

Łukasz Hadaś
Wyższa Szkoła Logistyki,
Politechnika Poznańska¹



Piotr Cyplik
Wyższa Szkoła Logistyki,
Instytut Logistyki i Magazynowania



Środowisko produkcyjne a wybór systemów planowania i sterowania produkcją²

Jedną z podstawowych decyzji w logistyce produkcji jest wybór właściwego systemu planowania i sterowania produkcją. Wybór ten ma bezpośredni wpływ na osiągnięty poziom zapasów oraz poziom obsługi klienta – a co za tym idzie – wyniki finansowe firmy. Wśród wielu znanych metod należy wymienić tradycyjną metodę punktu zamawiania (ROP – *Reorder Point*), metodę planowania potrzeb materiałowych (MRP) czy wreszcie metodę Just-in-Time (JIT) wraz z systemem Kanban. Godną uwagi alternatywą może być również metoda Werbel-Bufor-Lina (Drum-Buffer-Rope) będąca rozwiązaniem zgodnym z Teorią Ograniczeń TOC (*Theory of Constraints*) w obszarze produkcji.

Wybór właściwej metody planowania i sterowania produkcją uzależniony jest od wielu parametrów, jak: złożoność i różnorodność oferowanych produktów, powtarzalność produkcji

czy wreszcie uwarunkowań rynkowych, takich jak zmienność i charakter popytu.

Charakterystyka porównawcza

Porównanie tradycyjnego systemu produkcyjnego Forda, Systemu Produkcyjnego Toyoty oraz systemu opartego na Teorii Ograniczeń (Drum-buffer-rope) uwidacznia podstawowe różnice w zakresie organizacji przepływu produkcji (tabela 1).

Tradycyjny system Forda, ze swoim rodowodem w początkach organizacji procesu produkcji w postaci linii, jest przedstawicielem koncepcji masowego wytwarzania (*mass production*). Tradycyjne wytwarzanie oparte jest na paradygmacie ekonomiki skali, gdzie wielkość partii podlega ekonomicznej ocenie, a liczba przebrojeń jest minimalizowana. Duże partie produkcyjne generują

długie cykle wykonania, a co za tym idzie, wysokie zapasy robót w toku. Zapasy skutecznie buforują zakłócenia procesu produkcyjnego, ale przepływ odbywa się w dużych partiach, a większość czasu stanowi oczekiwanie detali na obróbkę (*batch and queue*).

System Produkcyjny Toyoty organizuje przepływ strumieni materiałowych w celu osiągnięcia jego ciągłości (*flow*) bez kolejek i czekania. W przeciwieństwie do systemu tradycyjnego, nie unika się przebrojeń, ale podejmuje kroki do minimalizacji ich trwania poprzez wdrażanie praktyki (SMED – *Single Minute Exchange or Dies*). Radykalne obniżenie czasów przebrojeń pozwala na realizację koncepcji przepływu według zasady ekonomicznej wielkości partii równej jedności.

System oparty na TOC (*The Theory of Constraints production solution*) zakłada

Tab. 1. Porównanie tradycyjnego systemu Forda, Toyoty oraz opartego na TOC (*The Theory of Constraints production solution*).

	Ford Production system	Toyota Production system	TOC (Drum-buffer-rope)
Wielkość partii	ekonomiczna	bliska jedności	zmienna
Przebrożenia	minimalizacja liczby	minimalizacja czasu	minimalizacja na zasobie krytycznym
Organizacja przepływu	partie i kolejki (<i>batch and queue</i>)	ciągły (<i>flow</i>)	podporządkowany zasobowi krytycznemu (<i>roadrunner</i>)

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 2. Koncentracja działań w koncepcjach zarządzania: tradycyjnym, JIT, TOC.

	Tradycyjne zarządzanie	Just-in-Time	TOC
Koszty operacyjne	↓	↔	↔
Zapasy	↔	↓	↓
Przepustowość	↑	↑	↑

Źródło: [1,3].

¹ Dr inż. Ł.Hadaś – Wyższa Szkoła Logistyki, Instytut Inżynierii Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Dr inż. P.Cyplik – Wyższa Szkoła Logistyki, Instytut Logistyki i Magazynowania – Centrum Wiedzy Logistycznej (przyp. red.).

² Artykuł recenzowany (przyp. red.).

Tab. 3. Porównanie zasad funkcjonowania systemów planowania i sterowania.

Kryterium	MRP	JIT	TOC
Typ przepływu	push	pull	push/pull
Podstawowe działanie	bilansowanie potencjału	równoważenie potencjału	równoważenie przepływu
Organizacja przepływu	na wejściu	na wyjściu	według ograniczenia
Kolejność wykonywania operacji	według harmonogramu	FIFO	FIFO

Źródło: opracowanie własne.

zmienność wielkości partii z generalną tendencją do ich zmniejszania. Przebrożenia maszyn nie są traktowane jako marnotrawstwo o ile nie dotyczą zasobów krytycznych. Przebrożenia na zasobie krytycznym podlegają ścisłemu ograniczeniu zgodnie z założeniem, że bezczynności zasobu krytycznego oznaczają bezpowrotną stratę dla całego przedsiębiorstwa.

Różnice w analizowanych koncepcjach odnajdziemy również na polu koncentracji działań optymalizacyjnych (tabela 2). W przypadku systemu tradycyjnego jest to silna presja ekonomiczna na obniżanie kosztów operacyjnych. Dla systemów Just-in-Time priorytetem jest skupienie wysiłków na eliminację marnotrawstwa (*muda*), którego najwyraźniejszym przejawem jest nagromadzenie zbędnych zapasów. System TOC koncentruje natomiast swoje działanie na wzroście prze-

puścowości limitowanej zdolnością produkcyjną ograniczenia.

Dalsze analizy porównawcze, skierowane na funkcjonowanie systemów MRP, JIT oraz TOC, ukazują kolejne ich odmienności (tabela 3).

Podstawową różnicą jest tu sposób organizacji przepływu. W systemie MRP przepływ strumieni materiałowych inicjowany jest na wejściu poprzez wydanie materiału na pierwsze stanowisko. Przepływ przez kolejne stanowiska odbywa się na zasadzie tłoczenia (*push*) przez system, aż do operacji finalnej. Taka organizacja przepływu jest powodem dużej bezwładności systemu na zmienność asortymentową oraz małą odporność na zakłócenia, które generują wzrost zapasu robót w toku. W systemie JIT przepływ inicjowany jest na ostatnim

stanowisku, a następnie za pomocą sygnału „kanban” przekazywany dalej w górę strumienia wartości. Natomiast system TOC jest specyficznym połączeniem zasad przepływu push i pull. Praca ograniczenia systemu inicjowana jest na zasadzie pull, a następnie przeniesiona na tej samej zasadzie na proces wydania materiałów. Pozostały przepływ na poszczególne stanowiska następuje według zasady push z priorytetem FIFO.

W obszarze planowania przepływu strumieni materiałowych również istnieją kluczowe odmienności. W systemie MRP głównym działaniem jest bilansowanie zdolności produkcyjnej z zapotrzebowaniem. Proces ten, zgodnie z algorytmem MRP, odbywa się sekwencyjnie na wielu poziomach organizacji. W systemie JIT podejmowane są kroki w obszarze projektowym, których celem

Tab. 4. Porównanie narzędzi wdrażania zmian oraz miar operacyjnych koncepcji TOC oraz JIT (*Lean Production*).

	TOC	JIT (LEAN PRODUCTION)
CEL	Zwiększyć zysk poprzez zwiększenie przerobu (Throughput)	Zwiększenie zysku poprzez dodanie wartości produktowi z punktu widzenia klienta
Mienniki operacyjne	- Przerób (Throughput) - Zapasy (Inventory) - Koszty operacyjne (Operating Expense)	- Koszt - Czas realizacji (Lead Time) - Procent dodanej wartości
Koncentracja uwagi na	Ograniczenia systemu – skupienie lokalne	Likwidacja marnotrawstwa i dodanie wartości w globalnym łańcuchu dostaw
Narzędzie wdrażania zmian	Pięć punktów skupienia: - Identyfikacja - Eksplotacja - Podporządkowanie - Wzmocnienie - Ciągły proces doskonalenia	Pięć stopni Lean: - Określenie wartości dla klienta - Identyfikacja strumienia wartości - Uruchomienie przepływu (flow) - Uruchomienie wciągania (pull) - Doskonalenie
Charakter optymalizacji	Lokalna – w miejscu skupienia, z wpływem globalna	Globalna – z oddziaływaniem na cały łańcuch dostaw

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 5. Porównanie systemów planowania i sterowania ze względu na kryteria organizacyjne i wymagania produktowe.

Kryterium	MRP	JIT	TOC
Forma produkcji	Produkcja rytmiczna i nierytmiczna	Produkcja rytmiczna	Produkcja rytmiczna i nierytmiczna
Akceptowalna złożoność przepływu	Duża	Mała	Średnia
Produkt	Duża złożoność, szeroki asortyment i zmienność	Standaryzacja produktów	Dopuszczalna złożoność
Jakość	Statystyczna kontrola – dopuszczalne braki	Jakość u źródła	100% jakości trafiającej na „wąskie gardło”
Wspomaganie komputerowe	Wymagane	Niewymagalne	Niewymagalne
Reorganizacja warsztatu wytwórczego (layout)	Niewymagalna – różnorodny	Wymagana	Niewymagana

Źródło: opracowanie własne.

jest równoważenie potencjału poszczególnych segmentów produkcyjnych oraz tworzących je maszyn. System TOC odrzuca koncepcję równoważenia potencjału na rzecz techniki równoważenia przepływu. System TOC zakłada bowiem, że różnice potencjału poszczególnych maszyn są nieuniknione i służą wyrównywaniu przepływu dla zachowania ciągłości pracy ograniczenia.

Odmiennosć omawianych rozwiązań jest powodem, dla którego każdy z systemów ma również odmienną metodykę implementacji oraz pomiaru efektywności działań (tabela 4).

Uwagę zwraca tu szczególnie odmienny charakter podejmowanych optymalizacji oraz inne mierniki operacyjne osiągania celu. Podobieństwa odnajdujemy w używanych narzędziach wdrażania zmian. W obu przypadkach jest to sekwencja kroków, kładąca nacisk na ciągłe doskonalenie procesu, a nie jednorazową optymalizację.

Środowisko produkcyjne a wybór systemów planowania i sterowania produkcją

Wybór właściwego systemu planowania i sterowania produkcją, czy też budowa hybrydowego rozwiązania dedykowanego, jest uzależniona od wielu czynników z obszaru organizacji warsztatu wytwórczego oraz cech produkowanych wyrobów. Złożoność produkowanych wyrobów wymusza za sobą zło-

żoność przepływów strumieni materiałowych, a różnorodność asortymentowa potęguje to zjawisko.

System klasy MRP akceptuje zarówno dużą złożoność wyrobów gotowych, jak i zmienność strumieni materiałowych. Oczywiście zapanowanie nad tą zmiennością wiąże się z koniecznością zastosowania informatycznego wspomaganie procesów planowania i przebiegu produkcji. System MRP nie wymaga jednak reorganizacji warsztatu produkcyjnego według przebiegu głównych przebiegów strumieni materiałowych pozwalając tu również na większą dowolność a co za tym idzie – elastyczność.

System Just-in-Time wymaga fizycznej reorganizacji warsztatu wytwórczego. Stanowiska grupowane są w segmenty U-kształtne (*U-shape line*) według strumienia wartości. Osiągnięta w ten sposób prostota przepływu sterowana kartami kanban pozwala na rezygnację z informatycznego wspomaganie procesu. Produkcja bardziej złożonych produktów wymaga jednak dużej ich standaryzacji, poczynionej już na poziomie projektowym.

System TOC dopuszcza zdecydowanie większą złożoność strumieni materiałowych. Jednak w przypadku dużej ich komplikacji może zaistnieć potrzeba specjalistycznego oprogramowania do planowania przebiegu produkcji, ze względu na złożoność planowania oraz problem pojawiających się, wędrują-

cych ograniczeń. Zaletą systemu jest również brak potrzeby fizycznej reorganizacji warsztatu wytwórczego, co jest zbieżne z systemem MRP.

W obszarze kształtowania i ochrony jakości w systemie produkcyjnym MRP najczęściej wykorzystuje się statystyczną kontrolę procesu. System JIT wbudowuje jakość operacji w sam proces poprzez wiele rozwiązań praktycznych, jak *Quality at the source* czy *Poka-Yoke*. System TOC, zgodnie z jego orientacją na optymalną eksploatację zasobu krytycznego, szczególny nacisk kładzie na 100% jakość detali trafiających bezpośrednio do obróbki na „wąskim gardle”. Również jakość obróbki „wąskiego gardła” musi być 100 - procentowa, aby nie tracić przepustowości systemu.

Konkluzja

Reasumując rozważania na temat wyboru optymalnego systemu planowania i sterowania produkcją należy stwierdzić, że świadomy wybór w tym zakresie wymaga zrozumienia ich podstawowych cech oraz wymogów z zakresu organizacji przepływu strumieni materiałowych. Dotyczy to zarówno cech organizacji przepływu strumieni materiałowych, rozumianych jako:

- fizyczny przepływ (*layout*) przez stanowiska robocze
- złożoność przepływu jako pochodna złożoności wyrobów
- oraz ciągłość przepływu, czyli jego powtarzalność w czasie.

Rozpoznanie istniejących warunków zakładowych oraz możliwość ich ewentualnej reorganizacji jest pierwszym krokiem do wyboru najwłaściwszego rozwiązania, otwierającego drogę do budowy efektywnego logistycznego systemu sterowania przepływem produkcji.

STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia analizę porównawczą systemów planowania i sterowania produkcją, opartych na koncepcjach MRP, JIT i TOC. Koncepcja MRP reprezentuje klasyczne zarządzanie procesem produkcji, opartym na ekonomice skali, a koncepcja JIT – system produkcyjny Toyoty (TPS), czyli koncepcje *Lean Production* opartą na tworzeniu ciągłego przepływu. Z kolei koncepcja TOC reprezentuje system planowania i sterowania produkcją, zbudowany według metody werbel-bufor-lina (*drum-buffer-rope solution*). Analiza przedstawia kluczowe cechy tych systemów planowania i sterowania przepływem produkcji oraz wymagane przez nie kryteria organizacyjne i produktowe.
Słowa kluczowe: MRP, JIT, TOC – Theory of Constraints,

LITERATURA

- [1] American Production and Inventory Control Society Dictionary, VIII-th edition, American Production and Control Society, Inc., Falls Church, VA 1995.
- [2] Chase R., Aquilano N., Jacobs F., Production and Operations Management. Manufacturing and Services, Eighth Editions, Irwin McGraw – Hill, International Edition 1998.
- [3] Encyclopedia of Production and Manufacturing Management, Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London 2000.
- [4] Goldratt E., Cox J., Cel. Doskonałość w produkcji, WERBEL, Warszawa 2000.
- [5] Goldratt E., Łańcuch krytyczny, WERBEL, Warszawa 2000.
- [6] Fertsch M., Struktura współczesnego zarządzania produkcją i jego powiązania z innymi nurtami nauki o zarządzaniu, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, Organizacja i Zarządzanie, nr 29, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
- [7] Hadaś Ł., Metoda buforowania zasobów krytycznych w sterowaniu jednostkowym wytwarzaniem złożonych wyrobów – Rozprawa doktorska, Instytut Inżynierii Zarządzania, Politechnika Poznańska, Poznań 2006, str. 1-162.
- [8] Hirano Hiroyuki, JIT Factory Revolution. A Pictorial Guide to Factory Design of The Future, Productivity Press, Portland, Oregon 1988.
- [9] Krajewski Lee J., Ritzman Larry P., Operations Management. Strategy and Analysis, Fourth Edition, Addison-Wesley Publishing Company, International Edition 1996.
- [10] Muhlemann A.P., Oakland J.S., Lockyer K.G., Zarządzanie, Produkcja i Usługi, PWN, Warszawa 1997.
- [11] Orlicky J., Material Requirements Planning, McGraw – Hill Book Company, New York 1975.
- [12] Wight O., Manufacturing Resources Planning, Oliver Wight Limited Publications, Essex Junction, Vermont 1984.
- [13] Woeppel Mark J., Manufacturer's Guide to Implementing the Theory of Constraints, The St. Lucie Press, Boca Raton London New York Washington, D.C. 2001.
- [14] Womack James P., Jones Daniel T., Odchudzanie firm – eliminacja marnotrawstwa – kluczem do sukcesu, Centrum Informacji Menedżera, Warszawa 2001.
- [15] Womack James P., Jones Daniel T., Roos Daniel, The Machine That Changed The World, Maxwell Macmillan International, New York 1990.
- [16] Umble, M., Srikanth, M. L., Synchronous manufacturing: principles for world-class excellence, Spectrum Publishing, 1995.