

WSKAŹNIK EFEKTYWNOŚCI OEE W SYSTEMIE PRODUKCJI GNIAZDOWEJ¹

Magdalena MURDZEK*, Maria RICHERT**, Rafał HUBICKI***

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Szkoła Doktorska

** AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Strategicznego

*** Grupa Kęty SA w Kętach

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono wskaźnik OEE (*overall equipment effectiveness*) w odniesieniu do ilościowej oceny efektywności produkcji. Procentowo ukazuje on wykorzystanie czasu pracy maszyn. Wskaźnik ten składa się z trzech parametrów: dostępności, wydajności oraz jakości. Interesującym składnikiem wskaźnika jest jakość i jej wpływ na wartość wskaźnika OEE. Jakość, której pogorszenie powoduje zmniejszenie liczby sprzedanych wyrobów, wpływa na wydajność i zmniejsza efektywny czas pracy maszyn. Poprawa wydajności powoduje wzrost efektywności produkcji. Na podkreślenie zasługuje możliwość podwyższenia efektywności produkcji bez wzrostu nakładów, dzięki działaniom zmniejszającym liczbę wybraków produkcyjnych.

Słowa kluczowe: efektywność produkcji, jakość, czas pracy maszyn

1. Wprowadzenie

Nieustanny rozwój gospodarczy przyczynia się do wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw, a tym samym wymusza na producentach ciągłe usprawnianie i automatyzację procesów produkcji, zarówno w celu utrzymania, jak i poprawy ich obecnej pozycji na rynku (Lipiak i Ejsmont, 2016).

Każdy projekt i proces charakteryzuje sześć efektywności: koszty, czas, jakość, zakres, ryzyko i korzyści. Są to zmienne (aspekty efektywności), którymi należy zarządzać. Z punktu widzenia interesariuszy najistotniejsze są korzyści, jednak nigdy nie zostaną one osiągnięte bez zapewnienia pozostałych zmiennych na oczekiwanym poziomie. Pomędzy wszystkimi aspektami efektywności występują zależności, które umożliwiają sterowanie nimi i korygowanie przekroczeń zakresu tolerancji jednego parametru drugim. W ten sposób osiągana jest wysoka efektywność i jakość procesów, które należy nadzorować przy użyciu odpowiednich wskaźników.

¹ Publikacja została sfinansowana przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie (subwencja na utrzymanie i rozwój potencjału badawczego).

Podstawowym miernikiem wykorzystywanym do weryfikacji efektywności pracy maszyn oraz procesów produkcyjnych jest OEE (*overall equipment effectiveness*) (Wirkus i Kukułka, 2015). Wskaźnik ten jest metodą pomiaru oraz wizualizacji danych pokazującą, jak efektywnie wykorzystywane są w przedsiębiorstwie zasoby produkcyjne. Upraszczając, można stwierdzić, że wskaźnik OEE przedstawia, jaki procent pracy wykonały maszyny w porównaniu do teoretycznej maksymalnej wartości możliwej do osiągnięcia (Lipiak i Ejsmont, 2016). Elastyczność, standaryzacja procesów oraz zrozumienie wskaźnika OEE są kluczem do eliminacji marnotrawstwa, ciągłego doskonalenia oraz spełnienia coraz wyższych wymagań klientów.

OEE, jako kluczowy wskaźnik wydajności produkcji używany do pomiaru produktywności sprzętu, pozornie może być miernikiem prostym w obliczeniu oraz uniwersalnym, nadającym się do zastosowania w wielu przedsiębiorstwach produkcyjnych. Duże zróżnicowanie typów produkcji w poszczególnych zakładach niejednokrotnie wymusza dostosowanie wskaźnika OEE do charakterystyki produkcji przedsiębiorstwa. Tak naprawdę sposobów jego obliczenia, modyfikacji oraz interpretacji wyników może być wiele. Jest to w głównej mierze zależne od potrzeb branży czy charakterystyki procesów produkcji danego przedsiębiorstwa. Każde dostosowanie wskaźnika do typu produkcji przedsiębiorstwa może być użyteczne i miarodajne, jednak szczególnie istotny jest sposób zbierania danych zasilających dalsze obliczenia. W publikacji Carmen Ng Corrales i in. (2020) ocenie i interpretacji poddawano wskaźnik OEE w odniesieniu do seryjnej produkcji z uwzględnieniem konkretnej maszyny bądź linii produkcyjnej. Wskaźnik ten był również wielokrotnie modyfikowany w zależności od potrzeb branży oraz specyfiki produkcji zakładu. Wielu autorów (w tym Carmen Ng Corrales i in., 2020) zaproponowało własne wzory, dostosowując je do swoich szczególnych wymagań.

W opracowaniu przedstawiono metodykę wyznaczenia wskaźnika OEE całkowitej efektywności wyposażenia oraz studium przypadku. Szczególnie istotnym aspektem przeprowadzonej analizy jest charakter produkcji analizowanego przedsiębiorstwa, który wymusza modyfikację sposobu wyznaczania poszczególnych składowych wskaźnika OEE. W trakcie analizy zebranych danych ustalono, że ocena efektywności wykorzystania maszyny w ciągu tygodnia roboczego jest obciążona błędem, co szczególnie wpływa na składową wydajności.

2. Metodyka wyznaczenia wskaźnika całkowitej efektywności wyposażenia (OEE) dla wybranej maszyny

OEE to kluczowy wskaźnik TPM (*total productive maintenance*), jak również najczęściej stosowany miernik służący do oceny wydajności i efektywności pracy maszyn w zakładach produkcyjnych. Jest stosowany do ilościowej oceny wydajności maszyn oraz linii produkcyjnych (Furman, 2014).

Wskaźnik OEE jest wypadkową trzech podrzędnych wskaźników takich jak dostępność, wykorzystanie/wydajność oraz jakość. OEE jest nieodłącznie związany

z czasem, gdyż to właśnie czas podstawiamy do wzoru i to straty czasu muszą zostać zdiagnozowane i wyeliminowane.

Trzy podrzędne wskaźniki OEE można zdefiniować następująco (Carmen Ng Corrales i in., 2020):

- dostępność: czy maszyna działa czy nie?
- wydajność: jak szybko działa maszyna?
- jakość: ile produktów spełniło wymagania?

Składowa dostępności (1) określa stosunek czasu dostępnego do czasu zamówionego (całkowitego czasu produkcji). Czas dostępny rozumiany jest jako czas zamówiony pomniejszony o straty wynikające z przestoju spowodowanych awariami bądź regulacjami (Phanindra Kshatra i in., 2020).

$$\text{Dostępność} = \frac{\text{czas operacyjny} - \text{czas strat dostępności}}{\text{czas operacyjny}} \quad (1)$$

Wydajność (2) mierzy straty prędkości wynikające z niewielkich przestoju oraz spadków prędkości. Innymi słowy jest to zdolność maszyny do pracy w standardowym tempie. W ocenie wydajności pracy maszyny kluczowe jest zdefiniowanie normatywnego czasu cyklu (Wirkus i Kukułka, 2015; Janisz i Liszka, 2018).

$$\text{Wydajność} = \frac{\text{liczba wykonana} \cdot \text{normatywny czas cyklu}}{\text{czas operacyjny} - \text{czas strat na dostępności}} \quad (2)$$

Natomiast jakość (3) określa straty spowodowane przez powstałe wadliwe sztuki niezgodne ze specyfikacją. Jest to stosunek liczby prawidłowo wykonanych sztuk do wszystkich wyprodukowanych.

$$\text{Jakość} = \frac{\text{liczba wykonana} - \text{liczba sztuk niezgodnych}}{\text{liczba wykonana}} \quad (3)$$

OEE jest obliczany według wzoru (Mansur i in., 2016):

$$\text{OEE} [\%] = \text{dostępność} \cdot \text{wydajność} \cdot \text{jakość} \cdot 100\% \quad (4)$$

Jak można zauważyć, wskaźnik OEE jest nierozzerwalnie związany z czasem. To czas jest tym, co podstawiamy do wzoru. Tak naprawdę nawet strata jakości to strata czasu, ponieważ maszyna zmarnowała zasoby na wykonanie wadliwego produktu. Niezależnie od tego, czy maszyna wykonała dobry czy zły produkt – musiała ona poświęcić czas na jego produkcję.

OEE bez wątpienia stał się standardem pomiaru efektywności wykorzystania sprzętu stosowanym w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Światowym standardem jest wskaźnik OEE na poziomie 85%, natomiast wynik oscylujący w granicach 60% jest uważany za pożądany. Niski poziom wskaźnika OEE jest natomiast jedynie informacją o dużym potencjale do doskonalenia dla przedsiębiorstwa (Furman, 2014).

3. Efektywność wykorzystania maszyny w ciągu tygodnia roboczego w przedsiębiorstwie X – studium przypadku

W badanym studium przypadku analizie poddano maszynę – automat zagniatający z obsługą do czterech stacji obróbczych. Maszyna stosowana jest w przemyśle elektrycznym w produkcji wiązek elektrycznych.

3.1. Przebieg analizy

W wyniku przeprowadzonych badań dotyczących całkowitego wykorzystania maszyny produkcyjnej zebrano niezbędne dane umożliwiające obliczenie zarówno poszczególnych wskaźników podrzędnych (dostępności, wykorzystania oraz jakości), jak i wskaźnika wynikowego OEE. Dane zbierano przez okres jednego tygodnia badawczego (tab. 1). Przed przystąpieniem do badań poczyniono założenia (Popielarz i Knop, 2018):

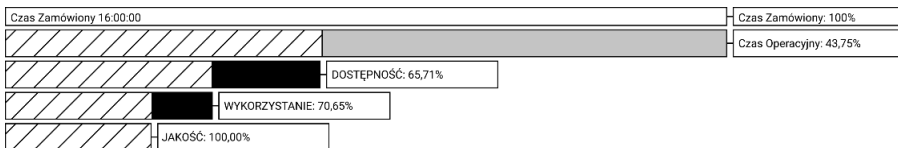
- czas zamawiany to czas dwóch zmian roboczych (16 h);
- postoje planowane to czas postojów podczas dwóch zmian (przerwy śniadaniowe, planowane przerwy konserwacyjne, brak zamówień);
- czas przebrożeń to czas potrzebny na zmianę materiału lub aplikatora (przyjęto, że czas poświęcony na przebrożenia nie jest stratą);
- postoje nieplanowane to czas przestojów, które są spowodowane zdarzeniami takimi jak awaria czy wydłużony czas przezbierania maszyny;
- efektywny czas pracy to czas przeznaczony na pracę;
- liczba braków (szt.) to liczba wyrobów niezgodnych z wymaganiami;
- liczba sztuk wyprodukowanych oznacza sztuki wyprodukowane podczas dwóch zmian roboczych;
- ze względu na różnorodność produkcji i produkowanych wyrobów przyjęto stały średni normatywny czas cyklu według wydajności akordowej równej 2000 szt./h.

Poziom efektywności wykorzystania badanej maszyny mierzony wskaźnikiem OEE w badanym okresie oscylował w zakresie wartości 46–83% (rys. 1–5). Największy spadek wartości wskaźnika OEE odnotowano w pierwszym dniu pracy – 46% (rys. 1), co było spowodowane wydłużonym czasem przezbierania maszyny i trudnościami z prawidłowym ustawieniem parametrów procesu i było przyczyną niskiej dostępności w dniu pierwszym. Na trudności te wpłynęło rozpoczęcie produkcji seryjnej dla nowego wyrobu, a tym samym uczenie maszyny nowych danych metodą prób i błędów. Na niską wartość wskaźnika podrzędnego dostępności w dniu pierwszym wpływ miały jedynie wydłużone planowane przestoje. Tymczasem planowane przerwy w produkcji takie jak przerwy wypoczynkowe, przebrożenia maszyn w założonym czasie, a także brak zleceń nie są stratą. Wskaźnik OEE mówi o realnych problemach z wykorzystaniem i eksploatacją maszyn. Zaplanowana praca maszyny w ciągu jednej, a nie dwóch zmian roboczych to w żadnym wypadku nie jest problem maszyny czy operatora, a to właśnie ich pracę opisuje wskaźnik OEE.

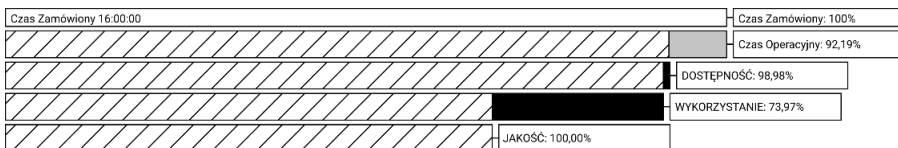
Tabela 1

Zebrane dane do wyznaczenia współczynnika wynikowego OEE

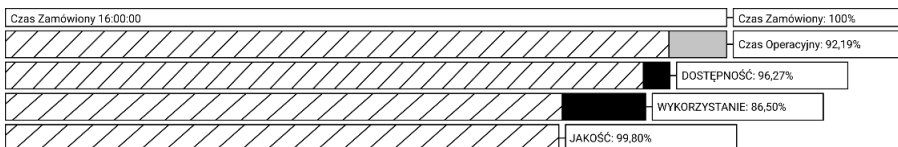
Oznaczenie	Składowe	Jednostka	Wzór	I dzień	II dzień	III dzień	IV dzień	V dzień
A	dostępny czas pracy	min	–	960	960	960	960	960
B	planowane przestoje		$B1 + B2 + B3$	540	75	75	45	75
B1	przerwy wypoczynkowe		–	30	30	30	30	30
B2	przebrojenia maszyn		–	30	45	45	15	45
B3	brak zleceń		–	480	0	0	0	0
C	czas operacyjny		$A - B$	420	885	885	915	885
D	straty na dostępności		$D1 + D2$	144	9	33	1	1
D1	awarie		–	0	0	33	0	0
D2	wydłużone planowane przestoje		–	144	9	0	0	1
E	czas pracy brutto		$C - D$	276	876	852	914	884
F	współczynnik dostępności	%	$\frac{E}{C} \cdot 100\%$	66	99	96	100	99,89
G	liczba wytworzonych wyrobów	szt.	–	6500	21 601	24 550	17 300	24 101
H	normatywny czas cyklu	$\frac{\text{min}}{\text{szt.}}$	–	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
I	nominalne obciążenie	min	$G \cdot H$	195	648,03	736,5	519	723,03
J	współczynnik wydajności	%	$\frac{I}{E} \cdot 100\%$	71	74	86	57	82
K	liczba błędnie wykonanych wyrobów	szt.	–	0	0	50	0	0
L	liczba poprawnie wytworzonych wyrobów		$G - K$	6500	21 601	24 500	17 300	24 101
M	współczynnik jakości	%	$\frac{L}{G} \cdot 100\%$	100	100	99,80	100	100
OEE			$F \cdot J \cdot M$	46	73	83	57	82



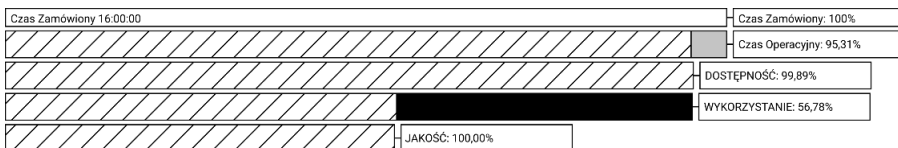
Rys. 1. Całkowite wykorzystanie maszyny w dniu I



Rys. 2. Całkowite wykorzystanie maszyny w dniu II



Rys. 3. Całkowite wykorzystanie maszyny w dniu III



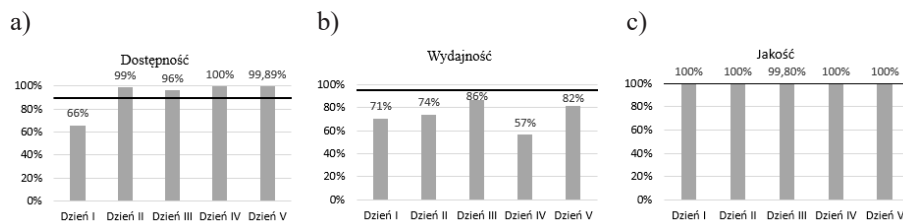
Rys. 4. Całkowite wykorzystanie maszyny w dniu IV



Rys. 5. Całkowite wykorzystanie maszyny w dniu V

Najniższą wydajność (57%) odnotowano w dniu IV (rys. 4), co najprawdopodobniej jest spowodowane produkcją wyrobu o większym stopniu skomplikowania i przyjęciem stałego, średniego normatywnego czasu cyklu według wydajności akordowej równej 2000 szt./h, bez rozróżnienia na stopień trudności produkowanych wyrobów. Powyższe przyczyny spadków wartości wskaźników podrzędnych są w pełni zrozumiałe i nie powinny przesądzać o rzeczywistych wartościach efektywności analizowanego procesu. Dla pełnego obrazu wykorzystania maszyny należałoby wykonać pomiar efektywności maszyny podczas produkcji wyrobów w pełni wdrożonych w system produkcji seryjnej.

Analizowana maszyna osiąga współczynnik jakości na poziomie światowym (rys. 6c). Na brak powstających niezgodnych sztuk mają wpływ wysokie kompetencje techników utrzymania ruchu, jak również system z pamięcią danych dla wprowadzanych do maszyny parametrów procesu (zgodnie z metodyką zapobiegania nieumyślnym błędom – *poka yoke*). Jest to jedno z najbardziej zautomatyzowanych urządzeń w badanym przedsiębiorstwie, niewymagające pełnego nadzoru i obecności operatora podczas pracy.

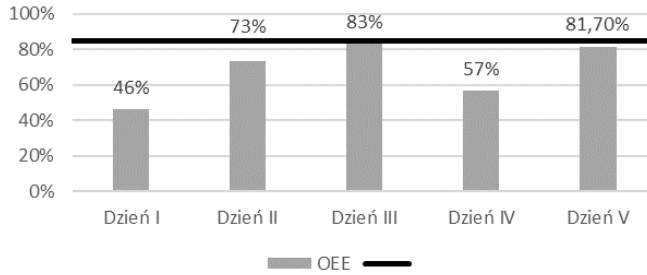


Rys. 6. Zestawienie wskaźników podrzędnych w ciągu tygodnia badawczego:
a) dostępności; b) wydajności; c) jakości

W badanym tygodniu roboczym powstało jedynie 50 sztuk niezgodnych wyrobów. Mimo że nie wpływa to znacząco na wskaźnik OEE, który wciąż osiąga wartość na poziomie światowym, to przy tak wysokim stopniu automatyzacji maszyny oraz specyfiki materiałowej produkowanego wyrobu generuje dla przedsiębiorstwa wysokie koszty w skali tygodnia roboczego, jak również stwarza ryzyko niewykania niezgodności, co wiąże się z dodatkowymi kosztami segregacji czy reklamacji ze strony klienta. W badanym okresie nie stwierdzono awarii urządzenia, dlatego do pełnego obrazu przyczyny powstania niezgodności należy przeprowadzić kompletną analizę procesu produkcji oraz stosowanego materiału przy użyciu narzędzi jakościowych. Porównanie osiągniętych wyników wskaźników podrzędnych OEE w ciągu tygodnia badawczego z poziomem światowym przedstawiono na rysunku 6.

Średnia wartość OEE w badanym tygodniu roboczym wynosi 68% (rys. 7), co według literatury (Chand i Shirvani, 2000) jest wynikiem zadowalającym, jednak stanowi bazę do wyznaczenia celów na przyszłość dla organizacji. Analizowane przedsiębiorstwo nie określa normatywnego czasu cyklu dla wszystkich wyrobów, różnych pod względem skomplikowania i trudności wykonania. Jest to pole do doskonalenia dla przedsiębiorstwa, gdyż w wyniku tego uproszczenia uzyskany wynik badań jest obciążony błędem zaniżającym znacząco wartość wskaźnika podrzędnego wydajności.

Konieczność dostosowania wskaźnika OEE do charakterystyki produkcji przedsiębiorstwa zauważono podczas pomiarów efektywności wykorzystania maszyn w zakładzie produkcyjnym X. Uzyskane wartości wskaźnika OEE nie odzwierciedlają faktycznego stanu efektywności wykorzystania maszyny w całym tygodniu roboczym, jedynie prezentują całościowy obraz przybliżonego efektywnego wykorzystania, który w kolejnym tygodniu, przy przyjętych założeniach, może się znacząco zmienić w zależności od produkowanych wyrobów.



Rys. 7. Całkowite wykorzystanie maszyn w ciągu tygodnia roboczego

Pełne wykorzystanie OEE dla badanego przedsiębiorstwa polegać będzie na wprowadzeniu wskaźnika indywidualnie dla każdej maszyny produkcyjnej oraz zdefiniowaniu normatywnego czasu cyklu dla każdego produkowanego wyrobu (około 2000 różnych typów produktów), które należy sklasyfikować w podgrupy w zależności od stopnia trudności i charakterystyki materiałowej.

4. Wnioski

Osoby odpowiedzialne za zarządzanie poszukują skutecznych wskaźników, które pozwolą na identyfikację obszarów biznesowych wymagających poprawy, określenie kolejności działań usprawniających oraz monitorowanie efektów i trwałości wdrożonych działań. Pomimo że wskaźnik OEE odnosi się do maszyn, wskazuje także problemy związane z organizacją pracy ludzi i całego procesu oraz gospodarką materiałową. Czynniki jakości ma istotny wpływ na wskaźnik OEE. Jakość (oprócz czynnika jakości) wpływa także na wskaźnik podrzędny wydajności, gdyż obniża liczbę wytworzonego produktu w jednostce czasu.

Drogą do poprawy uzyskanych wyników oraz efektywnego wykorzystania analizy OEE w badanym przedsiębiorstwie jest szczegółowa identyfikacja wszystkich rodzajów strat występujących w procesie produkcji oraz ich przyczyn. Niezbędne jest również zróżnicowanie wyrobów pod względem trudności i oszacowanie normatywnego czasu cyklu dla każdego z nich. Obliczenia prowadzone z uwzględnieniem tych wpływów odzwierciedlać będą rzeczywiste wykorzystanie czasu pracy analizowanej maszyny.

Literatura

Carmen Ng Corrales L. del, Lambán M.P., Korner M.E.H., Royo J., 2020: *Overall Equipment Effectiveness: Systematic Literature Review and Overview of Different Approaches*, Applied Sciences, vol. 10, iss. 18, 6469.

- Chand G., Shirvani B., 2000: *Implementation of TPM in cellular manufacture*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 103, iss. 1, s. 149–154.
- Furman J., 2014: *Wdrażanie wybranych narzędzi koncepcji lean manufacturing w przedsiębiorstwie produkcyjnym*, [w:] Knosala R. (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 1, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, s. 247–256.
- Janisz K., Liszka M., 2018: *Analiza efektywności wykorzystania maszyny na wybranej linii produkcyjnej*, [w:] Knosala R. (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, s. 516.
- Lipiak J., Ejsmont K., 2016: *Problematyka obliczania wskaźnika OEE dla maszyn fleksograficznych – studium przypadku*, [w:] Knosala R. (red.), *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, t. 2, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole, s. 594.
- Mansur A., Rayendra R., Mastur M.I., 2016: *Performance Acceleration on Production Machines Using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) Approach*, [w:] *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 105: *International Conference on Engineering and Technology for Sustainable Development (ICET4SD) 2015*, 012019.
- Phanindra Kshatra D., Ratna Prasad Paladagu, Praneeth Inturi, Sree Vishnu G., Badrinath V.S.V.S., 2020: *Calculation and improving the Overall Equipment Effectiveness for Textile Industry Machine*, International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, vol. 8, no. 9, s. 6085–6090.
- Popielarz M., Knop K., 2018: *Ocena efektywności wykorzystania linii produkcyjnej sprzętu AGD z wykorzystaniem wskaźnika OEE*, *Archiwum Wiedzy Inżynierskiej*, t. 3, nr 2, s. 15–18.
- Wirkus M., Kukułka A., 2015: *Obliczanie składowej jakości OEE przy wielu operacjach technologicznych*, *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, nr 2, s. 40–47.

OEE EFFICIENCY INDICATOR IN A NEST PRODUCTION SYSTEM

Summary: The study presents the OEE (overall equipment effectiveness) indicator in relation to the quantitative assessment of production efficiency. OEE presents the use of machine working time as a percentage. OEE consists of three parameters: availability, performance and quality. Important the sub-indicator is “quality” and its impact on OEE indicator value. Poor quality causes a drop in sales of products, affects efficiency and reduces the effective machines working time. Improvement of the performance causes an increase in the efficiency of production. It is possible to increase the production efficiency without increasing the expenses by actions reducing the number of non-conforming products.

Keywords: production efficiency, quality, machine working time