



ANALIZA WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW NIEZAWODNOŚCI W SYSTEMIE TPM DO INTEGRACJI PROCESÓW PRODUKCJI I UTRZYMANIA RUCHU W PRZEDSIĘBIORSTWIE PRODUKCYJNYM

Witold Nawrocki

Toyota Motor Manufacturing Poland Sp. z o.o., Poland

Corresponding author:

Witold Nawrocki

Toyota Motor Manufacturing Poland Sp. z o.o.

Uczniowska 26, 58-506 Wałbrzych, Poland

phone: (+48) 606820163

e-mail: wnawrocki@toyotapl.com

ANALYSIS OF SELECTED RELIABILITY INDICATORS IN THE TPM SYSTEM FOR THE INTEGRATION OF PRODUCTION AND MAINTENANCE PROCESSES IN A PRODUCTION ENTERPRISE

ABSTRACT

The article describes the role of the Maintenance Department in an enterprise in the automotive industry. The development trends of machinery maintenance are presented. The TPM (Total Production Maintenance) system was characterized with a particular indication of the integration between maintenance and production departments. The most commonly used indicators to assess machine performance are described. Research presents the role of cooperation between production and maintenance in the achievement of high operational reliability indicators for machines. Cooperation factors that may lead to changes in the frequency of failures are described.

KEYWORDS

Maintenance department, TPM, reliability indicators, EF card, andon.

1. Wstęp

Nowoczesne przedsiębiorstwa produkcyjne, zwłaszcza w branży motoryzacyjnej, działają obecnie w obszarze o bardzo dużej konkurencyjności oraz wysokich wymaganiach klienta, szczególnie w zakresie: jakości, niezawodności, atrakcyjności i przystępności produktu.

Gwarancją utrzymania się na rynku jest nie tylko bardzo dobry produkt, ale również zastosowanie odpowiedniego systemu produkcji. Prawidłowo dobrany system pozwoli na osiąganie wymaganych wskaźników produktywności w ściśle określonym czasie. System produkcyjny musi być wysoko oceniony pod kątem wydajności odzwierciedlającej stopień wykorzystania dostępnych zasobów (technologicznych, ludzkich, surowcowych) poprzez określenie liczby sztuk wyrobu, które zostały wyprodukowane przez określony zasób w jednostce czasu [7]. System musi mieć również zdolność do ciągłego rozwoju poprzez eliminację marnotrawstwa oraz doskonalenie pracy i sprzętu [6, 9].

Podstawowymi filarami systemu produkcyjnego są Dział Produkcji oraz Dział Utrzymania Ruchu, które pełnią niewspółmierną rolę w osiąganiu wysokich wskaźników produktywności w przedsiębiorstwie.

Jedną z głównych ról Działu Utrzymania Ruchu jest utrzymanie maksymalnej dostępności, co oznacza, że wszystkie zasoby, którymi dysponuje przedsiębiorstwo

są zawsze gotowe do pracy i utrzymywane w należyтым stanie technicznym [3]. Obecnie właściwe wypełnienie tej roli determinowane jest przez dobór odpowiedniej koncepcji utrzymania ruchu i skuteczne nią zarządzanie.

Wśród najnowszych koncepcji, które pojawiły się w ołowie lat siedemdziesiątych XX w. dwie najważniejsze, to:

- RCM (ang. *Reliability Centered Maintenance*) – utrzymanie ruchu zorientowane na niezawodność;
- TPM (ang. *Total Productive Maintenance*) – utrzymanie ruchu zorientowane na produktywność – co w praktyce oznacza integrację procesów produkcji i utrzymania ruchu [1, 4].

Stąd zastosowanie systemu TPM wprowadzało silną korelację procesową i organizacyjną pomiędzy Działami Produkcji i Utrzymania Ruchu.

2. TPM – całościowe utrzymanie ruchu skierowane na produktywność

Zgodnie z zasadami Adama Smith'a będącymi podstawami mentalności 1-szej Rewolucji Przemysłowej, praca jest bardziej wydajna, jeżeli zostaje podzielona między wyspecjalizowane jednostki. Zasady te funkcjonowały w przemyśle przez ponad 200 lat i zostały również zastosowane do dwóch podstawowych funkcji, ja-

kimi są: produkcja i konserwacja urządzeń. Funkcje te zostały odpowiednio ustrukturyzowane, udoskonalone i egzystowały, jako dwa odrębne byty [8].

W latach 70-tych XX w. w Japonii rozwinął się system, który całkowicie odszedł od koncepcji fragmentacji pracy i zasobów wg zasad Smith'a. System ten postawił na zaangażowanie wszystkich pracowników wokół jednego celu zdefiniowanego, jako: zero awarii i zero defektów [5, 8].

Przyjęto, że realizację powyższego celu można zrealizować przez eliminację z systemu produkcyjnego sześciu rodzajów strat, zestawionych w trzech grupach:

- 1) Straty związane z dostępnością maszyn:
 - awarie;
 - regulacje i wymiany narzędzi;
- 2) Straty związane z osiąganiami:
 - bezczynność;
 - utrata płynności operacji w wyniku drobnych zatrzymań np. blokowanie się detalu;
- 3) Straty z powodu jakości:
 - braki i przeróbki;
 - konieczność produkcji partii próbnych [5].

Na tej podstawie zdefiniowano system TPM, który przyjął następujące założenia:

- 1) TPM prowadzi do maksymalizacji niezawodności urządzeń;
- 2) TPM ustala dokładny system prewencyjnego utrzymania ruchu dla całego okresu życia urządzeń;
- 3) TPM jest realizowany przez różne działy (inżynierijny, produkcji, utrzymania ruchu);
- 4) TPM angażuje każdego pojedynczego pracownika, od zarządu do operatora;
- 5) TPM opiera się na promowaniu profilaktyki poprzez zarządzanie motywacją, tj. autonomiczne działania w małych grupach (np. QCC, „kapuściane pola”) [10, 11].

Włączenie pracowników produkcji w działania na rzecz utrzymania ruchu pozwoliło na lepsze wykorzystanie ich wiedzy na temat obsługiwanych urządzeń, wzmocniło poczucie odpowiedzialności i umożliwiło im świadomy udział w realizacji celów przedsiębiorstwa [1].

3. Wskaźniki niezawodności eksploatacyjnej maszyn

Skuteczność każdego systemu jest mierzona za pomocą odpowiednio dobranych wskaźników. Poniżej przedstawiono trzy, które wykorzystano do przeprowadzenia badań.

3.1. Dostępność operacyjna

Dostępność operacyjna jest częścią czasu, w którym maszyny są w dobrej kondycji i mogą spełniać swoje funkcje operacyjne niezależnie od tego, czy są wykorzystywane czy nie. Dostępność operacyjną, w literaturze

oznaczaną literą A , można oszacować w procentach wg wzoru (1) [2]:

$$A = \frac{\text{Czas dostępności}}{\text{Czas dostępności} + \text{Czas przestoju}} \cdot 100\%. \quad (1)$$

3.2. Niezawodność operacyjna

Niezawodność operacyjna maszyn i urządzeń może być zdefiniowana, jako prawdopodobieństwo wypełnienia swoich zadań (nie uleganiu awarii) w określonych warunkach operacyjnych, w zadanym okresie czasu. Jednym z estymatorów oceny niezawodności maszyn w czasie jest wskaźnik MTTF (ang. *Mean Time To Failure*). Wzór (2) na wskaźnik MTTF przedstawia się następująco:

$$\text{MTTF} = \frac{\text{Czas dostępności} - \text{Czas przestoju}}{\text{Ilość awarii}}. \quad (2)$$

Wskaźnik MTTF jest szeroko stosowany również w planowaniu produkcji, w celu określenia, czy kolejna partia produktów może być wykonana bez przerw produkcyjnych [2].

3.3. Zdolność operacyjna (ang. *maintain-ability*)

Zdolność operacyjną określa się, jako prawdopodobieństwo czasu, w którym urządzenie powróci do stanu dostępności operacyjnej, po wystąpieniu awarii. Jest ona związana z:

- konstrukcją oraz złożonością urządzenia,
- kwalifikacjami pracowników utrzymania ruchu,
- dostępnością wymaganych narzędzi,
- dostępnością wymaganych części zamiennych.

Podstawowym kryterium oceny zdolności operacyjnej jest wskaźnik MTTR (ang. *Mean Time To Repair*) obliczany ze wzoru (3):

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Czas postojów}}{\text{Ilość awarii}}. \quad (3)$$

Wskaźnik rozumiany jest, jako średni czas trwania naprawy od momentu zgłoszenia do momentu ponownego uruchomienia urządzenia [2]. W badanym przedsiębiorstwie, moment ponownego uruchomienia urządzenia równoznaczny jest z wyprodukowaniem pierwszego wyrobu spełniającego wszystkie wymagania jakościowe [9].

4. Analiza wskaźników niezawodności w badanym przedsiębiorstwie

4.1. Zakres badań

W artykule zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w przedsiębiorstwie przemysłu motoryzacyjnego zlokalizowanego w województwie dolnośląskim. Ich celem była analiza wskaźników niezawodności eksploatacji maszyn do monitorowania, oceny i poprawy wewnętrznych procesów produkcji i utrzymania ruchu oraz badania korelacji między nimi.

W badanym przedsiębiorstwie znajdują się trzy niezależne zakłady produkujące podzespoły do produkcji samochodów osobowych. Badania przeprowadzono w jednym z nich zajmującym się produkcją manualnych skrzyń biegów. Badania przeprowadzono w pierwszym półroczu 2018 r. Badaniami objęto cztery obszary obróbki maszynowej, a mianowicie:

- obszar A: obróbka zgrubna wałków oraz zębatek dyferencjału,
- obszar B: obróbka zgrubna zębatek napędzających,
- obszar C: obróbka zgrubna zębatek napędzanych,
- obszar D: obróbka obudów aluminiowych.

Podstawowym rodzajem maszyn wykorzystywanym w badanym zakładzie są obrabiarki sterowane numerycznie. W obszarach (A, B, C) dominują tokarki, frezarki, frezarki obwiedniowe oraz wiórkarki. W obszarze obróbki (D) funkcjonują głównie czteroosiowe frezarskie centra obróbcze.

Na wszystkich obszarach zastosowano system produkcji typu *Pull* (system ciągnięcia). Zatrzymanie pojedynczej maszyny skutkuje postojem całej linii. Do analizy wykorzystano dane z badań własnych, oraz dane zgromadzone w systemie CMMS (ang. *Computerised Maintenance Management System*), wykorzystywanym w opisywanym przedsiębiorstwie.

4.2. Zakres współpracy pomiędzy Działami Produkcji i Utrzymania Ruchu

Współpraca między działami Produkcji i Utrzymania Ruchu w badanym przedsiębiorstwie odbywa się na trzech płaszczyznach:

1. Współpraca codzienna w celu szybkiej reakcji na nieprawidłowości wykryte na linii produkcyjnej w trakcie procesu wytwarzania. Po wykryciu sytuacji niestandardowej operator maszyny zatrzymuje linię produkcyjną wciskając przycisk „andon” umieszczony przy maszynie [6]. Naciśnięcie przycisku powoduje zapalenie się informacji na tablicy „andonowej” (rys. 1). Jest to sygnał dla pracownika wspomagającego linię produkcyjną, aby podjął działania korygujące. Zapalenie się żółtego światła oznacza, że pracownik chce coś poprawić lub zgłosić. Czerwone światło, wymaga zatrzymania linii i naprawy błędu [6]. Pracownik wspomagający po diagnozie powstałego błędu podejmuje decyzję o wezwaniu lub nie, pracownika Utrzymania Ruchu. Wezwanie to jest realizowane drogą radiową. Pracownik Utrzymania Ruchu przystępuje do usunięcia nieprawidłowości, w jak najkrótszym czasie z zachowaniem wszelkich zasad bezpieczeństwa pracy. Po usunięciu nieprawidłowości gazsona jest lampa sygnalizacji „andonowej”, co oznacza, że obszar może ponownie przystąpić do pracy.
2. Współpraca w zakresie przekazywania przez pracowników produkcji informacji o zauważonych nieprawidłowościach na maszynach i urządzeniach, w trakcie czasu produkcyjnego i nieprodukcyjnego. Zauważone, zgłoszone i usunięte nieprawidłowości

(wykonane naprawy) obniżają prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w czasie masowej produkcji. Współpraca taka jest prowadzona, między innymi za pomocą systemu kart EF (ang. *Equipment Failure*) [9].

3. Współpraca w małych grupach autonomicznych skupionych na działaniach w celu eliminacji jednego z rodzajów strat, występujących w obszarze produkcyjnym [11].

Przeprowadzone badania dotyczyły obszaru współpracy na zasadzie systemu kart EF.

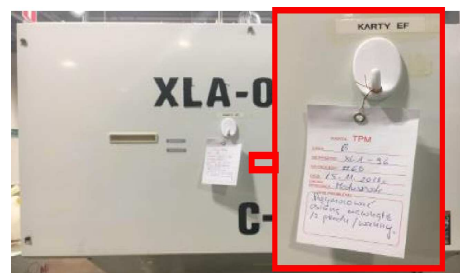


Rys. 1. Tablica informacyjna „andon”, Obszar C.
Źródło: opracowanie własne.

4.3. System kart EF

System kart EF jest techniką wykorzystywaną w badanym przedsiębiorstwie do komunikacji pomiędzy pracownikami Produkcji i pracownikami Utrzymania Ruchu.

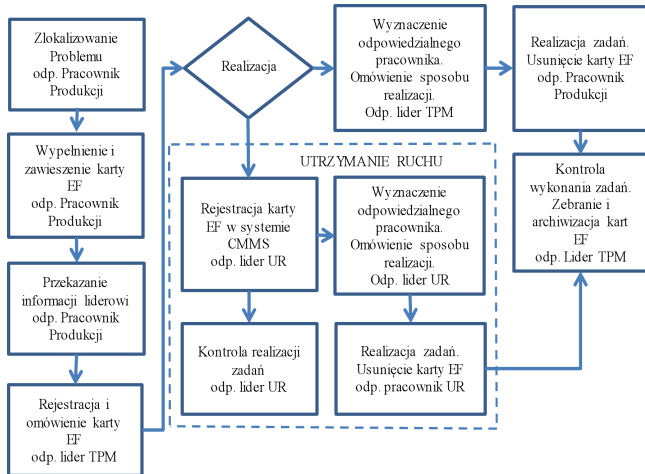
Pracownicy produkcji działając w ramach TPM dokonują planowanych przeglądów lub serwisów maszyn w ramach przekazanych im kompetencji m.in. smarownie, wymiana elementów mocujących detal obrabiany, uzupełnianie olejów itp. Dodatkowo, wykonując codzienne czynności operacyjne, obserwują zachowanie maszyn i zgłaszają zauważone nieprawidłowości. Swoje spostrzeżenia zapisują na standardowym formularzu zwanym kartą EF. Oryginał karty, po wypełnieniu przez pracownika, jest umieszczany na maszynie w specjalnie przygotowanym do tego celu miejscu (rys. 2). Kopia karty jest przekazywana Liderowi TPM Produkcji z danego obszaru.



Rys. 2. Przykład karty EF umieszczonej na maszynie.
Źródło: opracowanie własne.

Lider TPM Produkcji rejestruje kartę przez nadanie jej numeru ewidencyjnego. Po rejestracji omawia on z pracownikami sposób, w jaki zostanie rozwiązany problem zapisany na karcie EF. Jeżeli opisane problemy wychodzą poza kompetencje pracowników produkcji, kopia karty EF przekazywana jest do Działu Utrzymania Ruchu.

Lider TPM Utrzymania Ruchu ocenia stopień skomplikowania oraz krytyczność problemu zgłoszonego za pomocą karty EF. Na tej podstawie określa termin realizacji zadania oraz wyznacza odpowiedzialnego pracownika. Informacje dotyczące konkretnej karty EF są rejestrowane w systemie CMMS, co umożliwia kontrolę realizacji zadań. Schemat obiegu kart EF pokazano na rys. 3.



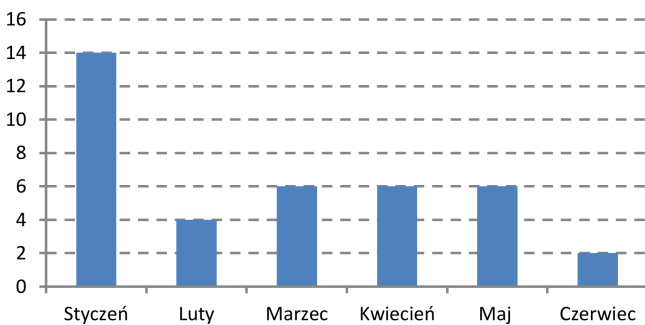
Rys. 3. Schemat obiegu karty EF.
Źródło: opracowanie własne.

Po realizacji wszystkich działań związanych z poszczególnym zgłoszeniem z karty EF, pracownik Utrzymania Ruchu usuwa oryginalną kartę z maszyny. Następnie oryginał oraz kopię karty przekazują Liderowi TPM Utrzymania Ruchu. Lider przekazuje raport z prac pracownikom produkcji wraz z kartami EF. Przekazanie i archiwizacja kart kończy cały proces.

5. Wyniki badań wybranych wskaźników niezawodności

5.1. Naprawy prewencyjne

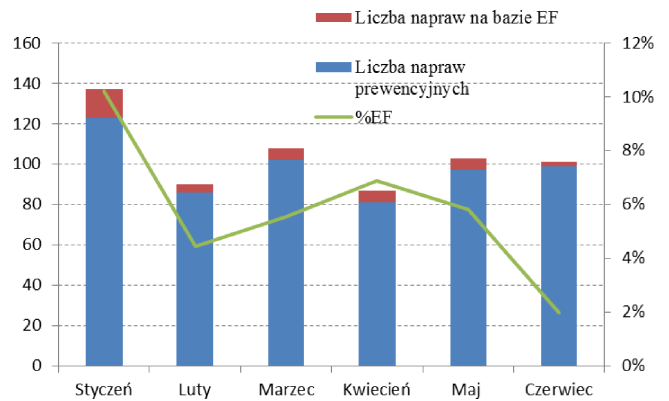
W badanym okresie Dział Utrzymania Ruchu wykonał 38 napraw prewencyjnych zleconych przez Działy Produkcyjne na podstawie kart EF (rys. 4).



Rys. 4. Liczba napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF w badanym okresie.
Źródło: opracowanie własne.

Zarejestrowano, że najwięcej napraw zostało wykonanych w styczniu 2018 roku. W kolejnych miesiącach, liczba ta spadła o ponad połowę i w czerwcu osiągnęła wartość dwóch miesięcznie.

Ogólny procentowy udział napraw zleconych przez produkcję w stosunku do wszystkich napraw prewencyjnych, spadł z poziomu 10% w styczniu 2018 do 2% w czerwcu 2018 (rys. 5).



Rys. 5. Liczba napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF w stosunku do wszystkich napraw wykonanych w badanym okresie.
Źródło: opracowanie własne.

Analiza liczbowa (tabela 1) pokazuje, że obszary A, B i C wykazują się porównywalną liczbą napraw, natomiast obszar D wyraźnie od nich odbiega, tylko jedna naprawa w badanym okresie.

Tabela 1

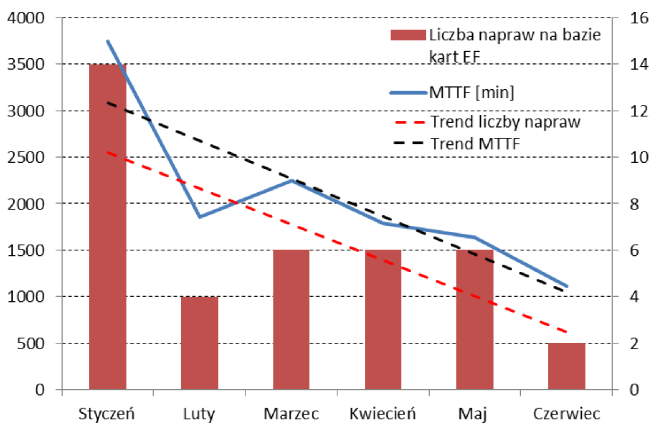
Liczba napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF w rozbiciu na badane obszary. Źródło: opracowanie własne.

	Obszar A	Obszar B	Obszar C	Obszar D
Styczeń	1	7	5	1
Luty	4	0	0	0
Marzec	3	1	2	0
Kwiecień	4	1	1	0
Maj	2	0	4	0
Czerwiec	0	1	1	0
Suma	14	10	13	1

Szczególną uwagę zwrócono na obszar B, którego tendencja jest bardzo zbliżona do ogólnych wyników tzn. znaczna liczba napraw na początku roku i ich spadek w połowie roku.

5.2. Analiza napraw prewencyjnych w aspekcie wskaźnika MTTF

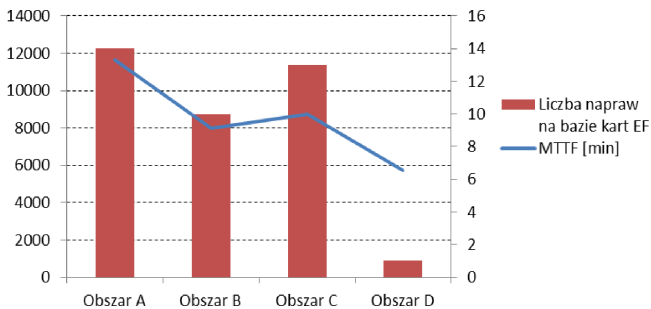
Wpływ liczby napraw prewencyjnych zleconych na podstawie kart EF jest wyraźny, jeżeli chodzi o wskaźnik MTTF (rys. 6). Średnia niezawodność operacyjna spadła w całym obszarze o ok. 46%.



Rys. 6. Wpływ liczby napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF na wskaźnik MTTF.

Źródło: opracowanie własne.

Analiza wyników wskaźnika MTTF na poszczególnych obszarach produkcyjnych, również pokazuje zależność spadków wskaźnika od spadku liczby napraw prewencyjnych (rys. 7).



Rys. 7. Wpływ liczby napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF na wskaźnik MTTF na poszczególnych obszarach produkcyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

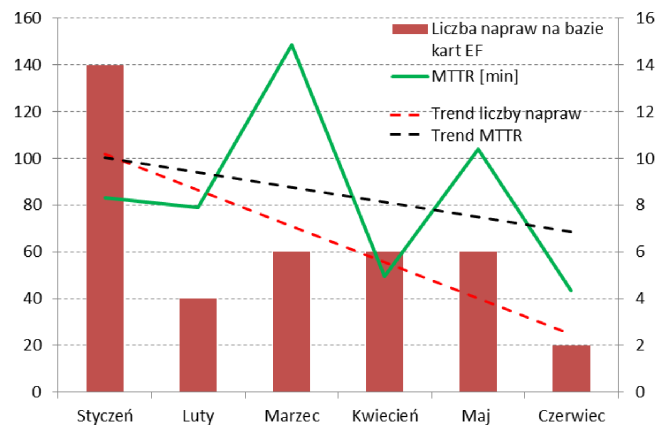
Stwierdzono, że najniższa wartość wskaźnika MTTF, wystąpiła na obszarze D (5730 min), gdzie wykonano tylko jedną zleconą naprawę. Najwyższa wartość wystąpiła na obszarze A (11650 min), na którym wykonano czternaście napraw prewencyjnych zleconych przez Dział Produkcji.

Spadek wskaźnika MTTF oznacza wzrost częstości występowania zatrzymań obszarów produkcyjnych.

5.3. Analiza napraw prewencyjnych w aspekcie wskaźnika MTTR

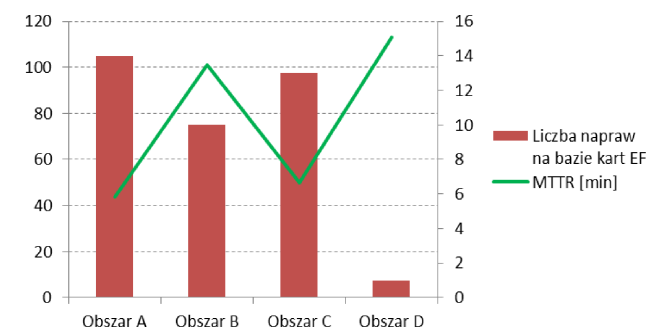
Obserwacja zależności liczby napraw prewencyjnych zleconych na podstawie kart EF ze współczynnikiem zdolności operacyjnej MTTR, dla wszystkich obszarów, nie pokazuje korelacji pomimo podobnej tendencji spadkowej (rys. 8).

Analizując wyniki badań w poszczególnych obszarach stwierdzono, że istnieje zależność współczynnika MTTR z ilością napraw (rys. 9). Większa liczba napraw skutkuje niższym wskaźnikiem MTTR (np. obszar A) z kolei niższa liczba napraw to wyższy wskaźnik MTTR (np. obszar D).



Rys. 8. Wpływ liczby napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF na wskaźnik MTTR.

Źródło: opracowanie własne.



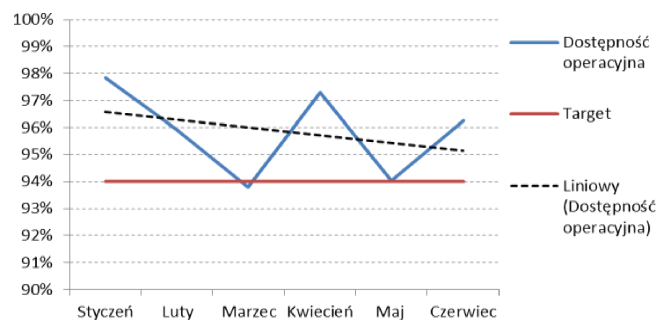
Rys. 9. Wpływ liczby napraw prewencyjnych wykonanych na podstawie kart EF na wskaźnik MTTR na poszczególnych obszarach produkcyjnych.

Źródło: opracowanie własne.

Świadczy to o tym, że brak odpowiedniej kooperacji międzywydziałowej prowadzi do bardziej skomplikowanych i czasochłonnych awarii.

5.4. Analiza dostępności operacyjnej w aspekcie wskaźników MMTF i MTTR

Tendencja spadkowa wskaźnika niezawodności operacyjnej (MTTF) odzwierciedla się również w spadkowej tendencji dostępności operacyjnej badanych obszarów (rys. 10). Dostępność operacyjna osiąga zakładany poziom (powyżej 94%) dzięki spadkowemu wskaźnikowi zdolności operacyjnej (MTTR) tzn. awarie wydarzają się częściej, ale usuwane są w krótszym czasie.



Rys. 10. Dostępność operacyjna badanych obszarów.

Źródło: opracowanie własne.

Utrzymanie w kolejnych miesiącach podobnej tendencji może skutkować utratą planowanej dostępności operacyjnej i w rezultacie powiększaniem strat produkcyjnych.

6. Wnioski

Wywiad przeprowadzony z pracownikami w celu ustalenia przyczyn zaistniałego zjawiska wskazał dwa potencjalne źródła obniżenia aktywności pracowników produkcji w zakresie TPM-u, a mianowicie:

- sukcesywny wzrost produkcji w badanym okresie, a co za tym idzie ograniczenie czasu przeznaczanego na TPM.
- rotacja pracowników i związana z tym utrata umiejętności.

W drugiej połowie roku 2018 został podjęty szereg działań mających skutkować odwróceniem trendu dostępności operacyjnej badanych obszarów.

Przeprowadzone badania wykazały, że współpraca Działu Produkcji oraz Działu Utrzymania Ruchu w ramach systemu TPM jest niezbędnym elementem determinującym utrzymanie wysokich wskaźników niezawodności operacyjnej urządzeń. Zachwianie tej współpracy skutkuje głównie obniżeniem niezawodności operacyjnej przedsiębiorstwa i może prowadzić do utraty jego stabilności w dłuższym okresie czasu.

Literatura

- [1] Legutko S., *Trendy rozwoju utrzymania ruchu urządzeń i maszyn*, Eksploatacja i Niezawodność, 2, 8–13, 2009.

- [2] Marquez A.C., *The maintenance management framework: models and methods for complex system maintenance*, Springer-Verlag London Limited, 2007.
- [3] Mobley R.K., *An Introduction to Preventive Maintenance*, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [4] Moubray J., *Reliability-Centered Maintenance*, Butterworth-Heinemann, 1999.
- [5] Nakajima S., *Introduction to TPM*, Productivity Press, Inc., Portland, 1988.
- [6] Ohno T., *System Produkcyjny Toyoty: Więcej niż produkcja na dużą skalę*, Wyd. ProdPress.com, Wrocław, 2008.
- [7] Pająk E., *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa, 2006.
- [8] Scodanibbio C., *Total Productive Maintenance: what is it?*, <http://www.scodanibbio.com/site/articles.html> Dostęp 27.10.2013.
- [9] TMC, *Toyota Global Standard*, unpublished.
- [10] TMC, *Basic Knowledge for QC Circle Managers Promotion Activities*, unpublished.
- [11] Woźniak W., Nawrocki W., Stryjski R., Jakubowski J., *Diagnosis of Process Parameters which Reduce the Defective Parts Ratio in Mass Production*, 29st IBIMA Conference, Wiedeń, 2017.