

Bartosz MISIUREK<sup>1</sup>

## STRATEGIA WDRAŻANIA SYSTEMU TPM

W artykule przedstawiono główne zasady i cele jakie stawiane są przed systemem TPM. Opisano genezę systemu TPM oraz wskaźnik OEE, który zorientowany jest na obliczanie efektywności wykorzystania maszyn produkcyjnych. W kolejnej części artykułu zestawiono najczęściej pojawiające się strategie przy wdrażaniu systemu TPM oraz problemy jakie można przy ich zastosowaniu napotkać. Szczegółowo opisano sposób kategoryzacji priorytetów maszyn, który jest niezbędny do wyboru obszaru pilotażowego i ustalenia odpowiedniej strategii wdrażania systemu TPM. W ostatniej części określono konkretne strategie wdrażania systemu TPM w zależności od kategorii priorytetu maszyny.

### 1. HISTORIA, CELE I ZAŁOŻENIA SYSTEMU TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE - TPM

Przemysł jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki. Przedsiębiorstwa, aby poprawiać swoją konkurencyjność muszą usprawniać swoje procesy produkcyjne oraz optymalnie wykorzystywać swoje maszyny. Naprzeciw tym wyzwaniom staje system Total Productive Maintenance (z ang. Totalne Produktywne Utrzymanie Ruchu Maszyn, zwany dalej TPM), który opracowany został w latach 50. ubiegłego wieku przez japońskiego praktyka - Seiichi Nakajimę. System TPM od samego początku stanowił silne ogniwo Toyota Production System (z ang. System Produkcyjny Toyoty, zwanego dalej TPS), który został opisany w latach 80. i nazwany jako Lean Manufacturing (z ang. szczupłe wytwarzanie) [1]. Głównym zadaniem stawianym przed systemem TPM jest maksymalizacja efektywności pracy maszyn poprzez stałe zwiększanie ich dostępności, stopnia wykorzystania oraz jakości produkowanych na nich wyrobów. Analizie tych trzech elementów podporządkowany jest główny wskaźnik towarzyszący systemowi TPM - Overall Equipment Effectiveness (z ang. Całkowita Efektywność Sprzętu, zwany dalej OEE). Wskaźnik OEE jest wyrażonym w procentach iloczynem dostępności, wykorzystania i jakości produkowanych wyrobów na dowolnej maszynie (1) [2]:

$$OEE = \text{Dostępność} \times \text{Wykorzystanie} \times \text{Jakość [\%]} \quad (1)$$

---

<sup>1</sup> Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji, Politechnika Wrocławska

Seiichi Nakajima opracowując wzór OEE przyjął wartość docelową tego wskaźnika na poziomie niemniejszym niż 85%. Wartość ta określona została jako iloczyn [2]:

- dostępności maszyn na poziomie minimum 90%,
- wykorzystania maszyn na poziomie minimum 95%,
- jakości wytwarzanych wyrobów na poziomie minimum 99%.

Analiza OEE rozpoczyna się od określenia całkowitego czasu produkcji, w którym można produkować (czas brutto), następnie od tego czasu odejmuje się planowane przestoje (śniadanie, czas na sprzątanie linii itp.). Dostępność określa procentowo stopień dostępności maszyn dla operatora w czasie pomniejszonym o planowane przerwy. Najczęściej w przedsiębiorstwach produkcyjnych nad poprawą dostępności pracują działy utrzymania ruchu i inżynierów procesu. Na pogorszenie dostępności wpływ mają awarie oraz przebrojenia maszyn. Wykorzystanie określa się jako procentowy stopień wykorzystania dostępnego czasu maszyn przez operatorów. Na wykorzystanie dostępnego czasu mają wpływ wszystkie czynności wykonywane podczas produkcji, np. odpowiednia sekwencja pracy na stanowisku, drobne przestoje, oczekiwanie na materiał. Ostatnim elementem używanym do obliczenia OEE jest jakość, która uwzględnia wszelkie straty z powodu wyprodukowania produktów niespełniających standardów jakości, wliczając w to braki [1]. Wszelkie działania mające na celu poprawę wskaźnika OEE zorientowane są na eliminację sześciu wielkich strat, które zostały wyznaczone przez Nakajimę. W tabeli 1 zestawiono korelację pomiędzy sześcioma głównymi stratami a poszczególnymi elementami składającymi się na wskaźnik OEE [3].

Tabela 1. Korelacja pomiędzy sześcioma wielkimi stratami a wskaźnikiem OEE  
Table 1. The correlation between six big losses and OEE factor

L.P.	Sześć wielkich strat	Wpływ na element wskaźnika OEE	Przykłady zdarzeń
1	Awarie	Dostępność	Awarie osprzętu, nieplanowane konserwacje, awarie maszyn.
2	Długi czas przebrojenia i ustawiania maszyn	Dostępność	Zmiana ustawień, rozruch linii, przebrajanie.
3	Drobne przestoje	Wykorzystanie	Zablokowany przepływ produktów, zablokowany komponent (podajnik).
4	Obniżona prędkość pracy	Wykorzystanie	Zła sekwencja pracy, zużycie maszyn.
5	Odrzuty na rozruchu	Jakość	Braki podczas rozruchu maszyny, wyroby do poprawy.
6	Braki	Jakość	Wadliwe produkty.

Nakajima określając minimalny poziom dostępności pracy maszyny na poziomie 90% uznał, że największe straty na maszynie generowane są poprzez awarie albo przebrojenia, z czego awarie uznał za największą ze strat ze względu na mało przewidywalny charakter ich występowania [4]. Głównym celem systemu TPM jest eliminacja awarii na maszynach poprzez prewencyjne konserwacje wykonywane zarówno przez operatorów obsługujących maszynę (tzw. Autonomiczna konserwacja), jak i przez personel utrzymania ruchu (tzw.

Planowa konserwacja). Autonomiczna konserwacja związana jest z codziennym czyszczeniem i konserwacją maszyn przez operatorów, a jej głównym celem jest identyfikacja usterek na maszynie i zgłaszanie ich do służb utrzymania ruchu. Planowa konserwacja to zaplanowane przeglądy na maszynach wykonywane przez pracowników utrzymania ruchu [5]. Wdrożenie systemu TPM wymaga wiele pracy i zaangażowania pracowników w przedsiębiorstwie, związanych z przygotowaniem instrukcji autonomicznej konserwacji, opracowania planu konserwacji dla maszyn, czy przeszkolenia operatorów. Z tego też powodu zaleca się, aby system TPM wdrażać początkowo na wyznaczonym obszarze pilotażowym, a następnie jego zasady przenosić na pozostałe obszary produkcyjne.

## 2. PROBLEMY Z USTALENIEM OBSZARU PILOTAŻOWEGO I STRATEGII WDROŻENIA SYSTEMU TPM

W literaturze istnieje wiele książek opisujących jak wdrażać system TPM w firmach produkcyjnych. Pierwszym krokiem przy wdrażaniu tego systemu jest wybór obszaru pilotażowego, na którym pracownicy będą mogli opracowywać koncepcje, które w późniejszym czasie będą mogły zostać przeniesione na pozostałe obszary produkcyjne w przedsiębiorstwie [4]. Badania przeprowadzone w przemyśle wykazują, że firmy wybierając obszar pilotażowy na wdrożenie systemu TPM kierują się różnymi powodami. W tabeli 2 zestawiono najczęściej wybierane obszary pilotażowe wdrożenia systemu TPM w firmach wraz z uzasadnieniem wybranego obszaru.

Tabela 2. Najczęściej wybierane obszary pilotażowe na wdrażanie systemu TPM wraz z uzasadnieniem wyboru – opracowanie własne

Table 2. The most often chosen areas to implement TPM System

Wybrany obszar pilotażowy	Uzasadnienie
Najnowsza maszyna albo grupa maszyn	Wdrożenie systemu na najnowszej maszynie może ją uchronić przed awariami i utrzymać ją w możliwie najlepszym stanie w długim okresie czasu.
Najstarsza maszyna albo grupa maszyn	Wdrożenie systemu TPM na najstarszej maszynie może doprowadzić do tego, że jej efektywność dorówna efektywności maszyn nowych.
Najbardziej awaryjna maszyna	Wdrożenie systemu TPM na najbardziej awaryjnej maszynie daje możliwość osiągnięcia szybkich i widocznych korzyści szczególnie w pierwszych fazach wdrażania systemu TPM.
Najmniej obciążona maszyna	Wdrożenie systemu TPM na najmniej obciążonej maszynie umożliwia przetestowanie pewnych rozwiązań bez wpływu na proces produkcyjny.
Maszyna, które ze względu na swoją zdolność produkcyjną wykazują duże wykorzystanie względem innych zasobów (tzw. „wąskie gardła”[7])	Wdrożenie systemu TPM na maszynie uznawanej za „wąskie gardło” daje możliwość poprawy jej dostępności, co jest kluczowe w kontekście poprawy wydajności.

Każda ze strategii wyboru obszaru pilotażowego ma swoje logiczne uzasadnienie jednak żadna z nich nie bierze kompleksowo pod uwagę roli maszyny w systemie produkcyjnym, jej wpływu na klienta, czy jej pozycji w strumieniu wartości. Odpowiedni wybór maszyny albo grupy maszyn jako obszaru pilotażowego przy wdrażaniu systemu TPM ma duże znaczenie w kontekście jego późniejszego utrzymania. Także istotne jest określenie strategii wdrażania systemu TPM na pozostałych maszynach - określenie ścieżki wdrożenia systemu.

### 3. WYBÓR MASZYN ALBO GRUPY MASZYN POD WDRAŻANIE SYSTEMU TPM

Każda z maszyn w systemie produkcyjnym powinna mieć jasno zdefiniowany i określony priorytet, który będzie brał pod uwagę następujące czynniki [6]:

- wpływ na system produkcyjny (X),
- pozycję w strumieniu wartości (Y),
- wpływ na klientów (Z).

Rozpoczęcie wdrażania systemu TPM powinno odbywać się na maszynach o największym priorytecie. Ponadto zupełnie inna strategia funkcjonowania systemu TPM powinna być przyjęta w zależności od kategorii priorytetu maszyny. Istotne jest, aby firmy miały zdefiniowane kategorie priorytetów swoich maszyn zanim rozpoczną wdrażać system TPM.

Tabela 3. Klucz oceny wpływu maszyn na system produkcyjny (X) [6]  
Table 3. Evaluation key - Effect on the production system (X) [6]

Wykorzystanie zdolności produkcyjnych	Istnieją rezerwy?	Opis	Wpływ	Ocena
$\leq 75\%$	TAK	Przerwy w działaniu są minimalizowane własnymi rezerwami w wydajności	bez zakłóceń	1
$>75\% \leq 95\%$	TAK	Przerwy w działaniu są minimalizowane własnymi rezerwami w wydajności	bez zakłóceń	2-3
$>95\%$	TAK	Przerwy w działaniu są minimalizowane własnymi urządzeniami rezerwowymi	bez zakłóceń	4-5
$\leq 75\%$	NIE	Przerwy w działaniu będą miały niewielki wpływ na system produkcyjny	drobne zakłócenia	6-7
$>75\% \leq 95\%$	NIE	Dłuższe przerwy w działaniu urządzeń spowodują spore zakłócenia w systemie produkcyjnym	umiarkowane zakłócenia	8-9
$>95\%$	NIE	Krótkie przerwy w działaniu urządzeń spowodują spore zakłócenia w systemie produkcyjnym	poważne zakłócenia	10

Analizując wpływ maszyn na system produkcyjny należy zastanowić się, czy ich przestój spowodowany awarią może zatrzymać cały proces produkcyjny. Uzupełnieniem analizy powinno być określenie wykorzystania zdolności produkcyjnych maszyn, które rozumie się jako stosunek średniej liczby zamówień na maszynie względem jej maksymalnej wydajności w określonym czasie oraz ewentualnych rezerw wyposażenia, wydajności i zasobów jakie posiadają. Informacje te mogą posłużyć określeniu oceny wpływu maszyny na system produkcyjny (tabela 3).

Tabela 4. Klucz oceny pozycji maszyn w strumieniu wartości (Y) [6]  
Table 4. Evaluation key - Position in the value stream (Y) [6]

Udział w najdłuższym czasie na usunięcie awarii w systemie produkcyjnym	Przykład / Wyjaśnienie	Wpływ	Ocena
$\geq 80\%$	Brak strat ilościowych lub czasowych	niekrytyczny	1
$< 80\% \geq 70\%$	Z zasady, przerwy nie mają żadnego dalszego wpływu na datę dostawy lub wydajność	niekrytyczny	2-3
$< 70\% \geq 50\%$	W nielicznych wypadkach daty dostaw mogą być lekko przekroczone	niekrytyczny	4-5
$< 50\% \geq 30\%$	Dłuższe przerwy mogą powodować przekroczenie ważnych terminów	umiarkowanie krytyczny	6-7
$< 30\% \geq 10\%$	Należy liczyć się ze stratami ilościowymi lub przekroczeniem ważnych terminów	krytyczny	8-9
$< 10\%$	Przerwy często mają bezpośredni wpływ na wydajność ilościową lub datę dostawy	bardzo krytyczny	10

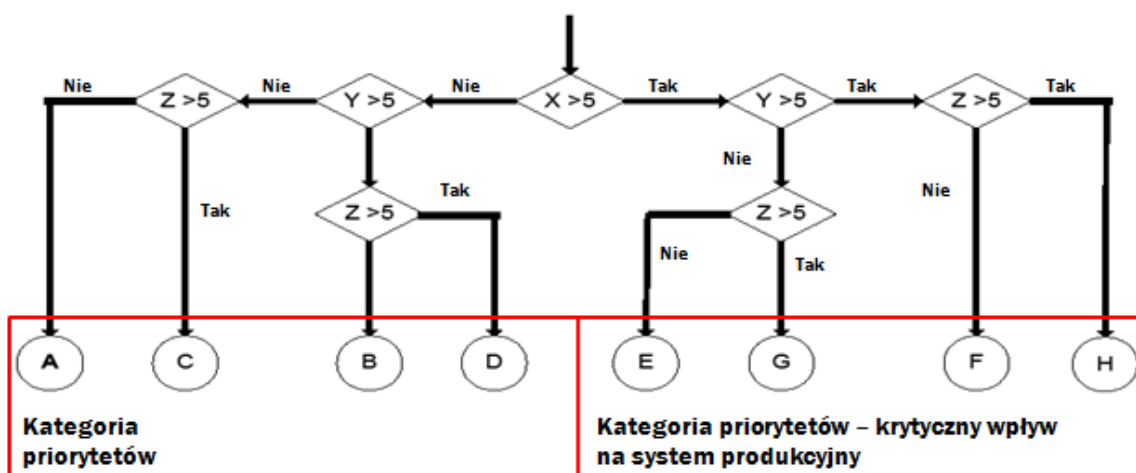
Im bliżej dołu strumienia wartości (klienta) oraz im mniejsze zapasy w toku produkcji, tym procentowy udział czasu usunięcia awarii dla maszyny wobec najdłuższego czasu usunięcia awarii będzie najmniejszy, a tym samym pozycja w strumieniu wartości będzie bardziej krytyczna. Przestój takich maszyn będzie miał duży wpływ na wydajność systemu produkcyjnego, jak i czas dostawy wyrobów do klienta.

Ostatnim aspektem przy określaniu priorytetów maszyn jest ustalenie w jaki sposób produkty wytwarzane przy ich udziale wpływają na klienta fabryki. Jeżeli produkty wytwarzane na maszynach są dla klienta na tyle ważne, że każde opóźnienie w dostawie może spowodować przestój produkcyjny w jego fabryce, wówczas takie maszyny uznawane są za kluczowe z punktu widzenia klienta. Jeżeli klient jest w stanie poczekać na opóźniony wyrób produkowany na maszynie wówczas ocena wpływu na klienta jest niska. Taką informację w przedsiębiorstwie można pozyskać w dwojaki sposób: bezpośrednio od klienta albo z działu sprzedaży. Na podstawie zebranych danych szacuje się wpływ awarii maszyny na klienta przyjmując jako: 1 – brak wpływu, a jako 10 – zatrzymanie produkcji u klienta (tabela 5).

Tabela 5. Klucz oceny wpływu wyrobów na klientów (Z) [6]  
 Table 5. Evaluation key – Effect on Customers (Z) [6]

Wpływ awarii maszyny na klienta	Przykład / Wyjaśnienie	Wpływ	Ocena
$\leq 2$	Krótkie opóźnienia nie mają wpływu na klientów	żaden	1
$2 < \leq 3$	Opóźnienia nie mają poważnego wpływu na klientów	bardzo niewielki	2-3
$3 < \leq 5$	Opóźnienia powodują drobne przerwy u klientów	niewielki	4-5
$5 < \leq 7$	Opóźnienia powodują problemy u klientów	średni	6-7
$7 < \leq 9$	Opóźnienia powodują poważne problemy u klientów	poważny	8-9
$> 9$	Opóźnienia powodują zatrzymanie produkcji u klientów	bardzo poważny	10

Każda z maszyn powinna zostać oceniona pod względem: wpływu na system produkcyjny, pozycję w strumieniu wartości oraz wpływu na klienta. Oceny uzyskane na podstawie tabel 3,4,5 powinny posłużyć do określenia kategorii priorytetu maszyny wg schematu przedstawionego na rysunku 1.



Rys. 1. Określenie kategorii priorytetów maszyn [6]  
 Fig. 1. Priority Category Classification [6]

Pierwszym czynnikiem jaki powinien być brany pod uwagę jest wpływ na system produkcyjny. Jeżeli jego ocena określona zgodnie z tabelą 3 jest większa niż 5 wówczas

z pewnością można stwierdzić, że maszyn jest krytyczna dla systemu produkcyjnego. Postępując zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 1 należy określić, czy ocena wpływu maszyny na strumień wartości w systemie produkcyjnym (tabela 4) jest większa niż 5. Jeżeli tak, wówczas maszynę uznaje się za krytyczną dla strumienia wartości. Mając te informacje należy ocenić wpływ na klienta (tabela 5). Jeżeli ocena jest większa niż 5 wówczas taka maszyna uznawana jest za krytyczną z perspektywy klienta, ponieważ produkty na niej wytwarzane mogą zakłócić jego procesy produkcyjne.

Posiadając te informacje można zaproponować miejsce pilotażowej implementacji systemu TPM oraz całą strategię na jego wdrożenie w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

#### 4. USTALENIE STRATEGII WDRAŻANIA SYSTEMU TPM

Wdrażanie systemu TPM powinno odbywać się przede wszystkim na maszynach kluczowych (o największej kategorii priorytetowej). Są to maszyny oznaczone na rysunku 1 kategorią „F” i „H”. Charakteryzują się one krytyczną pozycją w strumieniu wartości i dużym wpływem na system produkcyjny. Dodatkowo maszyny z kategorią „H” mają również duży wpływ na system produkcyjny klienta. Kolejne maszyny w systemie produkcyjnym, które powinny być objęte w dalszej kolejności wdrażaniem systemu TPM oznaczone zostały kategorią „E” i „G”. Najmniej krytyczne maszyny w systemie produkcyjnym oznaczone kategoriami: „D”, „B”, „C” i „A” mogą zostać objęte wdrażaniem systemu TPM w ostatniej kolejności [6].

Poza ustaleniem sekwencji wdrażania systemu TPM ważne jest zdefiniowanie odpowiednich strategii wdrażania systemu TPM w zależności od kategorii priorytetowej maszyn (tabela 6).

Tabela 6. Strategia wdrażania systemu TPM w zależności od kategorii priorytetu maszyny  
Table 6. Strategy of TPM System implementation depends on Priority Category Classification

Kategoria priorytetowa	Autonomiczna konserwacja – strategia wdrażania	Planowa konserwacja – strategia wdrażania
Maszyny kluczowe w procesie produkcyjnym Kategoria: „H” i „F”	<ul style="list-style-type: none"> <li>Codzienne przeglądy i konserwacje maszyn</li> <li>Jasno zaprojektowany, szybko działający i audytowany system zgłaszania usterek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sprawdzanie krytycznych układów lub ich wymiana, aby uniknąć awarii.</li> <li>Szczegółowa analiza awarii.</li> <li>Szczegółowy plan usuwania usterek dla wszystkich elementów maszyn.</li> <li>Krytyczne części zamienne powinny znajdować się przy maszynach.</li> <li>Zasoby do usuwania usterek (24/7).</li> <li>Urządzenia rezerwowe.</li> <li>Pewność, że naprawy trwają mniej niż maksymalny, dopuszczalny czas usuwania usterek.</li> </ul>
Maszyny średnio	<ul style="list-style-type: none"> <li>Codzienne przeglądy i</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Szczegółowy plan usuwania każdej</li> </ul>

kluczowe w procesie produkcyjnym Kategoria: „G” i „E”	konserwacje maszyn <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jasno zaprojektowany system zgłaszania usterek</li> </ul>	usterki dla krytycznych układów. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Części zamienne przy urządzeniach lub w magazynie centralnym.</li> <li>• Utrzymywanie zasobów do usuwania usterek.</li> <li>• Pewność, że naprawy trwają mniej niż maksymalny, dopuszczalny czas usuwania usterek.</li> </ul>
Maszyny mało kluczowe w procesie produkcyjnym Kategoria: „D”, „C”, „C” i „A”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Codzienne przeglądy i konserwacje maszyn</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Należy minimalizować wydatki na konserwację tych urządzeń.</li> <li>• Konserwacja powinna być wykonywana przez pracowników produkcyjnych.</li> <li>• Termin konserwacji można przeciągnąć do najpóźniejszej możliwej daty.</li> <li>• Możliwe oszczędności w kosztach części zamiennych.</li> <li>• Usterki usuwane podczas przeglądów.</li> </ul>

Reasumując, im maszyna ma większą kategorię priorytetową tym lepiej i dokładniej powinna być przygotowania dla niej strategia planowej i autonomicznej konserwacji. Części do wymiany podczas przeglądów powinny znajdować się możliwie blisko maszyny, każda awaria maszyny powinna być szczegółowo przeanalizowana w celu zdefiniowania środków zaradczych, aby w przyszłości się nie powtórzyła. Dodatkowo służby utrzymania ruchu powinny być dostępne dla maszyny podczas całego jej czasu pracy, zarówno do reagowania na awarie, jak i na usuwanie usterek. Maszyny te powinny stanowić obszar pilotażowy wdrażania systemu TPM w każdej firmie produkcyjnej.

#### LITERATURA

- [1] MCCARTHY D., RICH N., 2004, *Lean TPM - A Blueprint for Changes*, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 31-36.
- [2] JONSSON P., LESSHAMMAR M., 1999, *Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems – the role of OEE*, International Journal of Operations & Production Management, 19/1.
- [3] BAMBER C. J., CASTKA P., SHARP J. M., MOTARA Y., 2003, *Cross-functional team working for overall equipment effectiveness (OEE)*, Journal of Quality in Maintenance Engineering, 9/3.
- [4] NAKAJIMA S., 1988, *Introduction to TPM: total productive maintenance*, Productivity Press
- [5] KENICHI S., KEISUKE A., 1998, *TPM for the Lean Factory – innovative methods and worksheets for equipment management*, Productivity Press.
- [6] WIEGAND B., LANGMACK R., BAUMGARTEN T., 2007, *Lean Maintenance System. Zero Maintenance Time. Full Added Value*, Lean Management Institute.
- [7] LIKER J. K., 2003, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill Professional.



---

## STRATEGY OF IMPLEMENTATION TPM SYSTEM

This paper presents origin and major goals of TPM System. Additionally it shows how to calculate the overall equipment efficiency (OEE) and shows problems with selecting correct strategy of implementation TPM System. This paper will also focus on a proposal for a methodology of implementation TPM System depends on Machine Priority Category. In the last chapter of this paper is described how to implement Preventive and Autonomous Maintenance depends on defined Machine Priority Category.