

METODY ANALITYCZNE W OCENIE EFEKTYWNOŚCI PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Marcin ROMANOWSKI, Krzysztof NADOLNY, Błażej BAŁASZ

Streszczenie: W artykule przedstawiono charakterystykę pojęcia efektywność w kontekście procesów produkcyjnych. Szczegółowo opisano kilka wybranych metod oceny efektywności takich procesów: metodę SMED, 5S oraz FMEA. Ponadto dokonano skrótovej charakterystyki kilkunastu innych metod, technik i mierników oceny efektywności procesów produkcyjnych analizując problem ich trafnego doboru w warunkach przemysłowych.

Słowa kluczowe: efektywność, efektywność procesu produkcyjnego, metody oceny efektywności.

1. Wprowadzenie

Zwiększenie efektywności produkcji stanowi jedno z najtrudniejszych zadań, z którym musi się zmierzyć kadra zarządzająca przedsiębiorstwem produkcyjnym. Zwiększenie efektywności produkcji można osiągnąć na drodze inwestycji (zakupu nowych maszyn lub procesów) ale często również korzyści mogą być osiągnięte poprzez niewielkie zmiany niewymagające nakładów finansowych [14]. Żeby jednak możliwe było wprowadzanie korzystnych zmian należy zrozumieć i prawidłowo mierzyć parametry efektywności realizowanych procesów a także trafnie wybrać jedną z wielu metod ich analizy. W niniejszym artykule przedstawiono dużą grupę metod, technik i mierników oceny efektywności procesów produkcyjnych koncentrując się na problemie ich trafnego doboru w konkretnych warunkach przemysłowych.

2. Efektywność procesu produkcyjnego

Efektywność jest pojęciem dość trudnym do jednoznacznego zdefiniowania. Szczególnie w literaturze pisanej w języku polskim można znaleźć synonimy, takie jak skuteczność, sprawność czy wydajność. Nie jest to poprawna interpretacja, bowiem wydajność i efektywność nie zawsze mierzą i oznaczają to samo. Sprawność powinna być używana do dla określenia ewentualnej wielkości produkcji, która jest faktycznie osiągnięta. Jest to często mylone ze skutecznością, która mierzy natomiast stopień realizacji celów przedsiębiorstwa. Produktywność oznacza wielkość produkcji uzyskaną z jednostki określonego zasobu [18].

Efektywność jest pojęciem bardziej ogólnym [9]. W aspekcie ekonomicznym, efektywność jest wynikiem działalności gospodarczej przedsiębiorstwa, będącym stosunkiem uzyskanego efektu, do poniesionego nakładu [16]:

$$E = \frac{e}{n} , \quad (1)$$

gdzie: E – efektywność, e – efekty, n – nakłady.

Efektywność jest zatem pomiarem, przedstawionym zazwyczaj w postaci procentowej, oczekiwanych wyników do rzeczywistej wielkości produkcji [1]. Przedstawiony wzór pomiaru efektywności (1) stał się podstawą do rozważań literaturowych nad produktywnością. W literaturze związanej z zarządzaniem produkcją można znaleźć wzór (1), jako podstawową postać pomiaru produktywności [12]. Zgodnie ze Słownikiem terminologii logistycznej, produktywność jest relacją między zmierzoną w określonym mierniku wielkością „wyjścia” danego procesu lub jednostki produkcyjnej, a zmierzoną w tym samym okresie, choć niekoniecznie w tym samym mierniku, wielkością „wejścia” [6]. Z tego względu „wyjściem” danego procesu są efekty, a „wejściem” nakłady. Pojęcie efektywności produkcji i produktywności można uznać za bliskoznaczne. Złożoność problematyki zarządzania produkcją jest poparta wieloma koncepcjami zarządzania, które są wdrażane w celu zwiększenia efektywności procesu produkcyjnego. Zgodnie ze wzorem (1) należy wyróżnić kilka sposobów zwiększania efektywności działania:

- poprzez obniżenie nakładów, przy jednoczesnym utrzymaniu dotychczasowego poziomu efektów,
- poprzez obniżenie nakładów, przy jednoczesnym podwyższeniu poziomu efektów,
- poprzez utrzymanie dotychczasowego poziomu nakładów, przy jednoczesnym podwyższeniu poziomu efektów,
- poprzez podwyższenie dotychczasowego poziomu nakładów, przy jednoczesnym drastycznym podwyższeniu poziomu efektów.

Należy jednak pamiętać, że proces produkcji jest ściśle powiązany z innymi procesami, które mają równie duży wpływ na efektywność. Wartość produktu dla klienta jest wynikiem realizacji wielu procesów i zużycia w nich zasobów m.in. zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji. Określenie przebiegu procesu najlepiej realizującego cele przyjętej strategii przedsiębiorstwa i eliminującego działania niedodające wartości dla klienta, jest problemem wielu przedsiębiorstw w osiąganiu ich wysokiej efektywności działania [17]. Efektywność procesu produkcji jest zatem uzależniona od łańcucha wartości, który poprzez swój wkład w tworzenie produktu powoduje, że każda kolejna czynność w procesie produkcji powinna dodawać wartości do efektu wcześniejszej czynności [13]. Efektywność produkcji można analizować jednak w różnych ujęciach. W tabeli 1 przedstawiono wybrane ujęcia efektywności w odniesieniu do procesu produkcyjnego.

3. Metody analizy procesów produkcyjnych w celu zwiększania ich efektywności

Żadna metoda ingerująca w proces produkcyjny nie zwiększy efektywności produkcji, o ile będzie wdrażana z pominięciem czynnika ludzkiego. Najczęściej w ludziach należy doszukiwać się przyczyny niskiej efektywności produkcji. Czasem wynika to z niewiedzy pracowników, a czasem z braku umiejętności i kompetencji. Zdarza się, że błędnie zaprojektowane stanowisko pracy czy też niewłaściwe ich rozmieszczenie na hali powoduje niepotrzebny ruch i stanowi poważną przeszkodę na drodze do osiągnięcia wysokiego stopnia efektywności produkcji. Punktem wyjścia do zaproponowania jakiegokolwiek zmiany powinna być zawsze uważna obserwacja oraz wizja lokalna wśród pracowników. Być może mała efektywność jest wynikiem delegowania zadań niewłaściwym osobom. W takim wypadku wystarczy już sama zamiana osób na stanowiskach pracy. Szczególnie łatwo zauważyć to w przypadku liniowej formy organizacji produkcji.

Tab. 1. Wybrane ujęcia efektywności produkcji

Efektywność	Charakterystyka
Operacyjna	Dotyczy wzrostu wydajności pracy, obniżki kosztów, zmniejszeniu strat oraz skracaniu długości cykli produkcyjnych. Polega na szukaniu sposobów zmniejszenia wykorzystania zasobów produkcyjnych.
Rynkowa	Określana przez wyróżnienie elementów, których analiza może służyć ocenie tej efektywności, będącej wyznacznikiem sukcesu rynkowego. Do tych elementów zalicza się: produkt, reputacja, koszty, indywidualizacja obsługi, doradztwo, udział w rynku itp.
Wg kryterium zysku	Określana jest z punktu widzenia maksymalizacji zysku przedsiębiorstwa
Techniczna	Występuje w sytuacji, gdy nie można zwiększyć poziomu jednego z wyników lub zredukować jednego z nakładów bez jednoczesnego zmniejszenia poziomu innego wyniku, lub zwiększenia poziomu innego nakładu
Dynamiczna	Wykorzystywana do pomiaru tempa w jakim firma rozwija nowe produkty oraz zdobywa rynki, tworzy lub pozyskuje nowe technologie oraz umiejętności

Źródło: [11]

3.1. Metoda szybkiego przebrajania SMED

Jeżeli produkcja danego asortymentu wymaga częstego przebrajania maszyn zasadne wydaje się opanowanie umiejętności szybkiego ich przebrajania metodą SMED (ang. *Single Minute Exchange of Die*), oznaczającego wymianę formy w ciągu jednocyfrowej liczby minut. Głównym celem tej metody, opracowanej przez japońskiego inżyniera Shigeo Shingo, jest przeprowadzenie każdego przebrojenia w jednostkowej liczbie minut (do 10 minut) poprzez taki podział i uproszczenie całego procesu, aby przebrojenia dokonywane były z użyciem jak najmniejszej liczby narzędzi. Metoda ta utworzona była pierwotnie jako pomoc w szybkim przebrajaniu pras tłoczących. Z powodzeniem znalazła zastosowanie w wielu różnych branżach przemysłu. Warto wspomnieć, że o ile często niemożliwe jest skrócenie czasu trwania przebrojeń poniżej 10 minut, to praktyka pokazuje, że każdorazowe zastosowanie podejścia SMED owocuje bardzo dużym skróceniem i uproszczeniem procesu przebrojenia. Metodyka SMED, zakłada realizację całego procesu doskonalenia przebrojenia w czterech krokach, co przedstawiono schematycznie na rysunku 1 [19].

SMED – bazuje na podstawowym podziale wszystkich operacji i zabiegów wykonywanych przy przebrojeniu na dwie grupy: przebrojenia wewnętrzne, oraz przebrojenia zewnętrzne. Do przebrojeń wewnętrznych zaliczyć należy wszystkie czynności, które muszą być wykonywane podczas wyłączenia przebrajanej maszyny lub urządzenia (np. wymiana wiertła w uchwycie wiertarskim, wymiana matrycy na prasie). Przebrojeniami zewnętrznymi są natomiast wszystkie te działania, które wykonać można przed zatrzymaniem maszyny lub też już po ponownym uruchomieniu procesu przebrojonego na produkcję nowego typu wyrobu.

Podział taki ma daleko idące konsekwencje, ponieważ właśnie przebrojenia wewnętrzne powodują straty efektywności pracy maszyny oraz przestoje, których następstwem jest wydłużanie serii produkcyjnych. To od przebrojeń wewnętrznych rozpoczyna się najczęściej analiza i proces skracania przebrojeń.



Rys. 1. Cztery kroki implementacji metody SMED
 Źródło: opracowanie własne na podstawie [19]

Jak wynika z szacunków czasu trwania poszczególnych etapów typowego (tradycyjnego) przezbrojenia, największy udział procentowy w czasie jego trwania stanowi regulacja oraz wykonywanie przebiegów testowych, jak również faza przygotowania do przezbrojenia. Pozwala to na sformułowanie wniosku, że to właśnie tam leży największy potencjał do redukcji czasów przezbrojeń [19].

3.2. Metoda 5S

Inną metodą wpływającą na efektywność produkcji jest metoda 5S. Skorzystanie z tej metody pozwoli nie tylko uporządkować stanowisko pracy, ale także osiągnąć tak potrzebną standaryzację. Metoda 5S ma na celu wprowadzenie oraz utrzymanie porządku i dyscypliny w miejscu (na stanowisku) pracy. Praktyki 5S są jednym z fundamentów tworzenia środowiska pracy sprzyjającego działaniom pro jakościowym, harmonijnej pracy i ciągłemu doskonaleniu stosunków ludzkich, co przekłada się na efektywność organizacji. Wyróżnia się pięć filarów na których opiera się praktyka 5S: *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* oraz *Shitsuke*;

- *Seiri* – Selekcja – polega na oddzieleniu wszelkich narzędzi, instrukcji, materiałów zbędnych na stanowisku pracy od tych niezbędnych oraz na usunięciu (przeniesieniu, wyrzuceniu) tych zbędnych;
- *Seiton* – Systematyka – polega na oznakowaniu części i narzędzi oraz wyznaczenie dla nich miejsca, w którym mają być dostępne. Każdej części, narzędziu, instrukcji określone zostaje miejsce, w którym ma się znajdować. Przedmioty wykorzystywane najczęściej powinny znajdować się w zasięgu ręki pracownika, powinny być łatwiej dostępne;

- *Seiso* – Sprzątanie – oznacza sprzątanie, układanie, usuwanie brudu, odpadów produkcyjnych, czyszczenie, także odnowienie miejsca pracy i jego otoczenia;
- *Seiketsu* – Schłudność (także Standaryzacja) – to ciągle utrzymanie porządku, czystości i schludności na stanowisku pracy i w jego otoczeniu. W praktyce jest to codzienne wykonywanie Seiri, Seito oraz Seiso;
- *Shitsuke* – Samodyscyplina – wyrobienie w sobie nawyku przestrzegania powyższych zasad. Stosowanie się do nich i dbanie o to, by stosowali się do nich współpracownicy.

Trzy pierwsze punkty określają, w jaki sposób trzeba wprowadzić porządek na stanowisku pracy. Określają system jakim powinno się posługiwać. Natomiast dwa ostatnie podpowiadają jak ten system utrzymać i doskonalić.

Wdrożenie praktyk 5S w organizacji nie wymaga dużych nakładów pracy. Jest to system prosty, a co za tym idzie dość łatwo akceptowany przez pracowników. Wprowadzony porządek w krótkim czasie przyczyni się do wymiernych korzyści. Praca na stanowiskach staje się mniej męcząca dla pracownika i bardziej efektywna [14].

3.3. Analiza FMEA

FMEA (ang. *Failure Mode and Effect Analysis*) to analiza przyczyn i skutków wad. Została opracowana i zastosowana w latach 60. ubiegłego wieku dla potrzeb amerykańskiej agencji kosmicznej NASA. Polega na znalezieniu potencjalnych przyczyn i skutków błędów popełnianych przy projektowaniu, oraz na wyeliminowaniu ich zanim powstanie gotowych produkt. Pozwala to na ciągle doskonalenie danego produktu lub systemu za pomocą systematycznej analizy i na jej podstawie wprowadzanie poprawek, które eliminują źródła wad i poprawiają właściwości wyrobu. Analiza FMEA stosowana jest przeważnie w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym czy jądrowym. Ułatwia ona rozpoznawanie czynników które wpływają na obniżenie jakości wyrobu, lub niespełnienie przez niego warunków konstrukcyjnych [14]. Metoda ta składa się z kilku etapów, które są przedstawione w tabeli 2.

Na etapie przygotowania tworzy się zespół, który składa się z przedstawicieli różnych działów przedsiębiorstwa oraz użytkowników wyrobu, jeśli jest to potrzebne. Powinien on składać się z wykwalifikowanych pracowników, jeśli jest potrzeba należy powołać eksperta z danej dziedziny. Zadaniem zespołu jest przygotowanie założeń do przeprowadzenia odpowiedniej analizy. Powinno dominować w pracach podejście systemowe, które daje możliwość uogólnienia analizy, co czyni ją bardziej przejrzystą. Jednym z pierwszych zadań zespołu FMEA powinno być określenie granic systemu, oraz wyodrębnienie w nim stopni, a także liczby podsystemów. W drugim etapie przeprowadzana jest część zasadnicza FMEA. Analizę można przeprowadzać dla: całego wyrobu, pojedynczego podzespołu, elementu konstrukcyjnego wyrobu, całego procesu technologicznego czy dowolnej jego operacji. Na tym etapie pierwszym zadaniem jest określenie wszystkich wad, jakie mogą wystąpić w analizowanym wyrobie. Przyczyn wad można szukać w wyrobie, jego procesie technologicznym lub w konstrukcji. W etapie trzecim powstają wyniki przeprowadzonych analiz, które służą jako podstawa do wprowadzenia zmian w konstrukcji wyrobu, jego użytkowaniu, czy w procesach jego wytwarzania. Jeżeli nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie przyczyn powstawania wad, należy podjąć decyzje, które wpłyną na zwiększenie możliwości wykrywania ich, lub zmniejszenia negatywnych skutków ich występowania. Zlecone działania „naprawcze” powinny być ciągle nadzorowane, a ich efekty poddawane weryfikacji według metody FMEA [7].

Tab. 2. Etapy przeprowadzenia FMEA

Etapy FMEA wyrobu/konstrukcji lub procesu		
Etap 1 Przygotowanie	Etap 2 Właściwa analiza	Etap 3 Wprowadzenie i nadzorowanie działań prewencyjnych
<p>Określenie granic analizowanego systemu Dekompozycja systemu (wyrobu/procesu) Wykonanie zestawień: wyrób, zespoły, części, procesy, operacje Opis relacji: funkcjonalnych (dla wyrobu), procesowych (dla procesu). Wybór (części/operacji) do przeprowadzania analizy</p>	<p>Opis wad: rodzaj, skutek, przyczyna Określenie w skali (1-10): ryzyka występowania wady, znaczenia wady, możliwości wykrycia wady. Wyselekcjonowanie krytycznych wad wyrobu/procesu</p>	<p>Wydanie zleceń: środki, odpowiedzialni, termin Nadzór nad realizacją zleceń Nadzór nad przestrzeganiem terminów Bilans: nakłady/korzyści Działanie w kierunku obniżenia kosztów spowodowanych wystąpieniem wad</p>

Źródło: [7]

Metoda FMEA sprawdza się w warunkach produkcji jednostkowej i seryjnej, czyli wszędzie tam, gdzie wady wyrobu mogą zaszkodzić producentowi w postaci poważnych strat finansowych. Metodę tą należy stosować z dość dużą ostrożnością, pomimo jej wielu zalet i możliwości [7].

Przedstawiona różnorodność problematyki oceny efektywności procesu produkcyjnego powoduje, że warto przedstawić zestawienie metod i technik jednak w odniesieniu nie tylko do operacji i strategii, ale również uwzględniając odmienne ujęcia efektywności. W tabeli 3 przedstawiono zestawienie wybranych metod, technik i mierników oceny efektywności procesu produkcyjnego.

3.4. Inne metody powodujące wzrost efektywności

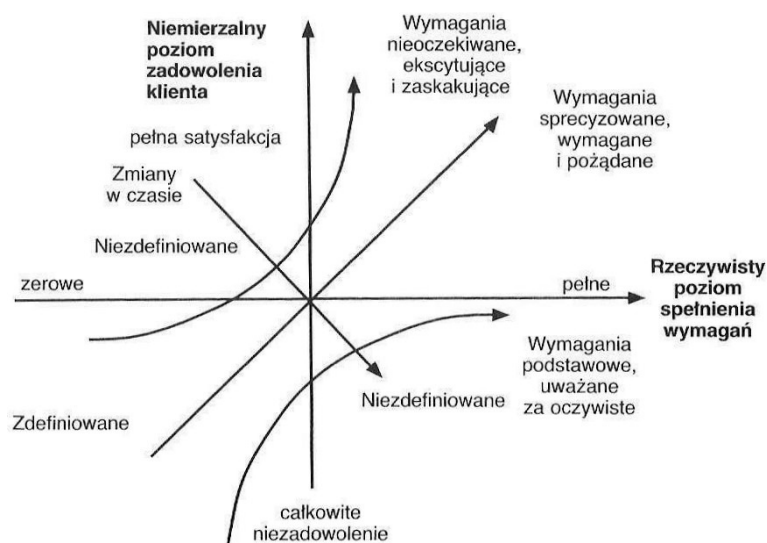
Jest wiele innych metod, które można wykorzystać przy próbie wzrostu efektywności produkcji: projektowanie doświadczeń, matryca przyczynowo-skutkowa, głos klienta, statystyczna kontrola procesu, wykres trendu, analiza Pareto/ABC, histogram, analiza strumienia wartości, zapobieganie powstawaniu błędów, identyfikacja siedmiu źródeł marnotrawstwa, sterowanie wizualne procesem, badanie zdolności procesu oraz analiza systemu pomiarowego, powtarzalność, odtwarzalność, FMEA.

Projektowanie doświadczeń (ang. *design of experiments*) po raz pierwszy zastosował Genichi Taguchi. Polega ono na skorzystaniu z narzędzi statycznych przy analizie procesu. Określa wpływ danych wejściowych na dane wyjściowe. Projektowanie jest możliwe jedynie po uprzednim przygotowaniu matrycy przyczynowo-skutkowej. Stwierdzono, że często model odbiega od rzeczywistości, czyli staje się bezużyteczny. Natomiast Edward W. Deming stwierdził, że „wszystkie modele są niepoprawne, ale niektóre z nich są użyteczne” [2].

Matryca przyczynowo-skutkowa (ang. *cause & effect matrix*) wyznacza priorytety dla zmiennych wejściowych procesów w zakresie pracy w zespole. Wspiera sterowanie

procesem, co ma na celu uzyskanie wysokich wyników (zmiennych wyjściowych), które nie mogą zaistnieć bez podejmowania określonych działań i decyzji w trakcie procesu (zmiennych wejściowych) [2].

Głos klienta (ang. *voice of the customer*) polega na słuchaniu klienta, jego wskazówek, oczekiwań na wstępnym etapie rozwoju produktu. Ustala się czy wprowadza się nowy produkt czy modyfikuje bieżący. Dynamikę potrzeb klienta prezentuje Model Kano przedstawiony na rysunku 2 [2].



Rys. 2. Model Kano
Źródło: [3]

Strzałka przechodząca przez środek układu współrzędnych wskazuje kiedy klient przedstawił swoje wymagania dostawcy, a ten je spełnił. Strzałka na dole ilustruje sytuację kiedy podstawowe wymagania nie zostały zdefiniowane, a są uważane za coś oczywistego. Często o tych wymaganiach potencjalni klienci nie mówią w sposób jasny, zaś w sytuacji gdy zostałyby one nie spełnione – byłoby niezadowolony. Strzałka u góry to sytuacja przedstawiająca wymagania wysokich rzędów, które aktualnie wzbudzają u klienta bardzo duże zadowolenie [2].

Statystyczna kontrola procesu (ang. *statistic process control*) służy do eliminacji przyczyny wpływającej na zmianę procesu w trakcie jego trwania. Odbywa się to poprzez kontrolę najważniejszych krytycznych zmiennych wyjściowych produktu. Stosuje się tu wykresy kontrolne, które wizualizują zapiski obserwacji danego procesu. Pozwala to sterować procesem oraz w odpowiednim czasie dokonać zmian zmiennych wyjściowych całego procesu [2].

Wykres trendu (ang. *trend chart*) to prognozowanie oraz badanie powiązań pomiędzy zmiennymi zależną i niezależną. Wykres pozwala potwierdzić lub wykluczyć powiązanie między tymi zmiennymi oraz ustalić powiązanie między przyczynami a skutkami [2].

Analiza Pareto/ABC (ang. *Pareto ABC diagram*) służy do identyfikacji przyczyn powodujących zakłócenia jakie występują podczas sterowania procesem. Niewielka ilość istotnych przyczyn powoduje wysoką liczbę zakłóceń, w momencie gdy pozostała ilość przyczyn ma nie ma wpływu na powstawanie jakichkolwiek zakłóceń. Metoda ta

usprawniania procesów jest bardzo często wykorzystywana w zarządzaniu zapasami i ogółem związanych z nimi kosztami utrzymania [2].

Histogram (ang. *histogram*) umożliwia streścić dane o procesie na przestrzeni czasu w charakterze rozkładu częstotliwości występowania pomiarów, w postaci wykresu paskowego. Usprawnia proces oraz pozwala prezentować dużą liczbę danych w prosty i czytelny sposób. Wykres umożliwia odczytanie wartości względem założonego celu. Często przy tej metodzie używa się linii trendu [2].

Analiza strumienia wartości (ang. *value stream analysis tool, VALSAT*) wykorzystuje metodykę, która jest rozwinięciem funkcji jakości. Charakteryzuje się ona dwoma obszarami zastosowania. Pierwszym z nich jest diagnozowanie, z czego powinno się korzystać w warunkach jakie panują. Drugim z nich jest zastosowanie VALSAT, czyli rozwinięcia funkcji jakości aby sterować analizą strumienia wartości. Rozwinięcie funkcji jakości z dużym powodzeniem stosowane jest w procesach zajmujących się produkcją i usługami [2].

Zapobieganie powstawaniu błędów (ang. *error proofing/poka-yoke*) jest metodą wykorzystywaną przy projektowaniu procesów. Stosuje się tu narzędzia projektowe, które zapobiegają powstawaniu błędów i defektów, które mogą przedostać się do poszczególnych etapów procesu. Metoda została zapoczątkowana przez Shiego Shingo reprezentującego firmę Toyota, aby zapewnić sterowanie jakością występujące w procesach produkcyjnych [2].

Marnotrawstwo (eliminacja siedmiu źródeł) pojmowane jest jako ogół czynności występujących w całym łańcuchu dostaw, które działają ujemnie przy wartości produktu lub usługi. Twórcą tych czynności jest również Shiego Shingo z firmy Toyota. Stworzył siedem źródeł marnotrawstwa (ang. *7 wastes identifications*) są to: nadprodukcja, straty produkcyjne, transport, zapasy robót w toku, niepotrzebne czynności, oczekiwanie oraz produkcja wyrobów niezgodnych ze specyfikacją. Uważa się, że marnotrawstwem jest zarówno zbyt długi czas dostawy, zalegające zapasy jak i błędne spełnienie wymagań klienta. Aby udoskonalić działania, czyli dojść do zerowego marnotrawstwa, cała koncentracja działań skupia się na systemie dostaw, a nie wyłącznie na działalności produkcyjnej [8].

Sterowanie wizualne procesem (ang. *visual process control*) ułatwia sterowanie przebiegiem całego procesu za pomocą sygnalizacji, która pozwala skrócić czas reakcji osoby kierującej danym przedsięwzięciem na jakiegokolwiek zakłócenia. Na początku wizualnego sterowania procesem należy wdrożyć metodę 5S. Tradycyjna karta kanban jest najczęściej stosowanym narzędziem w tej wizualizacji [4].

Badanie zdolności procesu polega na rozpoznaniu czy proces jest zdolny (sterowany), oraz czy nie występują w nim jakiegokolwiek zakłócenia. Jeżeli jest on zdolny deklaruje to wyprodukowaniem produktów lub usług zgodnych z wymaganiami potencjalnych nabywców. Należy pamiętać, że zdolność procesu nie oznacza tylko jego dobrą wydajność ale także dobrą jakość [2].

Analiza procesu pomiarowego, powtarzalność i odtwarzalność odbywa się przy założeniu, że wyniki badań nie są zgodne z założonymi hipotezami, że rzeczywistość nie jest zgodna z oczekiwaniami. Oznacza to wówczas, że badanie zostało niewłaściwie zaprojektowane. Aby temu zapobiec, należy korzystać z doświadczeń, które są związane z projektowaniem badań doświadczalnych (ang. *design of experiments – DOE*). Metoda ta nie posiada żadnych ograniczeń analizy zmienności i regresji, co pomaga określić pochodzenie różnych odczytów. Bywa również, że osoby zajmujące się wprowadzaniem danych popełniają błędy, poprzez złe odczytywanie. W takiej sytuacji należy użyć badania

powtarzalności i odtwarzalności pomiarów (ang. *repeatability & reproducibility study – R & R*), co służy ocenie instrumentu pomiarowego. Warto objaśnić te dwa sformułowania: powtarzalność i odtwarzalność. Powtarzalność występuje wtedy, gdy zmienność pomiarów takich samych próbek jest wykonana przez tego samego operatora. Odtwarzalność zaś różni się tym, że pomiary wykonywane są przez różne osoby [2].

4. Zestawienie metod, technik i mierników oceny efektywności procesu produkcyjnego

Tabela 3 jest próbą przedstawienia złożoności problemu, jakim jest ocena efektywności procesu produkcji. Należy jednak zwrócić uwagę, że to nie jedyne wykorzystywane obecnie metody i techniki oceny efektywności produkcji.

Tab. 3. Zestawienie wybranych metod, technik i mierników oceny efektywności procesu produkcyjnego

Efektywność	Metody, techniki i mierniki oceny efektywności procesu produkcji
Operacyjna	Wskaźniki Produktywności
	Wskaźniki Rentowności
	Analiza Wydajności i Stopnia Wykorzystania Stanowisk
	Rachunek Kosztów Działań
	Efektywność przestrzenna organizacji produkcji
	Ekonomiczna Ocena Struktury Produkcyjnej
Rynkowa	Strategiczna Karta Wyników
	Analiza udziału w rynku
	Analiza satysfakcji klienta
	Analiza Progu Rentowności
Dynamiczna	Procent twórczych inicjatyw, które w ciągu określonego okresu zaowocowały nowymi produktami lub ulepszeniami procesów produkcyjnych
	Liczba wynalazków powstających w firmie i tych, które znajdują wyraz w nowych produktach
	Procent zysków pochodzących z produktów zaprojektowanych nie dawniej niż przed pięciu laty
	Bieżący zapas „banku pomysłów” będących w trakcie realizacji lub w fazie przygotowań
	Wartość bieżących nakładów na zdobywanie nowej wiedzy oraz technologii informacyjnej, która umożliwi pracownikom współdziałanie w kreowaniu nowych produktów
	Benchmarking na podstawie wyznaczonych mierników
Techniczna	Dynamiczny Plan Kontroli (DCP)
	5 Why
	8D
	Statystyczne Sterowanie Procesem (SPC)
	Kontrola systemów pomiarowych (MSA)
Wg kryterium zysku	Analiza Make or Buy
	Analiza wąskich gardeł

Źródło: [11]

Analizy controllingowe dotyczące efektywności mogą być realizowane na poziomie operacyjnym i strategicznym. Metody pomiaru efektywności nie muszą odnosić się jedynie do procesu produkcyjnego, mogą być stosowane również w celu oceny całego podmiotu gospodarczego, a więc pomiaru efektywności na poziomie strategicznym.

Do najczęściej stosowanych metod oceny efektywności na poziomie strategicznym zalicza się [15]:

- *arkusz badania potencjału strategicznego* – polega na ocenie przedsiębiorstwa z różnych perspektyw, we wszystkich obszarach działalności. W każdym z tych obszarów należy wytypować bardziej szczegółowe czynniki, które warunkują funkcjonowanie przedsiębiorstwa,
- *analizę kluczowych czynników sukcesu* – polega na ocenie wybranych czynników odzwierciedlających zasoby oraz umiejętności przedsiębiorstwa, które stanowią jego kluczowe kompetencje,
- *analizę łańcucha wartości* – opierającą się na modelu, w którym wyznacza się określoną kolejność działań lub następujące po sobie fazy przekształcania surowców, materiałów, technologii na produkty finalne, które stanowią określoną wartość dla końcowego odbiorcy,
- *metody portfelowe* – umożliwiają dokonanie oceny efektywności pod kątem wytwarzanych produktów, ich zapotrzebowania na środki finansowe oraz generowanych dochodów, czy pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa na rynku,
- *cykl życia technologii i produktu* – pozwala określić wiek rynkowy każdego produktu wytwarzanego w przedsiębiorstwie lub każdej stosowanej technologii. Umożliwia racjonalne zaplanowanie portfela oferowanych wyrobów oraz kosztów związanych z wprowadzeniem nowych produktów na rynek.

Ze względu na złożoność procesów zachodzących w przedsiębiorstwie produkcyjnym ocena jego efektywności powinna zawierać [10]:

- wskaźniki efektywności ekonomicznej procesu produkcyjnego,
- analizę rezultatów działalności przedsiębiorstwa na poszczególnych szczeblach zarządzania,
- wskaźniki efektywności działalności gospodarczej,
- wskaźniki efektywności podnoszenia jakości produkcji,
- wskaźniki efektywności organizacji pracy,
- analizę oceny technicznego poziomu organizacji,
- wskaźniki postępu naukowo-technicznego,
- wskaźniki wykorzystania zasobów materialno-energetycznych,
- analizę oceny systemów stymulujących efektywność produkcji.

Metody pomiaru efektywności podmiotów gospodarczych można podzielić zasadniczo na parametryczne i nieparametryczne. Metody parametryczne stosuje się w przypadku modeli o ściśle określonej strukturze, którą powinno się zidentyfikować. Metody te wymagają również przyjęcia założeń odnośnie relacji między nakładami a wynikami. Najczęściej stosowanymi metodami parametrycznymi są [5]:

- stochastyczna metoda graniczna (ang. *Stochastic Frontier Approach – SFA*),
- metoda swobodnego rozkładu (ang. *Distribution-Free Approach – DFA*),
- metoda grubej granicy (ang. *Thick Frontier Approach – TFA*).

Nieparametryczne metody pomiaru efektywności wykorzystują przede wszystkim techniki liniowe. Z tego względu do pomiaru efektywności nie jest wymagana funkcyjna zależność między nakładami a wynikami. Najczęściej stosowanymi metodami

nieparametrycznymi są graniczna analiza danych (ang. *Data Envelopment Analysis – DEA*) i metoda swobodnego ustalania obwiedni (ang. *Free Disposal Hull – FDH*) [5].

5. Podsumowanie i wnioski

Tak duża liczba metod, technik i wyznaczników oceny efektywności, świadczy o znacznym rozdrobieniu, niekiedy również powielaniu mierników. Dokonując analizy mierników należy podkreślić, że brakuje kompleksowej metody oceny efektywności wdrożeń poszczególnych koncepcji zarządzania produkcją. W niniejszym artykule przedstawiono metody zwiększania efektywności procesów produkcyjnych. Przytoczone analizy pozwalają na sformułowanie poniższych wniosków o charakterze ogólnym.

1. Skutecznym narzędziem poprawiającym efektywność procesu produkcji w aspekcie organizacyjnym jest również standaryzacja pracy.
2. Zastosowanie technik komputerowych w inżynierii produkcji znacznie przyspiesza prace nad opracowywaniem nowych wyrobów i likwidowaniem wąskich gardeł. Przedsiębiorstwa wykorzystujące techniki komputerowe są konkurencyjne. Stosowanie tych rozwiązań ma ogromny wpływ poziom efektywności.
3. Każdy proces produkcyjny posiada różny poziom złożoności co komplikuje dobór metod pomiarów jego efektywności. Dlatego wykorzystuje się różnego rodzaju metody, takie jak: głos klienta, histogram, diagram Pareto, czy metoda FMEA, aby zmaksymalizować efektywność.
4. Należy pamiętać, że wzrost efektywności jednego działu nie musi skutkować wzrostem efektywności działalności przedsiębiorstwa. Jedynie wzrost efektywności kluczowych procesów spowoduje wzrost wskaźników efektywności działalności gospodarczej przedsiębiorstwa.
5. Nie można wdrażać na siłę wszystkich istniejących metod i technik zarządzania produkcją. Mogłoby to wpłynąć negatywnie na efektywność przedsiębiorstwa.

Zaprezentowany zbiór metod analitycznych stosowanych w ocenie efektywności procesów produkcyjnych nie jest zbiorem skończonym a w literaturze źródłowej znaleźć można wiele innych, rzadziej stosowanych narzędzi. Tm ważniejszy wydaje się racjonalny wybór metody w celu osiągnięcia pozytywnego wpływu na usprawniany proces w efekcie jej zastosowania.

Literatura

1. APICS Dictionary, 11th Edition, American Production and Inventory Control Society, Inc., Falls Church, VA, 2004.
2. Ciesielski M., Instrumenty zarządzania logistycznego, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2006.
3. Conti T., Kondo Y., Watson G.H., Quality management: Current issues and future trends. Wisconsin: ASQ Quality Press s. 237-244, 2003.
4. Czerska J., *Kontrola wizualna*, Materiały Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2001.
5. Ćwiąkała-Małys A., Nowak W., Wybrane metody pomiaru efektywności podmiotu gospodarczego, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 2009.
6. Fertsch M. (red.), Słownik terminologii logistycznej, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, 2006.
7. Hamrol A., Zarządzanie Jakością Teoria I Praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2011.

8. Howell G.A., What Is Lean Construction, University of California, Berkeley, 26-28 July 1999, s. 2.
9. Juzwiszyn J., Rybicki W., Smoluk A., O definicji efektywności. Rozważania nad celowością w naturze i rozwojem, [w:] Efektywność – rozważania nad istotą i pomiarem, Dudycz T. (red.), Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Wrocław, 2005, s. 191–204.
10. Kamienicer S., Więckowski J., Metody oceny efektywności organizacji gospodarczych, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 1979.
11. Koliński A., Przegląd metod i technik oceny efektywności procesu produkcyjnego, Wydawnictwo Szkoły Logistyki w Poznaniu, Poznań, 2011.
12. Pająk E., Zarządzanie produkcją: produkt, technologia, organizacja, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2006.
13. Rummler G., Brache A., Improving performance: how to manage the white space on the organization chart, Jossey Bass Business and Management Series, 1995.
14. Słowiński B., Inżynieria Zarządzania Procesami Logistycznymi, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2009.
15. Skowronek-Mielczarek A., Leszczyński Z., Controlling, analiza i monitoring w zarządzaniu przedsiębiorstwem, Difin, Warszawa, 2007.
16. Szafrąński M., Elementy ekonomiki jakości w przedsiębiorstwach, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2007.
17. Śliwczyński B., Controlling in supply chain – tool for process integration, „LogForum”, Vol. 4, Issue 2, No 4, s. 1–8, 2008.
18. Waters D., Zarządzanie operacyjne. Towary i Usługi, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2007.
19. <http://lean.org.pl/smed-czyli-skracanie-czasow-przebrojen-maszyn-i-urzedzen/> (dostęp: luty 2017)

Mgr inż. Marcin ROMANOWSKI
 Prof. ndzw. dr hab. inż. Krzysztof NADOLNY
 Prof. ndzw. dr hab. inż. Błażej BAŁASZ
 Wydział Mechaniczny
 Politechnika Koszalińska
 75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17
 tel./fax: (0-94) 3478412
 e-mail: marcinro@wp.pl
 krzysztof.nadolny@tu.koszalin.pl
 blazej.balasz@tu.koszalin.pl