



Wykorzystanie informacji uzyskiwanych z monitoringu parametrów pracy do wprowadzania zmian technicznych w modernizowanych maszynach górniczych

Mirosław LEWICKI¹⁾, Tomasz KANIEWSKI²⁾, Paweł ŚLIWIŃSKI³⁾

¹⁾ dr inż.; KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnicze Lubin, Uczelnia Jana Wyżykowskiego w Polkowicach; email: miroslaw.lewicki@kghm.com

²⁾ mgr inż.; KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnicze Lubin, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej; email: tomasz.kaniewski@kghm.com

³⁾ mgr inż.; KGHM Polska Miedź S.A. Departament Energomechaniczny, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej; email: pawel.sliwinski@kghm.com

<http://doi.org/10.29227/IM-2020-01-23>

Submission date: 24-10-2019 | Review date: 03-02-2020

Abstrakt

Dane otrzymywane z poszczególnych punktów pomiarowych monitorowanych maszyn górniczych pozwalają na bezpośrednią obserwację zachowania maszyny w rzeczywistych warunkach dołowych. Wychwytywanie zachowań odbiegających od standardowych pozwala na przeprowadzanie działań korygujących. Możliwe jest oddziaływanie bezpośrednio na niekorzystne zachowania operatora. Możliwe jest również eliminowanie tych zdarzeń poprzez wprowadzanie ograniczeń technicznych wymuszających poprawne wykonywanie procedur przez operatora. Działania powyższe często sprowadzają się do modernizacji maszyn górniczych. Sprawdzenie wprowadzanych rozwiązań wykonuje się poprzez obserwację kontrolowanych parametrów kosztowo-produkcyjnych w ramach metody TCO jak również poprzez sprawdzanie poprawności monitorowanych parametrów. Wprowadzane nowoczesne rozwiązania są potwierdzane w zakresie skuteczności w realizacji cyklu produkcyjnego oraz pod względem efektywności kosztowej.

Słowa kluczowe: monitoring, modernizacja maszyn górniczych

1. Charakterystyka obszaru badawczego

1.1. Powiązanie monitoringu maszyn górniczych z kosztami

Udział maszyn górniczych posiadających zamontowany układ monitoringu został przedstawiony na rys. 1. Obejmuje on najbardziej kosztogenne grupy maszyn produkcyjnych. Maszyny, którym stawiane są bardzo wysokie wymagania produkcyjne przy zapewnieniu akceptowalnego poziomu dyspozycyjności. Bieżąca obserwacja kosztów ponoszonych na poszczególne maszyny odbywa się przy wykorzystaniu metody kosztów całkowitych TCO. Dysponowane oprogramowanie zbudowane w oparciu o hurtownię danych SAP BusinessObjects pozwala na bieżące wnioskowanie o korzyściach wynikających z właściwego doboru parku maszynowego [1]. Wybór producentów maszyn poparty jest udokumentowanymi danymi historycznymi.

Obszary działań powiązane z monitoringiem obejmują [3]:

- bieżącą diagnostykę stanu technicznego maszyn,
- predykcyjne utrzymanie maszyn,
- identyfikację potrzeb w zakresie szkoleń doskonalących umiejętności operatorów maszyn górniczych,
- analizę organizacji pracy maszyn w oddziałach wydobywczych.

Charakterystykę współdziałania obszarów monitoringu przedstawiono na rys. 2.

1.2. Ocena techniczna maszyn górniczych

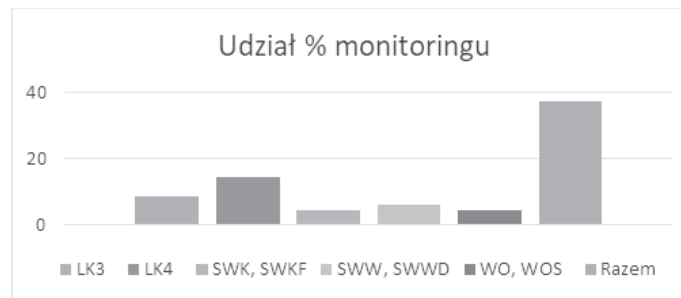
Maszyny załadunkowo odstawcze obejmują ładowarki kopalniane współpracujące z wozami odstawczymi. Dane

techniczne wybranych maszyn produkcji KGHM ZANAM przedstawiono w tab. 1. Wozy odstawcze muszą współpracować z ładowarkami, które z kolei posiadają przywilej pracy samodzielnej względnie współpracują z WO. Na rys. 3 przedstawiono omawiane maszyny górnicze.

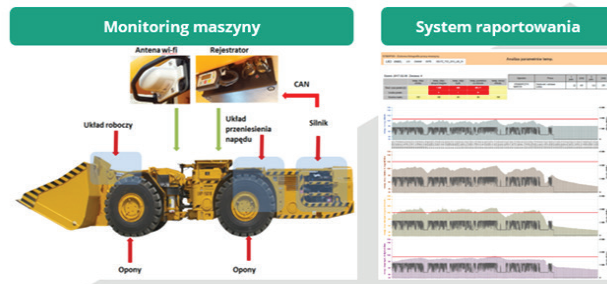
2. Modernizacja maszyn górniczych

2.1. Obserwacje przebiegów monitorowanych parametrów w modernizowanej LKP-1601B

Raporty kontrolne z monitoringu maszyn górniczych udostępniane są na bieżąco dla dozoru mechanicznego. Umożliwia to bezpośrednie oddziaływanie na operatorów, którzy dopuszczają do nadmiernych przeciążeń maszyn oraz pracują w górnych zakresach parametrów dopuszczalnych. Taka praca skutkuje przyspieszonym zużyciem podzespołów połączonym z częstymi włączeniami alarmów żółtych sygnalizujących możliwe przeciążenia. Wychwytywanie stanów parametrów niedopuszczalnych i zarazem powtarzających się u różnych operatorów wymusza działania prewencyjne [4]. Najprostszym i zarazem najskuteczniejszą metodą jest wprowadzanie modernizacji obejmującej przeciążone podzespoły. Modernizacje polegają głównie na przekonstruowaniu układów i polegają na wprowadzaniu rozwiązań uniemożliwiających niepoprawną pracę. Możliwe jest to przy wprowadzaniu specjalnych sterowników lub dodatkowych podzespołów konstrukcyjnych modyfikujących układy napędowe. Na rys. 4 przedstawiono sygnał pomiarowy z LK4 wskazujący na uszkodzenie układu napędowego.



Rys. 1. Udział % monitorowanych maszyn górniczych
Fig. 1. Percentage share of monitored mining machines



Rys. 2. Charakterystyka współdziałania obszarów monitoringu [2]
Fig. 2. Characteristics of cooperation of monitoring areas [2]



Rys. 3. Wóz odstawczy CB4-24TB oraz ładowarka LKP-1601B produkcji KGHM ZANAM [6]
Fig. 3. Haul truck CB4-24TB and loader LKP-1601B manufactured by KGHM ZANAM [6]

Akwizycja danych z monitoringu maszyn górniczych obejmuje:

- liczbę mierzonych parametrów,
- liczbę obiektów technicznych,
- czynniki ludzkie,
- zdarzenia losowe,
- kompletność mierzonych sygnałów,
- algorytmy przetwarzające,
- szczegółowe ewidencjonowanie zdarzeń,
- walidację sygnałów,
- inne czynniki.

Każdy z tych czynników stanowi istotny obszar badawczy wpływający na właściwą interpretację zdarzeń połączoną z podejmowaną prewencją. Zakres modernizacji ładowarki kopalnianej LKP-1601B obejmował zabudowę nowej skrzyni biegów wyposażonej w sterownik APC 312 w miejsce dotychczasowej skrzyni biegów. Wprowadzenie automatycznej skrzyni biegów pozwoliło na wykluczenie pojawiających się błędów podczas realizacji procesów produkcyjnych w obserwowanych monitorowanych parametrach ładowarki. Uzyskano po modernizacji skuteczne zabezpieczenie przed

przekroczeniami temperatury oraz przed nagłymi znacznymi wahaniami ciśnienia przy równoczesnej kontroli prędkości obrotowej koszy sprzęgłowych. Ponadto wyeliminowano możliwość zmiany kierunku jazdy pod obciążeniem.

W drugiej grupie ładowarek kopalnianych LKP-1601B modernizacje polegały na wprowadzeniu nowej chłodnicy silnika spalinowego ze wzmocnioną konstrukcją ramy przy rozmieszczeniu radiatorów do 8 szt./cal. Powyższa zmiana nie pogarszała parametrów wpływających na bezpieczną eksploatację maszyn. Ładowarki nadal spełniały przepisy zawarte w Deklaracji Zgodności. Modyfikacja miała na celu poprawę wydajności chłodnicy silnika spalinowego. Dodatkowo układ rurek w chłodnicy umożliwia skuteczniejsze utrzymywanie chłodnicy w czystości podczas realizacji procesu produkcyjnego.

2.2. Modernizacja WO CB4PCK

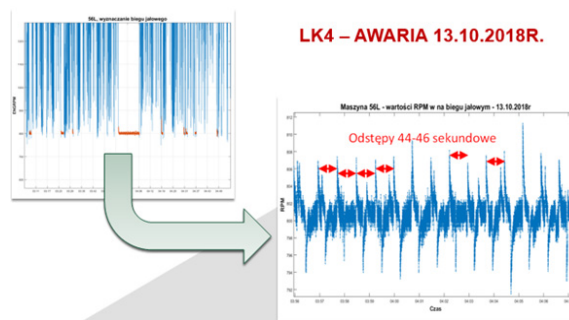
Raporty uzyskiwane z monitoringu WO CB4-20TB oraz CB4-24TB pozwalają na wychwytywanie stanów przeciążenia skutkujących skróceniem okresu użytkowania głównych podzespołów maszyn. Działania rozpoznawcze przeniesiono wprost do niemonitorowanych wozów odstawczych CB4PCK

Tab. 1. Dane konstrukcyjne omawianych maszyn górniczych produkcji KGHM ZANAM [6]

Tab. 1. Design construction data of the mining machines of KGHM ZANAM [6]

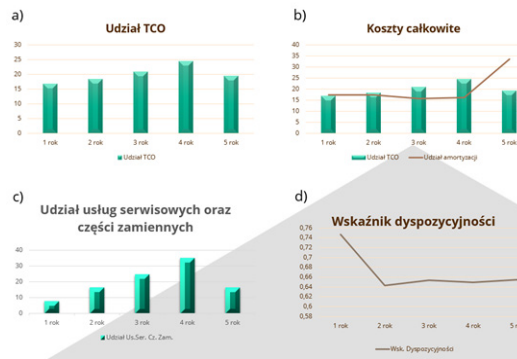
Typ	Oznaczenie	Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]	Masa całkowita [kg]	Pojemność łyżki [m ³]	Udźwig [t]	Moc silnika spalinowego [kW]	Klasa czystości spalin Stage
LK2	LKP-0805C	9 970	3 030	1750 / 2 100	26 800	3,5	8	138	
LK3	LKP-0900B	10 300	3 300	1 500 / 1 750	30 200	3,8 / 4,2	9	181	Stage 3A
LK4	LKP-1601B	11 650	3 300	2 350	47 300	8,5	16	295	Stage 3B

Typ	Oznaczenie	Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość [mm]	Masa całkowita [kg]	Pojemność skrzyni ładunkowej [m ³]	Max. ładowność [t]	Moc silnika spalinowego [kW]	Klasa czystości spalin Stage
WO	CB4PCK	9 600	3 300 / 3 350	1890 / 1950	22 400	11,1	20	136	
WO	CB4-20TB	10 300	3 350	1 900 / 2 000 / 2 100	26 000	11,1	20	149	Stage 3B
WOS	CB4-24TB	10 520	3 650	1 900 / 2 000 / 2 100	26 600	13	23,4	179	Stage 3B



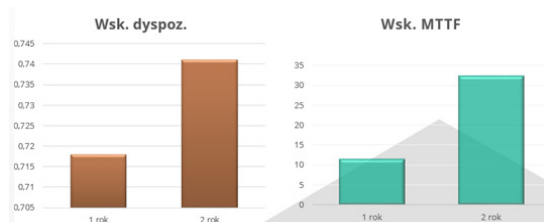
Rys. 4. Kontrolny przebieg prędkości obrotowej na biegu jałowym w pracy przed awarią dla ładowarki LK4 [5]

Fig. 4. Pre-failure course of rotational speed on idle run for the LK4 loader [5]



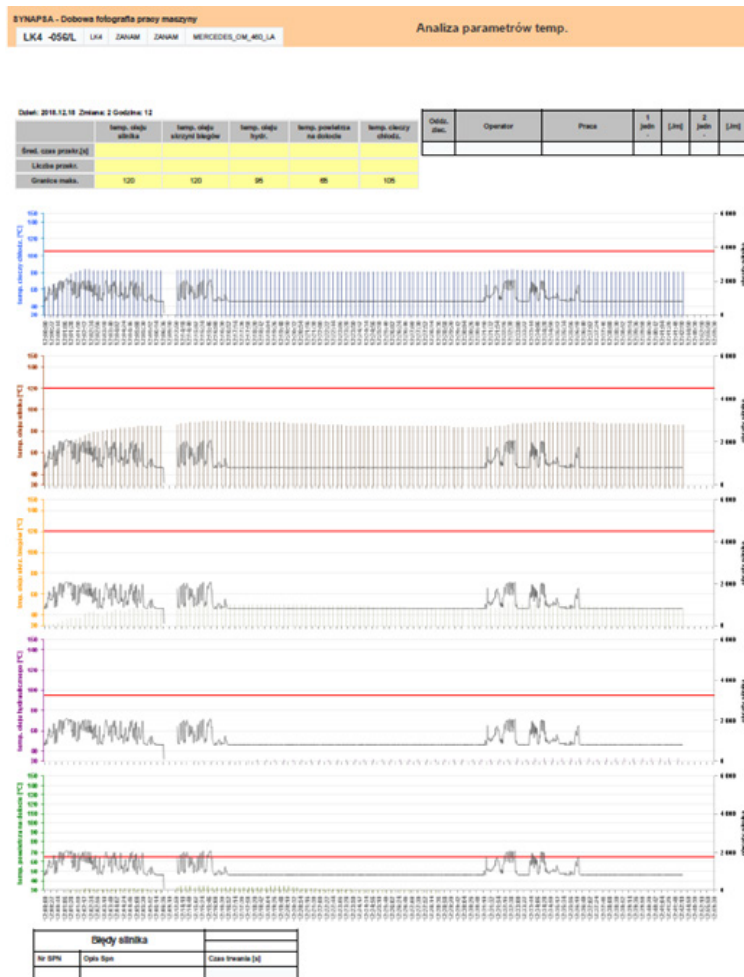
Rys. 5. Kontrolny przebieg mierzonych parametrów techniczno-ekonomicznych prowadzony przy wykorzystaniu metody TCO dla ładowarek LKP-1601B poddanych modernizacji. a) Udział % kosztów całkowitych TCO, b) Zobrazowanie przebiegu kosztów TCO na tle amortyzacji, c) Łączny udział usług serwisowych oraz części zamiennych, d) Przebieg wskaźnika dyspozycyjności

Fig. 5. Control course of technical and economic parameters carried out using the TCO method for modernized LKP-1601B loaders. a) Percentage share of total TCO costs, b) Visual presentation of TCO costs mileage against depreciation, c) total share of service and spare parts, d) Mileage of availability indicator



Rys. 6. Porównanie wskaźnika dyspozycyjności oraz wskaźnika MTTF w porównywanych okresach użytkowania ładowarki LKP-1601B przed i po modernizacji

Fig. 6. Comparison of the availability indicator and the MTTF indicator in the compared pe-riods of use of the LKP-1601B loader before and after the modernization



Rys. 7. Przebieg czasowy monitorowanej ładowarki LKP-1601B po przeprowadzonej modernizacji [2]
Fig. 7. Time course of the monitored charger LKP-1601B after the conducted modernization [2]

w celu przeprowadzenia ich modernizacji. Obejmowała ona wymiany tradycyjnego mostu na most 450-08-0000C z hamulcami hydraulicznymi mokrymi producenta SKB DRIVE TECH – FON Radomsko oraz zespołu piast kół skrzyni ładunkowej typu 450-08-0102 + 450-08-0103 tego samego producenta. Ponadto przystosowano do zabudowy przekładnię hydrokinetyczną zintegrowaną ze skrzynią biegów z funkcją rozłączania napędu podczas hamowania hamulcami hydraulicznymi. Modernizacją wymagała dodatkowo zamontowania pompy hydraulicznej zasilającej hydrauliczny układ hamulcowy wraz z filtrem oleju. Ponadto zdemontowano z silnika zbędną sprężarkę powietrza wraz z pozostałymi elementami układu pneumatycznego. Połączenia układu hydraulicznego wymagało zmian konstrukcyjnych zamieszczonych w dokumentacji techniczno-ruchowej modernizowanej maszyny.

3. Ocena wprowadzonych modyfikacji maszyn górniczych

Dla osiągnięcia adekwatności oceny badanych wskaźników kontrolnych pierwszej analizie poddano ładowarki LKP-1601B zmodernizowane w 2017 r. Wybór ten pozwolił porównać pracę maszyn w pełnych rocznych okresach przed i po modernizacji. Do oceny wykorzystano metodę kosztów całkowitych TCO. Uzyskane dane przedstawiono w formie wykresów. Zdecydowano się na prezentację wyników poprzez odniesienie wartości z poszczególnych lat do wartości z całe-

go okresu badawczego. Pozwoliło to na porównywanie wartości względnych. Przeprowadzone modernizacje skutkują skokowym wzrostem amortyzacji widocznym w 5 roku eksploatacji – rys 5 b). Na rys. 5 a) przedstawiono udział % kosztów całkowitych w kolejnych latach eksploatacji. Osiągnięty spadek w 5 roku oznacza korzystny wpływ modernizacji. Podobna sytuacja jest obserwowana na rys. 4 c) przedstawiającej łączną tendencję udziału % usług serwisowych i części zamiennych. Wskaźnik dyspozycyjności przedstawiony na rys. 4 d) potwierdza tendencję spadkową uzyskaną po pierwszym roku eksploatacji. Dalsze użytkowanie analizowanych maszyn potwierdza korzystne utrzymanie dyspozycyjności na poziomie ok. 65% w kolejnych latach eksploatacji.

Drugą analizą objęto modernizację ładowarki kopalnianej LKP-1601B wykonaną w 2018r. Związana ona była z wymianą skrzyni biegów na nową automatyczną z zabudowanym sterownikiem APC 312 [2]. Kontrola wskaźnika dyspozycyjności i wskaźnika MTTF określającego średni czas pracy maszyny od ostatniej naprawy do wystąpienia awarii wykazują poprawę po przeprowadzonej modernizacji – rys. 6. Obserwację eliminacji błędów przeprowadzono poprzez porównanie wskazań z monitoringu maszyny w rocznym okresie poprzedzającym modernizację i po wykonaniu ulepszenia. Przykładowy przebieg czasowy obserwowanych parametrów po modernizacji przedstawiony na rys. 7 nie wykazał błędów silnika.

4. Wnioski końcowe

W procesie modernizacji maszyn górniczych istotnym czynnikiem jest dysponowanie instrumentami techniczno-organizacyjnymi, które umożliwiają szybkie i bezpośrednie wyznaczenie efektywności wykonanej modyfikacji [1]. Ważne jest również odniesienie porównania do stanu bieżącego parku maszynowego jak również do danych historycznych w interesującym okresie czasu. Metoda kosztów całkowitych TCO bazująca na danych gromadzonych w hurtowni danych umożliwia dokonywanie bieżących analiz w zakresie kontrolowanych parametrów produkcyjnych oraz kosztowych. Elastyczność dysponowanych modeli programowych oraz możliwość modyfikacji parametrów wejściowych w zakresie typów maszyn oraz okresów bazowych pozwala na pełną obserwację parametrów kontrolnych maszyn użytkowanych przed i po

modernizacji na tle maszyn niemodyfikowanych. Przy obserwacji długiej możliwa jest natomiast ocena skutecznego wydłużenia okresu użytkowania modernizowanej maszyny górniczej powyżej rekomendowanego okresu użytkowania.

Drugim instrumentem kontrolnym jest monitoring maszyn pozwalający na bieżącą obserwację stanów czujników kontrolnych. Dysponowane oprogramowanie bazujące na hurtowni danych SAP BusinessObjects pozwala na bezpośrednią obserwację wskazań obserwowanych parametrów kontrolnych w różnych przekrojach oraz zadanych okresach badawczych. Kontrola dozorowa stanów alarmowych żółtych i czerwonych pozwala na bieżącą obserwację zachowań maszyny w procesie produkcyjnym. Pozwala na badanie skuteczności wprowadzanych modernizacji maszyn poddanych obciążeniom w warunkach rzeczywistych.

Literatura – References

1. Lewicki M. - Wykorzystanie monitoringu do bieżącej oceny stanu technicznego SMG, Inżynieria Górnicza, 4/2018
2. Śliwiński P., Kaniewski T., Zimroz R., Lewicki M. - Metody gromadzenia i interpretacji danych zbieranych z punktów pomiarowych maszyn górniczych jako kluczowe zagadnienia monitoringu, Zeszyty naukowe uczelni Jana Wyżykowskiego. Studia z Nauk Technicznych, przygotowywane do druku
3. Stefaniak P., Obuchowski J., Sawicki M., Zimroz R., Żak G., Wyłomańska A., Bartelmus W. - Wybrane problemy i wyzwania automatycznej diagnostyki elementów maszyn górniczych, CUPRUM – Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, nr 3 (76) 2015, s. 189-198
4. Zimroz R., Stefaniak P., Hardygóra M. - Wybrane zagadnienia diagnostyki procesów roboczych i stanu technicznego elementów maszyn górniczych, Inżynieria Maszyn, R. 19, z. 2, 2014
5. Ekspertyza KGHM Cuprum, - Analiza danych historycznych z rejestratorów SMG i systemu CMMS, 2019, materiały niepublikowane
6. Materiały KGHM ZANAM - https://www.kghmzanam.com/images/Products/loaders/LKP_1601B.png [dostęp 25.01.2020]

The Use of Information Obtained from Monitoring Work Parameters to Introduce Technical Changes in Modernized Mining Machines

Data obtained from individual measuring points of monitored mining machines allows a direct observation of machine behavior in real underground conditions. Capturing behaviors that deviate from the standard ones allows you to carry out corrective actions. A direct impact on adverse operator's behavior is possible. It is also possible to eliminate these events by introducing technical restrictions forcing the operator to perform procedures correctly. These activities often boil down to the modernization of mining machinery. Checking the implemented solutions is performed by observing the controlled cost and production parameters under the TCO method, as well as by checking the correctness of the monitored parameters. Introduced modern solutions, confirmed by their efficiency in the implementation of the production cycle and cost effectiveness, are becoming standards in new types of machines.

Keywords: *monitoring, modernization of mining machinery*