedziale czasu w kopalniach węgla kamiennego [8] oraz do prognozowania stężenia metanu [9].

Oczywiście akwizycja wiedzy diagnostycznej (uruchomień prawidłowych nieprawidłowych) może przebiegać również drogą zaplanowanego eksperymentu [7]

postępowanie takie jest jednak w warunkach podziemnej eksploatacji przenośnika zdecydowanie utrudnione.

5. Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodykę postępowania diagnostycznego, umożliwiającego monitorowanie pracy przenośnika ścianowego, ze szczególnym uwzględnieniem diagnostyki łańcucha „transportującego”. Procedura diagnostyczna opiera się na analizie harmonicznej, analizie prądowej, monitorowaniu wartości odstających, a także indukcji reguł klasyfikacyjnych. W artykule przedstawiono wszystkie niezbędne kroki, które pozwalają na implementację przedstawionej procedury diagnostycznej. Uzyskane wyniki są dobre, opracowana procedura diagnostyczna potrafi z dużą precyzją wskazywać uruchomienia poprawne i niepoprawne. Procedura generuje niewielką liczbę tzw. fałszywych alarmów, co ma szczególne znaczenie dla dyspozytora monitorującego pracę większej liczby urządzeń. Planowane jest wdrożenie przedstawionej procedury diagnostycznej do systemu monitorowania DEMKop [12] (następcy systemu SMOK) .

Praca została sfinansowana przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego (umowa numer: UDA-POKL.04.01.01-00-106/09 – pierwszy autor) oraz przez Rektora Politechniki Śląskiej (grant RGH-2/RAu0/2012 – drugi autor). Autorzy także pragną podziękować anonimowym recenzentom, którzy służyli cennymi uwagami merytorycznymi.

Literatura

1. Agrawal R., Shirkant R. Fast algorithms for mining association rules. Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Databases (VLDB), 1994; 487-499.
2. Bartelmus W.: Condition Monitoring of Open Cast Mining Machinery. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
3. Frank, E., Witten, I.H.: Generating Accurate Rule Sets Without Global Optimization. Proceedings of the 15th International Conference on Machine Learning, 1998; 144–151.
4. Gąsior S.: Diagnosis of longwall chain conveyor, Przegląd Górniczy 2001; 57(7-8): 33-36.
5. Jurdziak L., Zimroz R.: Dlaczego diagnostyka maszyn się opłaca i ile można na tym zaoszczędzić? Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej 2004; 106:139–150.
6. Kacprzak M., Kulinowski P., Wędrychowicz D.: Computerized information system used for management of mining belt conveyors operation., Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability 2011; 2(50):81-93.
7. Korbicz J., Kościelny J.M., Kowalczyk Z., Cholewa W.: Fault Diagnosis: Models, Artificial Intelligence, Applications, Berlin: Springer, 2004.

8. Sikora M.: Induction and pruning of classification rules for prediction of microseismic hazards in coal mines. *Expert Systems with Applications* 2011, 38(6): 6748-6758
9. Sikora M., Krzystanek Z., Bojko B., Śpiechowicz K.: Application of hybrid machine learning method for description and on-line assessment of methane hazards in a mine excavation: *Journal of Mining Sciences* 2011, 47(4):493-505.
10. Sikora M., Michalak M.: Analiza pracy silników przenośników ścianowych – propozycje raportów i wizualizacji, *Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa* 2007, 5(436):17-26.
11. Sikora M., Michalak M.: Eksploracja baz danych systemów monitorowania na przykładzie obserwacji pracy kombajnu chodnikowego, (in: *Bazy Danych: Rozwój metod i technologii*, 429 – 437) Warszawa: WKŁ, 2008.
12. System DEMKop: <http://www.somar.com.pl/katalog-wyrobow/demkop,18,2,71>
13. System SMOK: <http://www.somar.com.pl/products/smok,18,2,48>
14. Witten I.H., Frank E.: *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2005.
15. Zimroz R.: *Metody adaptacyjne w diagnostyce układów napędowych maszyn górniczych*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2010.