

PODNOSZENIE SKUTECZNOŚCI PROCESU PRODUKCYJNEGO W WARUNKACH ROSNĄCEJ INDYWIDUALIZACJI PRODUKTÓW

Marek WIRKUS, Dariusz MACIĄGOWSKI

Streszczenie: W niniejszej pracy przedstawiono wpływ rosnącej różnorodności produktów na skuteczność procesu produkcyjnego. W prowadzonych analizach różnorodności produktów potraktowano, jako zakłócenie i zastosowano elementy klasycznej teorii sterowania do wypracowania rozwiązań minimalizujących negatywne konsekwencje różnorodności produktów na skuteczny przebieg procesu produkcyjnego. Omówiono podstawowe elementy teorii sterowania wykorzystane w budowie modelu symulacyjnego. W oparciu o ten model przeanalizowano wpływ rosnącej indywidualizacji produktów na przebieg procesu produkcyjnego. Pokazano przy pomocy kilku cykli symulacyjnych, w jaki sposób rosnąca różnorodność produktów oddziałuje na procesy produkcyjne o różnej złożoności technologicznej. Przedstawiono negatywne w skutkach, dodatnie sprzężenia zwrotne, które zmniejszają skuteczność procesu produkcyjnego.

Słowa kluczowe: Indywidualizacja produktów, Mass Customization, Teoria sterowania, skuteczność procesu produkcyjnego.

1. Wstęp

Współczesne realia rynkowe ukazują rosnącą potrzebę klientów na coraz to bardziej zróżnicowane produkty. W niektórych branżach, klienci mają możliwość współuczestnictwa w procesie konstruowania wyrobu, który później wytwarzany jest uwzględniając konkretne wymagania postawione przez klienta. Z drugiej strony duża konkurencja wymusza na producentach zagwarantowanie niskich cen tego rodzaju usług. Doprowadziło to do powstania nowej koncepcji zarządzania nazwanej „Mass Customisation”. Jednym z podstawowych wyznaczników tej koncepcji jest zagwarantowanie stosunkowo niskich cen za wysoko zindywidualizowane wyroby dostarczone w stosunkowo krótkim czasie. Ażeby móc to osiągnąć koniecznym staje się przystosowanie procesu produkcyjnego do większej różnorodności tak, aby nie nastąpił wzrost kosztów wytwarzania.

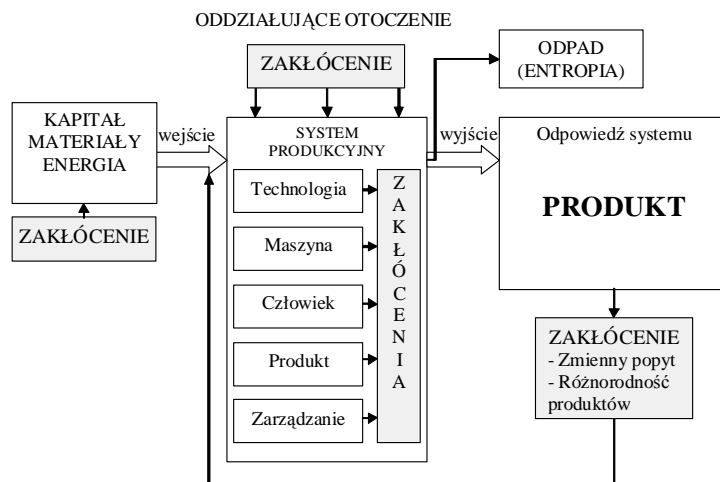
Klasyczny model produkcji masowej bazujący na wytwarzaniu mało zróżnicowanych wyrobów w oparciu o wysoką powtarzalność operacji technologicznych jest skutecznym rozwiązaniem gwarantującym niskie koszty wytwarzania. Duża jednorodność produktów gwarantuje powtarzalną liczbę operacji technologicznych o stałych czasach jednostkowych w całym przebiegu produkcji. Daje to możliwość zaprojektowania procesu produkcyjnego tak, aby móc równomiernie wykorzystać wszystkie zasoby produkcyjne (środki pracy i pracę ludzką), co z kolei jest jednym z wyznaczników niskiego kosztu wytwarzania. Wraz ze wzrostem różnorodności produkcji rośnie również zróżnicowanie operacji technologicznych. Dane stanowisko obróbcze wykonuje wiele operacji technologicznych różniących się między sobą czasem trwania. Zmienność czasów jednostkowych, może spowodować tworzenie się wąskich gardeł, zatorów produkcji w toku, nierównomiernego wykorzystania

maszyn i urządzeń, a co za tym idzie wiąże się ze spadkiem skuteczności procesu produkcyjnego.

Konsekwencje wynikające z różnorodności produktów mogą być również traktowane, jako zakłócenie. Zmienność można traktować jako pewne zakłócenie w klasycznym modelu procesu produkcji masowej, tzn. na zakłócenia wewnętrzne normalnie występujące w procesie produkcyjnym nakładają się zakłócenia zewnętrzne gdzie zmienność w popycie ze strony klienta można traktować jako. Przykłady zakłóceń zostały sklasyfikowane w tabeli 1. Potencjalnych źródeł zakłóceń może być dużo więcej. Z obserwacji praktyki gospodarczej wynika, że typowe zakłócenia wewnętrzne wynikające z awarii maszyn, braków materiałowych współcześnie nie stanowią większego problemu, podobnie jak dostawy materiału od kooperantów. Za zakłócenie można uznać zmienność ilościową i asortymentową, na wyroby ze strony klienta.

Eliminowanie zakłóceń z przebiegu procesu produkcyjnego wynikających ze zmienności rozwiązują się współcześnie głównie na drodze rozwiązań technicznych. Rozwiązania te, których przykłady pokazano w dalszej części wymagają znacznych nakładów inwestycyjnych. Innym sposobem jest poszukiwanie rozwiązań o charakterze organizacyjnym. Zmienność jest to „zakłócenie” o innym charakterze niż np. awaria maszyny, ale wpływ na przebieg procesu ma podobny, więc wykorzystano osiągnięcia z teorii systemów do badania przebiegu procesu produkcyjnego uwzględniającego wspomniane uwarunkowania.

Postawione zatem pytania w tej pracy brzmią: Jak wykorzystując osiągnięcia teorii systemów podnosić skuteczność procesu produkcyjnego o dużej zmienności wynikającej ze zmiany popytu? W praktyce ta zamiana przenosi się na zwiększające się odchylenie standardowe czasów jednostkowych operacji. Jeżeli skuteczność w takich warunkach maleje, jak temu przeciwdziałać?



Rys. 1. Zakłócenia w systemie produkcyjnym
Źródło: Opracowanie własne

Najbardziej ogólną klasyfikacją zakłóceń jest podział zakłócenia na wewnętrzne i zewnętrzne. Zakłóceniami wewnętrznymi będą wszystkie zakłócenia, których przyczyna powstania leży wewnątrz systemu, a zewnętrznymi te, których źródła pochodzą z otoczenia. Dana branża może się wyróżniać pewnymi zakłóceniami, które nie występują wcale bądź mają charakter marginalny poza nią.

Tab. 1. Przykłady źródeł zakłóceń procesu produkcyjnego

Rodzaj zakłóceń	Przykłady źródeł zakłóceń
Zakłócenia zewnętrzne z wejścia systemu	<ul style="list-style-type: none"> – Ilościowa i asortymentowa zmienność popytu na wytwarzane wyroby. – Niestabilność dostaw materiałów, energii itd.
Zakłócenia zewnętrzne z otoczenia systemu	<ul style="list-style-type: none"> – Cykle koniunkturalne – Rynek pracy
Zakłócenia wewnętrzne	<ul style="list-style-type: none"> – Awaryjność maszyn i urządzeń – Wady konstrukcyjne wyrobów – Niedostosowana zdolność technologii do wymogów jakościowych produkcji – Mała powtarzalność operacji – Błędy ludzkie

1.1. Definicja zastosowanych pojęć

- Potokowy proces produkcyjny – całokształt czynności, w wyniku których z materiału lub materiałów powstaje gotowy produkt o określonej wartości użytkowej. Produkcja potokowa wykazuje ścisłe powiązanie stanowisk roboczych i sztywny przydział operacji do konkretnych stanowisk roboczych.
- Skuteczność procesu produkcyjnego – jest to stopień osiągnięcia przez system założonego celu. Skuteczność mierzona jest stosunkiem wyniku osiągniętego do wyniku założonego.
- Operacja technologiczna – operacja produkcyjna wykonywana na jednym stanowisku roboczym przez pracownika bądź maszynę na jednym przedmiocie.
- Czas jednostkowy operacji – czas, który został określony zgodnie z przewidzianą normą na wykonanie operacji dla jednej jednostki wyrobu (jednego typu).
- Zakłócenie – z cybernetycznego punktu widzenia zakłócenie to niepożądany czynnik zaburzający pracę układu. W analizowanym procesie produkcyjnym za jedno z głównych zakłóceń przyjęto zmienność popytu ilościowego i asortymentowego produktów wytwarzanych w analizowanym procesie.

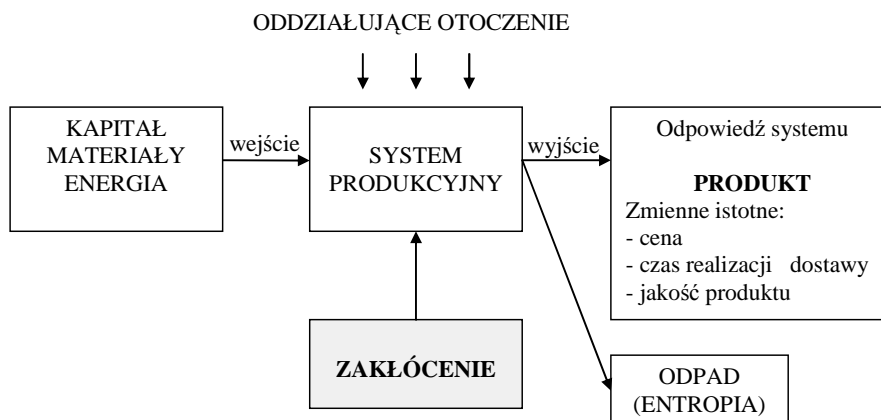
2. Zastosowanie klasycznej teorii sterowania do zwiększania skuteczności procesu produkcyjnego.

Teorię sterowania wykorzystać można w zarządzaniu procesem produkcyjnym. Cel takiego podejścia jest dwojaki. Po pierwsze na poziomie operacyjnym uzyskać można lepszą sterowalność systemu, polepszając podstawowe parametry procesu takie jak koszty czy czas reakcji. Po drugie na poziomie strategicznym zwiększyć można elastyczność procesu a co za tym idzie adaptowalność do zmieniającego się otoczenia systemu.

2.1. Proces produkcyjny jako układ sterowalny

Proces produkcyjny może być traktowany jako system otwarty, to znaczy „mający co najmniej jedno połączenie (tzw. wejście), przez które otoczenie oddziałuje na system i co najmniej jedno połączenie (tzw. wyjście), za pomocą którego system oddziałuje na otocze-

nie.” Podobnie jak każdy inny system, proces produkcyjny musi posiadać swój cel. Na poziomie ogólnym, celem każdej organizacji dochodowej jest generowanie zysku, czego warunkiem koniecznym jest dostarczenie na rynek konkurencyjnego produktu.



Rys. 2. Proces produkcyjny jako system otwarty

W systemie biologicznym (organizmie żywym), nadrzędnym celem jest przetrwanie, które może być zagwarantowane tylko poprzez utrzymanie tak zwanych zmiennych istotnych w pewnym zbiorze stanów dozwolonych (dla organizmów stałocieplnych jedną ze zmiennych istotnych jest temperatura ciała, a zbiorem stanów dozwolonych, pewien zakres temperatury, po przekroczeniu której organizm umiera).

Analogicznie, aby zapewnić przeżycie organizacji, należy utrzymać zmienne istotne w pewnym zbiorze stanów dozwolonych. Dla procesu produkcyjnego najbardziej istotnymi zmiennymi będą parametry charakteryzujące wytwarzany produkt takie jak koszt wytwarzania, szeroko pojęta jakość, oraz czas realizacji dostawy. Zbiór stanów dozwolonych może być różny dla różnych gałęzi przemysłu. W przypadku niektórych produktów najważniejszym parametrem może być cena, podczas gdy jakość i czas realizacji dostawy ma charakter drugorzędny. W innym sektorze rynkowym klienci mogą przejawiać zainteresowanie wysoką terminowością i jakością produktu. Zwiększająca się konkurencja, postęp w technologii wytwarzania i zarządzania produkcją sprawiły, iż zbiór stanów dozwolonych kurczy się, to znaczy klient oczekuje produkty o coraz niższej cenie, w krótszym czasie i lepszej jakości.

Kolejną analogią zaczerpniętą z teorii systemów jest pojęcie zakłócenia. Każdy system otwarty może zostać poddany zakłóceniu, które wprowadza zagrożenie wyjścia zmiennych istotnych poza zbiór stanów dozwolonych. Dla przykładu, na organizm ciepłolubny może działać zakłócenie w postaci zawyżonej temperatury otoczenia. Wprowadza to zagrożenie przegrzania organizmu (temperatura ciała może wyjść poza dozwolony zakres temperatur). Ażeby temu przeciwdziałać, system musi posiadać mechanizm zapewniający reakcję na pojawiające się zakłócenia. Do tego celu, organizmy żywe wykształciły mechanizmy regulujące, które potrafią reagować na zakłócenia i wysterować odpowiednio zmienne istotne (w przypadku zawyżonej temperatury otoczenia, organizm pobudza gruczoły potowe i te wydzielają pot, który schładza organizm zapewniając tym samym utrzymanie temperatury ciała w zbiorze stanów dozwolonych).

2.2. Sposoby sterowania redukujące zakłócenia w systemie produkcyjnym

Proces produkcyjny powinien posiadać mechanizmy sterowania takie, aby minimalizować konsekwencje zakłócenia i utrzymywać nieustannie zmienne istotne w zbiorze stanów dozwolonych. Najbardziej skuteczną strategią działania jest zmniejszanie różnorodności, czyli wyeliminowanie potencjalnego źródła zakłócenia. Dlatego pożądany regulator to taki, który posiada zdolność wczesnej detekcji zakłócenia i zadziała jeszcze przed wystąpieniem tegoż zakłócenia (rysunek 3). Przykładem takich mechanizmów są predykcyjne układy wspomagające, które na bieżąco śledzą krytyczne parametry maszyny i podają natychmiastową informację w momencie przekroczenia wartości nominalnych (np. przegrzewanie się łożyska). System ten pozwala na wyeliminowanie zakłócenia, zanim te faktycznie zadziała.

Niezależnie od zastosowanych mechanizmów eliminacji i redukcji zakłóceń, pewna część zakłóceń zacznie oddziaływać na system poprzez negatywny wpływ na zmienne istotne. W takim przypadku jedynym wyjściem jest stworzenie wydajnego regulatora, który sterować będzie systemem produkcyjnym. Sprawny regulator zareaguje na powstałe zakłócenie i nie pozwoli na wyjście zmiennych istotnych poza zbiór stanów dozwolonych. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie regulatora, który zareaguje bezpośrednio na powstałe zakłócenie. Przykładem może być elastyczne dostosowywanie możliwości produkcyjnych do zmieniającego się popytu. Kolejnym sposobem regulacji jest tzw. regulacja uchybami. Polega ona na odpowiednim reagowaniu regulatora po zmianie stanu wyjścia systemu. Przykładem takiej reakcji jest wymiana awaryjnego urządzenia na skutek wzrostu kosztów jego utrzymania. Zarówno w pierwszym jak i drugim przypadku celem regulatora jest utrzymanie zmiennych istotnych takich jak koszty czy jakość produktu w zbiorze stanów dozwolonych. Ogólnie sterowanie procesem produkcyjnym przedstawić można jako funkcję:

$$f(R) = \min(\sum Z_i)$$

gdzie:

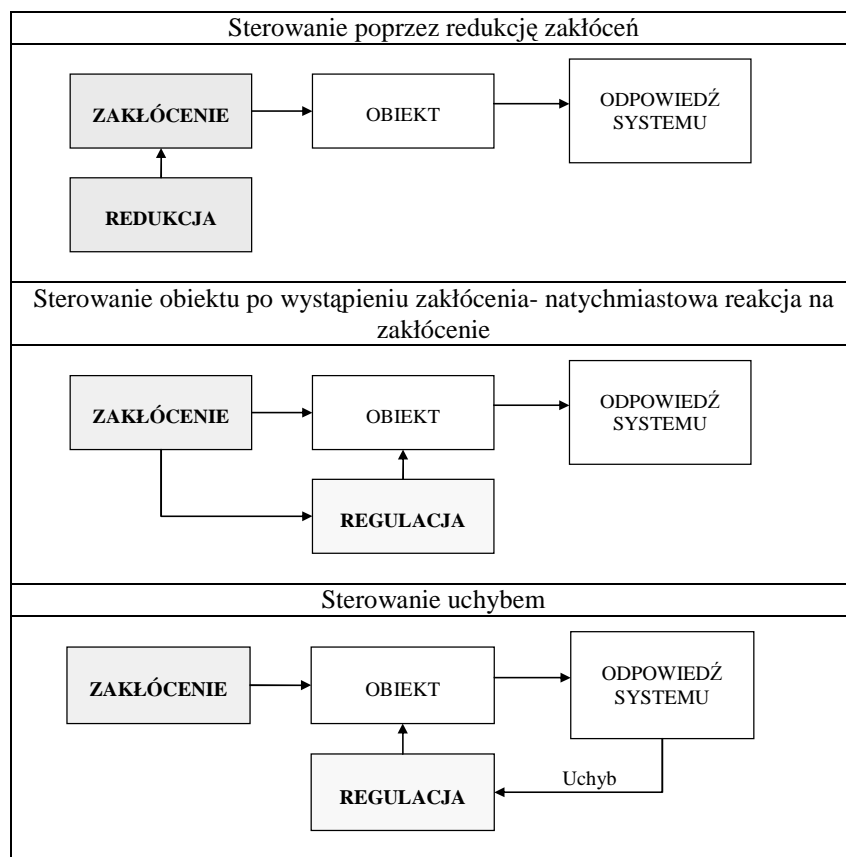
$f(R)$ – funkcja realizująca redukcję zakłóceń
 $\sum Z_i$ - suma wszystkich zakłóceń

Funkcja sterująca musi spełniać następujące warunki brzegowe:

$$f(R) = f(C < C_{MAX}; Q > Q_{MIN}; T < T_{MAX})$$

gdzie:

$f(R)$ – funkcja realizująca regulację
 C – aktualny poziom kosztów
 C_{MAX} - wartość maksymalna poziomu kosztów w zbiorze wartości dozwolonych
 Q – aktualny poziom jakości
 Q_{MIN} – wartość minimalna poziomu jakości w zbiorze wartości dozwolonych
 T - aktualny poziom czasu potrzebnego na odpowiedź układu
 T_{MAX} - wartość maksymalna czasu potrzebnego na odpowiedź układu w zbiorze wartości dozwolonych



Rys. 3. Różne sposoby podejścia do reakcji na zakłócenie

3. Model systemu produkcyjnego

Do celów badawczych stworzony został model procesu produkcyjnego składający się z dwóch stanowisk roboczych umieszczonych względem siebie szeregowo. Dane stanowisko może wykonywać szereg operacji różniących się między sobą czasami jednostkowymi. Pomiędzy stanowiskami znajdują się bufor międzyoperacyjny, w którym może się kumulować zapas do zadanej ilości maksymalnej. Na wejściu procesu produkcyjnego znajduje się bufor wejściowy bez limitu (nie zostanie wyczerpany w trakcie symulacji). Symulacja zostaje zakończona w momencie, gdy na wyjściu systemu (kolejce wyjściowej) zostanie zgromadzona zadana ilość produktów. Czasy jednostkowe operacji technologicznych losowane są przy użyciu generatora pseudolosowego zgodnie z logarytmicznie normalnym rozkładem prawdopodobieństwa, o zadanych wartości oczekiwanej i odchyleniu standardowym. Algorytm postępowania oparty jest na metodzie planowania zdarzeń dyskretnych systemów obsługi masowej.

3.1. Algorytm systemu obsługi procesu potokowego

1. Jeżeli warunek symulacji (zadana wielkość produkcji) jest spełniony zakończ symulację.
2. Wykonaj procedurę obsługi pierwszego zdarzenia w zbiorze.
3. Zwolnij operację technologiczną (powiększ kolejkę wyjściową o jeden)
4. Jeżeli kolejka wejściowa nie jest pusta a kolejka wyjściowa nie przekracza wartości maksymalnej zaplanuj nowe zdarzenie.
5. Zaktualizuj czas systemowy o wylosowany czas.
6. Przejdź do punktu 1.



Rys. 4. Model symulacyjny potokowego procesu produkcyjnego z dwoma stanowiskami pracy

Źródło: Opracowanie własne

Badanie wpływu zakłóceń na proces produkcyjny polegać będzie na określeniu skuteczności procesu w zależności od stopnia zmienności czasów wykonania operacji. Skuteczność mierzona jest jako stosunek czasu wytworzenia wyrobów w sytuacji bez występowania zmienności (czas jednostkowy równy wartości oczekiwanej) do faktycznego czasu trwania symulacji.

$$E = \frac{\mu \cdot I_s}{T_s} \cdot 100\%$$

gdzie: E – skuteczność systemu produkcyjnego
 μ – wartość oczekiwana czasu jednostkowego
 I_s – wielkość produkcji w czasie symulacji
 T_s – Czas trwania symulacji

Wzrost zmienności czasu trwania operacji osiągnięty został poprzez zwiększanie odchylenia standardowego. Zmienność mierzona jest ogólnie przyjętym w statystyce współczynnikiem zmienności opisanym wzorem:

$$C = \frac{\sigma}{\mu}$$

gdzie: σ - odchylenie standardowe
 μ - wartość oczekiwana

Do stworzenia programu posłużono się programem Microsoft Visual Basic (VBA) oraz programem Microsoft Excel.

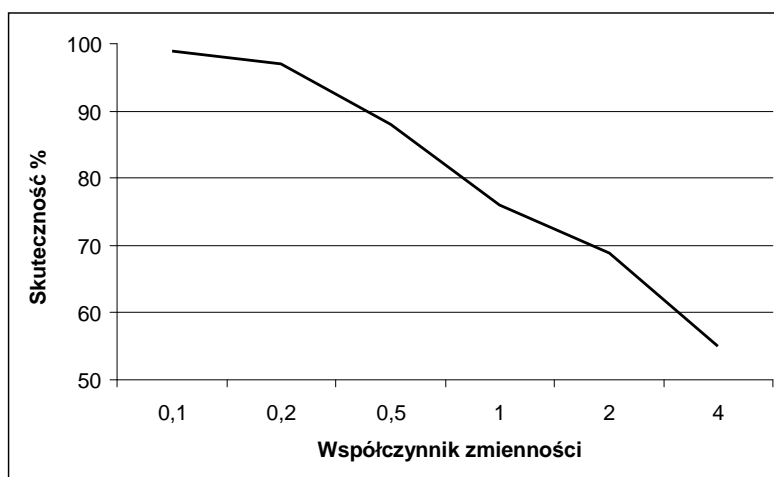
4. Przebieg i wyniki eksperymentów w oparciu o symulacje komputerową

W pierwszym eksperymencie symulacji przyjęto, iż maksymalna wartość zapasu międzyoperacyjnego to 2 półwyroby, a wartość oczekiwana czasu jednostkowego obu operacji wynosi 100 jednostek. Jeden przebieg symulacji odpowiada $N=1000$ produktów. W pierwszym cyklu symulacji założono, że zmienność czasów jednostkowych jest mała (wskaźnik zmienności = 0,1). Symulacja pokazała, że taka niewielka zmienność nie ma istotnego wpływu na skuteczność procesu produkcyjnego. Zatem w kolejnych cyklach symulacyjnych zaczęto stopniowo zwiększać współczynnik zmienności. Dane uzyskane z symulacji znajdują się w tabeli 2. Zgodnie z oczekiwaniami wraz ze wzrostem zmienności skuteczność procesu produkcyjnego zaczęła gwałtownie maleć.

Tab. 2. Dane z kolejnych cykli symulacji

C	Ts dla N=1000	E (%)
0,1	101232,406	99
0,2	103316,487	97
0,5	113050,423	88
1	131551,474	76
2	145274,021	69
4	181926,199	55

Źródło: opracowanie własne



Wykres 1. Wpływ wzrostu zmienności czasów jednostkowych operacji na skuteczność procesu produkcyjnego

Źródło: opracowanie własne

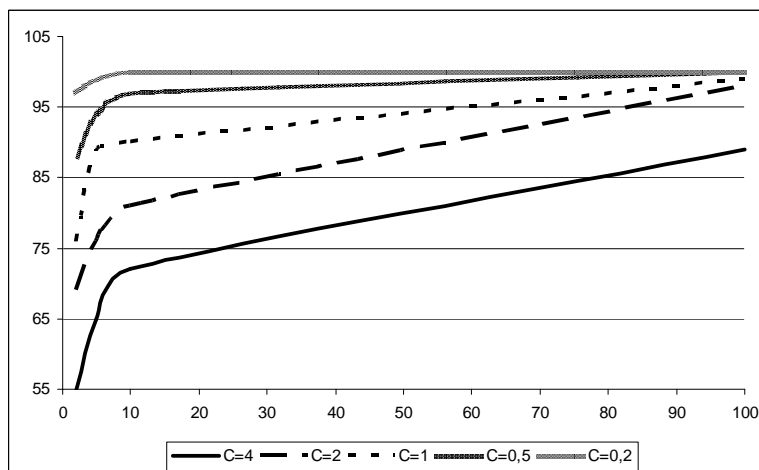
Przyczyną takiego znaczącego spadku skuteczności są straty wywołane nierównomiernym wykorzystaniem maksymalnych możliwości przerobowych stanowisk. Kiedy na

pierwszym stanowisku pojawiają się operacje o krótszych czasach jednostkowych, a bufor międzyoperacyjny jest pełen, stanowisko jest niewykorzystane. Z drugiej strony, kiedy wylosowany czas operacji (albo kilka na raz) jest dłuższy niż wartość oczekiwana, bufor zostaje wyzerowany i druga operacja nie może kontynuować produkcji, co przejawia się spadkiem skuteczności. Ta negatywna konsekwencja wzrasta wraz ze wzrostem współczynnika zmienności. W takim przypadku, intuicyjnym wydaje się, że spadek skuteczności może zostać zminimalizowany poprzez zwiększenia wielkości zapasu międzyoperacyjnego. Aby tego dowiedzieć w kolejnych symulacjach zwiększono parametr maksymalnej wartości zapasu międzyoperacyjnego o kolejno 5, 10, 100. Symulacje przeprowadzono dla wszystkich przyjętych wcześniej wielkości współczynnika zmienności. Wyniki symulacji pokazano w tabeli 3.

Tab. 3. Wpływ poziomu zapasów międzyoperacyjnych na skuteczność systemu przy różnych współczynnikach zmienności

Max. zapas międzyop.	Współczynnik zmienności				
	4	2	1	0,5	0,2
2	55	69	76	88	97
5	65	76	89	94	99
10	72	81	90	97	100
100	89	98	99	100	100

Źródło: opracowanie własne



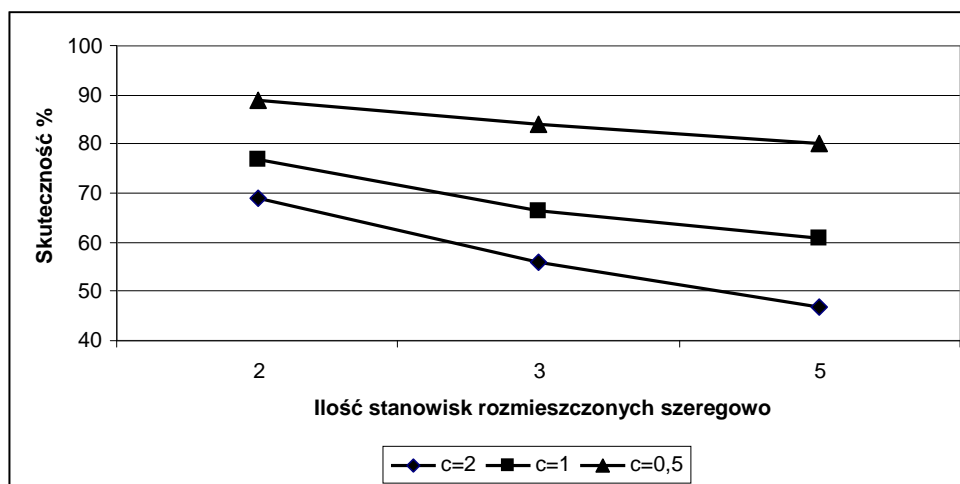
Wykres 2. Wpływ poziomu zapasów międzyoperacyjnych na skuteczność systemu przy różnych współczynnikach zmienności

Źródło: opracowanie własne

Widać, że wzrost zapasu międzyoperacyjnego przyniósł bardzo pozytywne skutki. Dla małych zmienności już niewielki wzrost zapasu przynosi korzyści. W miarę wzrostu zmienności czasów trwania operacji utrzymanie wysokiej skuteczności okupione zostało

wyższą wartością maksymalnego zapasu międzyoperacyjnego. Z wykresu widać jasno, że dla największego wskaźnika zmienności równego 4, maksymalny zapas w ilości 100 pół-wyrobów nie jest wystarczający do utrzymania skuteczności na poziomie bliskim 100%.

Wpływ wzrostu zmienności czasów jednostkowych na skuteczność procesu produkcyjnego nasila się wraz ze wzrostem ilości stanowisk. Dla pokazania tego efektu w modelu symulacyjnym dodano szeregowo dodatkowe stanowiska i przeprowadzono symulacje dla odpowiednio 2, 3 i 5 stanowisk. Jak widać na wykresie 3 wzrost ilości stanowisk wpływa negatywnie na skuteczność procesu produkcyjnego. Niekorzystny efekt rośnie tym bardziej im większy jest wskaźnik zmienności.



Wykres 3. Wpływ ilości stanowisk na skuteczność procesu produkcyjnego w zależności od poziomu wskaźnika zmienności
Źródło: opracowanie własne

Symulacja pokazała jednoznacznie, że skuteczność procesu produkcyjnego maleje wraz ze wzrostem odchylenia standardowego czasów jednostkowych, co oznacza dużą wrażliwość procesów produkcyjnych na zakłócenia.

5. Metody organizacji produkcji zwiększające skuteczność procesu produkcyjnego w realiach wysokiej zmienności asortymentu

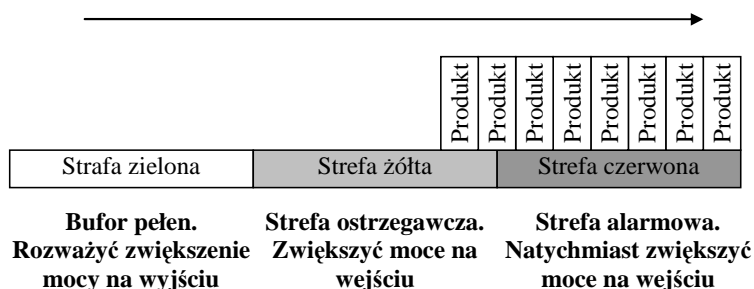
Poniżej wylistowano kilka przykładów spotykanych w przemyśle, w jaki sposób można podnosić skuteczność systemu produkcyjnego poprzez wdrożenie prostych metod organizacji produkcji:

- Zarządzanie wielkością zapasów produkcyjnych w toku (buforów międzyoperacyjnych) tak, aby zapewnić ciągłość produkcji. Dobrym przykładem jest zastosowanie wizualizacji tak, aby uwidocznić aktualny stan bufora (rysunek 5). W sytuacji, gdy poziom zapasu sięga strefy zielonej sytuacja jest stabilna. Ewentualnie, jeżeli to możliwe rozważyć można przeniesienie części mocy przerobowej z operacji zasilającej bufor w kierunku operacji następnej (jest to relatywnie łatwe w przypadku manualnych operacji technologicznych). Jeżeli poziom zapasów wej-

dzie w strefę żółtą należy zwiększyć moce przerobowe operacji zasilającej bufor. Wejście poziomu zapasu w strefę czerwoną oznacza konieczność natychmiastowej reakcji, gdyż w krótkiej przyszłości nastąpić może zmniejszenie skuteczności procesu produkcyjnego.

- Standaryzacja operacji technologicznych na poziomie konstrukcji wyrobów. Projektant wyrobu powinien być zapoznany z technicznymi możliwościami procesu produkcyjnego i tak konstruować wyrób, aby zminimalizować konieczność stosowania dodatkowych, nietypowych operacji. Jeżeli na przykład do łączenia dwóch podzespołów zostaje wykorzystana technika nitowania, każdy nowy wyrób, w miarę możliwości powinien wykorzystywać tę samą operację.
- Użycie elastycznych gniazd produkcyjnych, w których operacje technologiczne nie są sztywno przypisane do konkretnych pracowników. W przypadku, gdy wystąpi operacja o czasie dłuższym od średniego inny pracownik wspiera sąsiednią operację, przez co następuje równoważenie czasów jednostkowych operacji.

Kierunek składowania materiału FIFO (ang. First In First Out)



Rys. 5. Wizualizacja stanu bufora międzyoperacyjnego

- Standaryzacja i minimalizacja detali potrzebnych do wytworzenia produktów. W tym wypadku konstruktor wyrobu powinien mieć wiedzę na temat używanych obecnie detali. Wykorzystanie będącego w użyciu detalu nie tylko redukuje koszty logistyczne (obsługa transakcji zakupu, transport, magazynowanie itd.), ale często przyczynia się bezpośrednio do redukcji nowych operacji.
- Zaprojektowanie wyrobów z wykorzystaniem uniwersalnych modułów, które w łatwy sposób mogą zmieniać swą funkcjonalność. Dobrym przykładem jest produkcja podzespołów elektronicznych z wykorzystaniem mikroprocesorów. Moduł taki może być wykorzystywany w dużej ilości produktów, a zmiana funkcjonalności sprowadza się do wprowadzenia odpowiedniego programu do pamięci EPROM.

6. Techniczne rozwiązania eliminujące negatywne skutki wysokiej zmienności popytu

Nowoczesne procesy produkcyjne charakteryzują się wysokim stopniem tzw. elastycznej automatyzacji, która zapewnia powtarzalny proces niezależnie od skali zróżnicowania produkcji. Dobrym przykładem są obrabiarki sterowane numerycznie (*ang. CNC – Computerized Numerical Control*), dla których operacje technologiczne tworzy się przy użyciu sterującego maszyną komputera przy minimalnej ingerencji mechanicznej. Innym przykładem jest zastosowanie zintegrowanego systemu zarządzania informacją, który automatycznie, za pomocą sieci komputerowej przesyła do maszyn informacje o parametrach wyrobu

(np. typ operacji, wielkość produktu, kolor itd.). Eliminuje to konieczność zbędnych regulacji, a tym samym niweluje wpływ zakłócenia.

7. Podsumowanie

Rosnąca różnorodność oraz inne zakłócenia działające na proces produkcyjny zwiększają odchylenie standardowe czasów jednostkowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że wzrost ten prowadzi do obniżenia skuteczności procesu produkcyjnego. Dlatego też, należy wytworzyć mechanizmy przeciwdziałające negatywnym skutkom tychże zakłóceń. Ciekawe spojrzenie na ten problem dostarcza teoria sterowania, która poprzez wykorzystanie szeregu interesujących metod pozwala na lepsze zrozumienie badanych systemów oraz wspomaga zarządzanie procesów produkcyjnych. Duża elastyczność tego podejścia gwarantuje, iż można tą technikę zastosować zarówno dla całego procesu produkcyjnego, ale też dla mniejszych podprocesów takich jak utrzymanie ruchu, planowanie czy nawet zarządzanie ludźmi. Kolejną zaletą tego podejścia jest możliwość zastosowania praktycznie w każdym systemie, definiując na nową rodzaje występujących zakłóceń, które są krytyczne w danym procesie. Obszarem do dalszych badań pozostaje dalsze badanie wpływu zwiększonej różnorodności produktów na proces produkcyjny na skuteczność procesu produkcyjnego.

Literatura

1. Brzeziński M.: Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych, CZ. I, Wydawnictwo, Lublin, 1997.
2. Ashby W.,R: Wstęp do cybernetyki, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1963.
3. Wirkus M., Maciągowski D.: Mass Customization jako alternatywa dla produkcji masowej, Ekonomia i Organizacja Przedsiębiorstwa, Warszawa, 2010.

Dr hab. inż. Marek WIRKUS
Mgr inż. Dariusz MACIĄGOWSKI
Wydział Zarządzania i Ekonomii
Politechnika Gdańska
80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12
tel. (0-58) 347 15 24
e-mail: mwir@zie.pg.gda.pl
dariusz.maciagowski@dovista.com