

GÁBOR LADÁNYI

Doświadczenia związane z monitoringiem stanu maszyn w węgierskiej kopalni Márkushegy

Artykuł przedstawia uzyskane w ciągu kilku lat wyniki monitorowania drgań i podpisu prądu silników w kopalni w Márkushegy przed jej zamknięciem. Do analizy statystycznej użyto dużą ilość zarejestrowanych danych, które posłużyły do wyciągnięcia wniosków co do częstości występowania różnego rodzaju awarii sprzętu na dole i na powierzchni kopalni węgla. Wykazano znaczenie okresu kontroli dla możliwości monitoringu w celu zwiększenia czasu pracy urządzeń. Zdobyte doświadczenie, które zostało zaprezentowane w niniejszej pracy, może dostarczyć cennych wskazówek, przydatnych w planowaniu prac konserwacyjnych w kopalni na podstawie oceny stanu.

Słowa kluczowe: konserwacja oparta na ocenie stanu, monitorowanie drgań, przegląd podpisu prądu, przewidywanie awarii

1. WSTĘP

Zakład górniczy w Márkushegy, ostatnia kopalnia podziemna na Węgrzech, która pracowała nieprzerwanie od 1981 roku, został zamknięty w 2016 roku. Pod koniec działalności górniczej zakończono również działalność uzupełniającą, która wspierała (a czasami była niezbędna) działalność zasadniczą, czyli wydobycie węgla.

W zakres takiej działalności wchodziło prowadzenie pomiarów diagnostycznych drgań w celu uzyskania informacji na temat prac konserwacyjnych zależnych od stanu urządzeń działających w kopalni, w produkcji i transporcie.

Pod koniec lat 90. ubiegłego wieku, w kopalni używano narzędzi diagnostyki drgań do oceny stanu poszczególnych urządzeń. Faktycznym celem niniejszej prezentacji jest upowszechnienie wiedzy i doświadczeń zdobytych w wyniku tych działań w latach 2005–2016.

Początkowo nadzorowano tylko urządzenia napędowe przenośników taśmowych w przepływie transportu na powierzchni. Z biegiem lat, nadzorem objęto inne urządzenia, odgrywające równie ważną rolę w sprawnym funkcjonowaniu kopalni. W ciągu ostatnich kilku lat monitoringowi drgań i diagnostyce zostały poddane następujące maszyny:

- napędy przenośników taśmowych, zarówno na dole, jak i na powierzchni,
- sita,
- kruszarki,
- bębnowe kombajny ścianowe,
- wyciągi kopalniane,
- wentylatory.

2. MATERIAŁY I METODOLOGIA

Zakres niniejszego referatu nie pozwala na przedstawienie schematów konfiguracji pomiarów dla każdej grupy wyżej wymienionego sprzętu.

Najważniejsze wymagania pomiarowe zostały narzucone na zespół napędowy przenośnika taśmowego (napędy elektryczne, sprzęgła, przekładnia), w związku z czym przedstawiamy ten schemat konfiguracji na rysunku 1.

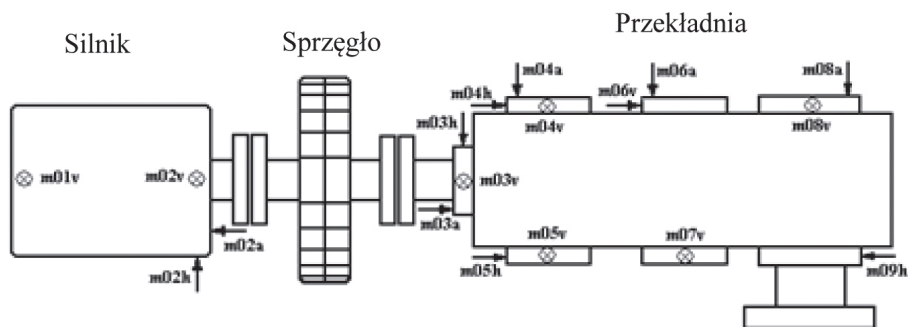
Jak widać, do diagnozy jednego zespołu napędowego zastosowano kilkanaście kierunków i punktów pomiarowych. W przypadku przedstawionym na rysunku 1, jest ich 18, co zostało podyktowane rozmiarem zespołu oraz ilością łożysk wewnątrz urządzenia.

W tabeli 1 podsumowano wymienione wyżej grupy sprzętu, z podaniem liczby zespołów oraz odpowiadającej im liczby punktów pomiarowych (kierunków), których jest w sumie 550.

Dla każdego punktu zarejestrowano co najmniej dwa widma, tj. 1100 widm. Ponieważ przegląd odbywa się dwa razy rocznie, a w przypadku niektórych urządzeń trzy razy na rok, daje to w sumie 2200 widm.

Zważywszy na ogromną liczbę pomiarów, zarejestrowane widma w okresie dziesięcioletniej działalności monitoringowej stanowią pokaźny zbiór danych, z których można uzyskać cenne informacje, posługując się prostymi narzędziami statystycznymi.

Poczynając od października 2018 roku, dodatkowo, oprócz diagnostycznych pomiarów drgań, wykonano pomiary diagnostyczne podpisu prądu silnika. Liczne maszyny kopalniane i sprzęt są uruchamiane przez trójfazowe klatkowe silniki wirnikowe.



Rys. 1. Układ konfiguracji pomiaru zespołu napędowego przenośnika taśmowego

W tego typu silnikach, po długim czasie działania następuje uszkodzenie prętów klatki, zazwyczaj wtedy, gdy są one często uruchamiane pod obciążeniem. W rezultacie wzrasta wewnętrzny opór elektryczny wirnika, słabną osiągi silnika i co za tym idzie, jego prędkość gwałtownie spada nawet pod zmniejszonym obciążeniem.

Tęgo rodzaju szkody można łatwo wykryć, analizując podpis prądu silnika. Szczegółowy opis tej kwestii znajduje się w [1] i [2]. Ta metoda diagnostycznego monitoringu została wprowadzona w przypadku najważniejszych silników elektrycznych, tak jak przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1
Maszyny poddane diagnostyce drgań

Lp.	Sprzęt	Elementy	Liczba zbadanych sztuk sprzętu	Liczba punktów pomiarowych
1	Zespoły napędowe przenośnika taśmowego	Silniki elektryczne Napędy przekładniowe Sprzęgła	21	450
2	Sita	Silnik elektryczne Łożyska wału Napędy pasowe	2	24
3	Kruszarki	Silniki elektryczne Łożyska wału Napędy pasowe	2	18
4	Wyciągi górnicze	Silnik elektryczne Napędy przekładniowe Sprzęgła	1	18
5	Ramiona kombajnu bębnowego	Silniki elektryczne Łańcuch przekładni napędu bębnowego	3	30
6	Wentylatory	Silnik elektryczne Łożyska	3	12

Tabela 2
Silniki elektryczne monitorowane metodą analizy podpisu prądu

Sprzęt	Napięcie znamionowe	Moc znamionowa	Liczba
Trójfazowy silnik elektryczny	1 kV; 6 kV	160–500 kW	>80

Zakres mocy znamionowej silników, dla których wykonano pomiary przy użyciu transformatorów mierzących prąd wynosił 160–500 kW, a ich napięcie znamionowe sięgało zwykle 6 kV.

Mniej silników pochodziło z zespołów napędowych sprzętu – ich napięcie wynosiło 1 kV, a moc kształtowała się w dolnym zakresie. Ponieważ silniki te pracu-

ją w ciężkich warunkach, ich monitorowanie było jak najbardziej uzasadnione.

3. WYNIKI

W tabelach 3–8 przedstawiono opis i liczbę przypadków wykrytego uszkodzenia.

Tabela 3
Awarie łożyska

Lp.	Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
1	Wyciąg górniczy	1	Silnik jest głośny, wibruje
2	Zespół napędowy szybu pochylonego	1	Wysoki poziom drgań w szybkiej fazie ruchu wału
3	Łożysko bębna przenośnika taśmowego	1	Suchość (brak smarowania)
4	Naciąg bębna przenośnika taśmowego	1	Diagnoza na podstawie wzrostu temperatury
5	Łożysko wału szybkiej fazy zespołu napędowego szybu pochylonego	1	Wysoki poziom drgań
6	Przenośnik taśmowy w 67 chodnikach	1	Wał jest luźny w łożysku
7	Łożysko silnika elektrycznego szybu pochylonego NU324	2	Wykrywany przez sygnał wibracji
8	Propozycje ulepszeń smarowania	5	Konsekwencje niewłaściwego smarowania
9	Łożysko silnika sita	1	Głośnie łożysko
10	Zniszczona obudowa łożyska kruszarki	1	Usterka nieprzewidziana diagnozą z uwagi na długi czas między przeglądami
11	Obluzowana obudowa łożyska kruszarki	1	Zużycie tarczy kruszącej wirnika kruszarki
	W sumie	16	–

Tabela 4
Awarie sprzęgieł

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Niewspółosiowość wałów sprzężonych	5	Wysoki poziom drgań po obu stronach sprzęgła
Niewyważone luźne połączenie	11	Zwykle występuje usterka pierścieni uszczelniających
Trzaski	1	
W sumie	17	–

Tabela 5
Awarie przekładni

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Usterka koła zębatego	6	Zazwyczaj para kół zębatach przekładni stożkowej
Główna przekładnia wyciągu górniczego	1	Nienormalna częstotliwość
W sumie	7	–

Tabela 6
Złamane pręty klatki

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Zniszczona klatka wirnika	12 – Z pomiaru podpisu prądu silnika	Złamane pręty w klatce
Wysokie drgania; Drgania, tarcie;	3 – Z pomiaru drgań	Dużo złamanych prętów klatki i/lub awaria łożyska
W sumie	15	–

Tabela 7
Obluzowanie

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Sita	1	Luźne podparcie łożyska
Silnik elektryczny	1	Rezonans podparcia
Obluzowana obudowa przekładni	1	Usterka mocowania
Tarcie obudowy silnika	1	Styk wirnik-tworNIK
Mimośrodowość wału	1	Luźny
W sumie	5	–

Tabela 8
Inne usterki

Sprzęt	Liczba	Opis symptomów
Problem z wentylacją na silniku L3	1	Zatkanie przez brud
Przegrzanie silnika K1/1	1	Hamulec nie zwalnia się w trakcie pracy urządzenia
Naciąg kompensatora momentu obrotowego	1	–
Różnica temperatur dwóch zespołów napędowych	1	Termowizja
Tarcie obudowy kombajnu	1	Łożysko dociśnięte przez nakrętkę
W sumie	5	–

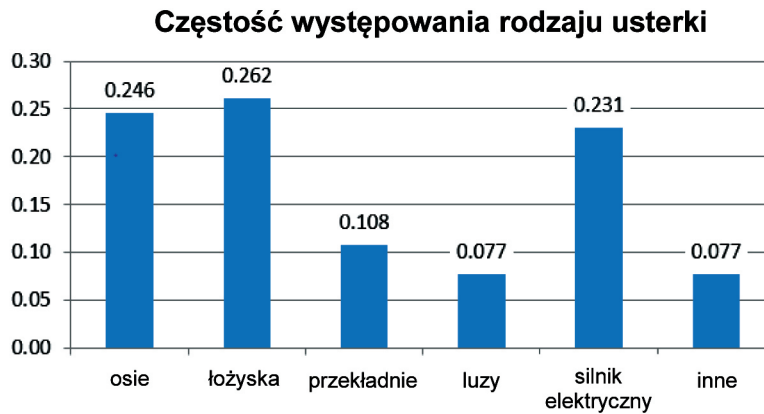
4. PODSUMOWANIE

Wnioski, jakie należy wyciągnąć z danych zaprezentowanych w tabelach, są łatwiejsze do wyciągnięcia, jeżeli przeliczy się względne częstotliwości każdej z grup usterek. Częstotliwości te podsumowano na rysunku 2.

Pierwsza nasuwająca się uwaga to fakt, że największą częstotliwość (~26%) obserwuje się w grupie usterek łożyska. Nieprzypadkowo więc producenci urządzeń do monitorowania drgań przykładają dużą wagę do opracowania i produkcji narzędzi pomocniczych (oprzyrządowanie, oprogramowanie) do wczesnej diagnostyki łożysk [3].

Druga powszechnie wykrywana awaria w badanym zestawie (24,6%) to niewspółosiowość sprzęgieł. Usterka taka w oczywisty sposób wywiera wpływ na powstanie poprzedniej grupy awarii. Faktycznie, niedokładne ustawienie sprzęgieł powoduje przeciążenia na łożyskach wspierających sprzężone wały [4–6].

W diagnostyce silnika elektrycznego dobrze wiadomo, że uszkodzenie klatki wirnika to powszechny problem. Źródłem drgań mechanicznych w tym przypadku jest często pulsacyjna siła elektromagnetyczna, więc zastosowanie pomiarów elektrycznych dostarcza dodatkowych informacji związanych ze stanem maszyny [4, 5].



Rys. 2. Względna częstość występowania awarii

Prawidłowy wybór okresu kontrolnego jest niezwykle ważny dla zwiększenia efektywności diagnozy. Dobrym przykładem jest usterka przedstawiona w rzędzie 10 tabeli 3, która nie została wykryta, ponieważ czteromiesięczny okres między przeglądami był za długi. W przypadku tego sprzętu pożądane byłoby skrócenie czasu pomiędzy kontrolami.

Można wywnioskować, że diagnoza oparta na drganiach i analizie podpisu prądu silnika przeprowadzana w ciągu ostatnich dziesięciu lat przed zamknięciem zakładu w Márkushegy przyczyniła się do zwiększenia dostępności zaangażowanego sprzętu i zmniejszenia przestojów powodowanych przez nieoczekiwane awarie.

Podziękowania

Artykuł został zrealizowany w ramach projektu „Zrównoważone Zarządzanie Surowcami Sieć Tematyczna – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010, stanowiącego część Programu Széchenyi 2020. Realizacja tego projektu jest wspierana przez Unię Europejską i współfinansowana przez Europejski Fundusz Społeczny.

Literatura

- [1] Gilmore R.J., Thomson W.T.: *Motor current signature analysis to detect Faults in induction motor drives – fundamentals, data interpretation, and industrial case histories*, Proceeding of the Thirty-Second Turbomachinery Symposium, Houston, Texas 2003.
- [2] Ladányi G., Ladányi G.: *Fault diagnostic of induction motors by using vibration and motor current analysis jointly*, GÉP 2013, 3: 16–20.
- [3] Brüel & Kjaer application notes, *Machines-Condition Monitoring using Vibration Analysis (The use of Spectrum Comparison for Bearing Fault Detection)*. A Case Study from Alma Paper Mill, Quebec, Canada (BO 0253-11).
- [4] Dömötör F. (red.): *Rezgésdiagnosztika I. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2008.
- [5] Dömötör F. (red.): *Rezgésdiagnosztika II. Főiskolai tankönyv*, Dunaújváros 2010.
- [6] Brüel & Kjaer application notes, *Vibration measurement in predictive maintenance* (BO 0094-11).

prof. GÁBOR LADÁNYI
 Intytut Górnicwa i Geotechniki
 Wydział Nauk o Ziemi
 Uniwersytet w Miskolcu
 3515 Miskolc, Egyetemváros
 gtblaga@uni-miskolc.hu