

WYKORZYSTANIE MODELU OEE DO WYZNACZENIA EFEKTYWNOŚCI MASZYN

Słowa kluczowe:

efektywność, maszyny górnicze, model OEE, TPM

1. Wstęp

W polskich przedsiębiorstwach górniczych zajmujących się wydobywaniem węgla kamiennego do optymalnego wykorzystania maszyn niezbędne jest podejmowanie działań i czynności, które przyczynią się do utrzymania ich dobrego stanu technicznego, poprawy ich dostępności oraz wykorzystania. W celu poprawy efektywności wykorzystania tych maszyn zasadnym wydaje się wprowadzenie elementów strategii Total Productive Maintenance (TPM), która stosowana jest na całym świecie przez przedsiębiorstwa produkcyjne. Podstawowymi celami tej strategii jest zwiększenie efektywności maszyn, usprawnienie procesu utrzymania ruchu oraz ukształtowanie właściwych postaw pracowników w odniesieniu do odpowiedzialności za swoją pracę i do współdziałania w budowaniu sukcesu całego przedsiębiorstwa.

W przypadku kopalń węgla kamiennego największe znaczenie, dla zapewnienia ciągłości wydobywania, mają maszyny, które bezpośrednio uczestniczą w procesie eksploatacji, a ich dobór uzależniony jest od zastosowanej technologii eksploatacji. Podstawowym systemem eksploatacyjnym w polskich kopalniach jest system ścianowy, w którym do urabiania i transportu urobku ze strefy przodkowej wykorzystuje się zestaw maszyn zwanych zmechanizowanym kompleksem ścianowym. W skład tego zestawu wchodzi: kombajn ścianowy, przenośnik ścianowy (zgrzeblowy), przenośnik podścianowy (zgrzeblowy lub taśmowy), kruszarka oraz obudowa zmechanizowana [12].

Każda z wyżej wymienionych maszyn w procesie eksploatacji ma określone zadania do wykonania, a z niezawodnościowego punktu widzenia zestaw ten tworzy strukturę szeregową. Zadaniem kombajnu ścianowego jest urabianie węgla (czasami również skały płonnej) i ładowanie go na ścianowy przenośnik zgrzeblowy, którym jest on transportowany do wyrobiska podścianowego. W wyrobisku tym znajduje się przenośnik podścianowy (zgrzeblowy lub taśmowy), którym urobek (węgiel i skała płonna) transportowany jest dalej poza strefę przodkową. Do kruszenia dużych kęsów urobku wykorzystuje się kruszarki montowane na przenośniku ścianowym lub podścianowym albo na obu jednocześnie. Głównym zadaniem obudowy zmechanizowanej jest zabezpieczenie wyrobiska ścianowego przed deformacyjnym oddziaływaniem górotworu.

Efektywność całego procesu wydobywczego w kopalni uzależniona jest od sprawności i niezawodności maszyn wchodzących w skład kompleksu zmechanizowanego, który stanowi pierwsze ogniwo ciągu maszyn wykorzystywanych w procesie podziemnej eksploatacji węgla kamiennego.

W celu wyznaczenia efektywności tych maszyn niezbędny jest dobór odpowiedniego narzędzia, którym w strategii TPM jest model efektywności całkowitej OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Według tego modelu ilościową miarą efektywności wykorzystania danej maszyny jest wskaźnik efektywności całkowitej, będący iloczynem trzech wskaźników składowych wyznaczanych w obszarach dostępności i wykorzystania danej maszyny oraz jakości produktu.

W artykule omówiono podstawowe założenia strategii TPM i modelu OEE oraz przedstawiono przykład zastosowania tego modelu do wyznaczenia efektywności całkowitej zestawu maszyn górniczych.

2. Podstawy Total Productive Maintenance

Total Productive Maintenance w tłumaczeniu na język polski oznacza kompleksowe utrzymanie ruchu. Jest strategią, która stosowana jest w przedsiębiorstwach produkcyjnych na całym świecie. TPM stanowi metodę doskonalenia efektywności poprzez stosowanie technik organizacyjnych i zarządczych, których celem jest zwiększanie niezawodności, dostępności i wydajności pracy maszyn na wszystkich etapach produkcji [10]. Opiera się na zapobieganiu przestoju w pracy maszyn i urządzeń, które spowodowane są między innymi ich złym stanem technicznym. Metoda TPM jest jednym z wielu narzędzi koncepcji Lean Manufacturing.

Lean Manufacturing (LM) jak sama nazwa sugeruje stanowi podejście nazywane „szczupłą” lub „odchudzoną”, tudzież „wyszczuploną” produkcją, która polega na minimalizowaniu środków produkcji, materiałów, zapasów, zbędnego ruchu, oczekiwania, zbędnego transportu, a także wykorzystania przestrzeni hali produkcyjnej. Zakłada unikanie wszelkiego rodzaju marnotrawstwa na każdym etapie produkcji, czego skutkiem jest nie tylko spadek błędów i pomyłek, ale również wyższa efektywność oraz niższe koszty [2, 13]. Dzięki stosowaniu zasad Lean Manufacturing zwiększana jest jakość i wydajność produkcji, a także bezpieczeństwo pracy. Innymi narzędziami LM są przykładowo: 5S, Just In Time, Kanban, Single Minute Exchange Or Die (SMED), Poka Yoke, Mapowanie Strumienia Wartości (VSM) [14].

Strategia TPM narodziła się w Japonii w latach 70. XX wieku, chociaż jej początki przypadają na lata 50. Wówczas stosowane było podejście Preventive Maintenance (prewencyjne utrzymanie ruchu), które przekształciło się w latach 60. ub. wieku w Productive Maintenance (produktywne utrzymanie ruchu, PM). PM zakładało koncentrację na niezawodności pracy maszyn oraz na efektywności ekonomicznej produkcji. Od 1970 roku zaczęto dążyć do osiągnięcia efektywności utrzymania ruchu, poprzez wprowadzenie

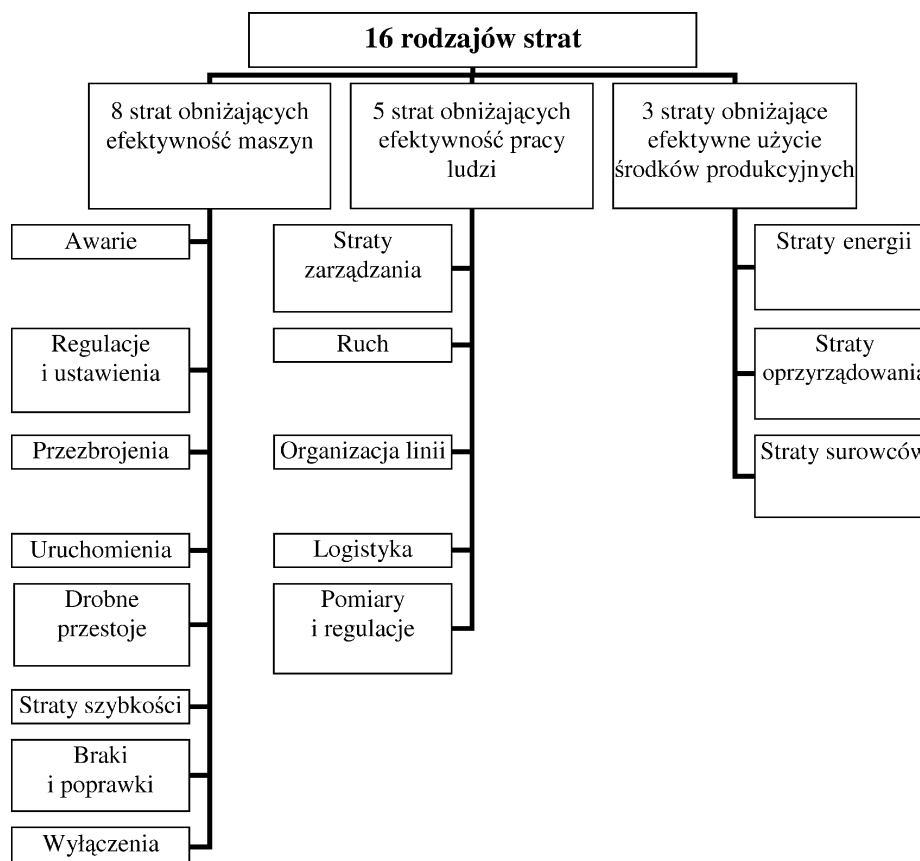
kompleksowego systemu opierającego się na włączeniu wszystkich operatorów w utrzymanie ruchu, zwiększanie świadomości i zaangażowania w rolę w przedsiębiorstwie [10]. Total Productive Maintenance może być również definiowane jako produktywnie utrzymanie ruchu zakładające całkowite uczestnictwo [10]. Oznacza to, że w czynności w ramach utrzymania ruchu muszą być włączeni wszyscy pracownicy danego przedsiębiorstwa. Niewystarczająca jest bowiem implementacja i zrozumienie celów TPM jedynie przez pracowników na szczeblu menedżerskim. Kluczowym aspektem jest bowiem to, że każdy z pracowników musi, po pierwsze mieć świadomość swej roli w utrzymaniu ruchu maszyn i urządzeń, a po drugie powinien w praktyce stosować założenia TPM. Pracownicy muszą wykazywać się aktywnością i zaangażowaniem w utrzymanie ruchu, unikanie i eliminowanie źródeł błędów, pomyłek oraz przestojów, identyfikację przyczyn usterek. Poprzez wykonywanie nawet drobnych czynności, takich jak np. usunięcie strzępków materiałów, które mogą skutkować zacięciem maszyny i przestojem, pracownicy mogą przyczynić się do zmniejszenia zdarzeń negatywnych, a tym samym do wzrostu efektywności pracy. Zatem strategia Total Productive Maintenance łączy dwa aspekty: utrzymanie parków maszynowych na wysokim poziomie poprzez podwyższenie dostępności i niezawodności maszyn oraz angażowanie każdego pracownika w proces utrzymania ruchu [8]. W celu uporządkowania założeń TPM można wyróżnić pięć bazowych założeń [10]:

1. Maksymalizację efektywności wykorzystania posiadanych maszyn i urządzeń.

2. Wprowadzenie i rozwój systemu utrzymania ruchu, który obejmuje czynności konserwacyjne i prewencyjne przyczyniające się do wydłużenia żywotności maszyn i urządzeń.
3. Implementację założeń TPM w różnych działach.
4. Aktywizację zaangażowania wszystkich pracowników w czynności w ramach Total Productive Maintenance.
5. Wprowadzenie obsługi autonomicznej, czyli małych niezależnych grup czynności.

Jednym z najważniejszych aspektów strategii TPM jest unikanie, eliminowanie i zapobieganie powstawaniu strat, które mogą przyjmować różną postać. Na rysunku 1. przedstawiony został jeden z wielu podziałów strat, z którymi można spotkać się w literaturze.

Jak zauważa M. Bryke [4] pracownicy powinni uczyć się rozpoznawać i eliminować wszelkiego rodzaju straty w procesach wytwórczych, dzięki świadomemu stosowaniu TPM. Autor przytacza 16 rodzajów strat, które można podzielić na trzy grupy: osiem strat obniżających efektywność maszyn, pięć strat obniżających efektywność pracy ludzi oraz trzy straty obniżające efektywne użycie środków produkcyjnych. Do pierwszej grupy należą: awarie, regulacje i ustawienia, przebrojenia, uruchomienia, drobne przestoje, straty szybkości, braki i poprawki, wyłączenia. Druga grupa odnosi się do pracy ludzi i obejmuje straty spowodowane niewłaściwym zarządzaniem produkcją, zasobami ludzkimi i parkiem maszynowym, ruch, organizację linii produkcyjnych, logistykę oraz pomiary i regulacje. Ostatnia, najmniej liczna, lecz niekiedy najmniej ważna,



Rys. 1. Rodzaje strat (16) w procesach wytwórczych [4]

grupa składa się ze strat energii, oprzyrządowania oraz strat surowców, których optymalne zużycie ma duży wpływ na koszty produkcji.

Znając rodzaje strat oraz posiadając dane na temat ich występowania podczas całego procesu produkcji, należy dobrać odpowiednie metody pomiaru efektywności pracy maszyn. W literaturze opisywane są różne sposoby mierzenia efektywności, jednak wybór odpowiedniej metody zależy od branży, rodzaju przedsiębiorstwa i celów w zakresie efektywności.

3. Model OEE jako miara efektywności maszyn

W ramach strategii Total Productive Maintenance wyróżnia się trzy podstawowe wskaźniki: Mean Time to Repair (MTTR), Mean Time Between Failures (MTBF) i Overall Equipment Effectiveness (OEE) [9]. MTTR jest średnim czasem przeznaczonym na naprawę, który liczony jest przy wykorzystaniu średniej arytmetycznej czasów trwania wszystkich napraw dla danej maszyny lub urządzenia. MTBF obliczany jest jako średni czas pomiędzy wystąpieniem awarii danej maszyny. Natomiast OEE określa procent możliwej do uzyskania efektywności dla wybranej maszyny, urządzenia, zespołu maszyn, zespołu urządzeń, jak również linii produkcyjnej. W niniejszym artykule omówiony jest trzeci rodzaj wskaźnika efektywności, czyli OEE.

Overall Equipment Effectiveness nazywany jest modelem efektywności całkowitej i stanowi najważniejsze narzędzie służące do ilościowej oceny strategii TPM. Obejmuje trzy obszary podlegające analizie, do których zaliczana jest dostępność i wykorzystanie (wydajność) oraz jakość. Każdy z obszarów wymaga zebrania wiarygodnych danych dotyczących pracy maszyny i strat, w oparciu o które następnie wyznacza się wartość wskaźnika częściowego OEE [10]. Dostępność (D) przedstawia stosunek rzeczywistego czasu pracy (t_r) do teoretycznego czasu dyspozycyjności maszyny (t_t). Przy określaniu teoretycznego czasu przyjmuje się, że uwzględniane są w nim przestoje planowane. W przypadku, gdy nie wystąpiłyby żadne straty czasu w obszarze dostępności, czyli rzeczywisty czas równałby się czasowi zaplanowanemu, dostępność osiągałaby idealny poziom stu procent. Jednakże w rzeczywistości praca maszyn nie przebiega bez zakłóceń, a wartość dostępności jest obniżana przez nieplanowane przerwy, do których zaliczane są awarie, przebrojenia, a także ustawienia i regulacje.

$$D = \frac{t_r}{t_t} \quad (1)$$

Wykorzystanie lub wydajność (W) odnosi się do tempa produkcji. Liczone jest jako iloczyn liczby wyprodukowanych sztuk wyrobu (p) i planowanego czasu cyklu produkcyjnego (t_c), podzielony przez rzeczywisty czas pracy (t_r) maszyny lub urządzenia. Drugim sposobem obliczania wydajności jest wyznaczenie stosunku wartości teoretycznego czasu cyklu produkcyjnego (t_c) do bieżącego (rzeczywistego) czasu cyklu produkcyjnego (t_{cr}).

Do strat w obszarze wykorzystania należą przede wszystkim spadki tempa produkcji, ale również mikroprzestoje, czyli np. blokady lub braki surowców.

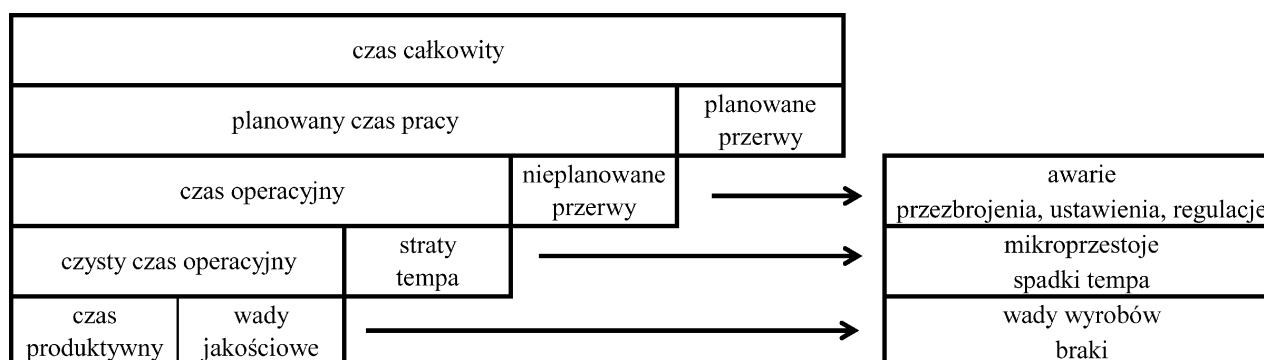
$$W = \frac{p \times t_c}{t_r} \quad (2)$$

$$W = \frac{t_c}{t_{cr}} \quad (3)$$

Jakość (J) odnosi się do stanu produktów i jest stosunkiem liczby produktów akceptowalnych (p_a), czyli spełniających wymogi jakościowe do liczby wszystkich wyprodukowanych wyrobów (p) w badanym okresie. Im więcej wadliwych wyrobów lub braków, tym niższy jest współczynnik jakości.

$$J = \frac{p_a}{p} \quad (4)$$

W oparciu o straty występujące w każdym z trzech obszarów ważnych z punktu widzenia efektywności utworzony został termin Six Big Losses, czyli Sześciu Głównych Strat [5, 10]. Dla przedsiębiorstw, które chcą zmierzyć efektywność całkowitą danej maszyny lub urządzenia w oparciu o model OEE, niezbędna jest znajomość tego pojęcia, następnie identyfikacja poszczególnych rodzajów strat oraz wyliczenie wartości dostępności, wykorzystania i jakości. Na rysunku 2. zobrazowane zostały zależności między czasem całkowitym, planowanym, operacyjnym i operacyjnym wraz z uwzględnieniem Sześciu Głównych Strat. Czas całkowity składa się z planowanego czasu pracy oraz planowanych przerw. Planowany czas pracy zaniżony przez nieplanowane przerwy w obrębie dostępności nazywany jest czasem operacyjnym. Po uwzględnieniu strat na wydajności (wykorzystaniu) otrzymuje się czysty czas operacyjny, którego wartość obniżona przez wady jakościowe umożliwia obliczenie czasu produktywnego. Znajomość



Rys. 2. Zależności między rodzajami czasów w produkcji oraz Sześć Głównych Strat [5, 10]

opisanych zależności jest kluczowa do wyznaczenia wartości OEE.

Po wyznaczeniu współczynników cząstkowych możliwe jest obliczenie efektywności całkowitej OEE jako wypadkowej trzech składowych. Po obliczeniu iloczynu wartości dostępności, wykorzystania i jakości uzyskany wynik najczęściej przedstawia się w wartości procentowej.

$$OEE = D \times W \times J \quad (5)$$

Otrzymaną wartość wskaźnika korzystnie jest porównać ze światowymi progami idealnej wartości procentowej [1]. W przypadku dostępności satysfakcjonującym minimalnym wynikiem jest 90%, podczas gdy dla wydajności wynosi on 95%. Współczynnik jakości natomiast powinien kształtować się na poziomie minimum 99%. Gdy składowe efektywności osiągają wymienione wartości procentowe, wartość wskaźnika OEE wyniesie 85%. Taki wynik jest preferowaną minimalną wartością, przy której można ocenić efektywność jako kształtującą się na dobrym poziomie. Wyniki poniżej tej wartości wskazują na niską efektywność, którą powinno się poprawiać. Wskaźnik OEE, który miał docelowo służyć głównie do oceny efektywności przed i po wdrożeniu koncepcji TPM, ze względu na uniwersalny charakter stał się podstawowym narzędziem służącym do pomiaru efektywności i skuteczności przedsiębiorstw produkcyjnych [11].

4. Wyznaczenie efektywności całkowitej dla zestawu maszyn

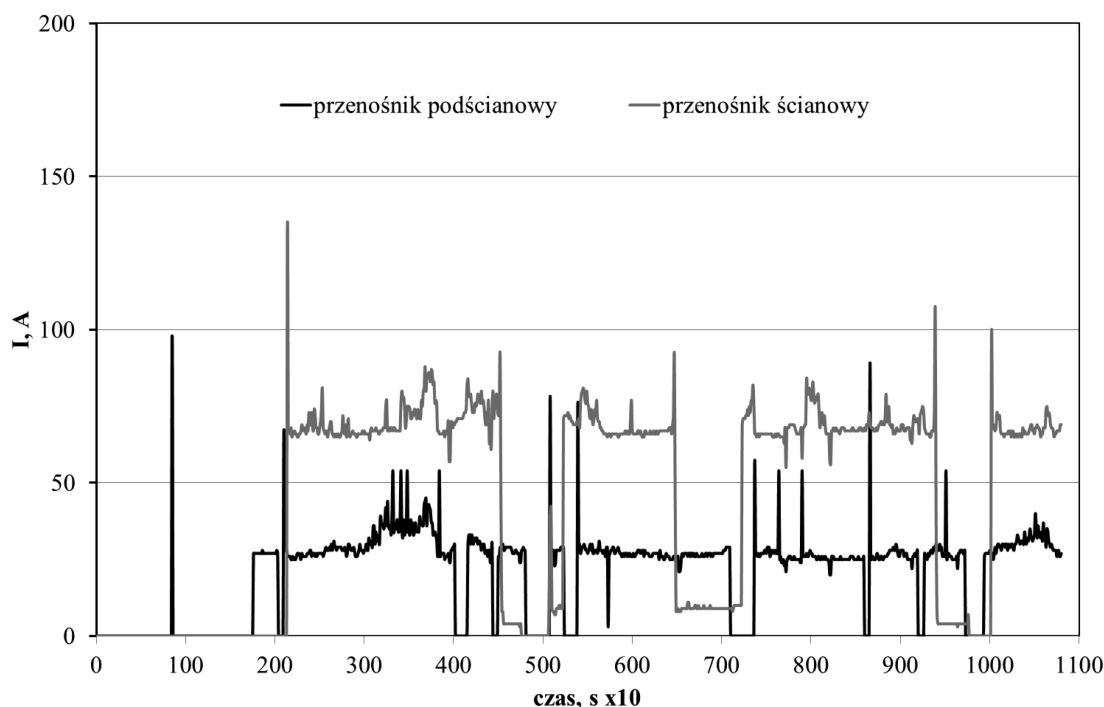
W celu praktycznego zastosowania modelu efektywności całkowitej przeprowadzono stosowne analizy dla zestawu maszyn górniczych wchodzących w skład kompleksu zmechanizowanego. Analizie poddano cztery maszyny

wchodzące w skład tego kompleksu, a mianowicie: kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik podścianowy, kruszarkę. Z dłuższego okresu badawczego wybrano jedną zmianę roboczą (wydobywcza) i dla niej przeprowadzono obliczenia, których rezultaty przedstawiono poniżej.

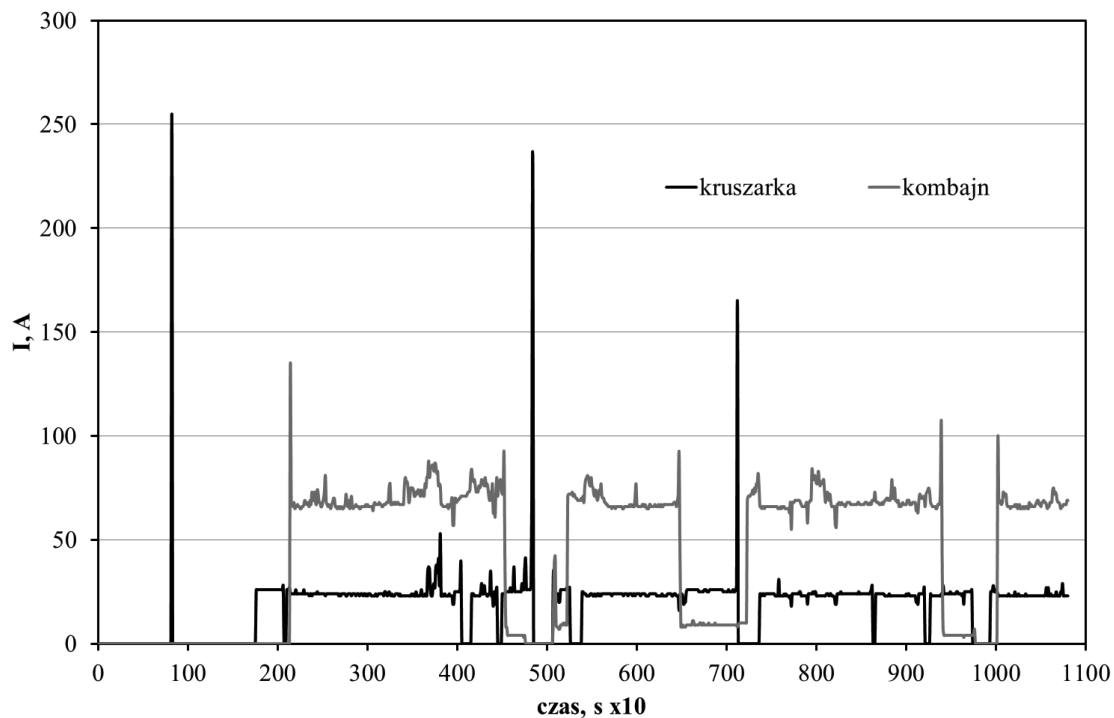
Wyznaczenie współczynnika dostępności umożliwiła rejestracja czasowych przebiegów natężenia prądów pobieranych przez silniki poszczególnych maszyn. Przyjęto, że czas poboru prądu, czyli odnotowanie wartości większej od zera, świadczy o dostępności maszyny, natomiast czas, w którym prąd nie był pobierany określany jest jako nieplanowana przerwa negatywnie wpływająca na wartość dostępności. Taki sposób rejestracji zapewnia wiarygodność danych oraz stwarza duże szanse na identyfikację różnego rodzaju przerw w pracy poszczególnych maszyn oraz opracowanie sposobów eliminacji negatywnych zdarzeń. Na rysunku 3. zaprezentowano fragment czasowych przebiegów natężenia prądów pobieranych przez przenośnik ścianowy i podścianowy, a na rysunku 4. – przez kruszarkę i kombajn dla czasu 10800 sekund, czyli 180 minut danej zmiany roboczej.

Współczynnik wydajności został wyznaczony na podstawie wielkości planowanego dobowego wydobycia węgla, która zawarta jest w planie technologiczno-ekonomicznym kopalni oraz rzeczywistego wydobycia. Wskaźnik jakości natomiast wyznaczono w oparciu o zawartość skały płonnej w kopalinie użytecznej. Dla analizowanego okresu dane dotyczące jakości zostały uśrednione.

W tabeli 1 ujęte zostały wyniki wskaźników cząstkowych oraz wartości wskaźnika Overall Equipment Effectiveness dla badanych czterech maszyn oraz dla całego zestawu dla jednej zmiany roboczej. Na podstawie rezultatów własnej analizy [3] można zauważyć, że najniższymi wartościami charakteryzuje się składowa dostępność. Dla każdej z maszyn kształtuje się ona na poziomie około 70%, a dla całego



Rys. 3. Czasowe przebiegi natężenia prądów silników przenośnika ścianowego i podścianowego [3]



Rys. 4. Czasowe przebiegi natężenia prądów silników kruszarki i kombajnu [3]

	Kombajn	Przenośnik ścianowy	Przenośnik podścianowy	Kruszarka	Zestaw maszyn
Dostępność	69,8%	69,5%	72,6%	71,9%	71,0%
Wydajność	88,5%	78,8%	78,8%	78,8%	81,2%
Jakość	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%	90,0%
Wskaźnik OEE	55,6%	49,3%	51,5%	51,0%	51,9%

Tab. 1. Wartości wskaźników cząstkowych oraz wartości wskaźnika OEE dla poszczególnych maszyn górniczych oraz całego zestawu dla jednej zmiany roboczej [3]

zestawu wynosi 71%. Można stwierdzić, że dostępność osiąga niezadawalający poziom w przypadku badanych maszyn. Rezultaty wydajności okazują się być lepsze, jednakże w odniesieniu ich do światowych standardów ($W \geq 95\%$) nie są satysfakcjonujące. Uśrednione wyniki jakości dla każdej z maszyn zostały wyznaczone na poziomie 90%. W oparciu o wartości dostępności, wydajności i jakości wyliczony został wskaźnik efektywności całkowitej, który dla zestawu maszyn osiągnął wartość zaledwie 51,9%. Otrzymany wynik okazuje się być niski w porównaniu z powszechnie uznaną minimalną satysfakcjonującą wartością OEE, wynoszącą 85%. Zatem można stwierdzić, że badany zestaw czterech maszyn górniczych charakteryzuje się niską efektywnością.

W tabeli 2 zaprezentowane zostały średnie wartości wskaźników cząstkowych oraz wartości wskaźnika Overall Equipment Effectiveness dla badanych czterech maszyn oraz dla całego zestawu dla większego zasięgu czasowego, mianowicie dla dwudziestu pięciu zmian roboczych. Jak można zaobserwować w oparciu o dane, średnia wartość wskaźnika efektywności dla czterech maszyn wynosi 53,27%. Jest to wynik niski, zatem powinno się dążyć do jego podwyższenia, poprzez podjęcie odpowiednich działań i decyzji.

Na rysunku 5. przedstawiony jest wykres zmian wartości wskaźnika OEE obliczonych dla kombajnu, przenośnika ścianowego, przenośnika podścianowego i kruszarki dla poszczególnych dwudziestu pięciu zmian roboczych. Najwyższe wyniki efektywności osiąga kombajn, którego średnia wartość OEE wynosi 56,88%.

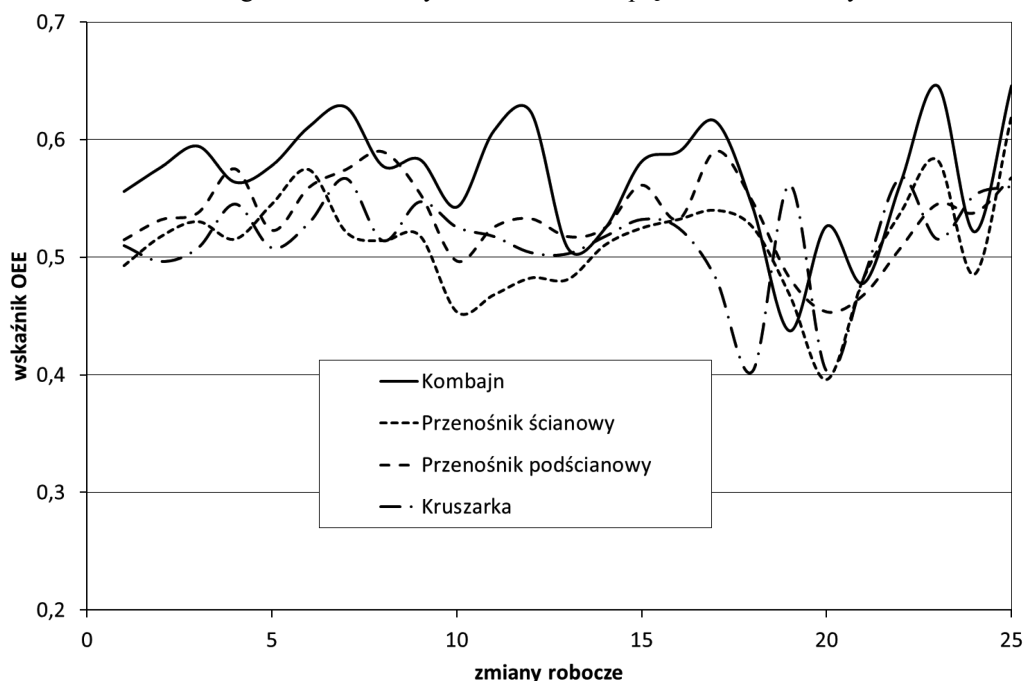
5. Podsumowanie i wnioski

W oparciu o uzyskane wyniki można stwierdzić, że analizowane maszyny wykazują rezerwy w zakresie efektywności całkowitej (wskaźnik OEE). Stan wykorzystania maszyn jest niezadawalający, szczególnie w porównaniu ze światowymi standardami, natomiast porównanie wyników efektywności maszyn badanej kopalni z innymi kopalniami jest trudne z powodu braku wiarygodnych danych z tych kopalń.

Przy ocenie i porównaniu do standardów światowych (wyznaczonych dla innych branż) należy uwzględnić specyfikę branży górniczej, która charakteryzuje się bardzo trudnymi, zmiennymi i niebezpiecznymi warunkami pracy, w których następują nieprzewidywalne zdarzenia. Jednakże biorąc pod uwagę specyfikę produkcji górniczej, efektywność na poziomie 51,9% (dla jednej zmiany roboczej) oraz

	Dostępność	Wydajność	Jakość	OEE
Kombajn	69,50±5,9%	91,00±1,5%	90,00%	56,88±5,90%
Przeñośnik ścianowy	70,00±5,4%	81,40±1,8%	90,00%	51,28±4,50%
Przeñośnik podścianowy	72,90±4,2%	81,40±1,8%	90,00%	53,26±3,50%
Kruszarka	70,30±5,9%	81,40±1,8%	90,00%	51,51±4,20%
Zestaw maszyn	70,40±5,9%	81,40±1,8%	90,00%	53,27±4,80%

Tab. 2. Średnie wartości wskaźników cząstkowych oraz wartości wskaźnika OEE dla poszczególnych maszyn górniczych oraz całego zestawu maszyn dla dwudziestu pięciu zmian roboczych



Rys. 5. Zmiany wartości wskaźnika OEE analizowanych maszyn dla poszczególnych zmian roboczych

53,27% (dla dwudziestu pięciu zmian roboczych) nadal postrzegana jest jako niezadowolająca.

Zaprezentowane w opracowaniu wyniki badań są niewielką częścią pełniejszej analizy efektywności wykorzystania maszyn górniczych, jednakże dane wejściowe, które posłużyły do przeprowadzania prezentowanej analizy charakteryzowały się dużą wiarygodnością. Uzyskane wyniki świadczą o sporych rezerwach w zakresie efektywności pracy badanych maszyn górniczych w obszarze wydajności i jakości, a przede wszystkim dostępności. Zatem należy podjąć odpowiednie działania w celu poprawy wartości wskaźników cząstkowych, jak i całkowitego wskaźnika OEE. Proponowanym rozwiązaniem jest szersza implementacja założeń strategii TPM w przemyśle górniczym. Należy bowiem zidentyfikować przyczyny nieplanowanych przerw, przestojów, mikroprzestojów, zacięć, regulacji i poprawek oraz dążyć do wyeliminowania ich źródeł w celu uniknięcia w przyszłości ich wystąpienia.

Największe usprawnienia są możliwe w obszarze dostępności, ponieważ na podstawie wyników badań można zauważyć, że praca poszczególnych maszyn nie odbywa się w sposób ciągły. Co niewielki odstęp czasu następują przerwy w pracy, a można to zanotować dzięki systemowi rejestrującemu pobór prądu przez silniki maszyn. Częste, nawet

krótkie, przestoje i przerwy skutkują spadkiem dostępności, a także wydajności. Z tego powodu planowane dobowe wydobywanie węgla nie jest w pełni realizowane. Ponadto należy zauważyć, że w badanym okresie nie wystąpiły duże awarie żadnej z maszyn, które tłumaczyłyby niskie wyniki efektywności.

Kolejnym działaniem, które powinno być podjęte przez zarządzających kopalnią jest zmiana podejścia i postaw pracowników. Zgodnie z założeniami TPM pracownicy powinni wykazywać się wysokim zaangażowaniem w pracę i dbałością o utrzymanie ruchu maszyn. Jednym z filarów TPM jest Autonomiczna Obsługa [10], inaczej zwana Autonomicznym Utrzymaniem Ruchu, która zakłada wspólną odpowiedzialność pracowników za utrzymanie parku maszynowego w dobrym stanie technicznym. Operatorzy powinni podejmować proste działania (tzw. drobne usługi), do których należą np. sprzątanie, inspekcje, przeglądy czy drobne naprawy. Skutkiem takich działań jest większy porządek, bezpieczeństwo, szanse na szybką identyfikację zagrożeń i zmniejszenie ryzyka zaistnienia negatywnych zdarzeń. Współpraca działu produkcji i utrzymania ruchu jest bardzo istotna ze względu na to, iż codziennie pracujący przy danej maszynie operatorzy posiadają największą wiedzę na temat jej funkcjonowania, usterek, problemów i niedoskonałości.

Pozytywnymi skutkami Autonomicznej Obsługi jest także spadek kosztów napraw, rzadsza wymiana części maszyny lub urządzenia, wzrost efektywności wykorzystania sprzętu, jak również rozwój współpracy w obszarze utrzymania ruchu i produkcji [7].

Japońskie strategie skupiają uwagę na dbałości o porządek na stanowiskach pracy, a także na wykryciu każdej nieprawidłowości, która może negatywnie wpłynąć na wyniki i sukces całej firmy. Na nieorganizowanym i nieuporządkowanym stanowisku bowiem ciężko jest dostrzec defekt maszyny. Przedsiębiorstwo produkcyjne nie jest przecież zbiorem niezależnych, indywidualnych jednostek, lecz całością, której elementy muszą współpracować, bazując na efekcie synergii. Kluczowe jest zatem kształcenie pracowników w zakresie rozwiązywania problemów i podnoszenie poziomu technicznego oraz doskonalenie umiejętności pracy zespołowej, komunikacji i współpracy [6].

Zaprezentowane częściowe wyniki analizy efektywności powinny być potraktowane jako wstęp do przeprowadzenia dalszych, dogłębnych badań w tematyce efektywności maszyn i utrzymania ruchu w przedsiębiorstwach z branży górniczej.

Niniejszy artykuł został opracowany w ramach badań statutowych o symbolu 13/030/BK_16/0024 pod tytułem „Metody i narzędzia inżynierii produkcji dla rozwoju inteligentnych specjalizacji”, który jest realizowany w Instytucie Inżynierii Produkcji na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej.

Literatura:

- [1] Almeanazel O.T.R., *Total Productive Maintenance Review and Overall Equipment Effectiveness Measurement*. „Jordan J. Mech. Ind. Engineer”, No. 4, 2010, pp. 517-522.
- [2] Bednarek M., *Doskonalenie systemów zarządzania drogą do przedsiębiorstwa Lean*. Difin, Warszawa 2007.
- [3] Brodny J., Stecuła K., *Analiza efektywności wykorzystania zestawu maszyn górniczych*, [w:] *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, red. R. Knosala. Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2016, s. 419-421.
- [4] Bryke M., *Jak skutecznie zbudować i wdrożyć kulturę TPM?*, „Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych”, nr 9 (77), listopad 2011, s. 32-34.
- [5] Elevli S., Elevli B., *Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE*. „Acta Montanistica Slovaca”, Slovak Republic, Nr 15, 2010, s. 95-101.
- [6] Furman J., *TPM jako poprawa efektywności utrzymania ruchu w przedsiębiorstwie przemysłowym*, [w:] *Produkcja i zarządzanie w hutnictwie*, red. R. Budzik. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008, s. 287-290.
- [7] Grobelny P., Legutko S., Furmański Ł., *TPM pomaga zwiększyć efektywność i zapobiega stratom*. Dostępny w Internecie: www.nf.pl/manager/.
- [8] Masaaki I., *Gemba Kaizen. Zdroworozsądkowe, niskokosztowe podejście do zarządzania*. Wydawnictwo MT Biznes, Warszawa 2006.
- [9] Michłowicz E., Smolińska K., *Metoda TPM jako element poprawy ciągłości przepływu*. „Logistyka”, nr 3, 2014. Dostępny w Internecie: www.czasopismologistyka.pl.
- [10] Nakajima S., *Introduction to TPM. Total Productive Maintenance*. Productivity Press, Portland Oregon 1988.
- [11] Pawluk A., *Wskaźnik całkowitej efektywności wyposażenia (Overall Equipment Effectiveness) jako miara*

skuteczności i narzędzie doskonalenia organizacji, „Zeszyty Naukowe: Studia i prace. Kolegium Zarządzania i Finansów” 134. SGH, Warszawa 2013, s. 9-26.

- [12] Skotnicka-Zasadzeń B., *Zastosowanie inżynierii jakości i niezawodności do analizy awaryjności obiektów technicznych na przykładzie maszyn i urządzeń górniczych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2014, s. 13.
- [13] Womack J. P., Jones D. T., *Lean thinking – szczuple myślenie. Eliminowanie marnotrawstwa i tworzenie wartości w przedsiębiorstwie*. ProdPress.com, Wrocław 2008.
- [14] <https://www.leanacademy.portal.prz.edu.pl>.

USE OF THE OEE MODEL TO DETERMINE THE EFFECTIVENESS OF MACHINES

Key words:

effectiveness, mining machines, OEE model, TPM

Abstract:

A major problem of enterprises belonging to the mining sector is the ineffective use of mining machines. In order to improve this situation, it is necessary to take measures aimed at increasing the availability and utilization of machines and improve product quality, and also to keep them in good condition as long as possible. The article presents the results of the effectiveness analysis of using four mining machines, which are part of a mechanized longwall system. Its task is the direct exploitation and transport of minerals from the front zone. The examined set of machines consisted of the longwall shearer, the armoured face conveyor, the beam stage loader and the crusher. For each of the tested machines, the partial effectiveness indicators and the overall effectiveness value based on the Overall Equipment Effectiveness model (OEE) were designated. According to this model, the efficiency ratio is the product of three partial indicators including the availability and the performance of the machine and the product quality. In the present case, the values of all the indicators for the set of machines, which from the reliability point of view create a serial line, were determined.

It should be emphasized that the OEE indicator is one of the most important tools used for quantitative evaluation of the Total Productive Maintenance (TPM) strategy. The aim of the strategy is to improve effectiveness through the application of organizational and management techniques that contribute to increased reliability, availability and performance of machines in all stages of production. TPM assumes avoiding, eliminating, predicting and preventing of losses, failures, downtime, defects and other negative events. In addition, according to the strategy it is crucial to build the proper employee attitudes of responsibility for their work and participation in building the success of the entire enterprise. These activities should be more widely used in the coal industry, which is confronted with major economic and social problems.

Based on the achieved results it can be claimed that all the analyzed machines showed large overall effectiveness reserves. The value of the OEE indicator for a set of machines in the analyzed period was only 51.9%. The use of machines has proved to be unsatisfactory, especially compared with global OEE standards. Therefore, it is reasonable to utilize wider implementation of the TPM strategy in the mining industry.

Mgr Kinga STECUŁA

Instytut Inżynierii Produkcji
Wydział Organizacji i Zarządzania w Zabrze
Politechnika Śląska w Gliwicach
kinga.stecula@polsl.pl