

## **Część I. Lean Six Sigma w doskonaleniu niezawodności maszyn**

### **Rozdział 1. Niezawodność jako element efektywności procesu**

#### **Maszyna jako element systemu produkcyjnego**

---

W klasycznym ujęciu produkcja jest sekwencją działań przetwarzających materiał, informację lub energię. W takim systemie maszyna nie jest celem samym w sobie, ale zasobem warunkującym możliwość realizacji strumienia wartości. Jeżeli urządzenie krytyczne nie jest dostępne, cały proces traci zdolność do stabilnej realizacji planu. W praktyce oznacza to, że niezawodność każdej maszyny należy oceniać nie tylko przez pryzmat jej parametrów technicznych, lecz także przez miejsce, jakie zajmuje w przepływie.

Z punktu widzenia Lean szczególnego znaczenia nabiera zależność pomiędzy awarią a poziomem produkcji w toku. Im bardziej proces zależy od jednej maszyny, tym większe ryzyko, że jej zatrzymanie doprowadzi do gromadzenia zapasów przed operacją lub do beczynności kolejnych stanowisk. W systemach o długich seriach skutki te bywają maskowane przez bufor zapasów. W układach o krótkich seriach, wysokiej zmienności asortymentu albo przepływie jednej sztuki problem staje się natychmiast widoczny.

Inżynier, który analizuje niezawodność urządzenia, powinien zatem zadawać nie tylko pytania o częstotliwość awarii i czas naprawy, ale również o konsekwencje tych zdarzeń dla taktu, terminowości dostaw, wykorzystania zasobów oraz kosztów całego procesu. Zależność tę dobrze ilustruje logika przedstawiona na rysunku 1.

#### **Awaria, usterka i degradacja**

---

W języku potocznym pojęcia awarii, usterki i niesprawności bywają stosowane zamiennie, jednak z punktu widzenia analizy procesu warto je rozróżnić. Awaria oznacza utratę zdolności urządzenia do realizacji wymaganej funkcji. Usterka może odnosić się do konkretnego defektu elementu lub podzespołu, który tę awarię wywołuje. Degradacja oznacza natomiast stopniowe pogarszanie się stanu technicznego, które nie musi od razu prowadzić do zatrzymania, ale zwykle wpływa na jakość, prędkość albo stabilność procesu.

W praktyce przemysłowej rozróżnienie to ma znaczenie użytkowe. Jeżeli zespół traktuje każdą utratę parametrów jako „awarię”, może nie dostrzec trendu stopniowego pogarszania się stanu urządzenia. Z drugiej strony, jeżeli chroniczne mikroprzestoje lub utrata prędkości nie są

ujmowane w systemie danych, organizacja przecenia rzeczywistą dostępność maszyny i zbyt późno reaguje na źródło problemu.

## **Strata techniczna a strata procesowa**

---

Ta sama usterka techniczna może wywołać całkowicie odmienne skutki procesowe, zależnie od miejsca wystąpienia. Krótkie zatrzymanie na stanowisku o dużym buforze może pozostać niemal niezauważone, podczas gdy podobne zatrzymanie na wąskim gardle natychmiast obniży przepustowość całej linii. Stąd w książce konsekwentnie przyjmujemy, że niezawodność analizuje się zawsze w relacji do funkcji procesu, a nie wyłącznie do cech pojedynczej maszyny.

Praktyczna konsekwencja tego podejścia jest następująca: w doskonaleniu nie zawsze należy zaczynać od urządzenia, które psuje się najczęściej. Czasem większe znaczenie ma zasób, który psuje się rzadziej, ale jego zatrzymanie powoduje znacznie większą stratę czasu, kosztu lub jakości. Dlatego już na etapie definiowania problemu niezbędne jest powiązanie danych technicznych z danymi procesowymi.

## **Lean i Six Sigma w utrzymaniu ruchu**

---

Lean wnosi do obszaru utrzymania ruchu pytanie o straty: gdzie i w jaki sposób stan techniczny urządzeń zaburza przepływ? Six Sigma dopowiada pytanie o zmienność: jakie są wzorce awaryjności, jak zachowują się czasy napraw, które elementy są stabilne, a które wykazują niestabilność lub nieprzewidywalność? Połączenie obu podejść pozwala unikać typowego błędu polegającego na działaniu intuicyjnym albo nadmiernie reaktywnym.

W niniejszym opracowaniu Lean Six Sigma nie jest traktowane jako zestaw niezależnych narzędzi, lecz jako logika postępowania. Najpierw obserwujemy straty i ich wpływ na przepływ, następnie mierzymy je za pomocą spójnych wskaźników, analizujemy zmienność i przyczyny, po czym projektujemy działania poprawiające zarówno stan techniczny urządzeń, jak i sposób organizacji procesu [1][2][3].

**Rysunek 1. Niezawodność maszyny a efektywność procesu**



Logika zależności wykorzystywana w dalszej części książki.

## Część III. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1. Wysokie OEE, ale problemy z dostawami

#### Opis sytuacji

Linia pakowania komponentów motoryzacyjnych pracuje na jedną zmianę. Krytyczna zgrzewarka uzyskuje wysokie OEE, jednak klienci wewnętrzni regularnie zgłaszają opóźnienia w dostawach zestawów na montaż końcowy. Kierownik produkcji podejrzewa problem z niezawodnością, lecz zespół wskaźnikowy wskazuje, że maszyna pracuje „dobrze”.

Przypadek ma charakter w pełni fikcyjny i został przygotowany wyłącznie do celów dydaktycznych. Dane liczbowe zostały dobrane tak, aby umożliwić analizę problemu z kilku perspektyw: technicznej, procesowej i organizacyjnej. Rozwiązując zadanie, student powinien unikać zbyt szybkiego wskazywania jednej przyczyny i najpierw ustalić, który wskaźnik lub grupa wskaźników najlepiej opisuje naturę problemu.

W analizie należy korzystać z logiki omówionej w części metodycznej: najpierw odczytać wpływ problemu na przepływ i wyniki procesu, następnie zidentyfikować kluczowe straty, dobrać dane i narzędzia analityczne, a na końcu zaprojektować działania poprawiające oraz sposób utrzymania efektów.

#### Rysunek 8. Schemat do ćwiczenia 1



Wysokie OEE, ale problemy z dostawami

#### Stan PRZED

| Wskaźnik | Wartość |
|----------|---------|
| OEE      | 81,2%   |
| A        | 93,5%   |

| Wskaźnik      | Wartość        |
|---------------|----------------|
| P             | 91,8%          |
| Q             | 94,6%          |
| MTBF          | 38 h           |
| MTTR          | 21 min         |
| Liczba awarii | 6/miesiąc      |
| Downtime      | 6,5%           |
| Koszt awarii  | 8 600 zł/mies. |

### Dodatkowe obserwacje

- WIP przed zgrzewarką: 2,4 dnia zapasu.
- Średni czas oczekiwania zlecenia po zgrzaniu: 19 h.
- Poziom realizacji planu dziennego na kolejnej operacji: 87%.
- Partie produkcyjne uruchamiane są wcześniej „na zapas”, aby nie ryzykować braków.

### Zadania dla studenta

- Wyjaśnij, dlaczego wysoki OEE nie rozwiązuje problemu klienta wewnętrznego.
- Wskaż, które dane sugerują nadprodukcję lub zaburzony przepływ.
- Zaproponuj działania łączące perspektywę niezawodności i Lean.

### Wskazówka metodyczna

W tym przypadku kluczowe jest połączenie interpretacji OEE z analizą przepływu. Nawet dobry wynik urządzenia może współistnieć z nadprodukcją, zbyt dużymi partiami oraz budowaniem zapasu zabezpieczającego przed problemami niezawodności.

Warto także rozważyć, jakie dane dodatkowe byłyby potrzebne, gdyby zespół chciał przejść od szybkiej analizy do pełnego projektu poprawy. W praktyce właśnie to pytanie odróżnia powierzchowną diagnozę od profesjonalnego podejścia inżynierskiego.