PROPOZYCJA ADAPTACJI WSKAŹNIKA WYKORZYSTANIA WYPOSAŻENIA OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS) DO OCENY EFEKTYWNOŚCI TECHNICZNEJ PRACY MASZYN PODSTAWOWYCH W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH WĘGLA BRUNATNEGO

PROPOSAL FOR ADAPTATION OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS RATIO OEE TO ASSESS THE TECHNICAL EFFECTIVENESS WORK FOR BASIC MACHINES IN OPEN LIGNITE MINES

Andrzej Strempski - Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Zakład Górnictwa, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska
Justyna Woźniak – Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Zakład Ekonomiki Przemysłu i Geoekonomii, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska

W artykule przedstawiono problematykę związaną z szacowaniem efektywności technicznej wielonaczyniowych koparek kołowych pracujących w układzie KTZ. Porównano stosowane w raportach kopalnianych wskaźniki technicznej efektywności całkowitej wraz z propozycją zastosowania miary efektywności wyposażenia OEE (Overall Equipment Effectiveness). Z uwagi na specyfikę procesu technologicznego zaproponowano alternatywny zmodyfikowany sposób liczenia składowej jakościowej w mierze OEE, rozumianej jako „jakość procesu eksploatacji". Przeprowadzono analizę porównawczą rocznych wyników pracy dwóch koparek wielonaczyniowych kołowych w czasie trzech lat pracy, przy zdejmowaniu nadkładu w przykładowej kopalni węgla brunatnego.

Słowa kluczowe: *górnictwo odkrywkowe, techniczna efektywność maszyn, koparka wielonaczyniowa, OEE*

The article presents the problem associated with the estimation of technical efficiency of bucket wheel excavators working in KTZ system. It was compared such parameters which are used in mine reports (indicators of total technical efficiency) with a proposal for the use of measuring equipment effectiveness OEE – Overall Equipment Effectiveness. Taking into account specificity of the technological process proposed an alternative method of calculating the modified component qualitative measure OEE ratio, understood as "quality of exploitation process". They made a comparative analysis of the annual results of the work of two bucket wheel excavators in the three years of work, during the removal of overburden in a lignite mine.

Keywords: *surface mining, technical effectiveness of machinery, bucket wheel excavator, OEE*

Wprowadzenie

Efektywność pracy maszyn jest zagadnieniem istotnym z punktu widzenia m.in. optymalnego wykorzystania środków trwałych parku maszynowego w przedsiębiorstwie górniczym, w którym zdejmowanie nadkładu oraz eksploatacja węgla realizowana jest koparkami wielonaczyniowymi pracującymi w systemie pracy ciągłej. Znajomość wartości wskaźników efektywności ma wpływ na operatywne zarządzanie procesem produkcyjnym oraz planowanie postępów eksploatacji. Dla większości przedsiębiorstw produkcyjnych, które w sposób akceptowalny wykorzystują swoje maszyny, wartość typowego wskaźnika OEE waha się w granicach 65-70%. Jest to poziom jak najbardziej zadowalający [1]. W literaturze mowa jest o zachowaniu szczególnej ostrożności w porównaniach międzybranżowych i uogólnieniu norm tego wskaźnika OEE, które powinny zależeć od specyfiki ocenianego procesu [4]. Przy adaptacji wskaźnika OEE do warunków kopalnianych należy uwzględnić bowiem specyfikę branży oraz stosowanej technologii eksploatacji, charakteryzującą się trudnymi i zmiennymi warunkami pracy. Określenie poziomu OEE i analiza tego wskaźnika w odniesieniu do maszyn i urządzeń zatrudnionych w kopalni odkrywkowej jest możliwa na podstawie osiąganych wyników pracy (raporty) w czynnych zakładach. Trudno też przed analizą spodziewać się na jakim poziomie OEE pracuje kopalnia odkrywkowa czy poszczególne jej maszyny tworzące proces technologiczny.

Parametry i wskaźniki produkcyjne

Techniczna efektywność wykorzystania podstawowego układu technologicznego zakładu górniczego określana jest wskaźnikami wykorzystania możliwości produkcyjnych i technologicznych maszyn podstawowych oraz przenośników

taśmowych w określonych warunkach prowadzonej eksploatacji.

Ponoszone wysokie nakłady inwestycyjne na:

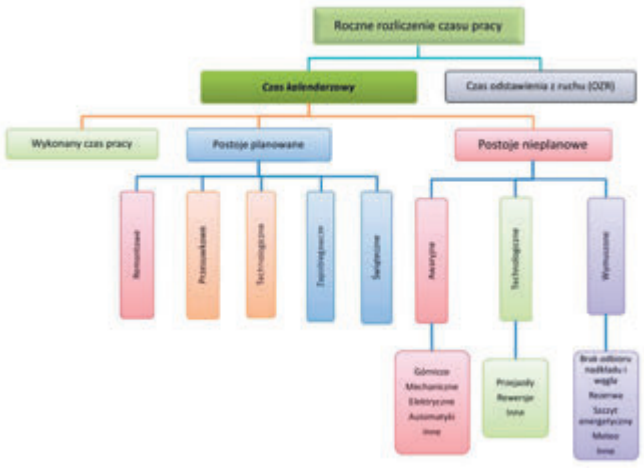
- budowę kopalni,
- zakup maszyn i urządzeń podstawowego układu technologicznego,
- infrastrukturę techniczną,

oraz wysoki udział kosztów stałych związanych z prowadzonym wydobyciem powodują, że analiza i ocena wskaźników technicznej efektywności wykorzystania podstawowych koparek i zwałowarek ma coraz większe znaczenie.

Przebieg procesu produkcyjnego związanego z eksploatacją węgla brunatnego w kopalni odkrywkowej ma charakter ciągły. Charakteryzują go takie parametry i wskaźniki produkcyjne jak:

- ilość wydobytego węgla [Mg],
- objętość zdjętego i zwałowanego nadkładu [m^3],
- objętość wydobytych mas (nadkład + węgiel) [m^3],
- efektywny czas pracy [h],
- czas trwania postoi [h],
- osiągana wydajność maszyn podstawowych [m^3/h].

Wskaźniki te w zależności od potrzeb zestawiane są w interwałach czasowych dogodnych dla sporządzanych raportów zawierających wyniki pracy poszczególnych maszyn i urządzeń wchodzących w skład podstawowego układu technologicznego. Najczęściej są to miesięczne raporty wyników pracy maszyn i urządzeń związanych nie tylko z bezpośrednim procesem produkcyjnym. Na podstawie danych z tych raportów wykonywane są raporty kwartalne, półroczne czy roczne. W praktyce ilości wyeksploatowanego węgla i nadkładu pochodzą z pomiarów geodezyjnych (tzw. obmiary) wykonywanych comiesięcznie dla każdej z zatrudnionych w odkrywce maszyny podstawowej (koparki i zwałowarki). Z kolei roczne rozliczenie czasu pracy koparek, zwałowarek i ciągów transportowych związane jest z rozliczeniem czasu kalendarzowego, na który składają się postoje i wykonany czas pracy (rys. 1). Na tej podstawie można określić m.in. rzeczywistą średnią miesięczną wydajność maszyn dla każdej z zatrudnionych w kopalni koparki i zwałowarki.



Rys 1. Przykładowe roczne rozliczenie czasu pracy maszyn i urządzeń podstawowego układu technologicznego w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego

Fig. 1. Examples of annual settlement of working time machines and basic technological system in a lignite mine

Źródło: Na podstawie [9]

Source: Based on [9]

Stosowane wskaźniki efektywności technicznej maszyn podstawowych

W czynnych kopalniach węgla brunatnego prowadzona jest analiza i ocena wskaźników efektywności pracy koparek podstawowych i zwałowarek. Podlegają jej czasy pracy, osiągane wydajności oraz odpowiednio obliczone syntetyczne wskaźniki czasu pracy i wydajności. Na podstawie najbardziej prawdopodobnych wskaźników efektywności pracy maszyn podstawowych, możliwe jest określenie prognozowanej zdolności wydobywczej układów technologicznych KTZ. Techniczna efektywność pracy maszyn sprowadza się do wyznaczenia dwóch składników pośrednich uwzględniających wydajności (E_Q) i czasy pracy (E_T). Zagadnienie to było poruszane m.in. w literaturze krajowej [5, 6, 2], jest również dobrze rozpoznane i stosowane w raportach kopalnianych. Zaletą tej metody jest nieskomplikowany sposób szacowania, sprowadza się do znajomości teoretycznej i rzeczywistej wydajności maszyn oraz kalendarzowego, planowanego i rzeczywistego czasu pracy.

Efektywność techniczna koparek pracujących w czynnych kopalniach węgla brunatnego jest najczęściej określana przy użyciu wskaźników tj.:

- wskaźnik wykorzystania wydajności teoretycznej E_Q [%]

$$E_Q = \frac{Q_{rz}}{Q_{teor}} \qquad (1)$$

gdzie: Q_{rz} – uzyskana wydajność [m^3/h], Q_{teor} – wydajność teoretyczna koparki [m^3/h]

- wskaźnik wykorzystania kalendarzowego czasu pracy E_T [%]

$$E_T = \frac{T_P}{T_K} \qquad (2)$$

gdzie: T_P – czas pracy [h], T_K – czas kalendarzowy [h]

- wskaźnik efektywności całkowitej E_C [%], jako iloczyn dwóch powyższych wskaźników

$$E_C = E_T \cdot E_Q \qquad (3)$$

Metodologia OEE

Metodologia OEE w ujęciu klasycznym polega na porównaniu wskaźników efektywności maszyny w ujęciu rzeczywistym i teoretycznym (produkcja i jej przygotowanie prowadzone są zgodnie z planem). Bierze się pod uwagę m.in. czas dostępności maszyn, wydajność (wydajność rzeczywista – wydajność nominalna) i jakość (ilość sztuk dobrych – produkcja całościowa) czyli rezultat całego procesu produkcyjnego [10, 12, 13]. Analiza efektywności maszyn przy użyciu wskaźnika OEE jest stosowana głównie w produkcyjnych przedsiębiorstwach stacjonarnych, do określenia efektywności pracy maszyn w gospodarce światowej (w krótkim przedziale czasowym). OEE jest uznawany jako przejrzysty, czytelny i łatwy w interpretacji wskaźnik, a tym samym możliwy do wykorzystywania w różnego typu porównaniach. Jednakże należy zachować szczególną ostrożność w porównaniach międzybranżowych i uogólnieniu norm tego wskaźnika, które powinny zależeć od specyfiki ocenianego procesu. Warto też zwrócić uwagę na to, że teoretycznie prosty w kalkulacji wskaźnik wymaga prowadzenia szczegółowej dokumentacji procesu produkcyjnego w odniesieniu do poszczególnych elementów realizujących proces produkcyjny, co stanowi pew-

ne utrudnienie w jego stosowaniu szczególnie w przypadku produkcji o nieseryjnym charakterze [4].

Analiza literatury branżowej wskazuje, że zastosowanie tego wskaźnika w górnictwie odkrywkowym było znikome, z uwagi na trudności określenia trzeciej składowej wskaźnika czyli jakości. W pracy [3], wspomniano o tym wskaźniku, jednak nie podjęto próby jego ostatecznego oszacowania. Podjęte zagadnienie skupiało się na analizie wydajności i czasów w ciągłym układzie technologicznym. Natomiast w pracy [7] wyznaczono poziom OEE dla koparki typu dragline (maszyna cykliczna), jednak nie wyjaśniono jak składowa jakościowa tego wskaźnika została określona. W trakcie przeglądu literatury sporadycznie przytaczane są przykłady wykorzystania OEE dla krajowego podziemnego górnictwa węgla kamiennego m.in. dla zestawu maszyn górniczych wchodzących w skład układu zmechanizowanego tj. kombajn, przenośnik ścianowy, przenośnik podścianowy, kruszarka [11] czy drążenia wyrobisk korytarzowych [1]. Składowa jakości wskaźnika OEE w analizach dotyczących krajowego górnictwa podziemnego została potraktowana jako zawartość skały płonnej w kopalinie użytecznej.

Zaletą OEE jest przede wszystkim to, że pozwala on uwzględnić zarówno czas dostępności maszyn, jak i ich wydajność oraz jakość otrzymanej produkcji, a zatem rezultaty całego procesu produkcyjnego.

Podstawową miarą w metodzie OEE jest wskaźnik efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń, będący iloczynem trzech komponentów, do których należą:

- wskaźnik wykorzystania czasu kalendarzowego,
- wydajność w ujęciu ogólnym, szacuje się, że jest to relacja czasu dostępnego pomniejszonego o straty wydajności maszyn do rzeczywistego czasu pracy. Składowa ta jest często obniżana przez straty związane z prędkością wykonywania poszczególnych operacji [1],
- jakość – w przypadku linii produkcyjnych określa się tą składową na podstawie zależności produkcji akceptowalnej do produkcji całkowitej [1]. W rozpatrywanym górniczym podejściu określenie składowej jakościowej jest skomplikowane, ze względu na złożoność ciągłego procesu eksploatacji.

Propozycja adaptacji wskaźnika wykorzystania wyposażenia OEE do oceny efektywności technicznej maszyn podstawowych w kopalniach odkrywkowych węgla brunatnego

Zastosowanie wskaźnika OEE w ocenie efektywności technicznej pracy koparek wielonaczyniowych w warunkach kopalni odkrywkowej, związane jest z poszczególnymi składowymi tej miary, tj. dostępności maszyny, jej wydajności i jakości procesu eksploatacji. Pierwsze dwie składowe można oszacować, bazując na znanych metodach obliczania efektywności technicznej maszyn (dostępność i wydajność), zatem:

- dostępność, którą określa się przez iloraz rzeczywistego czasu pracy danej maszyny i teoretycznego czasu dyspozycyjności. W przypadku analizy czasu maszyn górniczych, teoretyczny czas dostępności jest to czas kalendarzowy ujęty w raportach kopalnianych, natomiast rzeczywisty uwzględnia wpływ postoi maszyn (planowane i nieplanowane) (rys. 1).

$$Dostępność = \frac{T_2}{T_1}[\%] \quad (4)$$

gdzie: T_1 – kalendarzowy czas pracy maszyny [h], T_2 – rzeczywisty czas pracy maszyny [h].

Ponadto zgodnie z propozycją usystematyzowania poszczególnych czasów pracy koparek /maszyn (rys. 1) wynika zależność, że czas kalendarzowy T_1 można zapisać jako składową:

$$T_1 = T_2 + T_3 + T_4[h] \quad (5)$$

gdzie: T_3 – postoje nieplanowane [h], T_4 – postoje planowane [h].

- wydajność w ujęciu ogólnym, szacuje się, że jest to relacja czasu dostępnego pomniejszonego o straty wydajności maszyn do rzeczywistego czasu pracy. Składowa ta jest często obniżana przez straty związane z prędkością wykonywania poszczególnych operacji [1]. Przenosząc to na zakres pracy maszyn górniczych, zastosowano inne podejście do tej składowej. Wartość tej składowej określono jako stosunek wydajności rzeczywistej osiągniętej przez maszyny do ich wydajności teoretycznej, podobnie jak w obliczeniach wskaźnika wykorzystania wydajności teoretycznej (E_Q) maszyn:

$$Wydajność = \frac{Q_{rz}}{Q_{teor}}[\%] \quad (6)$$

gdzie: Q_{rz} – wydajność rzeczywista maszyny $[\frac{m^3}{h}]$, Q_{teor}– wydajność teoretyczna maszyny $[\frac{m^3}{h}]$.

Komplikacje pojawiają się dla składowej dotyczącej jakości, bowiem określenie tego komponentu w przypadku linii produkcyjnych jest ułatwione przy odpowiedniej ilości danych. W przypadku zakładu górniczego określenie składowej jakościowej wskaźnika OEE nie może być zastosowane wprost, ze względu na złożoność ciągłego procesu eksploatacji. W tym celu autorzy pracy zaproponowali aby:

- jakość – część jakościowa uwzględniała jakość procesu, czyli eksploatacji, a nie typową jakość produktu (urobku). Proces wydobycia jest zakłócany występującymi w warunkach rzeczywistych postojami (rys. 1) oraz innymi awariami. Dlatego też, wyznaczając składową jakościową uwzględniono udział postoi nieplanowanych w wykonanym czasie pracy, tj. czasie rzeczywistym. Takie podejście można zastosować do koparek wielonaczyniowych jak i do zwałowarek taśmowych (baza rejestrowanych danych). Jest to podejście uniwersalne.

$$Jakość\left(\frac{procesu}{eksploatacji}\right) = \frac{T_2 - T_3}{T_2}[\%] \quad (7)$$

Ogólny wskaźnik wykorzystania wyposażenia oblicza się jako iloczyn trzech składowych, wg poniższego wzoru (8):

$$OEE = Dostępność \cdot Wydajność \cdot Jakość[\%] \quad (8)$$

Zmodyfikowany OEE_M zaproponowany w niniejszej pracy sprowadza się zatem do postaci (9):

$$OEE_M = \frac{Q_{rz}}{Q_{teor}} \cdot \left(\frac{T_2 - T_3}{T_1} \right) [\%] \qquad (9)$$

Analiza porównawcza efektywności technicznej maszyn stosowanych w górnictwie węgla brunatnego metodą OEE_M

Przegląd literatury z zakresu efektywności technicznej podstawowych maszyn górniczych dotyczył prostej analizy technicznej. W nawiązaniu do tego zagadnienia zaproponowano adaptację wskaźnika OEE_M jako sposób obliczenia wykorzystania maszyn w procesie eksploatacji odkrywkowej węgla brunatnego. W tym celu przeanalizowano wyniki pracy osiągane przez dwie koparki kołowe w procesie zdejmowania nadkładu w okresie 3-letnim. Maszyny te charakteryzowały się tym samym poziomem wydajności teoretycznej (oznaczenie K1, K2). Dane wejściowe wykorzystane w niniejszej pracy są historycznymi danymi zaczerpniętymi m.in. z pracy [14]. W wyniku przeprowadzonej analizy określono poziomy wskaźników wykorzystania: czasu kalendarzowego E_I, wydajności teoretycznej E_Q, efektywności całkowitej E_C oraz zmodyfikowanego wskaźnika wykorzystania wyposażenia OEE_M. Porównując wartości E_C (tab. 1, rys. 2) i OEE_M (tab. 3, rys. 3), zaproponowany wskaźnik wydaje się równie miarodajną oceną, bowiem uwzględnia wszystkie składowe E_C wraz z dodatkowym elementem jakości procesu, określającej wpływ zdarzeń losowych na pracę maszyny. Uzyskane rezultaty zamieszczono w tabelach (1 i 2) i na rysunkach (2, 3 i 4).

Propozycja wprowadzenia wskaźnika OEE_M jest pierwszą, w warunkach krajowych, próbą wprowadzenia światowych standardów jakości, związanych z szacowaniem efektywności technicznej maszyn podstawowych pracujących w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego. Wartość zmodyfikowanego wskaźnika OEE_M określa jak efektywnie wykorzystywane są maszyny podstawowe oraz czas wykonany (rys. 1) ze szczególnym uwzględnieniem czasu postoi planowanych i nieplanowanych. Porównując wartość E_C i OEE_M (rys. 4) uzyskane przez przykładowe koparki obserwujemy podobny przebieg wskaźników w analizowanym okresie, co potwierdza poprawność przyjętych założeń.

Uzyskane wartości zmodyfikowanego OEE_M są mniejsze od wskaźnika efektywności całkowitej E_C średnio o ok. 32 %. Uzyskane wyniki OEE_M to poziom z zakresu 10 – 26%. Wyniki te są niższe i różnią się wartościami od standardów klasyfikacyjnych dla typowych zakładów produkcyjnych (poziom akceptowalny OEE > 40%). Jednakże artykuł ten nie ma na celu odniesienie uzyskanych wartości OEE_M wobec innego sektora gospodarki (działu przemysłu) ale przybliżenie branży górnictwa węgla brunatnego ku tym standardom i dostosowanie go do specyficznej działalności górnictwa węgla brunatnego.

Tab. 1. Wskaźniki efektywności koparek K1, K2
Tab. 1. Effectiveness indicators of excavator K1, K2

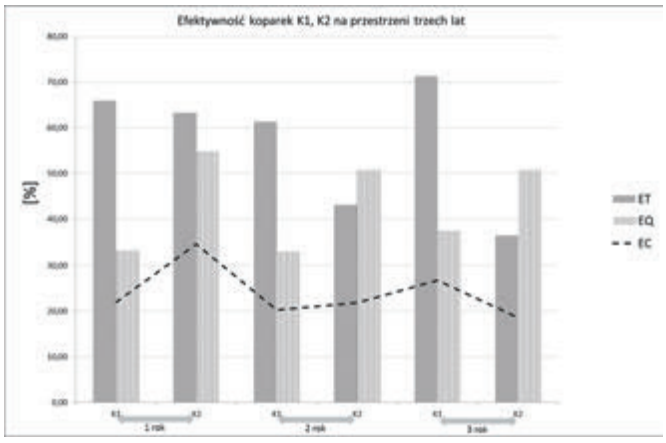
	Koparka	E_I [%]	E_Q [%]	E_C [%]
1 rok	K1	65,96	33,30	21,96
	K2	63,31	54,79	34,69
2 rok	K1	61,33	33,09	20,30
	K2	43,07	50,71	21,84
3 rok	K1	71,36	37,59	26,82
	K2	36,63	50,79	18,61

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalnianych i [14]
Source: Own study based on mining datas and [14]

Tab. 2. Zmodyfikowany wskaźnik OEE_M dla koparek K1, K2
Tab. 2. Modified index OEE_M for excavators K1, K2

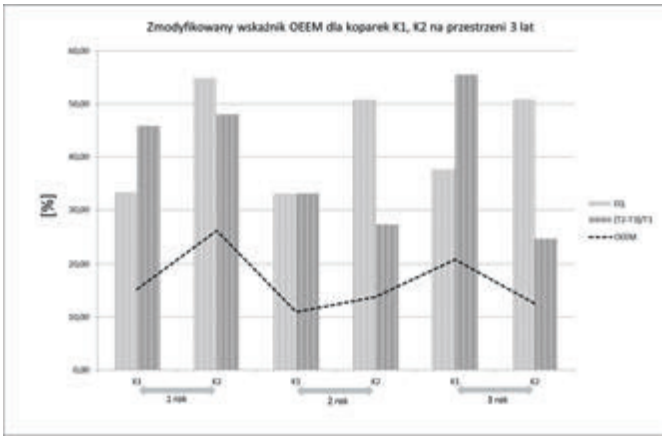
	Koparka	E_Q [%]	(T_2-T_3/T_1) [%]	OEE_M [%]
1 rok	K1	33,30	45,79	15,25
	K2	54,79	47,97	26,28
2 rok	K1	33,09	33,08	10,95
	K2	50,71	27,24	13,82
3 rok	K1	37,59	55,44	20,84
	K2	50,79	24,74	12,57

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalnianych i [14]
Source: Own study based on mining datas and [14]



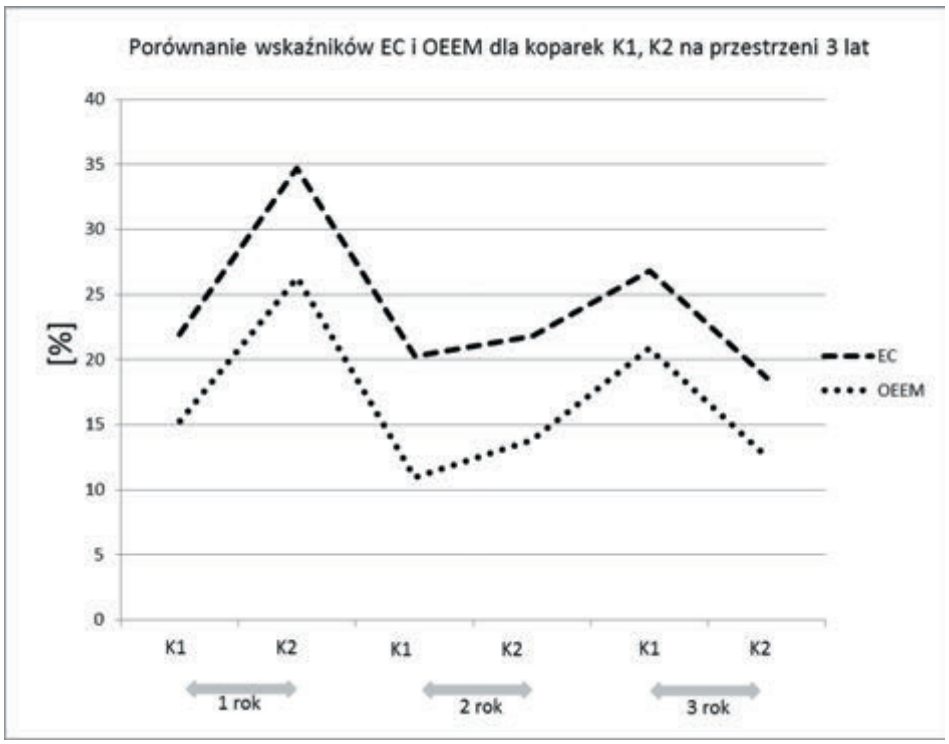
Rys. 2. Graficzna prezentacja wskaźników efektywności technicznej koparek
Fig. 2. Graphical presentation of the technical effectiveness indicators of excavator

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalnianych i [14]
Source: Own study based on based on mining datas and [14]



Rys. 3. Graficzna prezentacja zmodyfikowanego wskaźnika OEE_M
Fig. 3. Graphical presentation of the modified OEE_M

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalnianych i [14]
Source: Own study based on mining datas and [14]



Rys. 4. Porównanie wskaźników E_C i OEE_M
Fig. 4. Comparison of two indicators E_C and OEE_M

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych kopalnianych i [14]
Source: Own study based on mining datas and [14]

Podsumowanie i wnioski

Artykuł dotyczy tematyki związanej z szacowaniem efektywności technicznej maszyn podstawowych w procesie zdejmowania nadkładu. W artykule zestawiono przykładowe wskaźniki technicznej efektywności całkowitej koparek wraz z propozycją zastosowania miary efektywności wyposażenia OEE. Autorzy podjęli próbę dostosowania elementów składowych wskaźnika OEE (Overall Equipment Effectiveness) w odniesieniu do warunków kopalnianych górnictwa węgla brunatnego a dokładniej do specyficznej pracy wielonaczyniowych koparek kołowych. Tym bardziej zasadne wydaje się uwzględnienie składowej jakości w zaproponowanym zmodyfikowanym podejściu OEE_M jako jakość procesu eksploatacji i dogłębna analiza czasu pracy tych maszyn. Zaprezentowane zastosowanie wskaźnika OEE_M jest propozycją, która dzięki jego wielostopniowej strukturze umożliwia rozpoznanie poziomu strat wydajności i dyspozycyjności koparek w procesie urabiania. Ponadto artykuł może być punktem wyjściowym do innych propozycji w zakresie wykorzystania wskaźnika efektywności OEE i jego różnorodnej modyfikacji w górnictwie odkrywkowym. W artykule przykładowe obliczenia dotyczą urabiania warstw nakładowych w rozliczeniu rocznym, niewykluczone, że znajomość parametrów jakościowych kopaliny urabianej przez daną koparkę może być bazą do składowej jakościowej w OEE czy też udział skały płonnej w procesie roboczym koparki (w zadanym przedziale czasowym, czy urobieniu danej zabierki na pełnej wysokości). Przewiduje się, że miarą OEE będzie można określić efektywność układu technologicznego KTZ, po określeniu dodatkowych warunków brzegowych bądź założeń.

Literatura

[1] Brodny, J., Dziemba, Ł., 2015. *Koncepcja wykorzystania modelu efektywności całkowitej do analizy pracy maszyn górniczych*, Inżynieria Systemów Technicznych, Zeszyt 2(11), Zabrze

[2] Brzeg K., Waroch M., Raińczuk M.: *Propozycja zunifikowanej metody oceny efektywności urabiania koparkami wielonaczyniowymi w kopalniach węgla brunatnego*. IV Międzynarodowy Kongres Górnictwa Węgla Brunatnego. PGE KWB Bełchatów 2009

[3] Iosif Andras, Marin Silviu Nan, Iosif Kovacs, Daniel Cristea, Liviu-Cristian Tomescu, *Research Regarding The Oee (Overall Equipment Effectiveness) Assessment Of The Coal Open Pit Mines Production System*, Annals of the University of Petroşani, Mechanical Engineering, 8 (2006), 139-146

[4] Jonek – Kowalska I. i Tchórzewski S. 2016. *Wskaźniki efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń w górnictwie węgla kamiennego – krytyczne podejście do unifikacji i normalizacji.* Inżynieria Mineralna, Journal of the Polish Mineral Engineering Society — lipiec – grudzień <2016> july – december s. 99-105

[5] Kasztelewicz, Z., Kozioł, K., 2007. *Wydajność i czas pracy koparek wielonaczyniowych w kopalniach węgla brunatnego,* Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 31, Zeszyt 2.
[6] Kozioł, K., Ciepliński, A., Machniak, Ł., 2010. A*naliza porównawcza efektywności pracy maszyn podstawowych w kopalniach węgla brunatnego – problemy z unifikacją wskaźników,* Górnictwo i Geoinżynieria, Rok 34, Zeszyt 4
[7] Kumar, P., 2013. *Performance Appraisal of Equipments In Opencast Mines, Department of Mining Engineering,* National Institute of Technology, Rourkela
[8] Mazurek, W., 2014. Wskaźnik OEE – *Teoria i praktyka,* wydanie II, Neuron http://www.neuron.com.pl/pliki/oee.pdf (01. 2017 r.)
[9] Nowak-Szpak A., Strempski A., Bajcar A., 2013.*Technologiczna charakterystyka obiektów w blokach danych symulacyjno – identyfikacyjnych programów sterowania pracą koparek kołowych.*; *Projekt Mechatroniczny system sterowania, diagnostyki i zabezpieczeń w maszynach górnictwa odkrywkowego. Raport z realizacji zadania 5 Mechatroniczny system sterowania koparką.* Poltegor Instytut Wrocław 2013 r. ISBN 978-83-6090-41-8
[10] Oechsner R, Pfeffer M, Pfitzner L, Binder H, Muller E, Vonderstrass T. *From overall equipment efficiency(OEE) to overall Fab effectiveness (OFE).* Materials Science in Semiconductor Processing 2003; 5: 333–339
[11] Stecuła K., 2016. *Wykorzystanie modelu OEE do wyznaczenia efektywności maszyn,* Zarządzanie Przedsiębiorstwem 2016 Vol. 19, nr 2, s. 27-33
[12] Wang T. Y, Pan H. Ch. *Improving the OEE and UPH data quality by Automated Data Collection for the semiconductor assembly industry.* Expert Systems with Applications 2011; 38: 5764-5773
[13] Wilczarska J. *Efektywność i bezpieczeństwo użytkowania maszyn*. Inż. i Ap. Chem. 2012; 2: 41-43
[14] Zając, A., 2016. *Efektywność pracy ciągłych układów wydobywczych w KWB Bełchatów.* Praca magisterska niepublikowana, Wrocław

Fot. RS-K

Z cyklu: Energia Ziemi