

Jarosław BRODNY, Magdalena TUTAK, Jolanta KRYSTEK
Politechnika Śląska

WYKORZYSTANIE PARAMETRÓW DIAGNOSTYCZNYCH MASZYN DO ANALIZY EFEKTYWNOŚCI ICH STOSOWANIA

Streszczenie. Rosnąca konkurencja na rynku surowców energetycznych powoduje, że w branży górniczej podejmuje się coraz więcej działań w celu zmniejszenia kosztów jednostkowych produkcji górniczej. Jednym z obszarów w którym istnieją dość duże rezerwy w tym zakresie jest wykorzystanie posiadanych przez kopalnie zasobów technicznych. Dotyczy to głównie maszyn górniczych, których obecny stopień wykorzystania jest niezadowolający. Z tego też względu zasadnym jest prowadzenie badań i analiz mających na celu poprawę tego stanu. Problematyka artykułu dotyczy właśnie tej tematyki. W tym celu opracowano metodykę wykorzystania danych o parametrach pracy maszyn do analizy efektywności ich stosowania. Założono, że wiarygodność tej oceny w głównej mierze będzie zależała od jakości danych na podstawie których zostanie przeprowadzona. Z tego też względu w analizie oparto się na danych o parametrach pracy maszyn rejestrowanych przez systemy automatyki przemysłowej. Dane te są niezależne od subiektywnych odczuć pracowników oraz rejestrowane są praktycznie zawsze w czasie pracy danej maszyny. W oparciu o te dane dokonano analizy pracy zestawu maszyn stosowanych w procesie podziemnej eksploatacji górniczej. Dla każdej z maszyn wyznaczono jej dostępność, wydajność oraz jakość produktu. To z kolei umożliwiło, w oparciu o zmodyfikowany model OEE określić całkowity wskaźnik efektywności poszczególnych maszyn i całego systemu technicznego jaki tworzą. W oparciu o uzyskane wyniki dokonano oceny efektywności ich wykorzystania oraz zaproponowano działania korygujące w celu jej poprawy. Opracowano także wytyczne do budowy platformy informatycznej, przeznaczonej do analizy i oceny efektywności wykorzystania maszyn w branży górniczej. Wstępne wyniki tych prac przedstawiono także w artykule. Zdaniem Autorów przedstawiony materiał powinien znaleźć szerokie zastosowanie praktyczne w zakresie wspomagania procesu zarządzania środkami technicznymi w branży górniczej.

THE USE OF DIAGNOSTIC PARAMETERS OF MACHINES FOR ANALYSING THE EFFECTIVENESS OF THEIR UTILISATION

Summary: Growing competition on the market of energy raw materials leads to an increasing number of measures undertaken in the mining sector with a view to reducing the unit costs of mining production. One of the areas that offer considerable reserves in this regard is the utilisation of the technical resources owned by mines. This primarily concerns mining machinery, whose utilisation degree is currently unsatisfactory. Therefore, it is reasonable to conduct tests and analyses to improve this situation. The article revolves exactly around this issue. For this purpose, a methodology was developed for using the data on the operational parameters of machines in analysing the

effectiveness of their utilisation. It was assumed that the reliability of this assessment would mainly depend on the quality of the data used to conduct it. Therefore, the analysis was based on the data on the operational parameters of machines registered by industrial automation systems. These data are independent of the employees' subjective interpretations and registered practically at all times when a given machine is in operation. These data served as the basis for analysing the operation of a set of machines used in underground mining exploitation. Certain values were determined for each machine, including its availability, performance and product quality. This, in turn, made it possible – based on a modified OEE model – to determine the total effectiveness indicator for the particular machines and the entire technical systems they form. The results obtained were used to assess the effectiveness of their utilisation and recommend corrective actions aimed at improving this effectiveness. Moreover, guidelines were developed for the construction of an IT platform dedicated to analysing and evaluating the effective utilisation of machines in the mining sector. The preliminary results of these works have also been presented in the article. In the Authors' opinion, the material at hand should find a wide range of practical applications in supporting the management of technical resources within the mining sector.

1. Wprowadzenie

Górnictwo pod względem skuteczności wprowadzania innowacyjnych rozwiązań technicznych, a szczególnie organizacyjnych należy do grupy branż konserwatywnych. Przyczyny tego stanu należy upatrywać w dominującej, przez wiele lat, roli tej branży w gospodarce krajowej oraz problemów związanych z brakiem funduszy inwestycyjnych. Między innymi te właśnie czynniki spowodowały, że nowe rozwiązania techniczne i organizacyjne były w górnictwie wdrażane z opóźnieniem w stosunku do innych branż. Wejście na globalny, wolny rynek energetyczny, na którym panuje bardzo duża konkurencja oraz zmienność cen surowców energetycznych, spowodowało, że w wielu okresach swojej działalności branża ta była mało rentowna, a w przeszłości zdarzały się także okresy braku jej rentowności. Te niekorzystane okresy funkcjonowania, zmobilizowały zarządzających do podejmowania działań restrukturyzacyjnych, mających na celu zmniejszenie kosztów jednostkowych produkcji oraz poprawę efektywności całego procesu produkcji górniczej. Efektem tych decyzji było określenie obszarów w których istnieje możliwość obniżenia kosztów produkcji bez ponoszenia dodatkowych kosztów inwestycyjnych. Jednym z takich obszarów jest obszar utrzymania ruchu, szczególnie w zakresie zwiększenia efektywności wykorzystania posiadanych przez przedsiębiorstwa górnicze środków technicznych. Wyniki wstępnych analiz wskazały iż w tym zakresie istnieją duże rezerwy, które przy niewielkich nakładach mogą spowodować poprawę wykorzystania tych zasobów.

W szczególności dotyczy to maszyn górniczych, których wydajność, niezawodność, dostępność i skuteczność ma istotny wpływ na koszty jednostkowe produkcji [4, 5, 6, 9]. W celu oceny tego stanu podjęto badania mające za zadanie określenie rzeczywistego stanu wykorzystania stosowanych w procesie produkcji górniczej maszyn. Badaniom poddano maszyny wchodzące w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego przeznaczonego do bezpośredniego urabiania górotworu oraz transportu urobku poza strefę przodkową. Zestaw ten stanowi pierwsze ogniwo całego łańcucha maszyn stosowanych w procesie produkcji

górnictwej. Autorzy pracy przyjęli, że maszyny zmechanizowanego kompleksu ścianowego mają istotny wpływ na zachowanie ciągłości tego procesu oraz w dużym stopniu decydują o jego skuteczności i efektywności. W skład kompleksu wchodzi kombajn ścianowy, przenośniki ścianowy i podścianowy, kruszarka oraz zmechanizowana obudowa ścianowa. Kompleksy ścianowe stosowane są do eksploatacji węgla kamiennego systemem ścianowym (ubierkowym) o dużej wydajności [3, 8, 9].

W artykule przedstawiono wyniki badań jednego z takich kompleksów. Celem prac było określenie efektywności wykorzystania całego kompleksu oraz poszczególnych jego maszyn w oparciu o parametry pracy tych maszyn rejestrowane przez systemy automatyki przemysłowej. Przyjęto, że podstawą uzyskania wiarygodnych wyników jest oparcie się na obiektywnych danych rejestrowanych przez systemy automatyczne. Wykorzystano do tego celu systemy rejestracji parametrów diagnostycznych badanych maszyn. Dotychczas w niewielkim stopniu korzystano z tych danych do badania efektywności maszyn. Do wyznaczenia efektywności badanych maszyn i całego kompleksu wykorzystano, znany z innych branż model efektywności całkowitej OEE [7, 10]. Dla potrzeb branży górniczej został on zmodyfikowany i dostosowany do jej specyfiki. W szczególności dotyczy to wyznaczenia jakości produktu oraz wydajności maszyn. Należy także podkreślić różnorodność badanych maszyn w zakresie ich funkcjonalności oraz budowy, a co za tym idzie także rejestrowanych parametrów diagnostycznych, co zostało uwzględnione w metodyce postępowania badawczego. W pracy przedstawiono tylko część obszernego materiału badawczego, zdaniem Autorów reprezentatywnego w zakresie zastosowanej metodyki oraz opracowanej koncepcji.

Opracowana metodyka, oparta o dane diagnostyczne z pracy maszyn oraz uzyskane wyniki wskazują na słuszność przyjętych założeń oraz konieczność prowadzenia dalszych badań w celu ich szerszego praktycznego zastosowania. Bardzo ważnym etapem w tym procesie jest także wykorzystanie narzędzi informatycznych do analizy tych danych oraz np. platformy informatycznej do wymiany informacji oraz opinii w zakresie poprawy efektywności tych maszyn.

2. Charakterystyka metodyki badawczej

Jednym z głównych problemów występujących w takcie pracy kompleksu ścianowego, oraz większości maszyn wykorzystywanych w procesie produkcji węgla kamiennego jest niski stopień ich wykorzystania. Wpływ na to mają czynniki techniczne, organizacyjne oraz górniczo-geologiczne. W podziemnych wyrobiskach górniczych występuje ich skumulowanie, co w konsekwencji może prowadzić do wystąpienia szeregu zaburzeń w procesie produkcji górniczej. W celu poprawy tej sytuacji konieczne jest poprawne zdiagnozowanie stanu obecnego i na tej podstawie określenie jego przyczyn. Ciągły monitoring, który umożliwiają czujniki, wspiera wzrost wydajności, znacznie rzadziej dochodzi bowiem do nagłych, nieplanowanych zatrzymań produkcji wskutek usterek urządzeń lub błędów w algorytmie sterowania. W kolejnych etapach zasadnym jest także opracowanie wytycznych i rekomendacji oraz niezbędnych działań dla poprawy tego stanu. Aby poprawić efektywność, a co za tym idzie konkurencyjność przedsiębiorstw górniczych podjęto badania w obszarze

wykorzystania ich środków produkcji w tym głównie maszyn górniczych. Podstawowym problemem badawczym w tym zakresie było opracowanie metodyki wyznaczania efektywności tych maszyn z uwzględnieniem specyfiki eksploatacji górniczej. Ze względu na różnorodność rejestrowanych parametrów oraz obszerność pozyskiwanych danych konieczne było także uwzględnienie w tym procesie budowy odpowiednich narzędzi informatycznych do archiwizacji i analizy tych danych. Jednym z głównych założeń, przy opracowaniu metodyki, było oparcie się na jak najbardziej obiektywne dane o pracy badanych obiektów. W tym zakresie przyjęto, że podstawą analizy będą dane diagnostyczne o pracy maszyn pozyskiwane z systemów automatyki przemysłowej. Głównymi zaletami tego sposobu pozyskiwania danych są wysoka niezależność od subiektywnych odczuć pracowników oraz duża skuteczność.

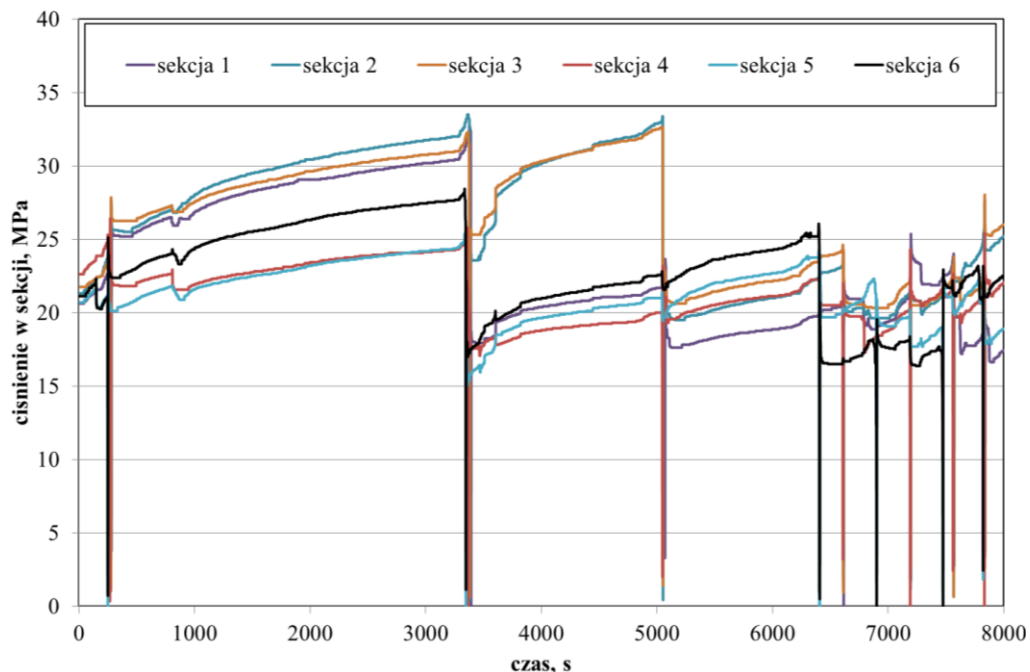
Przy wyborze metody wyznaczania efektywności, zwrócono się w kierunku niestosowanych w krajowym górnictwie głębinowym metod wspierających zarządzanie wykorzystaniem i utrzymaniem parków maszynowych. Obiecującą i skutecznie wykorzystywaną w innych referencjach metodyką, pozwalającą na łączenie obserwacji, analizowanie i wspieranie decyzji we wszystkich istotnych płaszczyznach związanych ze środkami produkcji okazała się metodyka związana z modelem efektywności całkowitej (OEE) [2, 7, 10]. W modelu tym efektywność pracy maszyny rozpatrywana jest w trzech obszarach, jej dostępności, wydajności i jakości produktu. Założono, że takie podejście umożliwi ocenę pracy maszyny we wszystkich najważniejszych aspektach i będzie mogło stanowić podstawę wprowadzania ewentualnych zmian.

W obszarze produkcji górniczej, gdzie metodyka OEE nie była dotychczas stosowana, badania skoncentrowano na dwóch obszarach. Pierwszy objął działania niezbędne do zaadaptowania standardów metodyki OEE do branży górniczej z uwzględnieniem jej specyfiki. Jego zadaniem była implementacja metod i technik zarządczych w obszarze wykorzystania i utrzymania środków produkcji górniczej. Drugi objął natomiast opracowanie narzędzi umożliwiających praktyczne zastosowanie informatyki do przyjętej metodyki. Efektem finalnym działań prowadzonych w tych obszarach było dostarczenie dla przedsiębiorstw górniczych, innowacyjnych narzędzi zarządczych umożliwiających ocenę efektywności wykorzystania posiadanych maszyn oraz optymalizacji tego procesu. W przyjętej metodyce uwzględniono szereg specyficznych dla branży górniczej czynników. W głównej mierze wynikają one ze specyficznego środowiska, w którym prowadzony jest proces produkcji, w tym występujących zagrożeń naturalnych [1, 11]. W dużej mierze skoncentrowano się także na jakości pozyskiwanych danych do analizy. W tym zakresie oparto się na systemach automatyki przemysłowej, która zapewniła, praktycznie ciągły dostęp do wiarygodnych i odpowiedniej jakości danych. Podstawą analizy były dyskretne czasowe przebiegi parametrów diagnostycznych maszyn. Przyjęto że wystarczającą częstotliwością ich rejestracji będzie 1 Hz. Natomiast do zweryfikowania przyjętej metodyki wybrano maszyny wchodzące w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Ich różnorodność wpłynęła na zróżnicowanie sygnałów diagnostycznych wykorzystanych do analizy ich efektywności. W szczególności dotyczyło to wyznaczenia dostępności badanych maszyn. Natomiast w zakresie ich wydajności oraz

jakości urobku (produkt ich pracy), skorzystano z wyników pomiarów geodezyjnych oraz analiz chemicznych.

3. Wyniki badań

Jak już wspomniano badaniom poddano maszyny wchodzące w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego. Dla każdej z nich określono parametry diagnostyczne istotne do wyznaczenia efektywności jej wykorzystania z punktu widzenia zastosowanej metodyki. W przypadku obudowy ścianowej były to czasowe przebiegi wartości ciśnień w stojakach hydraulicznych poszczególnych jej sekcji. Rozkłady te identyfikują fazy całego cyklu pracy każdej sekcji obudowy. Na ich podstawie określa się także poprawności pracy sekcji, porównując uzyskane przebiegi do wzorcowego modelu [8]. Czasowe przebiegi ciśnień w wybranych sześciu sekcjach obudowy zmechanizowanej przedstawiono na rysunku 1.

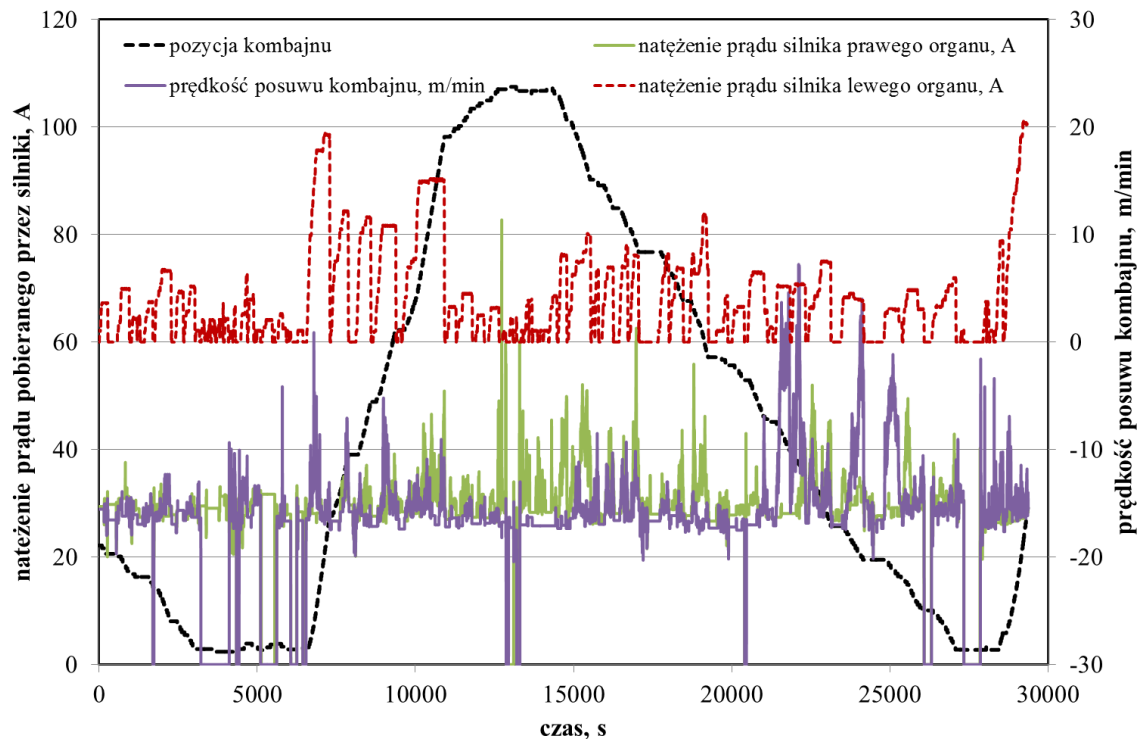


Rys. 1. Czasowe przebiegi ciśnienia w sekcjach obudowy zmechanizowanej

Na podstawie tych przebiegów można określić charakter oraz poszczególne fazy cyklu pracy obudowy. Analiza tych przebiegów pozwala określić także zaburzenia w pracy obudowy oraz ewentualne jej uszkodzenia.

W przypadku kombajnu ścianowego, system automatyki przemysłowej rejestruje bardzo wiele parametrów jego pracy. Dla wyznaczenia efektywności jego pracy najbardziej istotne znaczenie mają natężenia prądów pobieranych przez silniki organów urabiających, prędkość jego posuwu oraz położenie w ścianie eksploatacyjnej. Czasowe przebiegi tych parametrów, dla jednej zmiany roboczej przedstawiono na rysunku 2. Prezentowane przebiegi są dyskretnymi. W przypadku przenośników spinowego i podścianowego oraz kruszarki ścianowej, rejestrowanymi parametrami, które wykorzystano do wyznaczenia efektywności tych maszyn są

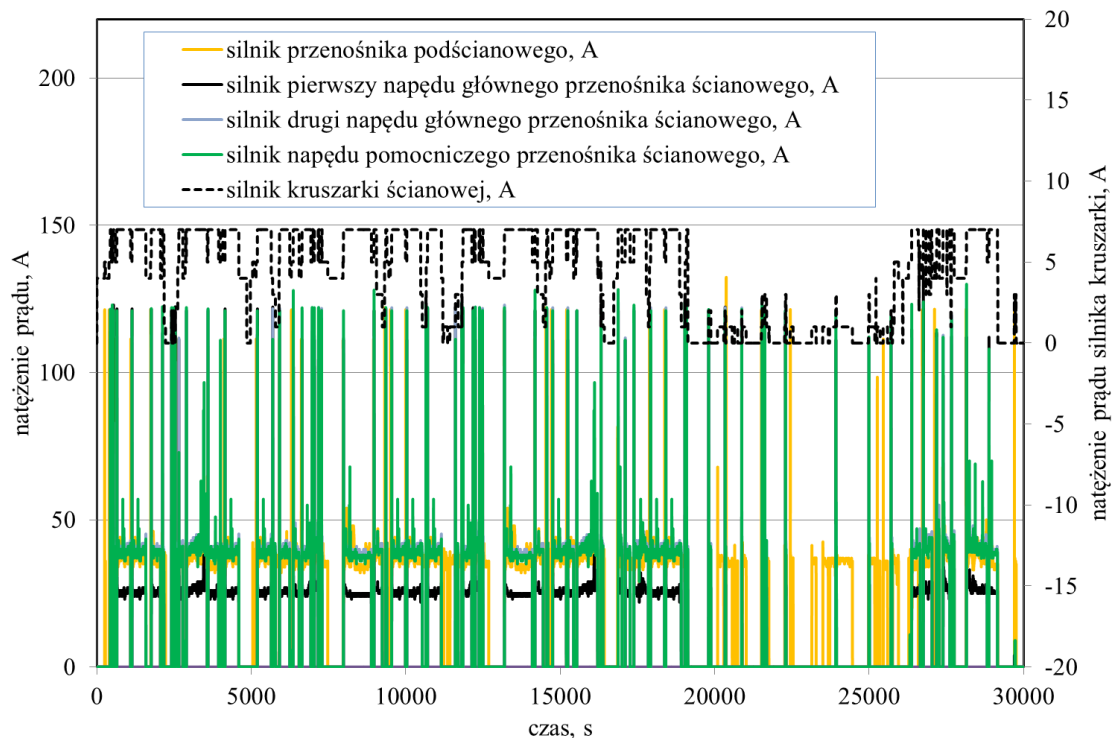
natężenia prądów pobieranych przez ich silniki. Czasowe przebiegi tych natężeń przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Czasowe przebiegi natężeń prądów pobieranych przez silniki organów urabiających, prędkości posuwu kombajnu oraz jego położenia w ścianie eksploatacyjnej dla jednej zmiany roboczej

Rejestrowane przez system automatyki przemysłowej parametry stanowią podstawę do wyznaczenia dostępności badanych maszyn. Stan obciążenia poszczególnych silników wykorzystywany jest także do wyznaczenia ich wydajności. W tym przypadku dodatkowo skorzystano także z wyników rejestracji ilości urobku uzyskanego z poszczególnych zmian. Wartości te odniesiono do planu techniczno-ekonomicznego. Na tej podstawie tych danych wyznaczono wydajność badanego kompleksu.

Kolejnym wyznaczanym parametrem była jakość uzyskanego urobku. Została ona wyznaczona na podstawie badania składu chemicznego urobku, a w szczególności zawartości skały płonnej. Uzyskane wartości odniesiono do planowanych i na tej podstawie określono wskaźnik jakości produktu. Średnie, maksymalne i minimalne procentowe wartości wskaźników efektywności całkowitej dla poszczególnych maszyn oraz całego kompleksu dla badanego okresu jednego miesiąca pracy (72 zmiany robocze), zestawiono w tabeli 1. Prezentowane wartości dotyczą poszczególnych zmian roboczych. Natomiast na rysunku 4 przedstawiono przebieg zmian wartości wskaźnika efektywności całkowitej badanych maszyn na poszczególnych zmianach roboczych.



Rys. 3. Czasowe przebiegi natężeń prądów silników przenośników ścianowego i podścianowego oraz kruszarki ścianowej

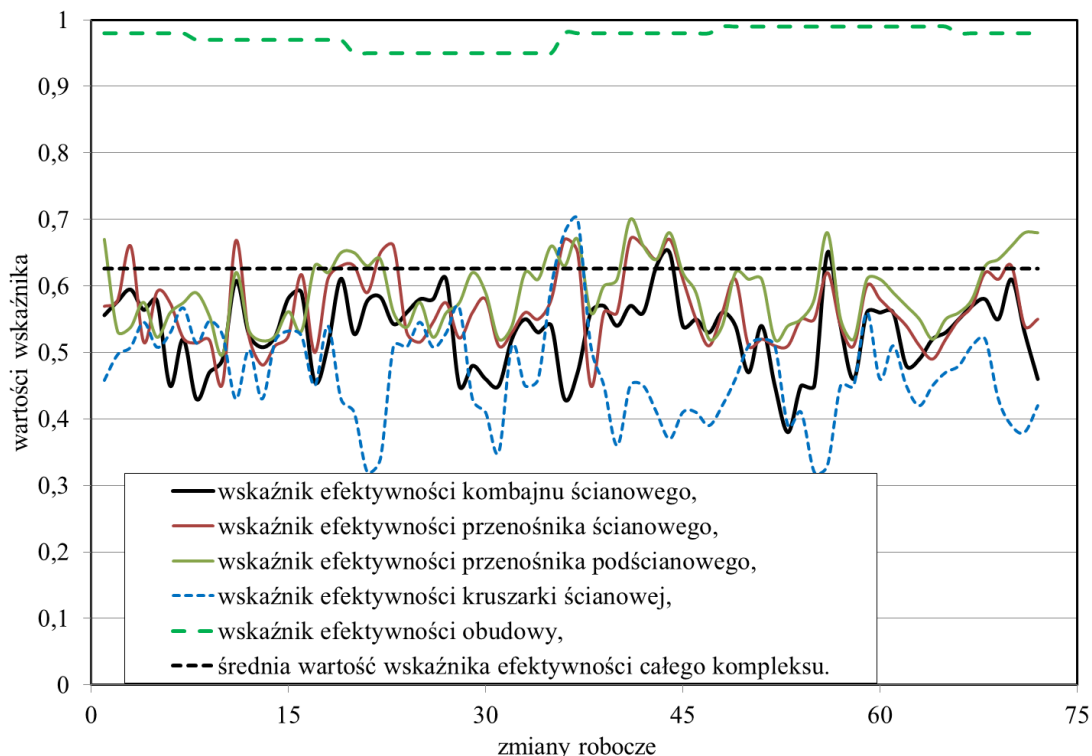
Tabela 1

Zestawienie wartości wskaźników efektywności całkowitej dla badanych maszyn

	Wartość średnia	Wartość maksymalna	Wartość minimalna
Kombajn	53,2 ±5,7%	65,3%	38,6%
Przenośnik ścianowy	56,5 ±5,5%	67,4%	45,2%
Przenośnik podścianowy	58,9 ±5,1%	70,3%	49,7%
Kruszarka	47,0 ±7,5%	70,5%	32,1%
Obudowa ścianowa	97,4 ±1,5%	99,0%	95,0%
Zestaw maszyn	62,6 ±18,7%	99,0%	32,1%

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że wyznaczone wartości wskaźników efektywności poszczególnych maszyn są bardzo zróżnicowane. Duże różnice występują także w wartościach tych wskaźników w zależności od zmiany roboczej dla której są wyznaczane. Najbardziej stabilną i wysoką wartość wskaźnika efektywności posiada obudowa ścianowa. Wynika to z faktu, że obudowa ta ma najmniejszy udział w nieplanowanych przerwach w pracy całego kompleksu. Parametrem mającym decydujący wpływ na jej efektywność jest w tym przypadku dostępność, która jest dla obudowy bardzo wysoka. Najniższe wartości efektywności zanotowano dla kruszarki ścianowej. Wynika to z charakteru jej pracy. W okresach gdy nie ma potrzeby rozkruszania ponadgabarytowych brył urobku, może być ona

wyłaczana. Dość często dochodzi także do awarii tej maszyny co wpływa na obniżenie wskaźnika jej dostępności.



Rys. 4. Zmiany wartości wskaźnika efektywności badanych maszyn na poszczególnych zmianach roboczych

4. Wnioski

Każde przedsiębiorstwo produkcyjne dąży do osiągnięcia jak najlepszych efektów swojej działalności. Duża konkurencja na rynku surowców energetycznych powoduje, że również krajowe przedsiębiorstwa górnicze muszą redukować koszty i optymalizować proces produkcyjny. Jednym z działań związanych z tym procesem jest poprawa efektywności wykorzystania posiadanych przez te przedsiębiorstwa maszyn poprzez wdrożenie bardziej nowoczesnego podejścia do utrzymania ruchu. Stały monitoring stanu maszyn, urządzeń oraz procesów poprzez wykorzystanie czujników i urządzeń pomiarowych do pozyskiwania informacji o poszczególnych parametrach procesów ułatwia przygotowanie i wdrożenie odpowiedniej strategii predictive maintenance. Wdrożenie tej strategii i jej konsekwentne stosowanie może w krótkim czasie przynieść mierzalne efekty w postaci np. zmniejszenia liczby przestojów nieplanowanych, wynikających z przedwczesnego zużycia narzędzi, usterki maszyny lub wymuszonych nieprawidłowym działaniem człowieka przestojów.

Aby to osiągnąć konieczne jest przeprowadzenie obiektywnej oceny stopnia wykorzystania tych maszyn. Zaprezentowana w pracy metodyka wykorzystania danych diagnostycznych o pracy maszyn stwarza możliwości osiągnięcia założonych celów w tym zakresie.

Oparcie się o dyskretne dane pozyskiwane z systemu automatyki przemysłowej umożliwiło wiarygodne i niezależne od subiektywnych czynników wyznaczenie wskaźników efektywności badanych maszyn oraz całego ich kompleksu. Magazynowanie danych z wielu źródeł to najlepsza droga do zastosowania kompleksowego podejścia predictive maintenance – utrzymania ruchu opartego na analizie wydarzeń historycznych, korelacji pomiędzy nimi a poziomem poszczególnych parametrów oraz wyników pomiarów dokonywanych przez czujniki. Należy podkreślić, że w prezentowanym przypadku skorzystano tylko z niewielkiej części rejestrowanych przez te systemy danych. Zasadnym wydaje się szersze ich wykorzystanie, także w zakresie poprawy organizacji pracy służb utrzymania ruchu. Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują bowiem, że stopień wykorzystania maszyn, w tym przypadku kompleksu ścianowego jest niski. Nawet po uwzględnieniu specyfiki pracy w kopalni, osiągnięte wskaźniki dla kombajnu i przenośników ścianowego i podścianowego w granicach 50% należy uznać za niezadowalające. Zasadnym wydaje się w tym przypadku pogłębienie tej analizy i poszerzenie jej o identyfikację przyczyn tego stanu.

Proponowane przez Autorów rozwiązanie w postaci wykorzystania platformy informatycznej do bieżącej analizy wskaźników efektywności przez wszystkich interesariuszy procesu produkcyjnego oraz wymiany informacji odnośnie przyczyn nieplanowanych przestojów, powinno wpłynąć na pozyskanie niezbędnej wiedzy w tym zakresie. To z kolei powinno przełożyć się na konkretne działania udoskonalające. Cały proces analizy musi być jednak wspomagany odpowiednimi narzędziami informatycznymi. Duże zbiory danych, jakie występują w prezentowanej analizie wymagają, oprócz odpowiednich algorytmów analitycznych także bardzo sprawnych i wydajnych narzędzi.

Można więc przyjąć, że prezentowana w opracowaniu metodyka wyznaczania efektywności pracy maszyn górniczych jest przykładem praktycznego zastosowania wyników dyskretnej rejestracji parametrów pracy tych maszyn oraz narzędzi informatycznych do ich analizy.

LITERATURA

1. Brodny J., Tutak M.: Determination of the Zone with a Particularly High Risk of Endogenous Fires in the Goaves of a Longwall with Caving. *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2018, Vol. 11 (3), pp. 545-553, DOI: 10.18869/acadpub.jafm.73.246.27240
2. Helman J.: Analysis of the potentials of adapting elements of Lean methodology to the unstable conditions in the mining industry. *AGH Journal of Mining and Geoengineering*, 2012.
3. Hoseinie S. H., Ghodrati B. i Kumar U.: Assessment of Reliability-Related Measures for Drum Shearer Machine, a Case Study. *Sixth International Symposium High Performance Mining (AIMS 2014)*, Aachen, 2014.
4. Jonek-Kowalska I.: Bankruptcy risk a Polish mining enterprise - reasons, symptoms and consequences, W: *Aktualne problemy podnikowej sfery 2013*. Zbornik vedeckych prac. Aut.: S. Majtan a kolektiv. *Ekonomicka Univerzita v*

- Bratislava. Fakulta Podnikoveho Manazmentu. Katedra Podnikovohospodarska. Bratislava: Vydavatel'stvo Ekonom, 2013, p. 211-217.
5. Jonek-Kowalska I., Turek M.: Dependence of total production costs on production and infrastructure parameters in the Polish hard coal mining industry. *Energies*, Vol. 10 Issue 10, art. no. 1480, 2017, s. 1-22.
 6. Lanke A., Hoseinie H., Ghodrati B.: Mine Production Index (MPI): New Method to Evaluate Effectiveness of Mining Machinery. *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, Vol:8, No:11, 2014, p. 714-718.
 7. Nakajima S.: Introduction to TPM: Total Productive Maintenance.(Translation). Productivity Press, Inc., 129, 1988.
 8. Peng S. S.: Longwall Mining. Syd S. Peng Publisher, 2006, p.621.
 9. Przybyła H.: Ryzyko zakłócenia procesu wydobywania w warunkach ścian o wysokiej koncentracji produkcji. *Przegląd Górniczy* 9, 2009, s. 103-106.
 10. Rathenshwar S, Dhaval D. S, Ashish M. Miles H. S.: Overall equipment efficiency (OEE) Calculation – Automation through Hardware & Software Development *Procedia Engineering* 51, 2013, p. 579-584.
 11. Tutak M., Brodny J.: Impact of type of the roof rocks on location and range of endogenous fires particular hazard zone by in goaf with caving. *E3S Web Conferences Volume 29*, 2018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20182900005> .