

Ocena efektywności wykorzystania linii produkcyjnej sprzętu AGD z wykorzystaniem wskaźnika OEE

Evaluation of the effectiveness of the use of the household appliances production line using the OEE indicator

Mateusz Popielarz¹, Krzysztof Knop²

¹ inż., student, członek koła naukowego "Promotor jakości", Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, e-mail: mateuszpopielarz@wp.pl

² dr inż., opiekun koła naukowego "Promotor jakości", Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, e-mail: krzysztof.knop@wz.pcz.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki w zakresie oceny efektywności wykorzystania linii produkcyjnego sprzętu AGD. Do oceny efektywności wykorzystano podstawowy miernik w koncepcji TPM - Kompleksowego Utrzymania Maszyn, tj. wskaźnik OEE. Kalkulacji wskaźnika OEE dokonano z wykorzystaniem darmowego kalkulatora do obliczeń i symulacji wskaźnika OEE firmy Neuron dostępnego na stronie internetowej: http://www.neuron.com.pl/pliki/kalkulator_oeo.zip. Analizy efektywności dokonano dla 5 dni pracy badanej linii. Następnie w oparciu o uzyskane wyniki przedstawiono również średni poziom wykorzystania OEE. Analiza wykazała, że poziom efektywności pracy linii mierzony OEE zawiera się w granicach 59,97-88,39%, co należy uznać za wynik zadawalający a nawet dobry. Decydujący wpływ na obniżenie poziomu efektywności miała dostępność czasowa linii, a w szczególności awarie wyposażenia w linii. Zaproponowano działania mające na celu ograniczenie liczby awarii. Zaproponowano skorzystanie z techniki „5 x dlaczego” celem poznania, za każdym razem, przyczyny źródłowej awarii oraz zaproponowania skutecznych działań zaradczych. Należy też w pełni wykorzystywać potencjał grup roboczych złożonych z operatorów maszyn i pracowników działu utrzymania ruchu w identyfikacji przyczyn źródłowych awarii i przeciwdziałaniu ich ponownego wystąpienia.

Abstract: The article presents the results in the field of assessment of the effectiveness of the use of the household appliances production line. The basic measure in the concept of TPM - Total Productive Maintenance, i.e. the OEE indicator, was used for the effectiveness assessment. OEE calculation was made using a free calculator for calculations and simulations OEE, the company Neuron, available on the website: http://www.neuron.com.pl/pliki/kalkulator_oeo.zip. Effectiveness analysis were performed for 5 days of operation of the tested line. The analysis showed that the level of work efficiency of the line measured with OEE is within 59.97-88.39%, which should be considered satisfactory and even good result. The time availability of the line, in particular equipment failures in the line, had a decisive impact on the reduction of the effectiveness level. Actions have been proposed to limit the number of failures. It was proposed to use the "5 x why" technique in order to learn, each time, the causes of the source failure and to propose effective remedial actions. It is also necessary to fully use the potential of working groups composed of machine operators and employees of the maintenance department in identifying the source causes of failures and preventing their recurrence.

Słowa kluczowe: efektywność wykorzystania, OEE, linia produkcyjna, doskonalenie

Key words: effectiveness of utilization, OEE, production line, improvement

1. Wstęp

W obecnych czasach, w dobie wzmożonej konkurencji, zarówno jakość wyrobu, jak i ich cena jest dla klientów bardzo ważna. Cenę wyrobów można obniżyć nie zmieniając jakości wyrobów poprzez odpowiednie wykorzystanie urządzeń użytych w procesie technologicznym produkcji (Czerkawi i Rosak, 2006). Optymalizacja funkcjonalności i czasu nieprzerwanej pracy urządzeń to istotna kwestia związana ze zwiększeniem wydajności przedsiębiorstwa i jego konkurencyjności na rynku w każdej branży przemysłowej (Ożadowicz, 2006). W każdym przedsiębiorstwie wiele maszyn na pewno mogłoby funkcjonować wydajniej. Badania dowodzą, że większość urządzeń

produkuje zaledwie połowę tego, co mogłoby produkować, a całkowite wykorzystanie zasobów kształtuje się na poziomie 30-50% (Mikler, 2005). Pojęcie efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń nabiera większego znaczenia jako jedna ze zmiennych składająca się na sukces firmy. Jednym ze sposobów zwiększenia efektywności urządzeń jest wprowadzenie w przedsiębiorstwie Kompleksowego Utrzymania Maszyn (TPM - Total Productive Maintenance) (Rychter, 2005). TPM to system, który pozwala wiodącym na świecie firmom wykorzystywać urządzenia w sposób najefektywniejszy (Czerska, 2015).

Maszyny i urządzenia to strategiczne aktywa zakładu, biorą one bowiem bezpośredni udział w przebiegu procesu technologicznego,

podczas którego kreowana jest jakość produktu i tworzona jest wartość dodana (Czerkawi i Rosak, 2006). Występuje konieczność wdrożenia metodyki odpowiedzialnej za efektywne i oszczędne utrzymanie urządzeń w dobrym stanie. Ta metodyka jest Kompleksowe Utrzymanie Maszyn – TPM. TPM jest bardzo potężnym narzędziem używanym w celu doskonalenia organizacji. Postęp w TPM mierzy się głównie poprzez obliczanie OEE (ang. *Overall Equipment Effectiveness*), który jest wskaźnikiem łączącym dostępność maszyn, efektywność ich pracy oraz jakość procesu wytwarzania. Często stosowane mierniki obejmują również średni czas pomiędzy występowaniem awarii maszyn (ang. MTBF – *Mean Time Between Failures*) a szybkością reakcji na wystąpienie awarii (ang. MTTR – *Mean Time to Repair*) (Brzeski i Figas, 2006).

W badaniach nad efektywnością linii produkcyjnej sprzętu AGD wykorzystano wskaźnik OEE. Głównym celem pracy jest ocena efektywności linii produkcyjnej sprzętu AGD za pomocą wskaźnika OEE.

2. Wskaźnik OEE jako miara efektywności wyposażenia produkcyjnego

Współczynnik OEE określany jest jako Całkowita Efektywność Wyposażenia Produkcyjnego (Borkowski, Selejdak, Salamon, 2006). OEE definiuje się jako Wynikową Efektywność Produkcji, obliczaną wg wzoru: $OEE = Availability$ (dostępność) \times $Performance$ (wydajność) \times $Quality$ (jakość) [%]. Fokus jest tutaj przesunięty z maszyny na proces – to znaczy, co dane urządzenie produkuje, w porównaniu z tym, co powinno produkować. Jest to miara wartości dodanej generowanej przez urządzenie (Mikler, 2005). OEE określa, jaki procent Planowanego Czasu Produkcji (*Planned Production Time*) jest wykorzystany do wyprodukowania wyrobów zgodnych z wymaganiami jakościowymi z określonym standardowo tempem (czasem cyklu). Warto zauważyć, że współczynnik OEE nie uwzględnia czasu planowanego jako strat i dla złej maszyny, wymagającej dużo czasu na utrzymanie zapobiegawcze, może być taki sam, jak dla maszyny niewymagającej takich nakładów (Mikler, 2005).

OEE to iloczyn trzech wskaźników cząstkowych: Dostępności, Wykorzystania i Jakości.

Dostępność to współczynnik, który mówi, jaki procent Planowanego Czasu Produkcji został wykorzystany do produkcji. Czas ten nazywamy Czasem Operacyjnym, a pozostały to Nieplanowane Przerwy. Dostępność to iloraz Czasu Operacyjnego przez Planowany Czas Produkcji. Dostępność = 100% oznacza, że proces przebiegał bez nieplanowanych przerw w produkcji.

Wykorzystanie (Performance) to współczynnik, który porównuje aktualne tempo pracy do tempa standardowego (lub maksymalnego). Wykorzystanie = 100% oznacza, że proces przebiegał w wymaganym tempie.

Jakość (*Quality*) to współczynnik, który mówi, jaka część wyrobów wyprodukowanych w Czystym Czasie Operacyjnym jest zgodna z wymaganiami. Tę część Planowanego Czasu Produkcji, w którym wytwarzane były dobre wyroby w standardowym tempie, nazywamy Czasem Produkcyjnym. Jakość = 100% oznacza, że proces nie generuje wyrobów niezgodnych.

Wartość OEE = 100% oznacza, że urządzenie pracuje zawsze, pracuje we właściwym tempie, oraz nigdy nie produkuje wadliwych wyrobów. Projekt wprowadzenia TPM w przedsiębiorstwie uważa się za udany, gdy uda się osiągnąć OEE = 85%. Oznacza to dostępność wyższą niż 90%, wykorzystanie nie mniejsze niż 95% oraz jakość na poziomie 99% (Mikler, 2005). W rzeczywistości rzadko spotyka się taki idealny stan, kiedy cały Planowany Czas Produkcji jest efektywnie wykorzystany. Najczęściej OEE jest o wiele niższe od 100%, na ogół oscyluje wokół wartości 60%.

Posługiwanie się wskaźnikiem OEE jest dla zakładów produkcyjnych bardzo ważne. Informacja o procentowej wartości OEE daje ścisłą i prawdziwą wiedzę na temat efektywności produkcji, zaś zwiększenie tego wskaźnika o kilka choćby procent przynosi przedsiębiorstwu ogromne korzyści finansowe. Posłużenie się wskaźnikiem OEE i zrozumienie wszystkich strat wynikających ze zmniejszenia Całkowitego Czasu Produkcji pozwala podjąć konieczne działania, mające na celu zminimalizowanie czasu przeznaczanego na pomocnicze czynności produkcyjne (Purzycki, 2003). Poziom wskaźnika OEE należy traktować jako punkt wyjścia do podjęcia działań doskonalących efektywność wykorzystania maszyn i linii.

3. Wyniki badań

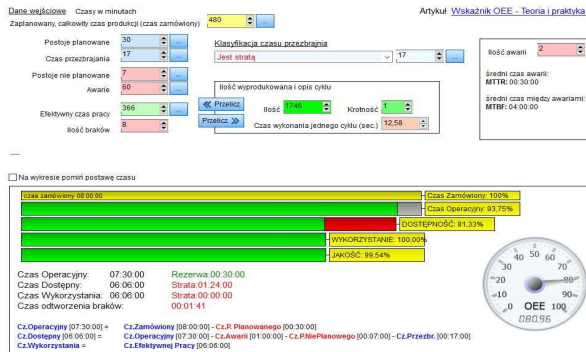
W wyniku przeprowadzenia badań dotyczących całkowitego wykorzystania linii produkcyjnej do sprzętu AGD zostały zebrane i zapisane niezbędne dane umożliwiające obliczenia poszczególnych wskaźników cząstkowych i wskaźnika wynikowego OEE. Zdefiniowano czasy do obliczenia wskaźników dostępności, wykorzystania oraz jakości. Dane były zbierane podczas pierwszej zmiany przez jeden tydzień badawczy. Zebrane dane odnośnie zdarzeń na badanej linii przedstawiono w tabeli 1, gdzie poszczególne wyrażenia oznaczają:

- Czas zamawiany – czas jednej zmiany roboczej (8h).
- Postoje planowane – czas postojów podczas jednej zmiany (przerwy śniadaniowe, planowane przerwy konserwacyjne, planowane szkolenia, inne planowane).
- Czas przebrojeń – czas potrzeby na zmianę materiału czy matrycy. Przejęto, że czas poświęcony na przebrojenia jest stratą (cały czas na nie poświęcony).
- Postoje nieplanowane – czas przestoi, które są spowodowane zdarzeniami innymi niż awaria, a trwały dłużej niż 5 min, np. brak prądu.
- Awarie – czas zatrzymania maszyn w linii produkcyjnej na skutek uszkodzeń.
- Efektywny czas pracy – czas przeznaczony na pracę.
- Ilość braków (sztuki) – liczba wyrobów niezgodnych z wymaganiami.
- Ilość sztuk wyprodukowanych – liczba sztuk wyprodukowanych podczas jednej zmiany.

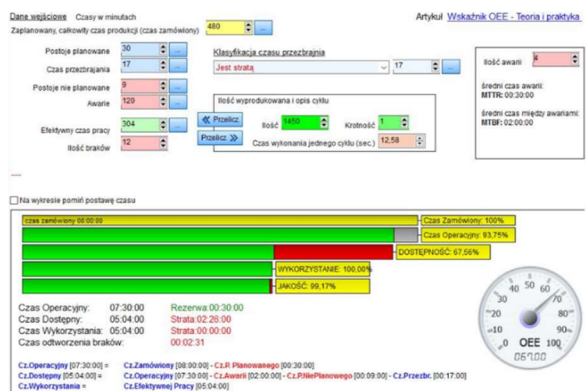
Tabela 1. Dane zebrane do analizy OEE

| | 1 dzień | 2 dzień | 3 dzień | 4 dzień | 5 dzień | Średnia |
|-----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Czas zamawiany [min] | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| Postoje planowane [min] | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Czas przebrojeń [min] | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Postoje nieplanowane [min] | 7 | 9 | 12 | 4 | 8 | 8 |
| Awarie [min] | 60 | 120 | 150 | 30 | 90 | 90 |
| Efektywny czas pracy [min] | 366 | 304 | 271 | 399 | 335 | 335 |
| Ilość braków (sztuki) | 8 | 12 | 14 | 6 | 10 | 10 |
| Ilość sztuk wyprodukowanych | 1746 | 1450 | 1293 | 1903 | 1598 | 1600 |

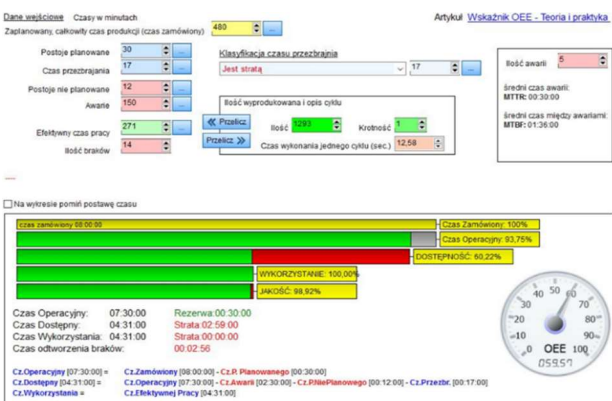
Wyniki OEE dla badanej linii w zakresie poszczególnych dni roboczych pracy linii 1-5 przedstawia rys. 1, 2, 3, 4 i 5.



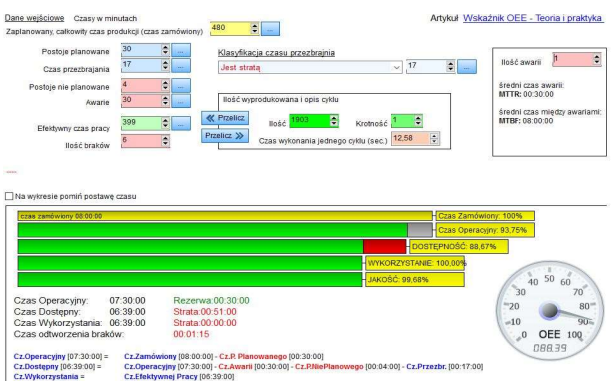
Rys. 1. Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej w 1 dniu



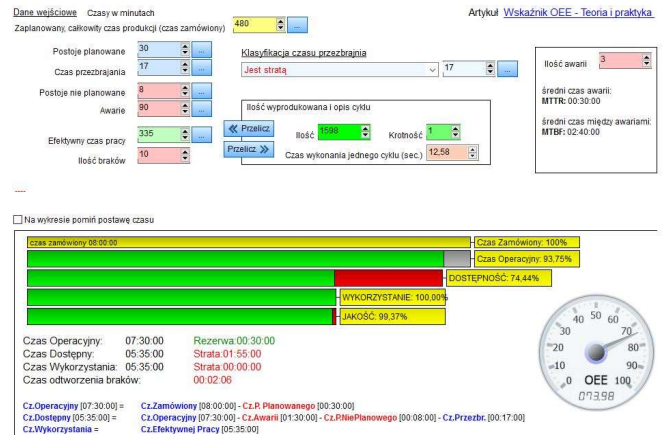
Rys. 2. Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej w 2 dniu



Rys. 3. Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej w 3 dniu



Rys. 4. Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej w 4 dniu



Rys. 5. Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej w 5 dniu

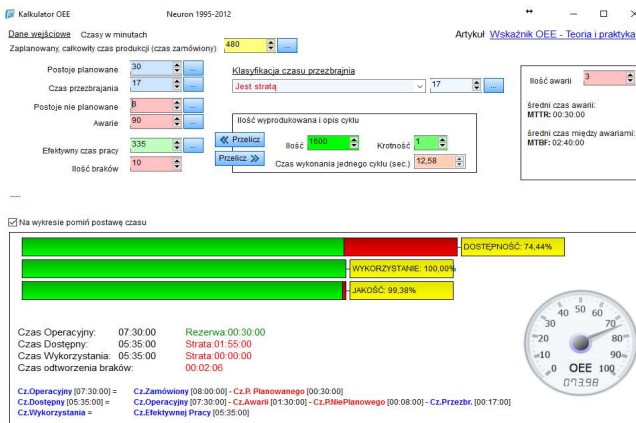
Poziom efektywności wykorzystania badanej linii mierzony wskaźnikiem OEE w badanym okresie oscylował w zakresie wartości 59,97-88,39%. Wynik ten należy uznać za zadawalający (w przypadku najniższej wartości), a nawet powyżej poziomu światowego (powyżej 85%). Największy spadek wartości wskaźnika OEE odnotowano w trzecim dniu pracy (59,57%), co było spowodowane 5 przypadkami awarii maszyn w linii, których łączny czas wyniósł 150 min. Średni czas awarii (MTTR) wyniósł 30 min. Średni czas pomiędzy awariami (MTBF) to 1:36 min. Liczba braków także była największy podczas tego dnia i wyniosła 14 szt. Najlepszy dzień z punktu widzenia efektywności wykorzystania maszyn w linii to dzień 4, gdzie poziom wskaźnika OEE wynosił 88,39%. W tym dniu miała miejsce tylko jedna awaria, która trwała 30 min, stąd wskaźnik MTTR wyniósł 30 min.

Wyniki uzyskane podczas oceny efektywności badanej linii, tzn. poziomy wskaźników cząstkowych oraz wskaźnika wynikowego OEE przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Całościowe wyniki badań

| | 1 dzień | 2 dzień | 3 dzień | 4 dzień | 5 dzień | Średnia |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Czas zamówiony | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 | 480 |
| Postoje planowane | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Czas przebrojenia | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| Postoje nie planowane | 7 | 9 | 12 | 4 | 8 | 8 |
| Awarie | 60 | 120 | 150 | 30 | 90 | 90 |
| Efektywny czas pracy | 366 | 304 | 271 | 399 | 335 | 335 |
| Ilość braków (sztuki) | 8 | 12 | 14 | 6 | 10 | 10 |
| Ilość sztuk wyprodukowanych | 1746 | 1450 | 1293 | 1903 | 1598 | 1600 |
| Dostępność | 81,33% | 67,56% | 60,22% | 88,67% | 74,44% | 74,44% |
| Wykorzystanie | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| Jakość | 99,54% | 99,17% | 98,92% | 99,68% | 99,37% | 99,38% |
| OEE | 80,96% | 67,00% | 59,57% | 88,39% | 73,98% | 73,98% |

Na podstawie wyznaczonych wartości średnich czasów (ostatnia kolumna w tabeli 2) dokonano analizy efektywności badanej linii bazującej na wartościach średnich. Otrzymane wyniki przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Analiza OEE linii produkcyjnej dla całego tygodnia badawczego

Wskaźniki cząstkowe dla całego okresu badawczego wyniosły, ich średnie wartości: dostępność – 74.44%, wykorzystanie – 100%, jakość – 99.38%, z kolei poziom wskaźnika OEE – 73,98%. Uzyskany wynik wskaźnika OEE należy uznać za dobry. Do poziomu światowego brakuje 11,02%. Wynik uzyskany powyżej poziomu 75% w badanym zakładzie byłyby odebrane jako bardzo dobre i wskazywałyby na bardzo dobre wykorzystanie linii produkcyjnej.

Całkowite wykorzystanie linii produkcyjnej mierzone wskaźnikiem OEE w pierwszym badanym dniu było o 6,98% większe niż średnia z całego tygodnia. W drugim dniu był niższe niż wartość średnia o 6,98%. Kolejny dzień przyniósł spadek jeszcze większy aż o 14.41% w stosunku do wartości średniej. Czwartego dnia widoczny jest wzrost o +14.41%. Wynik w ostatnim dniu badawczym jest równy wartości średniej. Największy problem jaki związany jest z badaną linią dotyczy dużej liczby awarii. Straty z tytułu nieplanowanych postojów mają decydujący wpływ na poziom wskaźnika OEE dla badanej linii. W pierwszej kolejności to poprawą wartości tego wskaźnika należałoby się zająć. Kilka propozycji w jaki sposób to zrobić przedstawiono w sekcji podsumowania.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki w zakresie efektywności wykorzystania badanej linii produkcyjnej do produkcji sprzętu AGD. Do oceny efektywności wykorzystania linii zastosowano wskaźnik Ogólnej Efektywności Wyposażenia Produkcyjnego (OEE). Do kalkulacji wartości wskaźnika OEE oraz jego wskaźników cząstkowych wykorzystano darmowy kalkulator do obliczeń i symulacji wskaźnika OEE dostępny na stronie: <http://www.neuron.com.pl/oe.html>. Kalkulacji wskaźnika OEE dokonano dla 1 tygodnia pracy badanej linii, gdzie okresem rozliczeniowym był 1 dzień i 1 zmiana robocza. W wyniki kalkulacji wskaźnika OEE stwierdzono, że poziom efektywności linii mieścił się w granicach 59,97-88,39%, czyli wynik należy uznać za zadawalający, z przewagą wyniku dobrego. Na uwagę zasługuje duży rozrzut wyniku OEE w badanym okresie, równy (rozstęp) 28,42%. Decydujący wpływ na poziom efektywności wykorzystania badanej linii miała dostępność czasowa, a przede wszystkim nieplanowane zatrzymania maszyn w linii z powodów technicznych. Często są one niemożliwe do przewidzenia. Co należy zrobić, aby ograniczyć liczbę awarii maszyn w linii? Należy każdorazowo analizować przyczyny źródłowe wystąpienia awarii w zespołach złożonych z pracowników działu UR i pracowników produkcji. W przypadku wystąpienia nieplanowanej awarii zespół powinien rozważyć kwestie, które pozwolą dotrzeć do sedna problemu. Można wykorzystać technikę „5 x dlaczego” oraz pytania standardowe:

- Dlaczego akurat ta część maszyny się zepsuła?

- Jaki jest schemat działania maszyny w tym miejscu?
- Dlaczego i jakie siły działały na ten komponent?
- Czy były jakieś symptomy przed wystąpieniem awarii?
- Co zrobić, aby uniemożliwić powstanie awarii na nowo?
- Jakiego rodzaju doświadczenie i umiejętności powinien mieć operator, aby wykryć symptomy?

Każda analiza źródeł awarii powinna zostać udokumentowana np. przy użyciu odpowiedniego formularza. Arkusz analizy awarii powinien wygenerować działania prewencyjne, zapobiegające ponownemu wystąpieniu awarii. Takimi działaniami może być stworzenie jednopunktowej lekcji, opracowanie i przeprowadzenie szkolenia dla zespołu operatorów, czy dołączenie pozycji inspekcji miejsca uszkodzenia do czynności inspekcji. Często awarie nie powodują działań z wyobraźnią, a przecież usterki mogą się powtarzać i warto z góry przewidzieć pewne zdarzenia i planować je z wyprzedzeniem. Często zdarza się że, dział utrzymania ruchu firmy interweniuje dopiero w momencie wystąpienia awarii, nie mając w zanadru odpowiednich części zamiennych. Dlatego powinno się zidentyfikować i utrzymywać „krytyczne” części zapasowe każdej maszyny, aby były dostępne w każdym czasie.

W celu zwiększenia efektywności badanej linii można także spróbować ograniczyć czas poświęcony na przebrojenie. Zredukować czas przebrojeń można przez wykorzystanie techniki SMED. Większość strat czasowych przy zmianie asortymentu na maszynie wynika z braku rozróżnienia czynności wewnętrznych i zewnętrznych. Ich oddzielenie praktycznie nic nie kosztuje, a przyniesie firmie znaczną oszczędność czasu. Cały proces przebrajania można nagrać kamerą wideo, co pozwoli zespołowi złożonemu z pracowników działu UR przeanalizować każdą czynność i ograniczyć do minimum czynności stanowiące stratę czasu, poprzez np. zastosowanie specjalnych połączeń.

Wdrożenie zaproponowanych działań doskonalących w obszarze „maszyny i urządzenia” powinno przynieść korzyści w postaci zwiększenia efektywności ich wykorzystania w badanej linii. Należy pamiętać, że poziom OEE to wartość, w której ukryta jest informacja, w jakim kierunku podejmować działania doskonalące. Warto tą informację każdorazowo wykorzystywać i ustawicznie działać w kierunku poprawy efektywności wykorzystania maszyn i urządzeń.

Literatura

Brzeski J., Figas M. (2006) Wprowadzenie do TPM. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych, Czerwiec.

Czerkawi R., Rosak J. (2006) Efektywność pracy urządzeń w procesie przetwórstwa mleka. W: S. Borkowski (red.), Efektywność eksploatacji maszyn i zdolność jakościowa procesu, Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemysle „ORGMAZ”, Warszawa.

Czerska J. (2015) Total Productive Maintenance. <http://leanmanufacturing.pl/artykuly/lean-w-teorii/total-productive-maintenance.html> (dostęp: 10.10.2018)

Mikler J. (2005) Dostępność i wykorzystanie urządzeń. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych, Czerwiec.

Ożadowicz A. (2006) Obrazy termograficzne usprawniające profilaktykę i utrzymanie ruchu. Inżynieria & Utrzymanie Ruchu Zakładów Przemysłowych, Październik.

Purzycki G. (2003) Wskaźnik OEE, czyli jak w ciągu kilku miesięcy znacząco zwiększyć efektywność produkcji. Biuletyn Automatyki Astor, 3/2003.

Rychter A. (2005) Miejsce TPM w kształtowaniu jakości produktu. W: S. Borkowski (red.), Zarządzanie jakością wyrobów i usług, PTM, Warszawa.