

3

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA MODELU EFEKTYWNOŚCI CAŁKOWITEJ DO ANALIZY PRACY MASZYN GÓRNICZYCH

3.1 WPROWADZENIE

Zaostrzająca się konkurencja na światowym rynku energetycznym wymusza działania innowacyjne we wszystkich działach przemysłu wydobywczego, w tym także w górnictwie węgla kamiennego. We współczesnym świecie za nowoczesne górnictwo uznaje się ekonomicznie efektywne wydobywanie surowców z wykorzystaniem energooszczędnych i niezawodnych maszyn górniczych przy uwzględnieniu wymogów bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Dla efektywności ekonomicznej funkcjonowania kopalń, szczególnie istotna jest koncentracja wydobycia oraz obniżanie jednostkowego kosztu wydobycia. Dla osiągnięcia tych celów nieodzowny jest rozwój systemu technologicznego wykorzystywanego w procesie wydobywczym. Istotą tego systemu jest właściwa organizacja produkcji, a w tym w szczególności harmonijne powiązanie pracy maszyn i urządzeń z warunkami górniczo-geologicznymi, w których odbywa się eksploatacja. Rosnące, na skutek większej konkurencji, wymagania w zakresie poprawy efektywności krajowego przemysłu górniczego powodują, iż w przemyśle tym wykorzystywane są coraz nowocześniejsze maszyny wchodzące w skład systemów eksploatacyjnych i transportowych. W bieżącej eksploatacji maszyn konieczne jest przede wszystkim zapewnienie ich dużej dyspozycyjności i bezawaryjnej pracy z możliwością uniknięcia nieprzewidzianych uszkodzeń.

Dotychczas wykorzystywane w sferze zarządzania środkami produkcji górniczej rozwiązania skupiały się na niezależnym wykorzystywaniu dwóch obszarów wspierających. Pierwszy, niższego poziomu, automatyki przemysłowej, wykorzystywany do działań czysto operacyjnych (incydent-reakcja), i drugi, operujący już informacją zagregowaną, mogącą służyć do celów analitycznych, jednak ze względów praktycznych, nieoperujący pełnym zakresem zdarzeń, a dobieranych często w sposób uznaniowy, więc siłą faktu o niższej wiarygodności. Powstaje więc potrzeba stworzenia nowoczesnego systemu diagnostycznego, łączącego w sposób automatyczny oba obszary i spinającego innowacyjne rozwiązania techniczne z dziedziny automatyki przemysłowej z uznanymi metodami zarządzania parkami maszynowymi, a opartego o osiągnięcia współczesnej informatyki. System taki powinien bazować na wykorzystaniu automatycznych procedur diagnostycznych opartych na badaniu własności maszyn w trakcie procesów

roboczych, a także na badaniu własności ich wytworów, pozwalając na ocenę stanu technicznego maszyn, a tym samym w sposób istotny wpływać na poprawę parametrów ekonomicznych oraz bezpieczeństwo pracy w kopalniach. System taki umożliwi, więc prowadzenie kontroli racjonalności użytkowania oraz obsługi maszyn, co pozwoli uzyskać poprawę efektywności ich eksploatacji, a w praktyce powinno przełożyć się na wydłużenie czasu ich użytkowania, ograniczeniu awarii i przestojów oraz właściwą organizację i realizację prac związanych z obsługą i konserwacją tych maszyn. Działania te powinny doprowadzić do zwiększenia wydajności, poprawy jakości oraz ograniczenia kosztów eksploatacji maszyn, co w dalszym etapie będzie miało wpływ na obniżenie kosztów jednostkowych produktu, jakim jest wydobywany węgiel.

Zasadnym, zatem staje się opracowanie rozwiązania wykorzystującego nowatorskie, dla praktyki górnictwa węgla kamiennego w kraju, metody wsparte narzędziami informatycznymi i służącego do maksymalizacji efektywności wykorzystania poszczególnych maszyn górniczych, a w konsekwencji zwiększenia ogólnej efektywności procesu eksploatacji węgla kamiennego.

Zastosowanie proponowanego rozwiązania w praktyce, poprzez wprowadzenie istotnych ulepszeń oraz nowatorskich środków wsparcia powinno wpłynąć na lepsze zarządzanie produkcją górniczą. Zasadniczymi celami proponowanych rozwiązań jest zapewnienie:

- maksymalnej dostępności maszyny (zwiększenia rzeczywistego czasu pracy maszyny poprzez porównanie potencjalnego czasu operacyjnego maszyny z rzeczywistym czasem pracy),
- maksymalnego wykorzystania maszyny (ograniczenie strat wydajności),
- maksymalnie wysokiej jakości wynikającej z funkcji celu maszyny (np. uzyskanie odpowiedniego sortymentu węgla).

Skuteczność realizacji powyższych dążeń wymaga konieczności ilościowej ich oceny, a w konsekwencji, opracowania harmonogramu działań korygujących opartych o analizę wpływu wybranych parametrów pracy maszyn na wartości tych ocen. Oceny te powinny odnosić się do cech poszczególnych maszyn i realizowanych procesów eksploatacyjnych. W aspekcie praktycznego wykorzystania miar do oceny maszyn górniczych oraz realizowanych z ich udziałem procesów eksploatacyjnych, można wyróżnić kilka kluczowych cech obejmujących ich stan techniczny, niezawodność, funkcjonalność, efektywność oraz diagnozowalność, czyli podatność na pozyskiwanie informacji o ich stanie technicznym.

W praktyce istnieje wiele modeli wykorzystywanych do ilościowej oceny eksploataowania obiektów technicznych oraz funkcjonowania służb utrzymania ruchu. Najszerze zastosowania praktyczne w różnych branżach znalazły modele efektywności eksploatacyjnej OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) oraz organizacyjno-techniczne KPI (*Key Performance Indicators*), a także modele niezawodnościowe [2], [5], [6], [7].

Uwzględniając przystawalność do założonych celów i specyfikę maszyn górniczych, pracujących w nie do końca dających się zdefiniować zmiennych warunkach zewnętrznych oraz możliwość wykorzystania innowacyjnych rozwiązań informatycznych,

założono wykorzystanie modelu efektywności całkowitej (OEE) do analizy pracy kompleksu ścianowego w kopalni węgla kamiennego. W skład systemu technicznego, za jaki możemy uznać analizowany kompleks wchodzi: kombajn ścianowy, przenośnik zgrzeblowy, kruszarka, przenośnik podścianowy oraz ścianowa obudowa górnicza.

W opracowaniu omówiono model efektywności całkowitej (OEE) oraz przedstawiono podstawowe założenia koncepcji zastosowania tego modelu do analizy pracy zespołu maszyn górniczych.

Ze względu na specyfikę procesu podziemnej eksploatacji, szczególną uwagę zwrócono na sposób oraz wiarygodność pozyskiwania danych eksploatacyjnych z badanych maszyn. Dane te, bowiem mają podstawowe znaczenie w procesie wykorzystania modelu OEE, jako narzędzie poprawy efektywności pracy maszynowych kompleksów ścianowych i poprzez to racjonalizacji kosztów produkcji zakładu górniczego.

3.2 CHARAKTERYSTYKA MODELU OEE

Efektywność jest jedną z podstawowych kategorii wykorzystywanych do opisu stanu, funkcjonowania oraz szans rozwojowych różnego rodzaju przedsiębiorstw, a także pojedynczych maszyn oraz ich zespołów np. tworzących linie produkcyjne. Pojęcie efektywności rozumiane jest najczęściej, jako wzajemne relacje między nakładami i efektami i odnosi się do zasady racjonalnego gospodarowania np. parkiem maszynowym. W przedsiębiorstwach produkcyjnych często wykorzystuje się pojęcie efektywności technicznej rozumianej, jako maksymalizowanie wielkości produkcji przy wykorzystaniu danych nakładów na jej prowadzenie [1].

Można, więc przyjąć, że poprawa efektywności pojedynczych maszyn oraz całych systemów technicznych zależna jest od sposobu ich użytkowania i stanowi jedno z podstawowych zadań realizowanych w czasie ich eksploatacji. Do głównych zadań, formułowanych w sferze eksploatacji systemów technicznych możemy zaliczyć [4]:

- wydłużanie czasu efektywnej pracy eksploatowanych obiektów technicznych,
- skracanie czasu odnawiania zdolności eksploatacyjnej obiektów przy równoczesnym polepszaniu jakości odnawiania,
- zwiększanie trwałości i niezawodności obiektów eksploatacji,
- zmniejszanie zużycia materiałów eksploatacyjnych,
- optymalizację gospodarki częściami zamiennymi,
- optymalizację przepływu informacji w systemie technicznym,
- usprawnianie warunków użytkowania obiektów technicznych,
- polepszanie bezpieczeństwa pracy pracowników,
- eliminację zagrożeń środowiska wywoływanych przez użytkowanie obiektów technicznych.

W celu realizacji tych zadań konieczna jest prawidłowa organizacja i kontrola procesu produkcyjnego. Jednym z istotnych czynników mających wpływ na konkretne działania w tym zakresie jest przyjęcie odpowiedniej metodyki nadzorowania i oceny skuteczności wykorzystania stosowanych maszyn i urządzeń.

Takie możliwości stwarza strategia Kompleksowego Utrzymania Maszyn (TPM –

Total Productive Maintenance), której głównym celem jest zwiększenie efektywności maszyn i urządzeń wykorzystywanych w produkcji. Strategia ta obejmuje swoim zakresem cały cykl życia maszyny co pozwala na stworzenie stabilnego systemu, którego celem jest poprawa efektywności wykorzystania danej maszyny w procesie produkcyjnym. Rezultatami wprowadzenia tej strategii są redukcje kosztów napraw, efektywne wykorzystanie maszyn oraz rzadsza wymiana części, a to z kolei wpływa na ograniczenie nieplanowanych przestoju oraz braku długich przebrojeń. W konsekwencji wpływa to na zwiększenie efektywności i elastyczności parku maszynowego i procesu produkcyjnego [8].

Podstawowym narzędziem wykorzystywanym do ilościowej oceny strategii zarządzania TPM jest model efektywności całkowitej OEE (Overall Equipment Effectiveness), który od kilkunastu lat jest szeroko stosowany w gospodarce światowej do pomiaru efektywności pracy maszyn. Miarą efektywności dla tego modelu jest wskaźnik efektywności będący wypadkową trzech składowych (podrzędnych) niemianowanych wskaźników operujących na trzech warstwach istotnych z punktu widzenia pracy maszyn. Wskaźnikami tymi są [2], [6], [7], [9], [10]:

- Dostępność, określana jako stosunek rzeczywistego czasu pracy maszyny, do teoretycznego czasu dyspozycyjności maszyny. Dostępność obniżana jest przez przestoje o różnej genezie, które w sposób uzasadniony lub nie uniemożliwiają pracę maszyny. Dostępność rzeczywista obniżana jest przez awarie i zależnie od przyjętej metody przez przebrajanie i ustawianie maszyn. Przy określaniu czasu operacyjnego uwzględniono przestoje planowane.
- Wydajność, operuje stosunkiem czasu dostępnego pomniejszonego o straty wydajności maszyny do rzeczywistego czasu pracy. Wydajność (wykorzystanie maszyny) często jest zaniżana przez straty prędkości wykonywania poszczególnych operacji.
- Jakość, określa stosunek produkcji akceptowalnej (dobre produkty) do produkcji całkowitej.

Na rys. 3.1 przedstawiono schemat wyznaczenia wskaźnika efektywności całkowitej wraz z wykorzystywanymi w trakcie jego obliczeń równaniami [2], [6], [7], [9], [10], [13], [14].

| | | | |
|---|--|---------------------|-------------------|
| Dostępność całkowita | | | |
| A. Dostępność rzeczywista (czas operacyjny) | | przestoje planowane | |
| B. Dostępność rzeczywista | awarie, przestoje | | |
| C. Wydajność normatywna (postulowana) | $OEE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E}$ <i>(OEE = dostępność · wydajność · jakość)</i> | | |
| D. Wydajność rzeczywista | | | straty wydajności |
| E. Produkcja całkowita | | | |
| F. Produkcja akceptowalna | | | braki |

Rys. 3.1 Schemat wyznaczenia wskaźnika efektywności całkowitej (OEE)

Źródło: Opracowanie własne

Zasadnym jest zatem stwierdzenie, że wskaźnik końcowy (OEE) oddaje stopień wykorzystania czasu bazowego dla uzyskania pełnowartościowej produkcji. Bardzo istotne przy wyznaczaniu wartości tego wskaźnika dla maszyny lub systemu produkcyjnego ma zidentyfikowanie przyczyn powodujących wystąpienie strat czasowych. Najistotniejszymi spośród tych przyczyn są [13], [14]:

- Awarie, rozumiane jako nieplanowane i często niemożliwe do przewidzenia, zatrzymanie maszyny z powodów technicznych. Zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 3.1 wpływają one na obniżenie wskaźnika dostępności.
- Postoje nieplanowane, których najczęstszą przyczyną są problemy logistyczne. Straty wynikające z tej przyczyny wpływają na zaniżenie dostępności, lecz są stosunkowo łatwe do zredukowania np. przez odpowiednie przedsięwzięcia organizacyjne.
- Drobne awarie i postoje, najczęściej są wynikiem problemów technicznych i usuwane są przez obsługę. Traktowane są jako straty prędkości i wpływają na obniżenie wskaźnika wydajności.
- Przezbieranie, rozumiane jako zmiana wyposażenia maszyny. Generalnie przyjmujemy, że przezbieranie jest przygotowaniem maszyny do produkcji, jednak w momencie, gdy przekroczony zostanie czas normatywny przewidziany na przeprowadzenie tej operacji to nadwyżką tą traktujemy, jako stratę zaniżającą dostępność maszyny.
- Ustawianie traktowane podobnie jak przezbieranie.
- Utratę wydajności będącą wynikiem spowolnienia pracy maszyny lub systemu. Przyczyną mogą być błędy wynikające z nieprawidłowego sterowania, zatrzymań prewencyjnych lub przekroczenia parametrów eksploatacyjnych (np. temperatura, ciśnienie).
- Wadliwy produkt, powodujący stratę czasową konieczną na wyprodukowanie nowego dobrego produktu. Obniża to wartość wskaźnika OEE w części dotyczącej jakości.

Kluczowym czynnikiem interpretacyjnym dla wyznaczenia wartości wskaźnika OEE jest określenie bazy czasowej. Powszechnie akceptowaną interpretacją standardu metodyki jest przyjęcie, że podstawowym czasem bazowym jest całkowity planowany czas produkcji. Jest on rozumiany jako czas organizacyjny, w sensie równoczesnej dyspozycyjności czynnika ludzkiego i maszynowego, przeznaczony na produkcję. Z czasem, przy okazji poszukiwań rezerw w procesach produkcyjnych, rozszerzano stosowność OEE na szersze obszary. I tak m.in. ukształtował się maksymalny czas bazowy w postaci czasu dyspozycyjności produkcyjnej parku maszynowego, jako lepiej pokazującego potencjalne możliwości produkcyjne zainstalowanych maszyn i urządzeń w czasie kalendarzowym. Ta kalendarzowa perspektywa wskaźników OEE niekiedy określana jest mianem TEEP (Total Effective Equipment Performance) – całkowitej efektywności wykorzystania urządzeń [12].

Obliczona wartość wskaźnika OEE, zgodnie z przedstawionym na rys. 3.1 schematem, dla przedsiębiorstw produkcyjnych powinna mieścić się w granicach 65-70% [10].

Wartości wskaźnika poniżej tej wielkości świadczy o niskiej efektywności wykorzystania maszyn, a co za tym idzie o konieczności wprowadzenia zmian w celu poprawy tej wartości. W tab. 3.1 przedstawiono wartości składowych wskaźników oraz wskaźnika OEE dla przedsiębiorstw „klasy światowej” [14].

Tab. 3.1 Wartości wskaźników składowych i całkowitego OEE dla przedsiębiorstwa „klasy światowej”

| Wartość wskaźnika | Przedsiębiorstwo „klasy światowej” |
|-------------------|------------------------------------|
| Dostępność | 90% |
| Wydajność | 95% |
| Jakość | 99,9% |
| Wskaźnik OEE | 85% |

Źródło: [14]

Z badań wynika, że średnia wartość wskaźnika OEE w przedsiębiorstwach o akceptowalnym wykorzystaniu maszyn, powinna wynosić w granicach 65-70% [8]. Regularne wyznaczanie wartości wskaźnika OOE stwarza możliwość określenia przyczyn oraz problemów występujących w procesie eksploatacji obiektów i systemów technicznych, wprowadzenia koniecznych zmian oraz monitorowania skutków tych zmian. Analiza wartości wskaźników składowych powinna stanowić źródło informacji na podstawie której dokonywane są usprawnienia oraz działania korygujące mające na celu poprawę efektywności procesu produkcyjnego.

Można, więc przyjąć, iż podwyższenie wartości wskaźnika OEE powinno wpłynąć na poprawę wyników finansowych przedsiębiorstwa bez konieczności ponoszenia dodatkowych kosztów zakupu nowych maszyn czy zwiększenia zatrudnienia. Wartość tego wskaźnika, będąca kluczowym miernikiem efektywności wykorzystania maszyn, powinna stanowić podstawę dla wszelkiego typu działań związanych z ciągłym doskonaleniem procesu produkcyjnego w celu pełniejszego wykorzystania możliwości tych maszyn.

3.3 ZASTOSOWANIE MODELU OEE DLA MASZYN GÓRNICZYCH

Jednym ze strategicznych celów realizowanych przez przedsiębiorstwo jest ciągłe podwyższanie jego efektywności ekonomicznej. Istotnym składnikiem tego procesu jest efektywne wykorzystanie posiadanego parku maszynowego. Warunkiem postępu w takim procesie jest precyzyjna informacja o aktualnym wykorzystaniu maszyn, stratach związanych z nieefektywną pracą, awaryjnością maszyn, czasem reakcji na awarie oraz czasem poświęconym na naprawy. W przemyśle, również w górnictwie węgla kamiennego, w ostatnich latach obserwować można coraz szerszy zakres stosowania systemów monitorowania maszyn i urządzeń i postępujący za tym rosnący stopień wykorzystywania informacji pochodzącej z takich źródeł. Gromadzone przez te systemy dane obrazujące przebieg monitorowanego procesu, wykorzystywane są prawie wyłącznie do bieżącej wizualizacji i raportowania poszczególnych parametrów. Jednak coraz częściej dostrzegana jest potrzeba szerszego wykorzystywania pozyskiwanych zasobów danych.

W szczególności, możliwością jest próba identyfikacji i zdefiniowania bardziej zaawansowanego modelu diagnostycznego monitorowanych maszyn i urządzeń. Jednym z uznanych sposobów identyfikacji takich modeli jest podejście przez analizę danych pozyskiwanych w czasie eksploatacji maszyny lub urządzenia.

Genezą prezentowanej koncepcji jest poszukiwanie sposobów podniesienia efektywności i konkurencyjności przedsiębiorstw górniczych. Drogą ku temu, wobec faktu, że przychody są zdeterminowane cenami rynkowymi, jest poszukiwanie sposobów racjonalizacji i obniżania kosztów produkcji, najlepiej w obszarach o wysokiej kosztowności. Stąd obiekt badań został zlokalizowany w obszarze środków produkcji górniczej. Rozpatrując relacje rozgrywające się w tym obszarze zwrócono się w kierunku niestosowanych w krajowym górnictwie głębinowym metodyk 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 jest zastosowanie modelu efektywności całkowitej (OEE). Wykorzystanie tego modelu wiąże się z koniecznością identyfikacji zespołu maszyn poddanych analizie oraz wiarygodnego pozyskiwania danych eksploatacyjnych z tych maszyn. Wszystkie aspekty związane z obserwacją poszczególnych warstw obecnych w metodyce OEE (dostęp, wydajność, jakość), w warunkach górnictwa głębinowego są możliwe w odniesieniu bądź do maszyny urabiającej, bądź szerzej kompleksu ścianowego, bądź jeszcze szerzej całego ciągu technologicznego: od urabiania przodka ścianowego po wyprowadzenie urobku na powierzchnię.

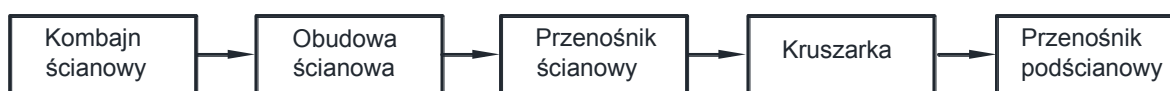
Ograniczenie się do maszyny urabiającej (kombajnu, struga), wobec integralnego jej powiązania w ciąg technologiczny, jak i silnej współzależności używanych w procesie urabiania maszyn i urządzeń, z dużym prawdopodobieństwem może wykazywać niską skuteczność, zbliżoną do wyników już uzyskiwanych przy stosowanych rutynowych środkach obserwacji poszczególnych maszyn. W proponowanym rozwiązaniu postanowiono, więc przyjąć konwencję operowania wskaźnikami OEE, dla całego zwartego kompleksu. Przymierzalnym optimum byłoby operowanie całym ciągiem technologicznym. Uwzględniając jednak ograniczone możliwości w pozyskiwaniu danych, naturalny podział ciągu technologicznego na części, konieczność dookreślenia metodyki wynikająca ze współużytkowania poszczególnych części dla kilku przodków, przyjęto ograniczenie się do początkowego i najistotniejszego ogniwa w postaci urabiania przy użyciu kompleksu ścianowego. Analizie zaproponowano więc poddać zespół maszyn tworzących kompleks ścianowy, wykorzystywany w procesie eksploatacji węgla systemem ścianowym. W skład tego kompleksu wchodzi kombajn ścianowy, przenośnik zgrzebłowy, obudowa ścianowa, kruszarka oraz przenośnik głównej odstawy (podścianowy). Technologicznie analizowany kompleks realizuje ciąg następujących po sobie procesów:

- urabianie calizny węglowej,
- ładowanie odspojonego od calizny urobku na odstawę,
- odtransportowanie urobku z wyrobiska,
- zabezpieczenie wyrobiska.

Założono, że dla implementacji przyjętej metodyki OEE, cały kompleks stanowić będzie swoistą „mega-maszynę”. Dla niego można będzie zdefiniować wszystkie istotne dla OEE składowe, nie tracąc jednocześnie możliwości indywidualnej oceny poszczególnych maszyn na możliwych do zdefiniowania płaszczyznach.

Przyjęcie takiego zestawu maszyn do analizy wynika także z faktu, iż prowadzone w kopalniach analizy ilościowe awaryjności maszyn i urządzeń wskazują, że największy ich udział jest po stronie maszyny urabiającej i przenośników [11]. Można, więc przyjąć, że maszyny wchodzące w skład kompleksu ścianowego wraz z przenośnikiem podjęcia nowym mają największy wpływ na efektywność całego procesu wydobywczego.

Struktura niezawodnościowa przyjętego do analizy systemu w zakresie wzajemnych powiązań określających zależności jego uszkodzeń od uszkodzeń poszczególnych elementów składowych jest szeregową (rys. 3.2), co oznacza, iż funkcjonuje on poprawnie, gdy wszystkie jego elementy składowe są sprawne.



Rys. 3.2 Schemat struktury niezawodnościowej badanego systemu

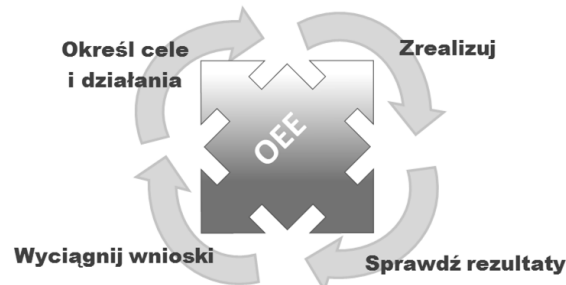
Źródło: Opracowanie własne

W proponowanej koncepcji założono, że przyjęcie do analizy pracy maszyn górniczych modelu OEE umożliwi w sposób kompleksowy opis trzech głównych obszarów tej pracy, a mianowicie dostępność, efektywność wykorzystania oraz jakość produkowanych wyrobów w tym przypadku węgla. Jedną z istotnych zalet wyznaczania wskaźnika OEE jest także określenie kierunków prowadzonych działań doskonalących proces produkcyjny, co powinno umożliwić zidentyfikowanie wąskich gardeł i głównych problemów w tym procesie. Wskaźnik ten można także traktować, jako miernik wdrażanych udoskonaleń na podstawie, którego można określić korzyści wynikające z doskonalenia i eliminacji poszczególnych problemów.

Ogólnie przyjęto, że całość proponowanej rozwiązania opierać się będzie na wykorzystaniu cyklu Deminga, będącego modelem ustawicznego doskonalenia procesów (rys. 3.3)[3]. W tym przypadku procesem jest gospodarowanie środkami produkcji w kopalni węgla kamiennego. Wyznaczane działania będą dotyczyć wykorzystania parku maszynowego, zaś cele nakierowane będą na podnoszenie efektywności użytkowanych środków produkcji, zebranych w kompleks maszynowy. Realizowane cele i działania monitorowane będą istniejącymi środkami, w postaci mechanizmów automatyki przemysłowej oraz informacji ze strony nadzoru i obsługi maszyn i urządzeń. Na podstawie prowadzonego monitoringu wyznaczane będą wskaźniki OEE, których analiza powinna umożliwić ocenę uzyskanych rezultatów. To zaś stanowić będzie bazę do formułowania wniosków w obszarze skuteczności podejmowanych działań. W konsekwencji cykl zostaje zamknięty poprzez sformułowanie kolejnej iteracji celów i działań, w formule działań naprawczych lub doskonalących.

Aby w umiejętny i efektywny sposób zlokalizować wyżej wymienione aspekty, należy zidentyfikować dane, jakie należy pozyskać z badanej maszyny oraz określić

wiarygodny sposób ich przetwarzania i gromadzenia. Czynności te mają fundamentalne znaczenie dla prawidłowego wyznaczenia wskaźnika OEE. Na działania decyzyjne, będące końcowym efektem tego procesu, składa się bowiem ciąg operacji od momentu zdobycia informacji, przez jej gromadzenie i przetwarzanie, aż do momentu wyboru i przekazania ustalonej decyzji do realizacji.



Rys. 3.3 Schemat cyklu Deminga dla modelu OEE

Źródło: Opracowanie własne

Krytyczne znaczenie dla proponowanej koncepcji mają dwa elementy. Pierwszy to dobór parametrów z systemów automatyki przemysłowej i wykorzystywanych dla analizy OEE, a drugi to dobór odpowiednich, zaawansowanych środków i metod informatyki dla opracowania wyników.

W celu rozwiązania tych problemów konieczne jest opracowanie zestawu parametrów, jakie będą możliwe do pozyskiwania w trakcie procesu eksploatacyjnego z każdej z analizowanych maszyn. Następnie opracowana zostanie metodyka pozyskiwania danych o wyselekcjonowanych parametrach pracy maszyn górniczych wraz z systemem ich ewidencji, co odzwierciedlone zostanie w formule wspierających narzędzi informatycznych wykorzystujących zaawansowane technologie hurtowni danych. W procesie gromadzenia informacji na temat parametrów pracy maszyn górniczych proponuje się wykorzystanie systemów automatyki przemysłowej nadzorującej przebieg procesu eksploatacyjnego SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). W tym zakresie konieczne jest opracowanie wariantów procedur, w których elementem różnicującym są różne zestawy parametrów pozyskiwanych z systemów SCADA, a mogących zostać wykorzystanych przy wyznaczaniu wskaźnika OEE. W kolejnym etapie dane zostaną poddane wielokryterialnej analizie, przy wykorzystaniu narzędzi informatycznych. W końcowym etapie przewidziano również wypracowanie przesłanek interpretacyjnych wykorzystywania metodyki OEE dla analizowanego zestawu maszyn.

Finalnym zamysłem, prezentowanej koncepcji, jest opracowanie narzędzia systematycznej kontroli efektywności procesu produkcyjnego, ukierunkowanego na ograniczenie liczby awarii, i usterek oraz redukcję postojów. Narzędzie to ma wskazywać miejsca i możliwości do przeprowadzenia udoskonalień czy eliminacji „wąskich gardeł” w procesie urabiania węgla kamiennego. Samo prowadzenie konkretnych działań, jako pochodna analizy OEE, musi być już komponentem praktyki bieżącego zarządzania procesem produkcji. Systematyczne, badanie drzewa wskaźników OEE, zbudowanego dla poszczególnych maszyn i całego systemu powinno stanowić także sposób na zobrazowanie stopnia wdrażania udoskonalień procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie.

Realizacja prezentowanej koncepcji wymaga pełnego współdziałania służb kopalnianych odpowiedzialnych za właściwe gospodarowanie środkami produkcji oraz kompatybilności wykorzystywanych systemów informatycznych.

W dzisiejszej praktyce górniczej, struktury odpowiedzialne za właściwe gospodarowanie środkami produkcji korzystają ze wsparcia szerokiego zakresu rozwiązań teleinformatycznych. Z jednej strony są to zintegrowane rozwiązania klasy EAM/CMMS i komponenty ERP (np. rozwiązania i komponenty systemu SZYK2), skupiające się na zarządzaniu bieżącym utrzymaniem środków produkcji (profilaktyka ukierunkowana na działania zapobiegające awariom – przeglądy, naprawy, regulacje, wymiany elementów, zabiegi konserwacyjne). Drugim nurtem są systemy bieżącego monitorowania pracy maszyn oparte o automatykę przemysłową (systemy klasy SCADA). Obecnie obie te grupy narzędzi działają w sposób niezależny, co znacznie utrudnia pozyskiwanie, przechowywanie oraz obróbkę rejestrowanych danych. Dlatego też istotne znaczenie dla prezentowanej koncepcji ma stworzenie jednolitej platformy rejestracji danych eksploatacyjnych maszyn pozwalającej, na zasadzie efektu synergii, uzyskanie wartości dodanych w obszarze optymalizacji wykorzystania maszyn i urządzeń, a przez to uzyskanie efektów w obszarach zarządzania produkcją i jej utrzymaniem, przekładających się na wymierne korzyści ekonomiczne kopalń.

PODSUMOWANIE

Każde przedsiębiorstwo dąży do maksymalnego wykorzystania swoich zasobów, tzn. do całkowitej transformacji nakładów w wyniki i osiągnięcie maksymalnej efektywności. W praktyce jednak nie zawsze w sposób prosty udaje się osiągnąć te cele. Jedną z istotnych przyczyn tego stanu jest niepełne wykorzystanie możliwości posiadanych przez przedsiębiorstwo maszyn i urządzeń. Ze zjawiskiem takim mamy do czynienia także w górnictwie podziemnym, borykającym się z dodatkowo także z wieloma innymi problemami ekonomicznymi.

Przedstawiona koncepcja zastosowania modelu efektywności całkowitej do Analizy pracy wybranych maszyn górniczych powinna zostać przyjęta jako jeden ze sposobów systemowego podnoszenia efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń w procesie eksploatacji węgla kamiennego. Wprawdzie w praktyce wykorzystuje się różne modele do oceny systemów eksploatacyjnych, jednak z punktu widzenia efektywności wykorzystania całego systemu technicznego oraz poszczególnych obiektów technicznych wchodzących w jego skład zastosowanie modelu OEE wydaje się najbardziej zasadnym w przypadku analizy pracy maszyn górniczych. Planowane do osiągnięcia wyniki wpisują się jako narzędzia mogące być w ostatecznym rozrachunku jednymi ze środków tak niezbędnej racjonalizacji kosztów ponoszonych w górnictwie węgla kamiennego w Polsce i nieodzowności dalszej adaptacji przedsiębiorstw górniczych do reguł wolnorynkowych.

Kluczowym narzędziem, w proponowanym rozwiązaniu ma być platforma teleinformatyczna koncentrująca i integrująca dane pochodzące z różnych maszyn, grupowanych wg kryterium ciągu technologicznego i wykorzystująca te dane na zasadach meto-

dyki OEE do optymalizacji gospodarowania parkiem maszynowym, stanowiącym jeden z kluczowych czynników kosztów twórczych, jak również zapewnienia jakości i bezpieczeństwa produkcji w górnictwie. Można, bowiem przyjąć, że obok wysokich i nieelastycznych kosztów pracy, utrzymywania nierentownych ścian wydobywczych i nadprodukcji węgla, nieefektywne wykorzystanie maszyn i urządzeń należy do najważniejszych obecnie problemów polskiego górnictwa węgla kamiennego.

Wprowadzenie proponowanego rozwiązania powinno w szerszym zakresie przyczynić się do optymalizacji gospodarki środkami trwałymi w kopalniach, poprzez stworzenie warunków do maksymalnego ich wykorzystania, przy równoczesnym utrzymywaniu ich we właściwym stanie technicznym.

LITERATURA

- 1 G. Dębniowski, H. Pałach, W. Zakrzewski. *Mikroekonomia*. Olsztyn: UWM, 2000.
- 2 S. Eelevli, B. Eelevli. „Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE”. *Acta Montanistica Slovaca*. t. 15, nr 2, 2010.
- 3 A. Hamrol, W. Mantura. *Zarządzanie jakością – teoria i praktyka*. Warszawa: PWN, 2002.
- 4 J. Kaźmierczak. *Eksploatacja systemów technicznych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2000.
- 5 A. Loska. „Przegląd modeli ocen eksploatacyjnych systemów technicznych”. *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, t.2. R. Knosala (red.). Opole: Oficyna Wydawn. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2011.
- 6 W. Mazurek. *Wskaźnik OEE – Teoria i praktyka*, 2014. Neuron. Pobrano z: <http://www.neuron.com.pl>. [Dostęp: 14.04.2015].
- 7 P. Muchiri, L. Pintelon. „Performance measurement using OEE: Literature review and practical application discussion”. *International Journal of Production Research*, vol. 46, no. 13, 2008.
- 8 S. Nakajima. „Introduction to TPM”. *Total Productive Maintenance*. Productivity Press, Portland Oregon, 1988.
- 9 A. Pawluk. „Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia, jako miara skuteczności i narzędzie doskonalenia organizacji”. *Studia i prace kolegium zarządzania i finansów SGH*. Zeszyt Naukowy nr 134, str. 9-29. Warszawa: SGH, 2014.
- 10 S. Rathenshwar, D.S. Dhaval, M. Ashish, H.S. Miles. „Overall equipment efficiency (OEE) Calculation”, *Automation through Hardware & Software Development Procedia Engineering*, 51, p. 579-584, 2013.
- 11 B. Skotnicka-Zasadzień. „Zastosowanie inżynierii jakości i niezawodności do analizy awaryjności obiektów technicznych na przykładzie maszyn i urządzeń górniczych”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie*, z. 542, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2014.

- 12 K. Szewczyk. „Efektywność wyposażenia jako czynnik wzrostu wartości przedsiębiorstwa”. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego*, nr 685. Szczecin: Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, 2011.
- 13 OEE. *Całkowita efektywność wyposażenia*. Wrocław: ProdPress, 2009.
- 14 Vorne Industries. „Fast Track OEE for Production People on the Move”. Pobrano z: <http://www.oee.com> [Dostęp: 14.04.2015].

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA MODELU EFEKTYWNOŚCI CAŁKOWITEJ DO ANALIZY PRACY MASZYN GÓRNICZYCH

Streszczenie: Koniecznością współczesnego górnictwa jest wdrażanie nowoczesnych systemów diagnostycznych opartych o uznane metodyki zarządzania parkami maszynowymi oraz łączące innowacyjne rozwiązania techniczne z dziedziny automatyki przemysłowej i informatyki. Takie walory ma mieć system, oparty o adaptację metodyki ukierunkowanej na zwiększenie całkowitej efektywności procesu eksploatacji węgla kamiennego. Zastosowanie takiego systemu umożliwi kontrolę racjonalności użytkowania oraz obsługi maszyn. Pozwoli uzyskać poprawę efektywności ich eksploatacji, co w praktyce powinno przełożyć się na wydłużenie czasu ich użytkowania, ograniczenie awarii i przestojów oraz właściwą organizację i realizację prac związanych z ich obsługą i utrzymaniem. W publikacji przedstawiono koncepcję wykorzystania modelu efektywności całkowitej do analizy pracy wybranych maszyn górniczych.

Słowa kluczowe: model efektywności całkowitej, maszyny górnicze, eksploatacja górnicza

THE CONCEPT OF USING THE MODEL OF OVERALL EFFECTIVENESS FOR OPERATION ANALYSIS OF MINING MACHINES

Abstract: Modern mining industry requires implementation of modern diagnostic systems based on proved management methodologies of machine parks, connecting innovative technical solutions in the field of industrial automation, and information technology. Such advantages will possess the system, which is based on the adaptation of methodology directed to enhance the total effectiveness of the hard coal exploitation process. Application of the system will allow to control of efficiency of usage and maintenance of machines. It will allow achieving of the improvement in effectiveness of their exploitation, and in practice it should translate to extension of their work time, limiting breakdowns and shutdowns. The paper presents the concept of using the model of overall effectiveness for operation analysis of selected mining machines.

Keywords: model of overall effectiveness, mining machines, mining exploitation

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

Data przesłania artykułu do Redakcji: 27.03.2015
Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 07.06.2015