

WYZNACZENIE EFEKTYWNOŚCI WYKORZYSTANIA KOMBAJNU ŚCIANOWEGO

7.1 WPROWADZENIE

Rosnąca od kilkunastu lat koncentracja wydobycia węgla kamiennego odbywa się głównie w wyniku zwiększenia długości ścian eksploatacyjnych oraz podwyższenia wydajności wykorzystywanych do tego celu maszyn. Proces ten powoduje, iż w przedsiębiorstwach górniczych, eksploatacja odbywa się w coraz mniejszej liczbie ścian eksploatacyjnych przy jednocześnie zwiększającym się wydobyciu jednostkowym. Jest to możliwe dzięki wprowadzeniu długich frontów eksploatacyjnych umożliwiającym pełniejsze wykorzystanie mechanizacji i automatyzacji procesu urabiania i transportu urobku. Działania te w sposób istotny wpłynęły na rozwój nowych systemów maszynowych wykorzystywanych do tego typu eksploatacji [2, 6, 7, 8].

Obecnie do bezpośredniej eksploatacji złoża w systemie ścianowy wykorzystuje się zmechanizowany kompleks ścianowy, w skład których wchodzi, kombajn ścianowy, przenośniki ścianowy i podścianowy, kruszarka oraz obudowa zmechanizowana. Kompleksy te umożliwiają mechanizację procesu urabiania, co przekłada się na wysoką koncentrację wydobycia oraz zapewniają bardzo wysoki poziom bezpieczeństwa załódze. Czynniki te powodują, iż w najbliższych latach ścianowe systemy eksploatacji z wykorzystaniem zmechanizowanych kompleksów ścianowych powinny być dominującym sposobem podziemnej eksploatacji surowców mineralnych.

Wszystkie maszyny wchodzące w skład zmechanizowanego kompleksu ścianowego tworzą, zgodnie z niezawodnościowym punktem widzenia, strukturę szeregową, w której awaria jednej z nich powoduje przerwę w pracy całego kompleksu. Zasadnym wydaje się jednak stwierdzenie, że najistotniejsze znaczenie w procesie eksploatacji ma kombajn ścianowy. Maszyna ta ma za zadanie odspajanie skały (w tym głównie węgla) od calizny oraz jej załadunek na przenośnik ścianowy. Kombajn ścianowy stanowi, więc pierwsze ogniwo w procesie eksploatacji, a jego znaczenie dla efektywności całego tego procesu jest bardzo duże. Na rys. 7.1 przedstawiono widok kombajnu ścianowego dwuramiennego w czasie pracy [9].

Obecnie wykorzystywane w przedsiębiorstwach górniczych kombajny są maszynami charakteryzującymi się bardzo dobrymi parametrami technicznymi. Duża ich moc oraz stabilna konstrukcja umożliwiają prowadzenie, teoretycznie ciągłej eksploatacji przy bardzo wysokiej wydajności. W praktyce jednak możliwości kombajnów wykorzystywane są tylko w części. Przyczyną tego stanu są zarówno zmienne czynniki górniczo-

geologiczne eksploatowanego pokładu, jak również techniczne i organizacyjne. Czynniki te powodują zmniejszenie efektywności wykorzystania kombajnu, co w sposób bezpośredni przekłada się na niepełne wykorzystanie pozostałych maszyn wchodzących w skład kompleksu i wpływa na obniżenie wyników ekonomicznych przedsiębiorstwa.



Rys. 7.1 Widok kombajnu ściannowego w czasie pracy

Źródło: opracowanie własne

Dla poprawy tego stanu konieczne staje się podjęcie działań mających na celu identyfikację przyczyn powodujących niepełne wykorzystanie posiadanych przez przedsiębiorstwo górnicze maszyn. W kolejnym etapie, na podstawie uzyskanych wyników niezbędne jest opracowanie wytycznych i rekomendacji dla służb utrzymania ruchu oraz kierownictwa tych przedsiębiorstw, w celu podjęcia niezbędnych działań i decyzji dla poprawy tego stanu. Aby podjęte działania były skuteczne, konieczne jest przeprowadzenie badań i analiz aktualnego stanu wykorzystania posiadanych przez przedsiębiorstwa górnicze zasobów technicznych w tym w szczególności użytkowanych maszyn górniczych. Temu celowi służą badania i analizy, których wyniki przedstawiono w niniejszym opracowaniu.

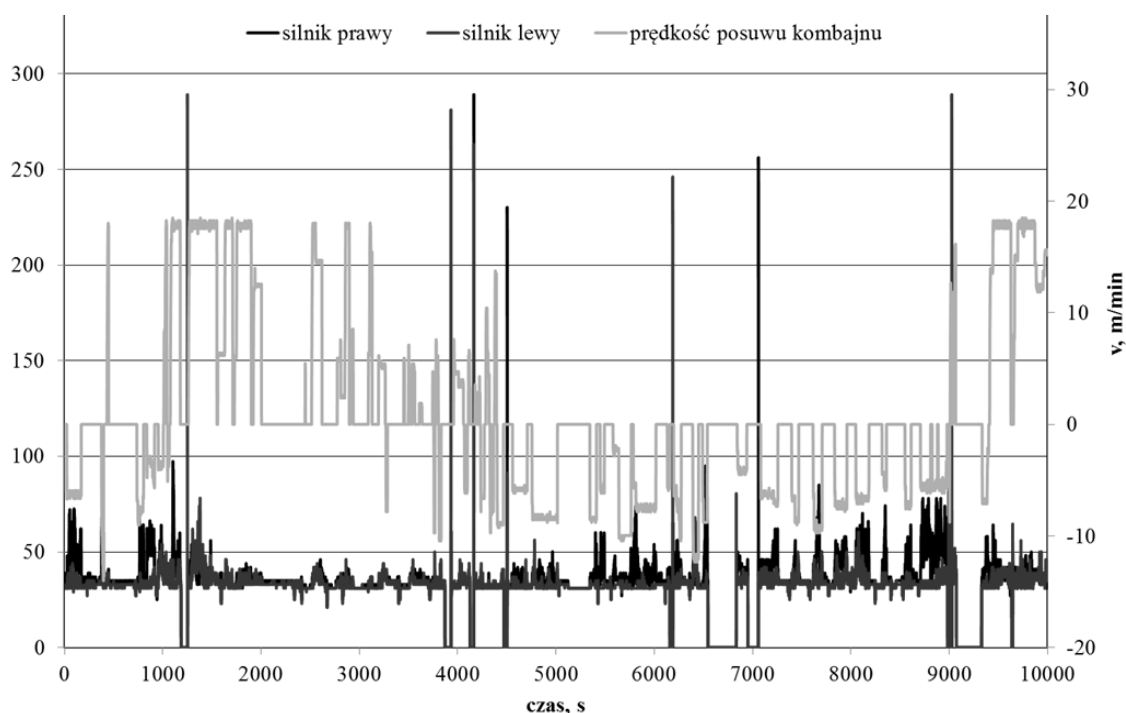
Jak już wcześniej wspomniano, badaniami objęto kombajn ściannowy pracujący w przedsiębiorstwie górniczym i wykorzystywany do podziemnej eksploatacji węgla kamiennego systemem ściannowym. Na podstawie danych pozyskanych z systemu automatyki przemysłowej określono, wykorzystując założenia modelu efektywności całkowitej (OEE), dostępność i wydajność kombajnu oraz w oparciu o informacje z zakładu przetwórczego, jakość urobku, traktowanego w tym procesie, jako produkt końcowy. Uzyskane dane umożliwiły wyznaczenie wskaźników cząstkowych oraz wskaźnika efektywności całkowitej OEE badanego kombajnu dla 66 zmian roboczych. Uzyskane wyniki jednoznacznie udowodniły dużą zmienność wyznaczonego wskaźnika oraz, dla większości zmian roboczych niezadowalającą jego wartość.

7.2 WYNIKI BADAŃ I ANALIZ

Do wyznaczenia efektywności badanego kombajnu wykorzystano model efektywności całkowitej OEE, będący ilościowym narzędziem stosowanym do oceny strategii TPM. W modelu tym analizę przeprowadza się w trzech obszarach obejmujących dostępność maszyny jej wydajność (wykorzystanie) oraz jakość uzyskanego produktu. Dla każdego z tych obszarów wyznacza się wskaźnik cząstkowy, których iloczyn, wyrażony w procentach określa efektywność całkowitą badanej maszyny [1, 3, 4, 5, 8].

Wskaźnik dostępności określa, jaką część z planowanego czasu pracy maszyny lub zestawu maszyn, nazwanego czasem operacyjnym, wykorzystanego bezpośrednio do produkcji. Wskaźnik wydajności lub wykorzystania, określa stosunek ilości wszystkich wytworzonych wyrobów do ilości planowanej, natomiast wskaźnik jakości wyznacza stosunek wyrobów dobrych do ogólnej liczby wyrobów. Można, więc przyjąć, że wskaźnik efektywności całkowitej określa stopień wykorzystania maszyny lub systemu w stosunku do stanu, w którym spełnione są wszystkie plany w zakresie czasu pracy, wydajność oraz jakość wyrobów. Wartość wskaźnika wynosząca jeden (w procentach 100%) jest stanem idealnym, w którym proces produkcyjny przebiega zgodnie z przyjętym planem.

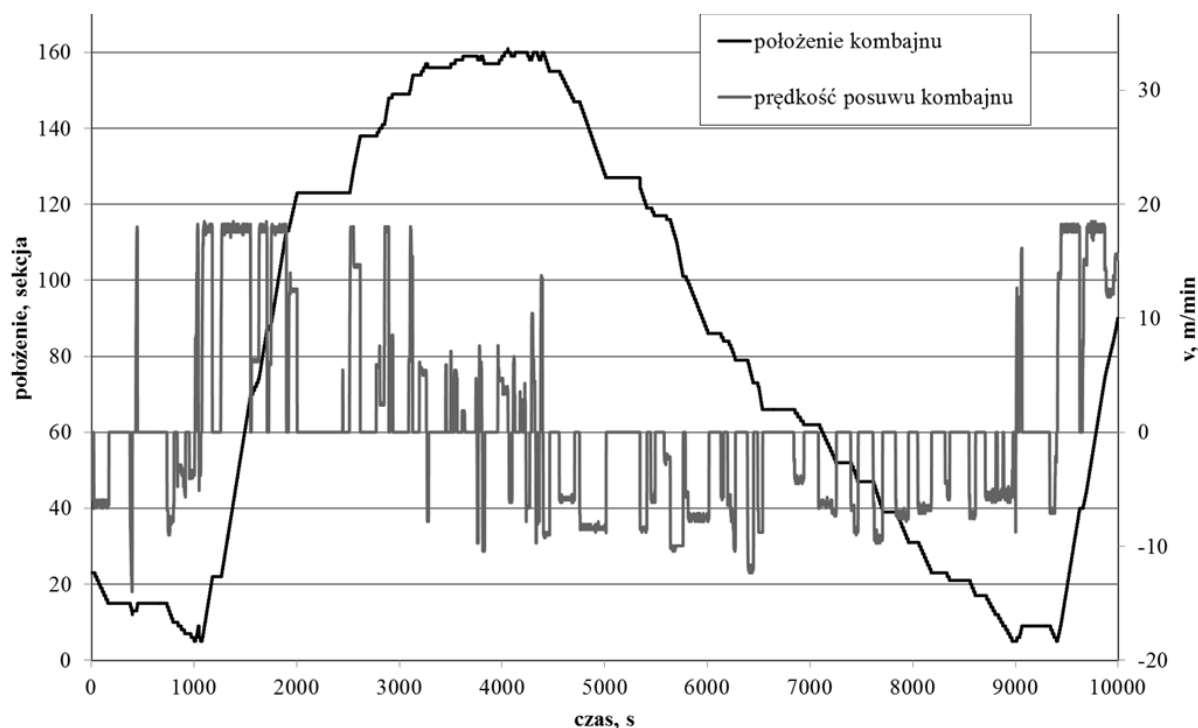
W analizowanym przypadku badaniom poddano kombajn ścianowy, dla którego w pierwszym etapie wyznaczono wskaźnik dostępności. W celu wiarygodnego wyznaczenia tego wskaźnika skorzystano z rejestrowanych, przez system automatyki przemysłowej, parametrach jego pracy. Rejestracja ta odbywa się automatycznie i jest niezależna od operatora kombajnu, co powoduje, iż pozbawiona jest błędów związanych z jego subiektywnymi odczuciami i interpretacjami.



Rys. 7.2 Czasowe przebiegi natężenia prądów pobieranych przez silniki organów urabiających kombajnu ścianowego oraz jego prędkość posuwu

Źródło: opracowanie własne

Podstawowymi parametrami, które wykorzystano do wyznaczenia dostępności badanego kombajnu, są natężenia prądów pobieranych przez silniki organów urabiających i silniki posuwu kombajnu oraz jego położenie określone względem sekcji obudowy ścianowej. Jako pomocniczy parametr przyjęto prędkość przemieszczania się (posuwu) kombajnu. Przyjęte parametry umożliwiły wyznaczenie rzeczywistych czasów pracy kombajnu oraz wstępną analizę przyczyn zarejestrowanych przestoju. Na rys. 7.2 przedstawiono czasowe przebiegi natężenia prądów pobieranych przez silniki organów urabiających kombajnu ścianowego odniesione do prędkości jego posuwu, a na rys. 7.3 czasowe przebiegi prędkości posuwu kombajnu oraz zmiany położenia kombajnu dla 166,7 minut przykładowej zmiany roboczej.

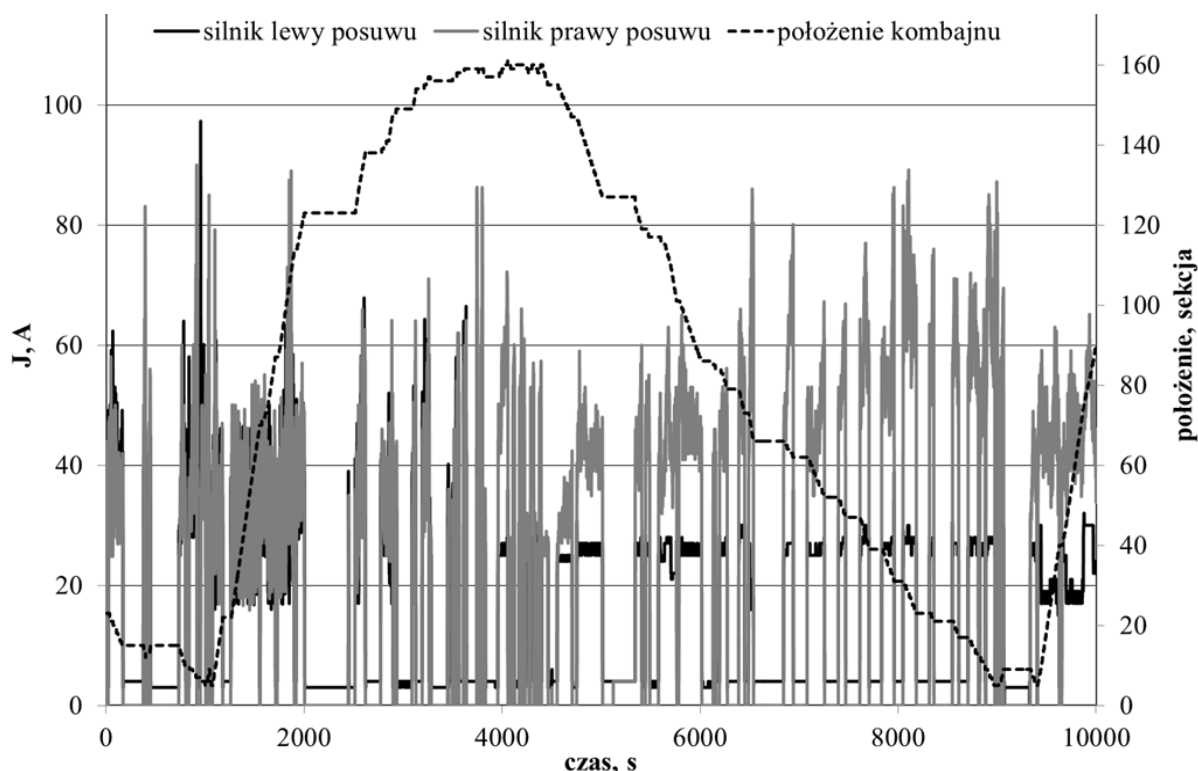


Rys. 7.3 Czasowe przebiegi prędkości posuwu kombajnu oraz jego pozycji w wyrobisku ścianowym

Źródło: opracowanie własne

Na rys. 7.4 przedstawiono czasowe przebiegi natężenia prądów pobieranych przez silniki posuwu kombajnu ścianowego dla przyjętego czasu wraz z położeniem kombajnu. Podstawą przyjęcia zakresu czasowego, dla którego przedstawiono przebiegi rejestrowanych parametrów był fakt, iż obejmuje on jeden cykl pracy kombajnu, który pracuje w systemie jednokierunkowego urabiania. Cykl ten obejmuje zawrębianie kombajnu, urabianie zasadnicze (prędkość robocza) oraz jego powrót (prędkość manewrowa).

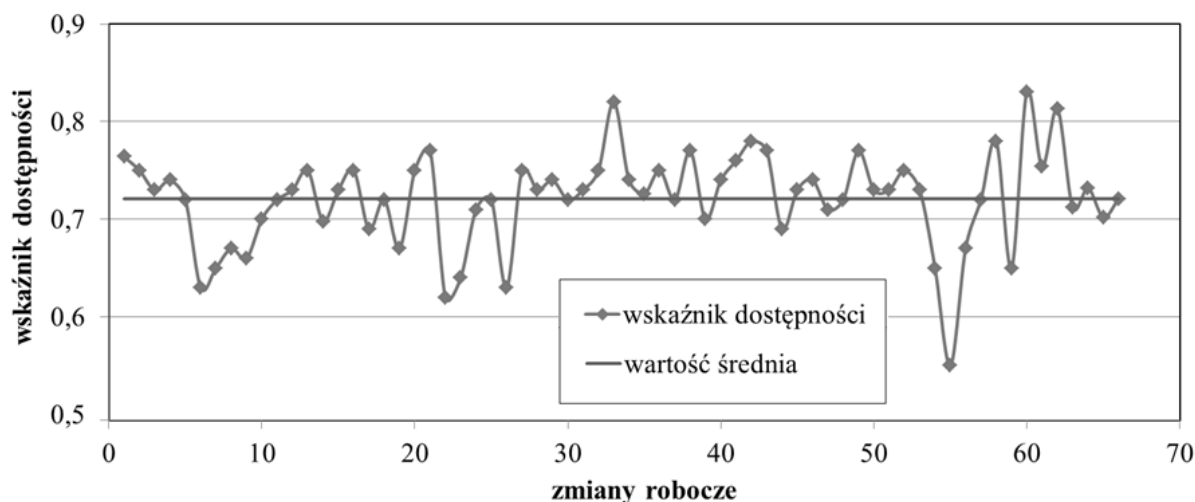
W zależności od zmiany roboczej, dla badanego okresu pracy zarejestrowano od ok. 2,5 do 4 takich cykli na jedną zmianę roboczą. Jako zmianę roboczą przyjęto tzw. czarne zmiany, tzn. takie, w czasie których prowadzona była bezpośrednia eksploatacja złoża.



Rys. 7.4 Natężenia prądów pobierane przez silniki posuwu kombajnu ścianowego wraz z położeniem kombajnu

Źródło: opracowanie własne

W oparciu o zarejestrowane przebiegi wyznaczono wskaźniki dostępności kombajnu. Dla przedstawionych na rysunkach 2, 3 i 4 przebiegów wskaźnik ten wyniósł 83,5%, a dla całej zmiany roboczej (trwającej 360 minut), w której mieści się ten fragment wyniósł 76,4%. Na rys. 7.5 przedstawiono wyznaczone wartości wskaźników dostępności dla wszystkich 66 badanych zmian roboczych oraz wartość średnią, która wyniosła $72,1 \pm 4,8\%$. Dla badanego zakresu, najniższa wartość tego wskaźnika wyniosła 55,1% a najwyższa 83,3%.



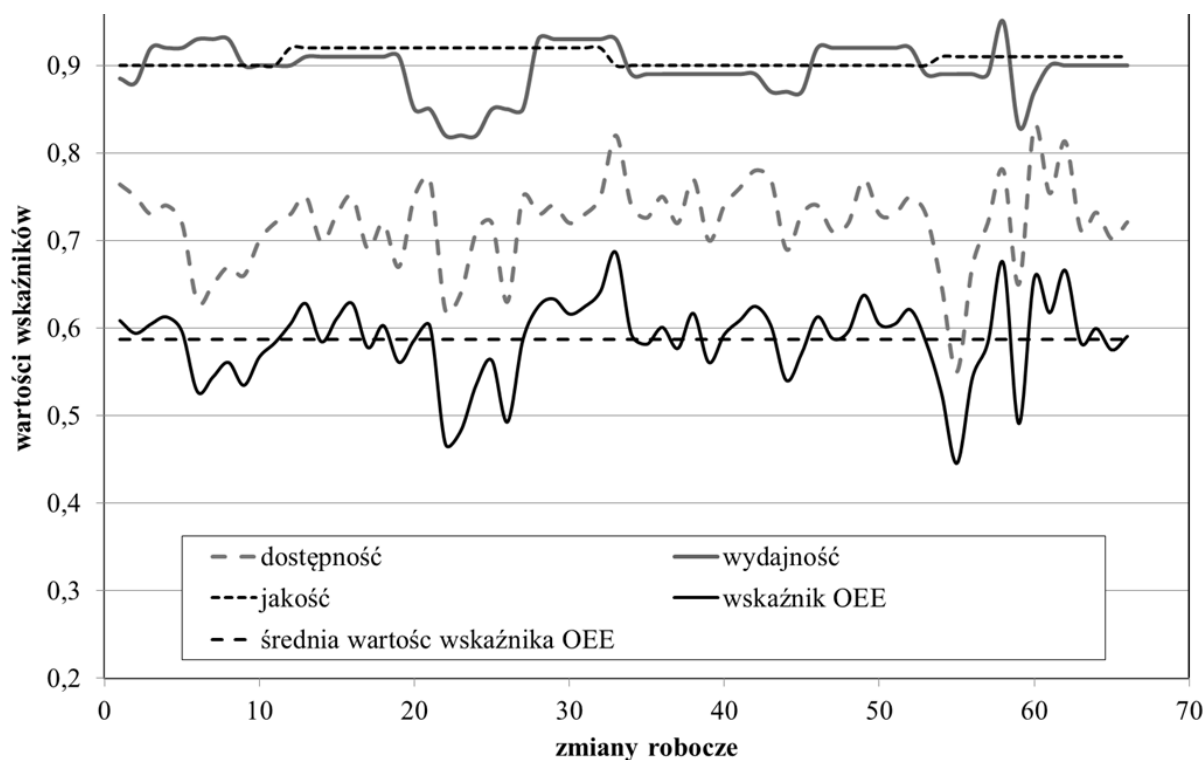
Rys. 7.5 Wartości wskaźnika dostępności kombajnu ścianowego dla 66 zmian roboczych

Źródło: opracowanie własne

Podstawą wyznaczania wskaźnika wydajności był plan techniczno-ekonomiczny kopalni, w którym ujęto planowaną zmianową wydajność kombajnu. Wydajność rzeczywistą wyznaczono w oparciu o zapisy dyspozytorów oraz dekadowe pomiary wyeksploatowanej objętości złoża. Tak wyznaczone wartości odniesiono do ilości skrawów roboczych wykonanych na poszczególnych zmianach roboczych.

Wskaźnik jakości wyznaczono na podstawie informacji uzyskanych z zakładu przerobczego odnośnie sortymentu urabianego węgla oraz procentowej zawartości skały płonnej w urobku. Dane te zostały uśrednione dla okresu dziesięciu kolejnych dni (30 zmian roboczych). Dokładne wyznaczanie parametrów urobku z danej ściany eksploatacyjnej dla każdej zmiany wydobywczej jest praktycznie niemożliwe. Dlatego też dla badanego przypadku przyjęto uproszczoną metodę szacowania wartości tego wskaźnika.

Na rys. 7.6 przedstawiono obliczone wartości wskaźnika OEE dla wszystkich 66 badanych zmian roboczych kombajnu ścianowego. Średnia wartość wskaźnika efektywności całkowitej kombajnu dla badanych 66 zmian roboczych wyniosła $58,7 \pm 4,6\%$, natomiast wartość maksymalna wyniosła 68,6%, a minimalna 44,5%.



Rys. 7.6 Wartości wskaźników składowych i wskaźnika OEE dla badanych zmian roboczych

Źródło: opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Najistotniejszym etapem produkcji węgla kamiennego jest faza podziemnej eksploatacji złoża. Proces ten odbywa się w bardzo skomplikowanych i trudnych do przewidzenia warunkach. Powoduje to, iż wszelkiego typu urządzenia, a w szczególności maszyny górnicze wykorzystywane w tym procesie pracują w zmiennych i trudnych do przewidzenia warunkach. Zmienność warunków górniczo-geologicznych związanych

z zaleganiem złoża, jego parametrami fizyko-mechanicznymi oraz wentylacją powoduje, że maszyny te narażone są na zmienne i trudne do jednoznacznego zdefiniowania stany ich obciążenia. Jednocześnie rosnąca konkurencja na rynku surowców energetycznych, zmuszając przedsiębiorstwa górnicze do redukcji kosztów powoduje, iż wymagania w stosunku do efektywnej pracy tych maszyn są coraz wyższe. Efektywne wykorzystanie posiadanych środków technicznych stało się, bowiem w ostatnim czasie w przedsiębiorstwach górniczych jednym z podstawowych obszarów optymalizacji kosztów produkcji.

W problematykę tę wpisują się badania, których wyniki przedstawiono w niniejszym opracowaniu. Wykorzystanie strategii TPM w przedsiębiorstwach górniczych może, bowiem w istotny sposób wpłynąć na poprawę efektywności ich pracy, a przyjęty do analizy model OEE stwarza spore możliwości pełnej oceny wykorzystania posiadanych maszyn w zakresie ich dostępności i wydajności oraz jakości uzyskiwanego produktu.

Przedstawiona w pracy analiza efektywności wykorzystania kombajnu ścianowego powinna stanowić podstawę do dalszych prac mających na celu analizę całego systemu maszyn wykorzystywanych w procesie produkcji węgla kamiennego. Poddany badaniom kombajn ścianowy stanowi, bowiem pierwsze ogniwo całego ciągu maszyn górniczych, których zadaniem, w kolejnych fazach, jest transport poziomy i pionowy urobku, a w dalszej kolejności także proces jego przeróbki.

Przeprowadzona analiza i uzyskane wyniki jednoznacznie dowodzą, iż stopień wykorzystania badanego kombajnu jest niesatysfakcjonujący. W zakresie prowadzonych badań zanotowane spore różnice w wartości wyznaczonych wskaźników dla poszczególnych zmian roboczych, mimo iż w okresie tym nie doszło w rejonie prowadzonej eksploatacji do zdarzeń mogących zakłócić ten proces. Szczególnie w zakresie dostępności zaobserwowano wiele zdarzeń powodujących obniżenie tego wskaźnika. Dzięki wykorzystaniu urządzeń automatyki przemysłowej zarejestrowano szereg przerw w pracy kombajnu, dla których trudno było określić przyczyny. W takim przypadku zasadnym wydaje się, przy prowadzeniu dalszych badań w zakresie wyznaczania efektywności maszyn górniczych, poszerzenie ich o dokładniejszą identyfikację przyczyn rejestrowanych przerw.

Przeprowadzone badania jednoznacznie dowodzą także, iż fundamentalne znaczenie dla poprawności prowadzonych analiz ma wiarygodność danych wejściowych. W badanym przypadku gwarantują to urządzenia automatyki przemysłowej, które wykorzystano do rejestracji parametrów pracy kombajnu stanowiących podstawowe dane wykorzystane do analizy.

PODZIĘKOWANIA

Niniejszy artykuł jest wynikiem realizacji projektu badawczego nr PBS3/B6/25/-2015 pt. „Wykorzystanie metody efektywności całkowitej dla poprawy efektywności pracy maszynowych kompleksów ścianowych w procesie eksploatacji węgla kamiennego”, realizowanego w latach 2015-2017 i finansowanego przez NCBiR.

LITERATURA

- 1 A. Brzeziński. *OEE dla operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia*, Wrocław: ProdPress, 2009.
- 2 G.A. Einicke i inni. „Longwall Mininig Automation. An Application of Minimum-Variance Smoothing.” *IEEE Control Systems Magazine*, nr 6, 2008.
- 3 S. Eleveli, B. Eleveli. „Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE.” *Acta Montanistica Slovaca* t. 15, nr 2, 2010.
- 4 W. Mazurek. *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka. wydanie II*. Neuron, 2014, Pobrano z: <http://www.neuron.com.pl/pliki/oee.pdf> [Dostęp: 11.02.2016].
- 5 S. Nakajima. *Introduction to TPM. Total Productive Maintenance*. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.
- 6 H. Przybyła. „Ryzyko zakłócenia procesu wydobywania w warunkach ścian o wysokiej koncentracji produkcji.” *Przegląd Górniczy*, nr 9, 2009, s. 103-106.
- 7 K. Szewczyk. „Efektywność wyposażenia, jako czynnik wzrostu wartości przedsiębiorstwa.” *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, nr 685, Szczecin 2011.
- 8 W. Warachim, J. Maciejczyk. *Ścianowe kombajny węglowe*. Katowice: Śląskie Wydawnictwo Techniczne, 1992.
- 9 „Zestawienie maszyn, urządzeń urabiających i ładujących w mechanicznym procesie urabiania oraz warunki decydujące o ich doborze.” Pobrano z: <http://slideplayer.pl/slide/8850097/> [Dostęp: 21.03.2016].

WYZNACZENIE EFEKTYWNOŚCI WYKORZYSTANIA KOMBAJNU ŚCIANOWEGO

Streszczenie: Jednym z istotnych problemów polskiego górnictwa jest słabe wykorzystanie posiadanych urządzeń, a w szczególności maszyn górniczych. Dla poprawy tego stanu konieczne jest podejmowanie działań mających na celu rzeczywistą ocenę stopnia wykorzystania tych maszyn. Uzyskane wyniki powinny stać się podstawą działań odpowiednich służb w celu poprawy tej sytuacji. Przedstawione w artykule badania i ich wyniki powinny stanowić istotne źródło informacji w zakresie analizy i oceny wykorzystania kombajnu ścianowego w procesie podziemnej eksploatacji węgla kamiennego. W artykule skoncentrowano się na kombajnie ścianowym, który stanowi pierwsze ogniwo zestawu maszyn wykorzystywanego w podziemnej eksploatacji. Efektywność jego pracy, rozpatrywana w obszarze dostępności, wydajności oraz jakości urobku ma podstawowe znaczenie dla oceny całego procesu eksploatacyjnego. Wykorzystując dane pozyskane z urządzeń automatyki przemysłowej, dla każdego z tych obszarów wyznaczono odpowiednie wskaźniki, które następnie umożliwiły wyznaczenie wskaźnika efektywności całkowitej (OEE) kombajnu. Analizę przeprowadzono dla 66 zmian roboczych, a uzyskane wyniki wskazują na duże rezerwy w zakresie wykorzystania tej maszyny.

Słowa kluczowe: strategia TPM, model OEE, system techniczny, maszyny górnicze

DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE LONGWALL SHEARER USE

Abstract: One of the main problems of Polish coal mining is a poor use of equipment, in particular mining machines. To improve this state, it is necessary to take actions aiming at real evaluation of the use of these machines. The results should form the basis of proper service's activities in order to improve this situation. The research and the results, which the article presents, should be a crucial source of information for the analysis and the evaluation of the use of the longwall shearer in the process of underground exploitation of coal. The article is focused on the longwall shearer, which is the first link of the set of machines used in underground exploitation. Effectiveness of its work, considered in the area of availability, performance and quality of the excavated material, is essential for the evaluation of the whole exploitation process. Using data obtained from industrial automation devices, proper indicators for each of these areas were designated and they allowed the determination of the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator for the longwall shearer. The analysis was conducted for 66 work shifts and the results indicate that there are large reserves in the area of use of this machine.

Key words: strategy of TPM, OEE model, technical system, mining machines

Dr hab. inż. Jarosław BRODNY, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Jaroslaw.Brodny@polsl.pl

Mgr Kinga STECUŁA
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Kinga.Stecula@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 23.06.2016
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 30.06.2016