

KISIEL Piotr¹

Analiza systemu produkcyjnego z wykorzystaniem współczynnika Overall Equipment Effectiveness

Ocena efektywności,
Analiza systemu produkcyjnego.,

Streszczenie

Obecne realia konsumpcyjno-informacyjnego XXI wieku stawiają wysokie wymagania wszystkim dobrom użytkowym. Konsument oczekuje produktu o jak najlepszym stosunku jakości do ceny. Wymagany jest więc wzrost jakości, przy jednoczesnym spadku ceny, co może okazać się niezwykle problematyczne z punktu widzenia producenta. W artykule chciałbym przedstawić wyniki analizy wykorzystania parku maszynowego i procesu produkcyjnego przy użyciu współczynnika OEE wykonanej dla przedsiębiorstwa produkcyjnego.

ANALYSIS OF A PRODUCTION SYSTEM USING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

Abstract

The realities of a consumer- and information-based 21st century set a very high standard on goods which are produced. Consumers expect value for their money. It is therefore necessary to enhance the quality of products while reducing the price at the same time, which might become problematic in the eye of the manufacturer.

In this article I present the results of an analysis of machinery stock and the production process using the OEE for a manufacturing enterprise.

1. WSTĘP DO ANALIZY OEE

Overall Equipment Effectiveness – Całkowita Efektywność Wyposażenia jest wiodącym czynnikiem w TPM stosowanym do oceny stanu istniejącego. Jest miarą efektywności pracy maszyny na podstawie [1,2,7]:

- dostępności – czynnej pracy maszyny;
- wykorzystania – w znaczeniu planowanego procentowego obciążenia;
- jakości produktu.

Współczynnik OEE pozwala ocenić efektywność wykorzystania parku maszynowego oraz całego procesu. Wartość współczynnika osiąga wartość zadowalającą powyżej 80%, a powyżej 60% akceptowalną. Na jej podstawie jesteśmy w stanie określić jakość wyrobów, obciążenie maszyn czy poziom metod konserwacji. Wdrożenie OEE ma przynieść efekty, które mogą być wyrażone, jako:

- poprawa wydajności maszyn;
- poprawa jakości produkowanych wyrobów;
- zwiększenie dostępności maszyn;
- uniknięcie niepotrzebnych zakupów maszyn;
- stałą kontrolę maszyn w procesie i problemów je trapiących;
- zaangażowanie wszystkich pracowników;
- zdrową konkurencję (pomiędzy zespołami) o lepszy wynik wskaźnika OEE.

W dostępnym czasie pracy maszyny wyróżniamy szereg strat, które podzielić można na odpowiednie ich występowaniu grupy. Pierwszą grupą strat, marnotrawiącą czas produkcyjny, która nie jest możliwa do całkowitego wyeliminowania to planowane przestoje:

- przerwy wypoczynkowe trwające standardowy czas (możliwe jest przesunięcie w czasie zejścia kolejnych grup pracowników na przerwę wypoczynkową w celu zapewnienia ciągłości pracy maszyny);
- przekazywanie zmian trwające standardowy czas (reorganizacja przekazywania zmian, zmiana pracowników bezpośrednio na stanowisku pracy);
- wypełnianie raportów trwające standardowy czas (raporty generowane automatycznie) przebrożenia trwające standardowy czas;
- czyszczenie i konserwacje - trwające standardowy czas;
- próby technologiczne trwające standardowy czas;
- inne działania wynikające ze specyfiki firmy trwające standardowy czas.

Duży wpływ na to czy czas przestoju zostanie zaliczony do zdarzeń planowanych czy też nieplanowanych, a zatem na wartość naszego OEE ma pojęcie „standardowy czas”. Aby operacje zostały przypisane do planowanych przestojów,

¹¹ AGH w Krakowie, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Katedra Systemów Wytwarzania, e-mail: pikisiel@agh.edu.pl

wykonywanie tych zabiegów musi zostać wcześniej zestandaryzowane. Standaryzacja pozwala na określenie dokładnego czasu trwania czynności. Pomniejszenie dostępnego czasu o wszystkie czynności o określonym czasie pozwala na wyznaczenie czasu (czas eksploatacji), który mógłby być za harmonogramowy wyłącznie pod produkcję wyrobów.

Kolejną grupą zdarzeń wchodzących w skład czasu produkcyjnego jest grupa zdarzeń o nieplanowanym wystąpieniu.

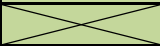
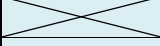
Do tej grupy zalicza się:

- Straty na dostępności - grupa zdarzeń związanych z niemożliwością realizowania zaplanowanych zleceń produkcyjnych w wyniku zaistnienia np.:
 - awarii,
 - usterek,
 - oczekiwaniu na materiał, półwyroby, surowce,
 - nieobecności operatora na stanowisku,
 - przedłużających się planowanych przestojów.
- Straty na wykorzystaniu - określają czy realizacja produkcji odbywa się w założonym tempie. Zarówno zbyt wolna jak i zbyt szybka produkcja może być niekorzystna. Odbieganie od czasu cyklu w dół może być spowodowane np.:
 - zwolnioną pracą maszyny z powodu stosowania niewłaściwej jakości surowca/półproduktu czy nawet niewiedzą pracownika,
 - niepełną obsadą,
 - wykonywaniem zbędnych czynności przez operatora,
 - usterkami maszyny powodującymi wydłużenie czasu cyklu pracy maszyny,
 - niewłaściwą jakością materiału/surowca powodującego wydłużenie czasu cyklu pracy maszyny.

Produkcja w szybszym tempie może prowadzić do przeciążenia maszyny, a w następstwie do awarii, pogorszenia jakości wyrobu lub po prostu wskazać sposób, w jaki można skrócić czas cyklu pracy maszyny. Wynika z tego, iż straty na jakości to czas wykorzystany na wytworzenie wadliwych wyrobów.

Całkowita Efektywność Wyposażenia oblicza się dla każdej maszyny procesu wg. tzw. formularza analizy OEE (tab. 1.).

Tab. 1. Formularz analizy OEE [1]

	Parametr	Właściwości	Ilość	
DOŚTĘPNOŚĆ	A. Zmianowy fundusz czasu pracy	-----		[min]
	B. Planowany czas postoju maszyny	-----		[min]
	C. Czas pracy	A+B		[min]
	D. Nieplanowany postój maszyny	a+b+c		[min]
	a) awarie.....[min]			
	b) wymiany.....[min]			
	c) inne.....[min]			
E. Czas eksploatacji netto	C-D		[min]	
F. Współczynnik dostępności	E/C			
WYKORZYSTANIE	G. Liczba przetworzonych wyrobów	d+e		[szt]
	d) dobre.....[szt]			
	e) złe.....[szt]			
	H. Projektowany czas jednostkowy obróbki wyrobu (idealny)	-----		[min/szt]
I. Współczynnik wykorzystania	H x G/E			
JAKOŚĆ	J. Liczba braków			[szt]
	K. Współczynnik jakości	(G-J)/G		
OEE	L. Całkowita efektywność wyposażenia	F x I x K		

OEE powstaje z przemnożenia trzech składowych: dostępności, wykorzystania i jakości [4,5]. Ważne jest, iż OEE mierzone jest wyłącznie w czasie, kiedy maszyna pracuje, czyli wyłącznie w czasie eksploatacji maszyny. Jeśli produkcja nie jest uruchamiana (na przykład w wyniku braku zleceń), wskaźnik nie może zostać wyliczony.

Dostępność ukazuje jak dostępny czas jest trwoniony przez różnego rodzaju nieplanowane zdarzenia (opisane, powyżej jako straty na dostępności). Wyliczmy go z ilorazu różnicy czasu eksploatacji i nieplanowanych przestoi do całkowitego czasu eksploatacji.

Wykorzystanie określa się, jako stosunek pomiędzy nominalną, a rzeczywistą prędkością maszyny. Tylko ta składowa wskaźnika OEE w pomiarach może wykroczyć ponad 100%. Przyczyna może być dwójaka:

- nominalny czas cyklu pracy maszyny został zaniżony;
- pracownicy pracują szybciej niż określony w technologii czas cyklu maszyny.

Jakość świadczy o ilości wykonanych dobrych wyrobów za pierwszym razem i liczbie braków.

Kolejnym etapem może być wyznaczenie całkowitej efektywności zakładu OPE (Overall Plant Effectiveness). Pozwala on określić sprawowanie się całego parku maszynowego, bądź na podstawie średniej arytmetycznej, bądź na podstawie średniej ważonej, która daje nam pogląd na faktyczny wpływ najbardziej istotnych partii procesu na całkowitą sprawność produkcji.

W początkowym etapie procesu istotne jest określenie, jakie nakłady zostaną przeznaczone na implementację OEE oraz sformułowanie celów, jakie mają być zrealizowane przy użyciu omawianego wskaźnika (np. obniżenie awaryjności). Ważnym przedsięwzięciem podczas wdrażania systemu jest zebranie zespołu, który będzie w stanie zadbać o zrealizowanie wszystkich zakładanych punktów. Zespół wdrożeniowy powinien składać się między innymi z: szefa produkcji, przedstawiciela działu utrzymania ruchu, operatorów, mistrzów/nadzoru produkcji, przedstawiciela działu technologii i jakości, osób odpowiedzialnych za doskonalenie procesu. Następnie dokonuje się wyboru maszyn, na których zostanie uruchomione gromadzenie danych do OEE. Kryteria wyboru maszyn muszą być zdefiniowane i zakładać, że pomiarem zostaną objęte w pierwszej kolejności maszyny będące ograniczeniami procesu oraz maszyny krytyczne dla procesu wytwórczego. Po określeniu maszyn, na których będą prowadzone pomiary, działanie, jakie należy podjąć to gromadzenie danych, które może być zorganizowane w sposób ręczny lub automatyczny. Zależnie od możliwości technicznych parku maszynowego oraz kosztów. Najczęściej stosowaną metodą pobierania danych jest metoda mieszana, czyli prowadzona zarówno w trybie automatycznym jak i ręcznym. Wady i zalety obu metod przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Wady i zalety automatycznego oraz ręcznego gromadzenie danych [7]

Pomiar Automatyczny	Pomiar Ręczny
Zalety	
<ul style="list-style-type: none"> • Gromadzenie danych w czasie rzeczywistym • Analiza danych możliwa do przeprowadzenia „na gorąco” • Możliwa natychmiastowa reakcja na zdarzenia • Opomiarowanie maszyn utrudniających ręczne zbieranie zdanych • Rejestracja mikro przestojów • Brak konieczności ręcznego wypełniania raportów • Brak przekłamań 	<ul style="list-style-type: none"> • Szybki czas wdrożenia OEE na maszynach • Możliwość dokładnego zapisu przyczyn zatrzymań • Szybkie wprowadzanie zmian w sposób pomiaru czy przyporządkowania danych
Wady	
<ul style="list-style-type: none"> • Konieczność personalizacji aplikacji do potrzeb firmy • Opomiarowanie pracy maszyn – dodatkowe koszty • Trudności wprowadzania szybkich zmian w oprogramowaniu 	<ul style="list-style-type: none"> • Spisywanie danych jest czasochłonne • Niedokładność pomiarów np. mikro przestoje

Minimalna ilość danych, jaką należy zebrać do wyliczenia OEE:

- start i koniec pracy maszyny;
- identyfikacja produktu obrabianego na maszynie;
- ilość wyprodukowanych wyrobów;
- ilość braków;
- nominalne czasy cykli maszyn;
- standardowy czas przebrojeń;
- standardowe czasy konserwacji, czyszczenia, przekazywania zmian itp.;
- kody nieplanowych przestojów.

Wdrożenie systemu OEE nie jest celem samym w sobie [6]. Ma ono na celu realizację określonego zadania, celu. Jeśli ma służyć tylko, jako narzędzie do raportowania, bez wyciągania wniosków może okazać się zabiegiem dość kosztownym, jeśli chodzi o nakłady finansowe i czas oraz nie przynoszącym wymiernych korzyści. Powinno zostać połączone z szeregiem innych metod, np.: 5 why, kanban, kaizen, SMED itp.

Zadaniem Single Minute Exchange of Die (Teoria Szybkich Przebrojeń) [2] jest skrócenie czasów przebrojeń. Składa się nań zestaw technik pozwalających na dokonanie wymiany narzędzi i ustawień w tzw. czasie jednostkowym (poniżej 10 minut). Sprawna wymiana zainstalowanych narzędzi jest warunkiem efektywnego funkcjonowania linii

produkcyjnej. Umożliwia to dostosowanie maszyny do nowych warunków produkcji w krótkim czasie. Założenie to determinuje potrzebę wykonania jak najszybszych przebrojeń.

Istotnymi cechami teorii szybkich przebrojeń są operacje przygotowania, które dzielimy na wewnętrzne, czyli takie, które wykonywane są jedynie przy wyłączonej maszynie oraz zewnętrzne, czyli te, które wykonać można nie przerywając ciągu produkcyjnego. Kluczowym działaniem jest wyeliminowanie przygotowań wewnętrznych kosztem jak największej ilości przygotowań zewnętrznych.

Wyłączenie maszyny podczas czynności przygotowawczych znacznie wydłuża czas produkcji, ze względu na jej późniejszy rozruch i wykonywanie serii próbnych. Ważne więc jest odróżnienie przygotowań wewnętrznych od zewnętrznych i ich przegrupowanie. W następnej kolejności dokonuje się usprawnienia wszystkich operacji w celu zmniejszenia ich czasochłonności.

Na proces przygotowania technicznego składają się cztery rodzaje czynności:

- Przygotowanie, regulacja procesowa, kontrola materiałów i narzędzi, czyli czynności zapewniające prawidłowe usytuowanie oraz funkcjonowanie przyrządów i narzędzi. Stanowią aż do 30 procent czynności przygotowania i realizowane są, jako przygotowanie wewnętrzne.
- Montaż/demontaż narzędzi itp. – szereg czynności związanych z usunięciem narzędzi i przyrządów stosowanych w produkcji jednej partii oraz zamontowanie odpowiednich dla innej partii. Stanowią one 5 procent wszystkich czynności przygotowawczych i realizowane są, jako przygotowanie wewnętrzne.
- Pomiar, nastawy, kalibracja – konieczne do poprawnej pracy urządzenia, operacje takie jak centrowanie, wymiarowanie, pomiar parametrów roboczych. Stanowią 15 procent wszystkich czynności przygotowawczych i realizowane są zarówno, jako przygotowanie wewnętrzne, jak i zewnętrzne.
- Seria próbna i regulacja – konieczne do poprawnego funkcjonowania maszyny. Tylko właściwie wyregulowana maszyna jest w stanie sprostać wymaganiom produkcyjnym. Stanowią 50 procent wszystkich czynności przygotowawczych i realizowane są, jako przygotowanie wewnętrzne.

Z powyższych opisów wynika, iż znaczna część operacji przygotowawczych (pozornie) nie może zostać wykonana w trakcie pracy maszyny, dlatego też tak ważna jest poprawna analiza i rozróżnienie czynności przygotowawczych.

Separacja czynności zewnętrznych i wewnętrznych jest najważniejszym do zrealizowania krokiem dla SMED. Zorientowanie operacji, odpowiednie przygotowanie oraz dobrze zorganizowany transport narzędzi i elementów jest w stanie przyspieszyć operacje nawet o 30 do 50 procent.

Finalna analiza zbliża do otrzymania takiej konfiguracji czasu przygotowawczo-zakończeniowego, aby miał on najmniejszy z możliwych czas na wydłużenie cyklu produkcji. Pomocnym elementem takiej konfiguracji jest lista kontrolna. Dotyczy ona danej maszyny i umożliwia zapobieganie przeoczeniom, błędom i powtórny niepotrzebny kontrolom stanowiska w czasie wewnętrznym. Zawiera ona:

- potrzebne narzędzia, dokumentacje, materiały;
- wykaz pracowników uprawnionych do wykonania czynności;
- wartości nastaw;
- mierniki i zestawienie wartości wymiarów charakterystycznych.

Istotne jest, aby każda z list kontrolnych była specyficzna dla danego stanowiska, maszyny czy operacji. Lista kontrolna pozwala na kontrolę stanowiska w zakresie zaopatrzenia. Kolejnym etapem jest kontrola funkcjonowania mająca na celu sprawdzenie właściwej kondycji przyborów i narzędzi oraz materiałów. Kontrola funkcjonowania powinna być wykonana przed rozpoczęciem wewnętrznych czynności przygotowawczych, dzięki czemu zapobiec będzie można wydłużeniu ich czasu trwania spowodowanego wymianą i naprawą niesprawnego narzędzia czy przyrządu. Jednocześnie właściwa kontrola sprawności narzędzia pozwoli na wyeliminowanie realizacji błędnie wykonanych wyrobów. Kontrola funkcjonowania powinna stać się czynnością standardową realizowaną w ramach zewnętrznych czynności przygotowawczych.

Kolejnym elementem przygotowania stanowiska, który powinien zostać wykonany w ramach przygotowań zewnętrznych jest transport narzędzi, przyrządów i materiałów z magazynu na stanowisko. Transport ten tradycyjnie wykonywany jest w trakcie wewnętrznych czynności przygotowawczych przed i po realizacji danej partii produkcyjnej. Należy zatem przyjąć zasadę, że wymontowane narzędzia nie zostaną odtransportowane do magazynu do czasu, kiedy nowe nie zostaną zainstalowane, a maszyna nie będzie pracowała. Oznacza to, że transport odbywać się będzie w trakcie automatycznej pracy maszyny lub przez innego, niż operator danego stanowiska pracy, pracownika.

Przekształcenie przygotowania wewnętrznego na zewnętrzne polega na ponownej analizie przygotowań i ocenie czynności pod kątem przynależności do wewnętrznej czy zewnętrznej. Ponadto jej nadrzędnym celem jest przekonwertowanie jak największej liczby działań wewnętrznych w zewnętrzne za pomocą analizy rzeczywistego ich przebiegu. Samo oddzielenie czynności przygotowawczych realizowanych poza i na maszynie nie spowoduje drastycznej redukcji czasów tpz. Dlatego też należy dokonać analizy działań przygotowania wewnętrznego i ich celowości oraz przekształcenia czynności realizowanych wewnątrz na realizowane na zewnątrz.

Aby znaleźć metody przekształcenia czynności wewnętrznych na zewnętrzne stosuje się następujące techniki:

- Wczesne przygotowanie stanowiska pracy - dostarczenie wszystkich niezbędnych części, przyrządów, narzędzi i ich przygotowanie przed rozpoczęciem przygotowania wewnętrznego. Ustanowienie warunków pracy tj. temperatura, ciśnienie czy pozycjonowanie materiału może być często wykonywane w ramach przygotowania zewnętrznego.
- Standaryzacja funkcji – ujednoczenie parametrów montażu narzędzi, przyrządów czy materiałów. Celem standaryzacji jest takie dostosowanie np. wymiarów zewnętrznych narzędzi stosowanych na danym stanowisku, aby ich montaż w maszynie nie wymagał zmiany jej ustawień. Standaryzacja może, więc dotyczyć wymiarów, centrowania, mocowania, demontażu czy zacisku.

- Wykorzystanie przyrządów pośredniczących - wspomaga przeniesienie działań przygotowawczych na zewnątrz w przypadku, kiedy standaryzacja funkcji staje się niemożliwa. Przyrządy pośredniczące to zwykle płyty lub ramy o standardowym wymiarze, do których mocuje się narzędzia o zmiennych wymiarach.

Usprawnienie czynności przygotowawczych - kluczowym efektem tego etapu będzie zredukowanie czasu wykonywania czynności przygotowawczych, co może być efektem stosowania zabiegów natury technicznej w kwestii przebrojeń, które ułatwiają i usprawniają montaż np. stosowanie zacisków montażowych, wykonywanie równoległych operacji czy eliminowanie regulacji.

Usprawnienie czynności przygotowawczych polega na ponownym przyjrzeniu się zmienionym, w poprzednich krokach działaniom i znalezieniu dodatkowych możliwości skrócenia czasu t.p.z. Techniki doskonalenia czynności przygotowawczych można podzielić na:

- doskonalenie czynności przygotowawczych zewnętrznych
- doskonalenie czynności przygotowawczych wewnętrznych

Doskonalenie czynności przygotowawczych zewnętrznych dotyczy usprawniania metod przechowywania i transportu przyrządów, narzędzi i materiałów. Przy rozdziale niewielkich narzędzi czy przyrządów istotne jest zastosowanie właściwych metod zarządzania nimi. Dlatego też należy odpowiedzieć na następujące pytania:

- Czy organizacja przechowywania i transportu narzędzi jest najlepszą z możliwych ?
- W jaki sposób przechowywać narzędzia, aby utrzymać je w jak najlepszej kondycji ?
- W jaki sposób przechowywać narzędzia, aby były przygotowane do kolejnej operacji ?
- Jaka ilość narzędzi danego rodzaju powinna być przechowywana w magazynie, aby możliwe było niezakłócone zaopatrywanie wszystkich stanowisk ?

Odpowiedzi na powyższe pytania powinny wspomóc udoskonalenie zewnętrznych czynności przygotowawczych i skrócenie czasu ich trwania. Doskonalenie czynności przygotowawczych wewnętrznych sprowadza się do spełnienia czterech następujących warunków:

Równoległa realizacja operacji - niektóre z maszyn tj. duże prasy, wtryskarki tworzyw sztucznych, maszyny do odlewów kokilowych często wymagają przygotowania realizowanego po obu stronach maszyny (od frontu i od tyłu). Jednoosobowe przeobrażanie takiej maszyny powoduje straty czasu oraz zbędne przechodzenie od przodu do tyłu maszyny i z powrotem. Równoległa realizacja operacji dokonuje podziału czynności przygotowawczych pomiędzy dwie osoby, z których każda obsługuje inną część maszyny. W ten sposób można dokonać redukcji czasu przebrojenia, dzięki eliminacji potrzeby chodzenia wokół maszyny i uproszczeniu działań operatora. W przypadku, gdy operacje obu operatorów są od siebie uzależnione konieczne staje się ustalenie zasad komunikacji. W tym zakresie niezwykle pomocne stają się procedury realizacji czynności opisane na kartach, które posiada każdy z pracowników. W ten sposób możliwe jest wyeliminowanie błędów i ewentualnego ryzyka, a także zastępowanie operatora w razie np. jego choroby.

Zastosowanie zacisków mocujących - w systemie SMED całkowicie wyklucza się zastosowanie śrub czy sworzni mocujących. Przemawia za tym zbyt długi czas ich właściwego nastawienia (kilka lub kilkanaście obrotów kluczem), doboru w zależności od mocowanego narzędzia czy po prostu odnalezienia wśród innych śrub mocujących. Dlatego też system SMED zaleca stosowanie zacisków mocujących, które pozwolą na umiejscowienie narzędzia przy pomocy jednego ruchu.

Eliminacja regulacji - regulacja warunków pracy może obciążać czas t.p.z w 50%. Wynika z tego, że eliminacji można dokonać dzięki zastosowaniu właściwych ustawień narzędzi i dokładności realizacji wyżej wspomnianych zasad. Istnieją cztery podstawowe techniki eliminacji regulacji:

1. Zastosowanie numerycznej skali i zestandaryzowanie ustawień polegające na zamocowaniu numerycznej skali określającej dokładność ustawienia części względem maszyny. Ustalenie stałych wartości tych nastaw pozwoli na jednakowe i niezawodne przygotowanie warunków pracy.
2. Zastosowanie linii ułatwiających centrowanie, polegające na wyrysowaniu linii centrujących na blacie operacyjnym maszyny.
3. Zastosowanie szablonów - polega na wcześniejszym przygotowaniu szablonów umożliwiających właściwe ustawienie narzędzia względem obrabianego materiału np. przy nawiercaniu otworów można wyeliminować każdorazową potrzebę odmierzania odległości. Zastosowanie systemu NWW (najmniejszej wspólnej wielokrotności) - polega na oznaczeniu nastaw narzędzi w określonych odstępach będących swoją wielokrotnością. Odstępy odnosić powinny się do zmiennych nastaw narzędzia w przypadku obróbki wyrobów różniących się np. długością.

Zastosowanie SMED jest w stanie poprawić szereg walorów produkcji. Korzyści jakie może wynieść przedsiębiorstwo stosując technikę szybkich przebrojeń to:

- wzrost elastyczności - przedsiębiorstwa mogą dostosowywać się do zmiennych potrzeb klienta bez ponoszenia wydatków na dodatkowe zapasy;
- szybsze dostawy - zmniejszenie wielkości partii produkcyjnych pozwala na skrócenie czasu trwania cyklu produkcyjnego, a tym samym czasu realizacji zamówienia i dostawy;
- wyższa jakość - zmniejszenie wielkości zapasów oznacza zmniejszenie liczby braków wynikających z magazynowania wyrobu lub półwyrobu; jednocześnie właściwe przygotowanie i organizacja nastaw wyposażenia pozwala na redukcję braków wynikających z błędów nastaw oraz eliminuje potrzebę realizacji serii próbnych dla nowego produktu;
- wzrost produktywności - krótsze czasy przebrojeń redukują czasy przestoju maszyny, co oznacza wyższy współczynnik produktywności wyposażenia.

Konserwacja prognozowana wpływa na konieczność kontroli elementów mających związek ze współczynnikami OEE. Są to przede wszystkim:

- awarie,
- przestoje i postoje,
- błędy jakościowe,
- zmiany wydajności (tzw. straty mocy).

Do zapisu problemów z poszczególnych grup posłużyć może Karta zapisu problemów. Dotyczyć ma ona konkretnego stanowiska pracy. Powinna ona być zatem wypełniana przez operatora. Powołany w ramach wdrożenia TPM, Zespół Kontroli Obsługi Urządzeń powinien zebrać wszystkie karty i dokonać ich analizy pod kątem głównych przyczyn powstawania problemów.

Systematyczna notacja umożliwi ustalenie głównych źródeł błędnie wykonywanych czynności i ich eliminację. Analiza przyczynowo skutkowa pozwoli na właściwą hierarchizację problemów i prawidłowe ustalenie harmonogramu ich likwidacji. Kolejnym krokiem staje się znalezienie rozwiązania zapobiegającego powstawaniu problemu i ustalenie czynników ją warunkujących.

Efektom analizy ma być ustalenie standardów określających warunki pracy maszyny, zbudowaniu list kontrolnych dotyczących regulacji maszyny, przebrojenia i serwisowania. Listy kontrolne mają za zadanie wspomóc operatora w czynnościach obsługowo-konserwacyjnych, pozwolą na bezbłędne i szybkie przygotowanie stanowiska do pracy, eliminując jednocześnie potrzebę wielokrotnego ustawiania parametrów pracy maszyny.

Ostatnim krokiem wdrożenia TPM jest doskonalenie obsługi maszyn. Do tego celu wskazane jest wykorzystanie Formularza oceny TPM. Zmiany dostrzeżone w trakcie oceny TPM powinny stać się wskazówką do ponownej analizy przyczyn osiągnięcia niewłaściwych efektów pracy maszyny czy linii produkcyjnej.

Ocena powinna być dokonywana z początku raz na miesiąc, później raz na trzy miesiące. Zespół Kontroli Obsługi Urządzeń odpowiedzialny jest także za analizę przyczyn nieodpowiedniego poziomu obsługi konserwacyjnej i generowanie działań naprawczych. W tworzeniu pomysłów doskonalenia stanu istniejącego powinni uczestniczyć także operatorzy uczestniczący bezpośrednio w transformowanych doskonaleniach. Nie mniej ważny jest udział osób niezwiązanych z analizowanym stanowiskiem pracy, które mają sposobność obiektywnej oceny sytuacji.

2. ANALIZA SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Poddane analizie przedsiębiorstwo zajmuje się przetwórstwem tworzyw sztucznych termoplastycznych metodą wtrysku, głównie dla przemysłu automotive. Firma specjalizuje się w wytwórstwie elementów dla motoryzacji takich jak klosze, reflektory, listy dekoracyjne, obudowy, profile, nadkola, zderzaki, kratki wentylacyjne, klamki, pokrętła, korki i wszelkiego rodzaju elementy ozdobne lub konstrukcyjne. Za szeregiem produkowanego asortymentu idzie dość rozbudowany park technologiczny.

W przedsiębiorstwie wdrożony jest system zarządzania zgodny z normami ISO 9001 oraz 14001. Planowanie procesu realizacji wyrobu lub usługi odbywa się w oparciu o dane zawarte w zamówieniach Klienta z uwzględnieniem wykorzystania najkorzystniejszych technologii i / lub materiałów oraz urządzeń. Przy planowaniu realizacji wyrobu lub usługi wykorzystywane są specyfikacje określające właściwości wyrobów, normy, warunki techniczne i inne dokumenty związane z wyrobem.

Na jej terenie wydzielone zostały trzy główne strefy:

- produkcyjna
- magazynowa
- warsztatowa (narzędziownia)

Do hali produkcyjnej przyległe są powierzchnie biurowe wraz z szatniami, jadalnią oraz помещением elektroników, nad którymi znajduje się niewielka powierzchnia magazynowa, oraz biuro magazyniera. Teren przed halą produkcyjną spełnia rolę wyładowczo-załadowczą oraz magazyn palet i opakowań.

Linia produkcyjna dysponuje dwudziestoma pięcioma wtryskarkami wyszczególnionymi w tabeli 1. Zorganizowana jest w taki sposób, aby możliwe było wytwarzanie niezależnych od siebie produktów, co zapewnia utrzymanie ciągłości produkcji nawet w przypadku przebrojenia, konserwacji czy awarii w jednym z ciągów produkcyjnych. Automatyzacja procesu produkcji jest stosunkowo niska. Ogranicza się do sterowania maszynami. Cały proces obsługiwany jest przez operatorów i obsługę, tj.:

- transport surowców, materiałów wsadowych i produktów,
- odbieranie produktów z maszyny,
- obróbka wyrobów,
- kontrola parametrów maszyn,
- dostarczenie materiałów wsadowych (zasyp),
- wprowadzanie ustawień.

Proces produkcji podzielić można na kilka zespołów maszynowych (tab. 3.). Klasyfikacja ta pozwala na wyodrębnienie tzw. linii produkcyjnych. Otrzymamy w ten sposób sześć odrębnych i niezależnych linii, mogących prowadzić produkcję odrębnych detali, korzystać z różnych materiałów wsadowych i zapewniać ciągłość produkcji w wypadku występujących konserwacji, czy awarii.

Tab. 3. Podział maszyn na linie produkcyjne

L.p.	Nr maszyny	Wielkość maszyny [Mg]	Prducent	Data produkcji maszyny	Nr linii
1	29	1 400	ENGEL	1989	1
2	2	1 250	ENGEL	1989	
3	3	1 050	BATTENFELD	1986	
4	26	1 050	BATTENFELD	1984/2001	
5	24	800	BATTENFELD	1988	2
6	18	650	BATTENFELD	1988	
7	19	650	BATTENFELD	1992	
8	25	650	BATTENFELD	1984/2001	
9	23	500	BATTENFELD	1990	
10	10	450	BATTENFELD	1996	3
11	6	400	BATTENFELD	1990	
12	20	400	BATTENFELD	1990	
13	28	400	BATTENFELD	1989	
14	21	320	BATTENFELD	1990	
15	27	320	BATTENFELD	1980	
16	8	240	BATTENFELD	1989	4
17	11	130	BATTENFELD	1990	5
18	12	130	BATTENFELD	1988	
19	13	130	BATTENFELD	1989	
20	14	130	BATTENFELD	1988	
21	15	130	BATTENFELD	1991	
22	16	130	BATTENFELD	1992	
23	17	130	BATTENFELD	1992	
24	4	50	BATTENFELD	1988	6
25	1	35	BATTENFELD	1989	

Linia #1 dysponuje czterema maszynami z zakresu od 1050 [Mg], do 1400 [Mg], co determinuje ją do produkcji detali wielko gabarytowych, przy stosunkowo długich czasach maszynowych i niewielkich przebiegach zmianowych.

Linia #2 dysponuje pięcioma maszynami z zakresu od 500 [Mg], do 800 [Mg], co sprawia, że posłuży do produkcji detali dużo gabarytowych przy średniej długości czasach maszynowych i przebiegach zmianowych.

Linia #3 dysponuje sześcioma maszynami z zakresu od 320 [Mg], do 450 [Mg], przy takich parametrach wykorzystana zostaje do produkcji detali średnio gabarytowych przy dość krótkich czasach maszynowych i dużych przebiegach zmianowych.

Linia #4 dysponuje jedną maszyną 240 [Mg], która służyć może do średniej wielkości produkcji niewymagającej dużych serii i krótkich czasów maszynowych.

Linia #5 dysponuje siedmioma maszynami 130 [Mg], służącymi do produkcji niewielkich gabarytowo detali przy krótkich czasach maszynowych i dużych przebiegach zmianowych.

Linia #6 dysponuje dwoma maszynami, 35 [Mg] oraz 50 [Mg], które posłużyć mogą do szybkiej, mało gabarytowej i wydajnej produkcji.

W tabeli 4 dokonano przyporządkowania przedstawionych produktów do odpowiednich maszyn oraz zestawienia z odpowiadającymi im czasami maszynowymi oraz przebiegami czasowymi i ilością produkcji. Zestawienie to posłuży do wyliczenia współczynników OEE dla każdego urządzenia, założonej linii produkcyjnej.

Tab. 4. Zestawienie danych produkcyjnych

L.p.	Nr maszyny	Typ maszyny (tony [T])	Kod towaru	Ilość detali [szt.]	Ilość braków [szt.]	Czas maszynowy [min]	Minut maszynowo	Planowany czas postoju [min]	Czas eksploatacji [min]
1	29	1400	ALP-366	21593	4288	0,20	4297	130	4427
2	2	1250	ALP-366	21529	4336	0,20	4328	130	4458
3	3	1050	ALP-367	21957	4361	0,20	4370	130	4500
4	26	1050	ALP-367	21892	4409	0,20	4400	130	4530
5	24	800	467491390	60384	12093	0,25	15034	180	15214
6	18	650	467491390	60391	12045	0,25	15056	180	15236
7	19	650	467491390	60399	12079	0,25	15087	180	15267
8	25	650	467491390	60397	12099	0,25	15077	180	15257
9	23	500	467491390	60399	12079	0,25	15111	180	15291
5	24	800	468491400	60421	12100	0,25	15043	180	15223
6	18	650	468491400	60428	12052	0,25	15065	180	15245
7	19	650	468491400	60436	12086	0,25	15096	180	15276
8	25	650	468491400	60434	12106	0,25	15086	180	15266
9	23	500	468491400	60436	12086	0,25	15120	180	15300
10	10	450	351702	397262	79458	0,25	99321	150	99471
11	6	400	351702	397339	79473	0,25	99321	150	99471
12	20	400	351702	397319	79452	0,25	99309	150	99459
13	28	400	351701	404233	80897	0,25	101009	150	101159
14	21	320	351701	404167	80823	0,25	101099	150	101249
15	27	320	351701	404251	80809	0,25	101054	150	101204
16	8	240	735300548	231893	46379	0,35	81163	420	81583
17	11	130	735321989	33079	6674	0,20	6652	129	6781
18	12	130	735321989	33161	6614	0,20	6622	129	6751
19	13	130	735321989	33166	6623	0,20	6683	129	6812
20	14	130	735321989	33146	6625	0,20	6586	129	6715
21	15	130	735321989	33158	6619	0,20	6613	129	6742
22	16	130	735321989	33146	6627	0,20	6618	129	6747
23	17	130	735321989	33166	6621	0,20	6629	129	6758
17	11	130	735321990	33085	6626	0,20	6669	129	6797
18	12	130	735321990	33215	6657	0,20	6623	129	6751
19	13	130	735321990	33172	6655	0,20	6636	129	6764
20	14	130	735321990	33206	6632	0,20	6635	129	6763
21	15	130	735321990	33172	6622	0,20	6622	129	6750
22	16	130	735321990	33197	6604	0,20	6627	129	6755
23	17	130	735321990	33157	6642	0,20	6633	129	6761
24	4	50	ERS-211	1718420	343684	0,25	429605	960	430565
25	1	35	ALP-080	1915923	383185	0,25	478981	960	479941

Na podstawie znanych i przedstawionych wcześniej wzorów dokonano obliczeń i wyznaczono tabelę 5 zawierającą obliczone współczynniki dla wszystkich maszyn, z uwzględnieniem grup materiałowych z wyszczególnionymi grupami produktowymi (wiersze wyszczególnione).

Tab. 5. Zestawienie wyliczonych współczynników

Lp.	Nr maszyny	Nr linii	Kod towaru	n [szt.]	w [szt.]	tm [min]	tp [min]	tpp [min]	t [min]	tnp [min]	OEE	W	D	J
1	29	1	ALP-366	21593	4288	0,2	4297	130	4427	140	0,782	0,968	1,01	0,80
2	2	1	ALP-366	21529	4336	0,2	4328	130	4458	150	0,771	0,966	1,00	0,80
		1	ALP-366	43122	8624	0,2	8625	360	8985	290	0,768	0,968	0,99	0,80
3	3	1	ALP-367	21957	4361	0,2	4370	130	4500	210	0,782	0,953	1,02	0,80
4	26	1	ALP-367	21892	4409	0,2	4400	130	4530	160	0,772	0,965	1,00	0,80
		1	ALP-367	43849	8770	0,2	8770	360	9130	370	0,768	0,959	1,00	0,80
5	24	2	467491390	60384	12093	0,25	15034	180	15214	200	0,794	0,987	1,01	0,80
6	18	2	467491390	60391	12045	0,25	15056	180	15236	160	0,793	0,989	1,00	0,80
7	19	2	467491390	60399	12079	0,25	15087	180	15267	210	0,791	0,986	1,00	0,80
8	25	2	467491390	60397	12099	0,25	15077	180	15257	190	0,791	0,988	1,00	0,80
		2	467491390	301971	60394	0,25	75493	900	76393	940	0,791	0,988	1,00	0,80
6	18	2	468491400	60428	12052	0,25	15065	180	15245	165	0,793	0,989	1,00	0,80
7	19	2	468491400	60436	12086	0,25	15096	180	15276	170	0,791	0,989	1,00	0,80
8	25	2	468491400	60434	12106	0,25	15086	180	15266	215	0,791	0,986	1,00	0,80
9	23	2	468491400	60436	12086	0,25	15120	180	15300	160	0,790	0,990	1,00	0,80
		2	468491400	302154	60431	0,25	75539	900	76439	900	0,791	0,988	1,00	0,80
10	10	3	351702	397262	79458	0,25	99321	150	99471	165	0,799	0,998	1,00	0,80
11	6	3	351702	397339	79473	0,25	99321	150	99471	180	0,799	0,998	1,00	0,80
12	20	3	351702	397319	79452	0,25	99309	150	99459	130	0,799	0,999	1,00	0,80
			351702	1191920	238384	0,25	297980	450	298430	475	0,799	0,998	1,00	0,80
13	28	3	351701	404233	80897	0,25	101009	150	101159	130	0,799	0,999	1,00	0,80
14	21	3	351701	404167	80823	0,25	101099	150	101249	145	0,798	0,999	1,00	0,80
15	27	3	351701	404251	80809	0,25	101054	150	101204	180	0,799	0,998	1,00	0,80
		3	351701	1212650	242530	0,25	303163	450	303613	455	0,799	0,999	1,00	0,80
16	8	4	735300548	231893	46379	0,35	81163	420	81583	360	0,796	0,996	1,00	0,80
		4	735300548	231893	46379	0,35	81163	420	81583	360	0,796	0,996	1,00	0,80
17	11	5	735321989	33079	6674	0,2	6652	129	6781	140	0,779	0,979	1,00	0,80
18	12	5	735321989	33161	6614	0,2	6622	129	6751	100	0,786	0,985	1,00	0,80
19	13	5	735321989	33166	6623	0,2	6683	129	6812	125	0,779	0,982	0,99	0,80
20	14	5	735321989	33146	6625	0,2	6586	129	6715	115	0,790	0,983	1,00	0,80
21	15	5	735321989	33158	6619	0,2	6613	129	6742	180	0,787	0,973	1,01	0,80
22	16	5	735321989	33146	6627	0,2	6618	129	6747	110	0,786	0,984	1,00	0,80
23	17	5	735321989	33166	6621	0,2	6629	129	6758	100	0,786	0,985	1,00	0,80
		5	735321989	232024	46405	0,2	46405	900	47305	870	0,785	0,982	1,00	0,80
24	4	6	ERS-211	1718420	343684	0,25	429605	960	430565	980	0,798	0,998	1,00	0,80
		6	ERS-211	1718420	343684	0,25	429605	960	430565	980	0,798	0,998	1,00	0,80
25	1	6	ALP-080	1915923	383185	0,25	478981	960	479941	890	0,798	0,998	1,00	0,80
		6	ALP-080	1915923	383185	0,25	478981	960	479941	890	0,798	0,998	1,00	0,80

Zaznaczyć należy, iż w ten sposób uzyskać można pełne, ogólne zestawienie, które może posłużyć, jako doskonałe wyjście do dalszych, bardziej szczegółowych analiz. Na podstawie tabeli 4 porównać można współczynniki OEE,

współczynniki wykorzystania, dostępności oraz jakości dla wszystkich pozycji. Tabela 5 zawiera porównanie współczynników przy podziale na grupy produktów.

3. WNIOSKI

Z analizy efektywności systemu produkcyjnego wynika, że osiągany współczynnik OEE jest na poziomie od 0,768 do 0,799. Mimo, iż jest to wynik dość satysfakcjonujący ze względu na niski poziom przeprowadzanych działań eksploatacyjnych konieczne są działania mające na celu podniesienie wydajności. Z obliczeń wynika, że ponad 20% czasu poświęcane jest na działania nie efektywne i zbędne. Wynikać to może z faktycznego zagospodarowania dostępnego czasu. Pierwsze kroki, jakie mogą okazać się niezbyt trudne aczkolwiek opłacalne w realizacji to ponowna analiza czasów maszynowych oraz wprowadzenie, chociaż podstawowych założeń SMED (szybkich przebrojeń).

W pierwszym kroku należy zwrócić uwagę na osiągane przy produkcji czasy maszynowe. Według danych z dzienników firmy dla analizowanych produktów wynoszą one od 0,20 do 0,35 minuty, co daje od 12 do 21 sekund. Założone czasy wydają się być bardzo dobrym rezultatem, gdyby nie fakt, iż poziom produktów wadliwych utrzymuje się na poziomie około 20% całkowitej produkcji. Wnioskować, więc można, iż faktyczne zwiększenie czasów maszynowych pozwoliłoby na uzyskanie lepszych wyników w zakresie:

- wykorzystania czasu eksploatacji – zwiększenie współczynnika wykorzystania;
- zwiększenie jakości produktu;
- zmniejszenie ilości braków.

Uzyskanie wyższego współczynnika wykorzystania dostępnego czasu uzyskać można wbrew pozorom nie przez przyspieszenie, a spowolnienie produkcji, oczywiście w pewnych granicach. Powoduje to co prawda wydłużenie czasu potrzebnego na wyprodukowanie danej partii, ale przedkłada się na mniejsze marnotrawstwo w kwestii dostępnego czasu.

Produkcja elementów z tworzyw sztucznych metodą wtrysku uzależnia jakość produktu od czasu. Bardzo istotnym elementem jest tutaj czas chłodzenia wypraski w formie, który istotnie wpływa na takie parametry jak np. wytrzymałość produktu gotowego. Domniemywać więc można, iż szybka produkcja obniża znacząco jakość aktualnie produkowanych detali (niska wytrzymałość). W miarę wzrostu ilości detali uznawanych za wadliwe, zwiększa się konieczność wykonywania przemiału, co z kolei zwiększa liczbę produktów wykonanych z granulatu wtórnego, czyli materiału drugiej lub nawet trzeciej jakości. Sugerowane rozwiązanie, czyli nieznaczne wydłużenie czasów maszynowych okazać może się bardzo trafnym posunięciem zarówno ze względów jakościowych, jak i ekonomicznych zwiększając współczynnik efektywności produkcji z wartości rzędu 0,7 do wartości rzędu 0,9. W analizowanym przypadku nieznaczny wpływ na poprawę współczynników mogłoby mieć usprawnienie obsługi przebrojeń, poprzez wprowadzenie kart przebrojeń i dokładniejszego rozdziału na operacje zewnętrzne i wewnętrzne. Podsumowując stwierdzić można, iż nieznaczne i niewielkie zmiany mogą mieć pozytywny wpływ na jakość produkcji jak i produktu finalnego, oraz oszczędności związane z eliminacją marnotrawstwa.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Brochu D.L.: *OEE w praktyce zakładowej*, Inżynieria & Utrzymanie ruchu 2007.
- [2] Michłowicz E.: *Podstawy logistyki przemysłowej*, Kraków, Uczelniane wydawnictwa Naukowo-dydaktyczne AGH 2002.
- [3] Michłowicz E., Zwolińska B.: *Problem tworzenia centrów logistycznych w Polsce*, Poznań, Logistyka 5/2007.
- [4] Ott S. [Red]: *OEE dla operatorów. Całkowita efektywność wyposażenia*. Wrocław, ProdPress.com 2009.
- [5] Wierman T.: *Total productive maintenance*, New York, Industrial Press, Inc. 2004.
- [6] Womack J.P., Jonas D.T.: *Lean thinking – szczupłe myślenie*, Wrocław, ProdPress.com 2008.
- [7] www.lean.info.pl (odwiedzona 15.02.2011).