

MICHLÓWICZ Edward<sup>1</sup>  
SMOLIŃSKA Katarzyna<sup>2</sup>

## Prawa logistyki produkcji w analizie przepływu materiałów

### WSTĘP

Cechą charakteryzującą zarządzanie przedsiębiorstwami w ostatnich latach jest ciągle poszukiwanie metod poprawiających efektywność prowadzonej działalności. Rozwój koncepcji SCM (*Supply Chain Management*) wymusza na przedsiębiorstwach transformację z organizacji zorientowanych funkcjonalnie na organizacje zorientowane procesowo [1]. Oprócz sfery technicznej, dziedziną wiedzy, która bardzo wiele wnosi w obszar poprawy produktywności przedsiębiorstw produkcyjnych jest logistyka produkcji. W wielu opracowaniach dotyczących logistyki przedsiębiorstw najczęściej uwagi zwraca się na procesy związane z zamówieniami, zaopatrzeniem materiałowym, zakupami, magazynowaniem i dystrybucją wyrobów. Tymczasem w przedsiębiorstwie produkcyjnym procesem, w który angażuje się najwięcej kapitału jest wytwarzanie wyrobów. Wytwarzanie sprawia, że w procesie produkcyjnym główny strumień materiałów przepływa przez poszczególne komórki (stanowiska) produkcyjne przedsiębiorstwa. Przepływ ten zależy od wielu czynników, z których struktura systemu produkcyjnego zdecydowanie najbardziej wpływa na procesy przepływu [2]. Elementem wspólnym, łączącym różne podejścia do logistyki produkcji, są przepływy rzeczowe. Stąd pojawiają się nowe koncepcje i zadania logistyki produkcji. Jako środek zaradczy na eliminowanie marnotrawstwa (*muda*) J.P. Womack i D.T. Jones [3] zalecają szczupłe podejście, szczupłe myślenie (*lean thinking*) poprzez tworzenie strumienia wartości w przedsiębiorstwie. Według J. Burtona [4] *lean* można zdefiniować najprościej jako proces nieustannego eliminowania marnotrawstwa. Dostęp do dużych przestrzeni powoduje gromadzenie zapasów, co prowadzi do powstawania nadmiernej produkcji w toku WIP – (*Work in Process*). W ujęciu proponowanym przez M. Rothera i J. Harrisa [5] najistotniejszym zadaniem w systemach produkcyjnych jest zachowywanie ciągłości w przepływach materiałów, a także permanentne doskonalenie (*kaizen*) ciągłości. W nawiązaniu do łańcuchów dostaw P. Nyhuis i H.P. Wiendhal [6] stwierdzają że: podstawowy cel logistyki produkcji można określić poprzez zdolność do zwiększenia oraz niezawodności dostaw przy możliwie najniższych kosztach logistycznych i produkcji. Aktualnie istnieje wiele metod i technik możliwych do wykorzystania w działalności produkcyjnej przedsiębiorstwa. Stąd też właściwy ich wybór (dla przedsiębiorstwa lub procesu) jest nieraz trudny. Obszerną publikację różnych narzędzi, technik, metod wspomagających koncepcję *lean* przedstawili J. Bicheno i M. Holweg w pracy: *The Lean toolbox: The Essentials guide to Lean transformation* [7].

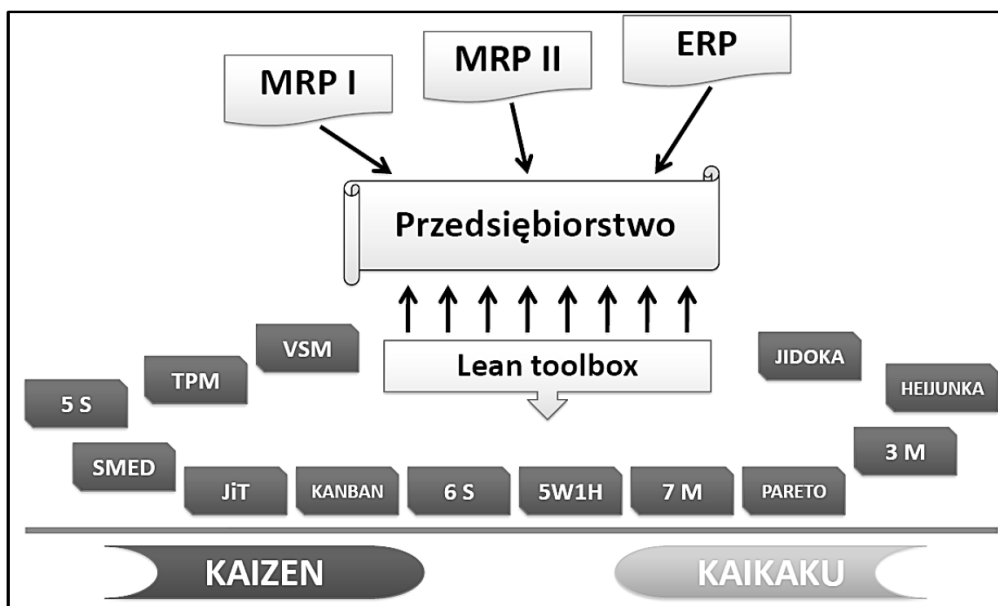
Logistyka produkcji obejmuje wszystkie czynności, które są związane z zaopatrywaniem procesu produkcji w stosowne materiały oraz z przekazywaniem półwyrobów i wyrobów gotowych do magazynów. Stąd bardzo istotnym problemem jest właściwy dobór sterowania tym przepływem. Do podstawowych zadań sterowania procesem przepływu materiałów należą:

- optymalizacja i bilansowanie zapotrzebowania zewnętrznego i zasobów przedsiębiorstwa,
- optymalna realizacja zarządzania przepływem (planowanie, kontrola, uwzględniające konieczne sprzężenia zwrotne),
- osiągnięcie celów finansowych poprzez minimalizację kosztów (m.in. wytwarzania),
- zapewnienie odpowiedniego poziomu obsługi.

Na rysunku 1 przedstawiono podstawowe narzędzia jakie można zaproponować do realizacji poprawy efektywności przedsiębiorstwa.

<sup>1</sup> AGH w Krakowie; Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki

<sup>2</sup> AGH w Krakowie; Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki



Rys. 1. Podstawowe metody i systemy poprawy w przedsiębiorstwach.

Oczywistym wydaje się, że z logistycznego punktu widzenia odpowiednie sterowanie strumieniem materiałów w systemie produkcyjnym powinno należeć do podstawowych zadań logistycznych. Przez "odpowiednie sterowanie" należy tu rozumieć takie sterowanie, które gwarantuje ciągłość procesów wytwarzania zgodnie z logistycznymi zasadami 7R [8]. W tym zakresie ważnym jest właściwe zrozumienie procesów produkcyjnych. Pomocne mogą tu być wszelkie indywidualne rozwiązania przyczyniające się do poprawy produktywności procesów wytwarzania. Do analizowania prawidłowości przepływów materiałowych w procesach produkcyjnych P. Nyhuis i H.P. Wiendhal [6] zaproponowali dziewięć podstawowych praw logistyki produkcji (PLP). Natomiast autorzy proponują własne algorytmy do poprawy efektywności produkcji wykorzystujące m. in. metody mapowania VSM i utrzymywania sprawności maszyn TPM oraz prawa logistyki PLP.

## 1 PRAWA LOGISTYKI PRODUKCJI

Według P. Nyhuisa i H.P. Wiendhal prawa logistyki produkcji (PLP) są uniwersalnymi stwierdzeniami opisującymi zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami procesu. Sześć z nich (od pierwszego do szóstego) może zostać popartych opisem matematycznym, a trzy pozostałe wynikają z praktyki produkcyjnej. Sformułowanie powinno służyć ułatwieniu rozumienia procesów logistycznych na hali produkcyjnej. Analizując opisane poniżej prawa należy brać pod uwagę główne cele wyznaczane dla logistyki produkcji, dotyczące wymienianych we wspomnianych zależnościach parametrów procesów. Chodzi tutaj o założenie, że dąży się do zmniejszenia robót w toku (WIP – Work in Process), skrócenia i ujednoczenia czasów przejścia oraz ujednorodnienia struktury pracochłonności. W rzeczywistości mogą być one inne, uzależnione od warunków i priorytetów przyjmowanych w przedsiębiorstwach dla indywidualnych procesów, jednak dla większości przypadków przyjęte założenia są zgodne z rzeczywistością.

### 1.1 Pierwsze prawo logistyki produkcji – 1PLP

*W długim okresie czasu poziom wejścia materiałów do stanowiska i wyjścia ze stanowiska muszą być zbilansowane.*

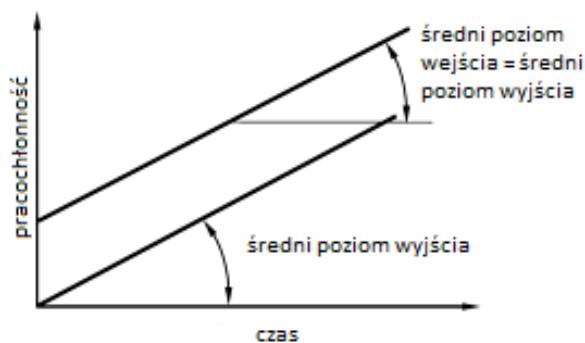
Poziom wejścia i poziom wyjścia mogą być mierzone w planowanych godzinach pracy lub liczby przetwarzanych zleceń, co wiąże się z przyjmowanym założeniem, że parametry wykorzystane przy określaniu wartości tych wielkości nie ulegają zmianie w efekcie przeprowadzania procesu.

Pierwsze prawo logistyki produkcji można prosto uzasadnić. Każdy proces cechuje się pewną wydajnością, przy czym w danej chwili nie musi być ona w całości wykorzystywana. Dostępna w danym momencie wydajność jest górną granicą aktualnych możliwości przetwarzania w procesie

(zdolność produkcyjna). Jeżeli więc przez pewien dłuższy okres czasu obciążenie systemu na jego wejściu będzie przekraczało dostępną wydajność, to poziom wyjścia będzie równy drugiej wymienionej wielkości. Zakładając, że wszystkie zlecenia znajdą się w procesie, należałoby także przyjąć, że w takim przypadku liczba robót w toku (WIP) będzie rosła w nieskończoność. Na diagramie przejść będzie to uwidocznione przez powiększanie się odległości pomiędzy liniami opisującymi stan wyjścia i wejścia. Taka sytuacja nie jest spotykana w rzeczywistości. Przedsiębiorstwa w momencie przekroczenia przez napływające zlecenia możliwości produkcyjnych systemu mogą:

- zwiększyć dostępną wydajność procesów (jeśli to możliwe),
- odrzucić zlecenia,
- przekierować zlecenia na inne stanowiska czy do innych firm.

W sytuacji odwrotnej, to znaczy kiedy obciążenie na wejściu systemu jest mniejsze niż dostępna wydajność procesu, wielkość wyjściowa będzie „podążała” za wielkością wejścia, ponieważ możliwe jest przetworzenie tylko takiej liczby zleceń, jaka znalazła się w procesie. Pierwsze prawo przedstawiono schematycznie na rysunku 2.



Rys. 2. Pierwsze prawo logistyki produkcji – 1PLP (opracowanie własne wg [6]).

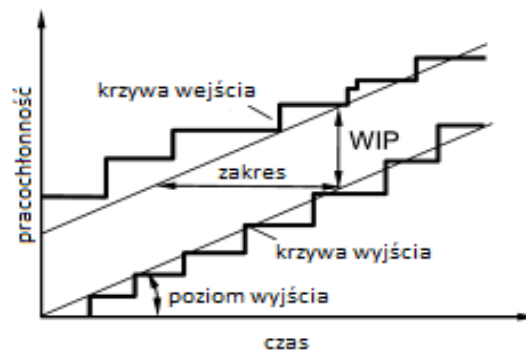
## 1.2 Drugie prawo logistyki produkcji – 2PLP

*Czas przejścia materiału przez stanowisko zależy od proporcji poziomu robót w toku (WIP) i tempa wyjścia z procesu.*

Jeżeli dla przebiegu procesu zakłada się utrzymanie stałych wielkości wejścia i wyjścia, to jedynym sposobem na skrócenie czasu przejścia jest obniżenie poziomu WIP. Wpływ robót w toku i poziomu wyjścia na zajętość stanowiska, wynika z definicji tej wielkości zaczerpniętych z modelu „lejka” i praw Little’a.

W modelu lejka zajętość stanowiska określa czas wymagany do przetworzenia robót w toku WIP występujących w danej chwili w procesie, przy założeniu, że poziom wyjścia jest stały. Jest więc oczywiste, że dla niższego poziomu WIP, czas realizacji zadania na stanowisku będzie krótszy. Natomiast wg praw Little’a, opisywana wielkość wyraża czas potrzebny do realizacji nowego zlecenia. Graficzne ujęcie drugiego prawa przedstawiono na rysunku 3.

Chwilowe obniżenie poziomu robót w toku jest więc możliwe poprzez czasowe ograniczenie poziomu wejścia, bądź zwiększenie wydajności wyjścia. Sposób osiągnięcia takiego stanu i czas przez jaki wspomniane zmiany powinny być podtrzymywane, zależy tylko od założonej wartości redukcji robót w toku (np. jeżeli docelowo WIP ma zostać zmniejszony o całkowitą wartość 20 h, to w ramach podnoszenia wydajności, można zlecić nadgodziny przez 5 dni, po cztery godziny dziennie). Ostatecznie jednak, po uzyskaniu założonego celu, należy upewnić się, że poziomy wejścia i wyjścia będą zbilansowane, to znaczy linie opisujące wejście i wyjście, na diagramie przejścia przebiegają równolegle, co wynika z pierwszego prawa logistyki produkcji.

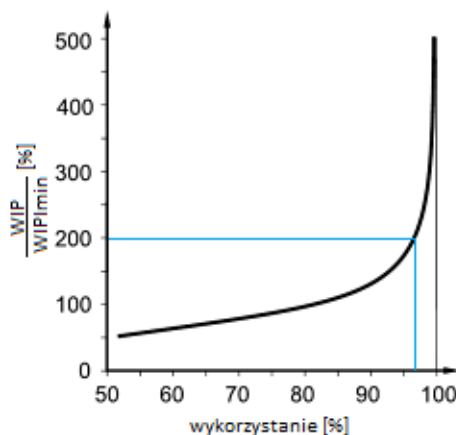


Rys. 3. Drugie prawo logistyki produkcji – 2PLP (opracowanie własne wg [6]).

### 1.3 Trzecie prawo logistyki produkcji – 3PLP

*Obniżenie poziomu wykorzystania stanowiska umożliwia nieproporcjonalne zmniejszenie robót w toku WIP i skrócenie czasu przejścia materiału przez stanowisko.*

W każdym procesie należy założyć występowanie pewnej zmienności na wejściu. Aby ją stłumić i pomimo zakłóceń przepływu zachować założony poziom wyjścia, należy przyjąć pewien bufor wartości WIP. Dodatkowo, utrzymanie dużej ilości robót w toku pozwala na zachowanie wysokiego poziomu wykorzystania stanowiska. Ogólnie jednak obniżanie wielkości WIP jest jednym z ważniejszych celów podczas realizowania procesów logistycznych i produkcyjnych w przedsiębiorstwach. Często zmiany mające na celu osiągnięcie takiego efektu nie mogą być wprowadzone w sposób, który nie wpływałby na wykorzystanie stanowiska.



Rys. 4. Trzecie prawo logistyki produkcji – 3PLP (opracowanie własne wg [6]).

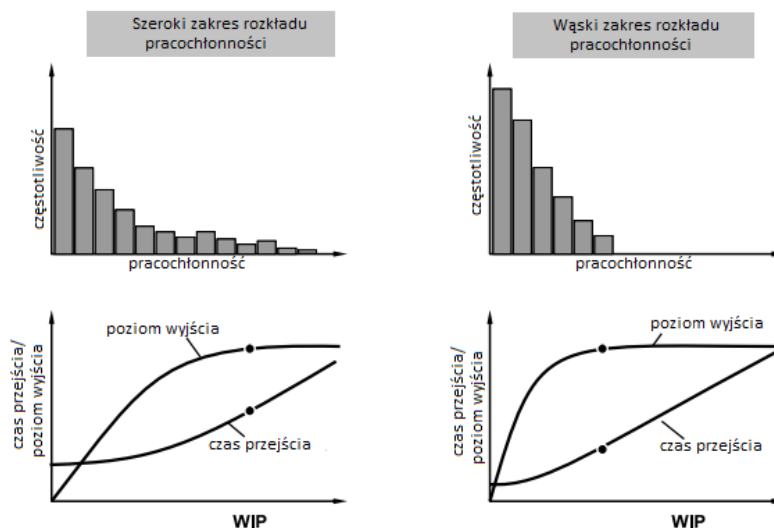
Według teorii operacyjnych krzywych logistycznych LOC (*Logistic Operating Curves*), dopuszczenie minimalnej straty wykorzystania stanowiska pozwala na znaczne zmniejszenie wartości WIP i skrócenie czasu przejścia. Z analizy rysunku 4 wynika, że aby uzyskać 100 procentowe wykorzystanie urządzeń, konieczne jest zachowanie wartości WIP pięciokrotnie większej od ustalonej minimalnej wartości WIP dla krzywej idealnej ( $WIP_{min}$  – ilość robót w toku w procesie idealnym), natomiast obniżenie wartości pierwszej wielkości o 3,5% pozwala na redukcję robót w toku do 200% wartości idealnej  $WIP_{min}$ .

### 1.4 Czwarte prawo logistyki produkcji – 4PLP

*Wariancja i wartość średnia pracochłonności zadania określają potencjał logistyczny stanowiska.*

Wielkość odchylenia standardowego pracochłonności operacji wpływa na tempo wzrostu wartości wyjścia. Z analizy rysunku 5 wynika, że dla dużej zmienności pracochłonności, która może wynikać na przykład z faktu obsługiwanego procesu przez różnych operatorów, funkcja wyjścia w zależności od

WIP rośnie powoli. Tym samym można zaobserwować wydłużanie się czasu przejścia. Oznacza to, że aby przy danej wydajności i poziomie wyjścia zachować ciągłość przepływu, konieczne jest utrzymywanie w procesie wyższego poziomu WIP niż w przypadku małej zmienności pracochłonności.



Rys. 5. Czwarte prawo logistyki produkcji – 4PLP (opracowanie własne wg [6]).

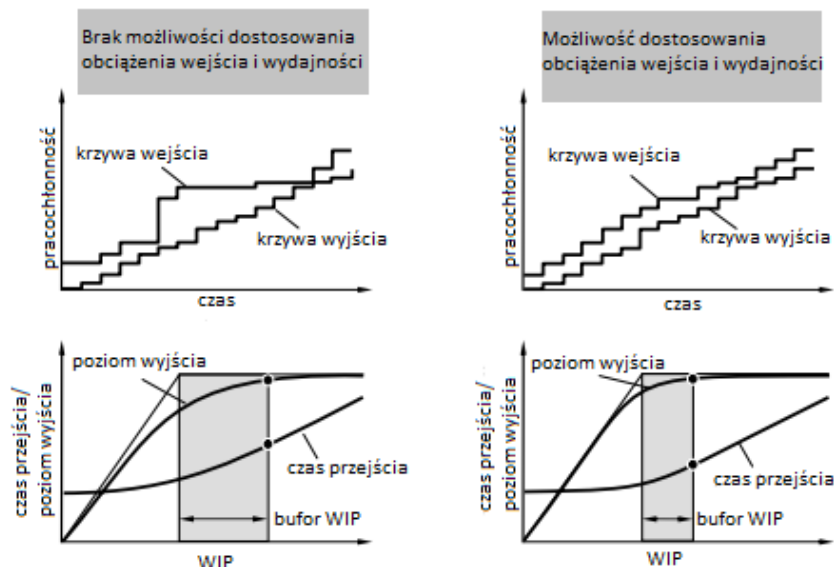
Potencjał stanowiska, czyli ogólnie pojmowane możliwości np. produkcyjne, w prosty sposób zależy od pracochłonności wykonywanych na nim zadań. Pracochłonność może być wyrażana m.in. w jednostkach czasu lub energii. Im mniejsza jest wartość tego parametru, tym więcej pracy można wykonać w tym samym okresie czasu lub przy tym samym wydatku energetycznym. Z kolei zmienność pracochłonności wymusza zakładanie nadmiaru np. w czasie przejścia, dzięki czemu możliwe jest zachowanie ciągłości przepływu w procesie. Tym samym, mniejsza i stabilna wartość pracochłonności umożliwia zwiększenie potencjalnych możliwości stanowiska.

### 1.5 Piąte prawo logistyki produkcji – 5PLP

*Rozmiar bufora robót w toku WIP, wymaganego dla zapewnienia odpowiedniego wykorzystania stanowiska, zależy głównie od elastyczności obciążenia i wydajności stanowiska.*

Pierwszym krokiem przy wykreślaniu krzywych operacyjnych LOC jest wyznaczenie idealnej minimalnej wartości WIP w procesie i kształtu idealnej krzywej operacyjnej. Określają one teoretyczne ograniczenia podstawowych parametrów procesu. W rzeczywistości, na hali produkcyjnej istnieje dodatkowo szereg innych czynników decydujących o tym, jak bardzo kształt rzeczywistej krzywej operacyjnej odbiega od idealnego.

Aby tłumić zmienność wejścia tworzy się pewien nadmiar (w stosunku do idealnej minimalnej wartości) WIP w procesie. Jeżeli proces charakteryzuje się sztywno ustalonymi parametrami, w szczególności wydajnością i poziomem wyjścia, a jednocześnie nie można wpłynąć na zmienność wejścia, to bufor ten musi być stosunkowo duży. Pozwala to zapewnić ciągłość na wyjściu procesu. Poziom WIP może zostać znacznie obniżony, pod warunkiem, że możliwe jest dostosowanie wydajności do aktualnego obciążenia wejścia, rezygnacji z części zamówień lub skierowanie ich na inne stanowiska bądź do innych przedsiębiorstw. Proces powinien więc cechować się pewną elastycznością. Ilustracją piątego prawa logistyki produkcji są zależności przedstawione na wykresach na rysunku 6.



Rys. 6. Piąte prawo logistyki produkcji – 5PLP (opracowanie własne wg [6]).

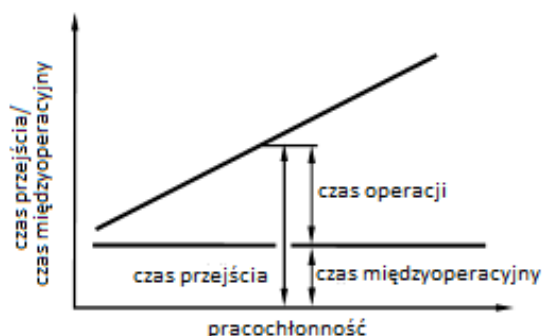
### 1.6 Szóste prawo logistyki produkcji – 6PLP

*Jeżeli zamówienia realizowane są wg reguły FIFO, to czas międzyoperacyjny nie zależy od pracochłonności poszczególnych operacji.*

W pozostałych prawach logistyki produkcji pod uwagę brane są wartości średnie parametrów. W tym przypadku rozważa się indywidualne czasy przejścia dla pojedynczych operacji. Na czas przejścia składają się:

- czas operacji, czyli właściwego przetwarzania,
- czas międzyoperacyjny (okres oczekiwania po poprzedniej operacji, czas transportu, okres oczekiwania przed rozpoczęciem obserwowanego procesu).

Jeżeli w systemie stosowana jest reguła FIFO, to pracochłonność zadań wpływa jedynie na czas operacji. Czas międzyoperacyjny zależny jest natomiast od wartości WIP w procesie. Czas ten nie jest związany z pracochłonnością operacji, zatem można stwierdzić, że jest to parametr charakteryzujący stanowisko, a nie sam proces. Na rysunku 7 przedstawione są opisane zależności. Z rysunku wynika również, że czas przejścia rośnie liniowo.



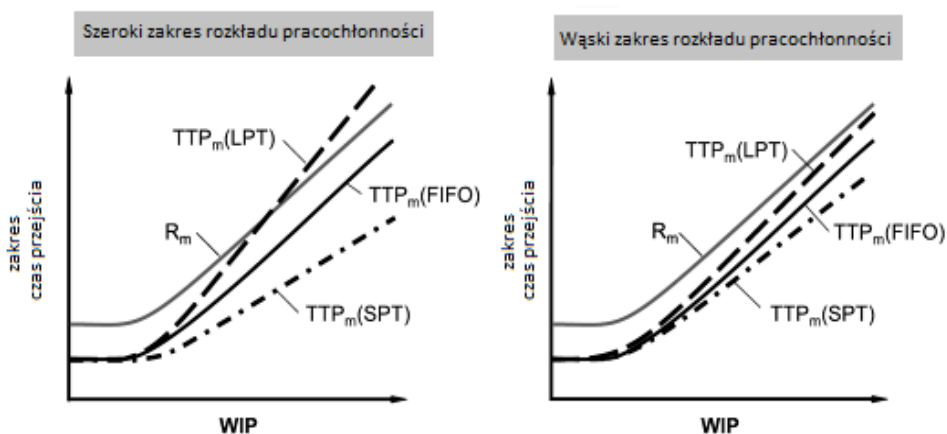
Rys. 7. Szóste prawo logistyki produkcji – 6PLP (opracowanie własne wg [6]).

Dla reguł innych niż FIFO, czas przejścia może być zależny od pracochłonności zadań, dlatego opisywane prawo nie może być dla nich zastosowane.

### 1.7 Siódme prawo logistyki produkcji – 7PLP

*Stosowanie reguł sekwencyjnych może znacząco wpływać na średni czas przejścia tylko przy wysokim poziomie robót w toku WIP oraz szerokim zakresie dystrybucji pracochłonności zadań.*

W siódmym prawie logistyki produkcji brany jest pod uwagę średni nieobciążony czas przejścia. Jeżeli poziom WIP nie jest wysoki, czyli w procesie znajduje się niewiele zleceń, to naturalne jest zastosowanie reguły FIFO. Jeżeli jednak ilość robót w toku jest stosunkowo duża, to może pojawiać się tendencja do wpływania na kolejność realizacji zadań tak, aby te z wyższym priorytetem zostały ukończone na czas, podczas gdy pozostałe dłużej czekają na realizację. Porzucenie reguły FIFO na rzecz na przykład SPT (Shortest Processing Time) lub LPT (Longest Processing Time) związane są także z niejednorodnością pracochłonności dla poszczególnych zamówień. Odchylenie standardowe tego parametru wpływa na czas międzyoperacyjny dla reguły FIFO, a dla innych ogólnie na indywidualny czas przejścia (wg szóstego prawa logistyki produkcji). W ujęciu całego procesu, duża zmienność pracochłonności wpływa więc na średni czas przejścia, przy czym zależność ta może być różna dla różnych reguł sekwencyjnych. Zależności wynikające z siódmego prawa logistyki produkcji przedstawiono na rysunku 8.

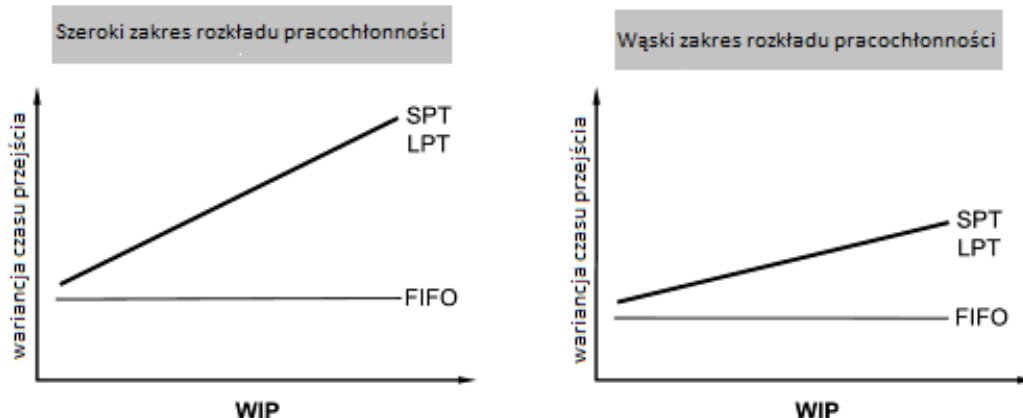


Rys. 8. Siódme prawo logistyki produkcji – 7PLP (opracowanie własne wg [6]).

### 1.8 Ósme prawo logistyki produkcji – 8PLP

*Wariancja czasu przejścia zależy od zastosowanych reguł sekwencji, poziomu robót w toku WIP i rozkładu pracochłonności zadań.*

Rozkład zakresu robót określa pewien minimalny poziom wariancji czasu przejścia, który nie może zostać przekroczony. Wynika to między innymi z czasu operacji, którego minimalna wartość jest związana z technologią i fizycznymi ograniczeniami procesu.



Rys. 9. Ósme prawo logistyki produkcji – 8PLP (opracowanie własne wg [6]).

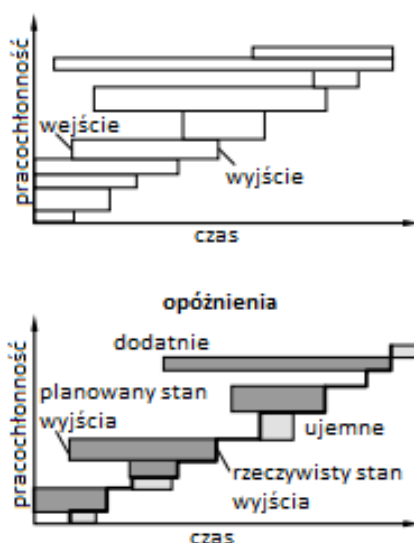
Jak wynika z siódmego prawa logistyki produkcji, stosowana reguła sekwencji ma wpływ na średni czas przejścia tylko przy wysokim poziomie WIP.

Wybór sekwencji (SPT, LPT, FIFO – rys. 9) ma także wpływ na zmienność wariancji i jest on tym wyraźniejszy, im szerszy jest zakres rozkładu pracochłonności. Zmienność WIP ma wpływ na wariancję czasu przejścia w przypadku stosowania reguł SPT i LPT.

### 1.9 Dziewiąte prawo logistyki produkcji – 9PLP

Niezawodność procesu logistycznego określana jest przez wartość średnią i rozkład czasu przejścia materiału przez system.

Aby z powodzeniem zaplanować proces produkcji konieczne jest stworzenie warunków, w których osiągnięte zostaną jak najkrótsze, ale przede wszystkim jednolite czasy przejścia. Najmniejsza zmienność tego parametru powoduje powstawanie niepewności w harmonogramie produkcji. Aby zapewnić bezpieczeństwo strumienia przepływu, przyjmuje się wartości czasów przejścia większe niż założone. Pozwala to na stworzenie buforu czasu i zapewnienie ciągłości przepływu materiału (rys. 10).



Rys. 10. Dziewiąte prawo logistyki produkcji – 9PLP (opracowanie własne wg [6]).

Dodatkowo zmienność czasu przejścia powiększana jest na skutek wpływania na reguły sekwencyjne poprzez przypisywanie pilniejszym zleceniom wyższego priorytetu. Jest to tak zwane błędne koło planowanie produkcji.

## 2 SYSTEM PRODUKCYJNY W ŁAŃCUCHU DOSTAW

System produkcyjny może być różnie definiowany. Wykorzystując najprostszą definicję systemu w ujęciu teorii systemów można stwierdzić, że system produkcyjny (działaniowy, techniczny) jest pewnym uporządkowanym zbiorem elementów i relacji między nimi. Wprowadzając do takiej definicji konkretne elementy, otrzymujemy bardziej rozwiniętą postać systemu:

$$SP = \langle \{ X, Y, T, Z \}, R \rangle,$$

gdzie:

$X = \{X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_M\}$ ; dla  $i = 1, \dots, M$  – zbiór wielkości zewnętrznych opisujący elementy wejścia (materiały i części, urządzenia, personel, informacje, kapitał, energia); przykładowo:

$X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k}, \dots, x_{1P})$ ; dla  $k = 1, \dots, P$  – wektor materiałów, części i komponentów dostarczanych do systemu produkcyjnego,

$X_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2l}, \dots, x_{2R})$ ; dla  $l = 1, \dots, R$  – wektor maszyn i urządzeń,

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_N\}$ ; dla  $j = 1, \dots, N$  – zbiór wielkości zewnętrznych opisujący elementy wyjścia (wyroby gotowe, usługi, odpady z produkcji, informacje); przykładowo:

$Y_1 = (y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}, \dots, y_{1Q})$ ; dla  $m = 1, \dots, Q$  – wektor wyrobów gotowych,

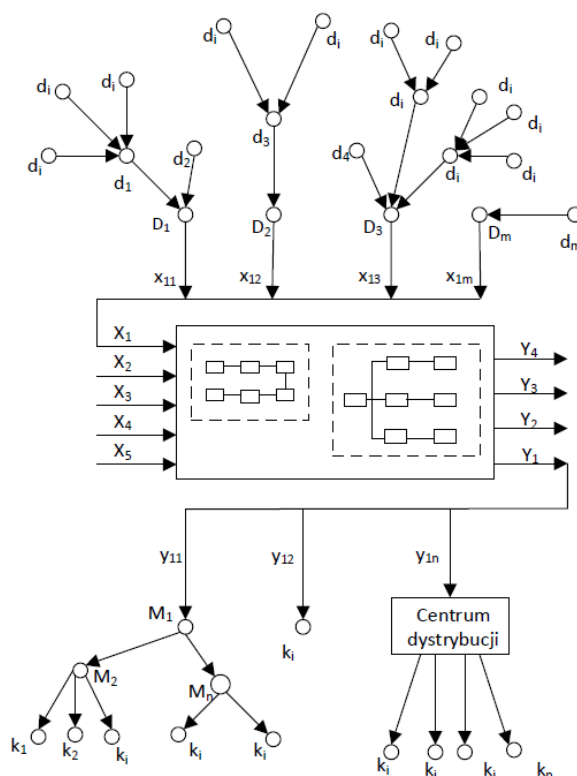


$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_S\}$ ; dla  $n = 1, \dots, S$  – zbiór wielkości zewnętrznych opisujący elementy procesu przetwarzania wektora wejścia w proces wyjścia (operacje technologiczne, transportowe, magazynowe, kontrolne, usługowe); inaczej: elementy procesu produkcyjnego,

$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_o, \dots, Z_U\}$ ; dla  $o = 1, \dots, U$  – zbiór wielkości zewnętrznych opisujący elementy procesu zarządzania (planowanie, organizacja, sterowanie, kontrola),

$R = R_X \times R_Y \times R_T \times R_Z$  - sprzężenia (relacje) materiałowe, informacyjne pomiędzy elementami ( $X, Y, T, Z$ ) systemu SP.

Na rysunku 11 przedstawiono ogólną postać systemu produkcyjnego, z zaznaczeniem przykładowych elementów i powiązań.



Rys. 11. System produkcyjny w łańcuchu dostaw.

Dla tak sformułowanego systemu produkcyjnego autorzy proponują badania przepływów materiałów z wykorzystaniem opisanych dziewięciu praw logistyki. Doświadczenia autorów pozwalają na stwierdzenie, że zadanie wprowadzania poprawy ciągłości przepływu powinny być realizowane w kilku etapach. W etapie pierwszym konieczna jest bardzo dokładna identyfikacja wszystkich procesów związanych z wytwarzaniem oraz z procesami logistycznymi. Po identyfikacji i ustaleniu aktualnych celów poprawy efektywności produkcji powinien nastąpić właściwy wybór metod i narzędzi do realizacji tych celów. Pełne badania przepływów możliwe będą po opracowaniu odpowiednich algorytmów.

## WNIOSKI

Rozwój strategii związanych z łańcuchami dostaw (SC's) i *lean thinking* wymusza wyjście poza własne przedsiębiorstwo. Prowadzi to do systemowego ujmowania problemów związanych z produkcją dóbr. Szeroko pojęte zarządzanie produkcją proponuje aktualnie wiele różnych technik w zakresie poprawy funkcjonowania systemów produkcyjnych. Część z tych metod została wypracowana w ramach Lean Management (Production, Manufacturing). Powszechnie znane są systemy związane z organizacją i sterowaniem przepływów rzeczowych, tj. m. in. Pięć filarów wizualizacji 5S, 7 Muda (marnotrawstwa), SMED (krótkie przebrojenie), 5W+1H (dlaczego i jak),

JiT (dokładnie na czas), Kanban (sterowanie poprzez karty) oraz zintegrowane systemy informatyczne klasy MRP, ERP. Naprzeciw tym wyzwaniom wychodzi także logistyka produkcji. Doskonalenie strumieni wartości poprzez wykorzystywanie metod mapowania VSM i utrzymywanie maszyn w dużej sprawności TPM są coraz częściej stosowanymi technikami w przedsiębiorstwach produkcyjnych. W wielu obszarach bardzo pomocnym narzędziem są prawa logistyki produkcji (PLP) oraz modele krzywych logistycznych LOC (Logistic Operating Curves), w tym POC (Production Operating Curves), TOC (Transport Operating Curves) i SOC (Storage Operating Curves). W nowoczesnych przedsiębiorstwach kompetencje logistyki produkcji i inżynierii produkcji coraz częściej nakładają się na siebie, a obszar tych kompetencji jest coraz większy.

### Streszczenie

*Podstawowy cel logistyki produkcji to, zgodnie z prawami 7W, dostarczenie właściwego produktu, we właściwej ilości i stanie, we właściwe miejsce, we właściwym czasie, właściwemu klientowi, po właściwej cenie. Cele szczegółowe mogą być jednak różne: może to być poprawa ciągłości przepływu (np. Womack, Rother) czy też zwiększenie niezawodności i wielkości dostaw (Nyhuis, Wiendhal). W dążeniu do realizacji tych celów można stosować różne metody i narzędzia. Są to m.in. zintegrowane systemy informatyczne ERP, szeroko pojęty system Lean (np. production, manufacturing) wykorzystujący tzw. lean toolbox. Nyhuis, w celu analizy przepływu i sformalizowania zachodzących zależności, proponuje w swoich pracach wykorzystanie dziewięciu praw logistyki produkcji. Artykuł zawiera krytyczny opis dziewięciu praw logistyki produkcji.*

## Logistics production law in analysis of material flow

### Abstract

*The primary objective of production logistics, in accordance with the laws of 7W, is the supply of the right product, in the right quantity and condition, in the right place, at the right time, to the right customer, at the right price. Specific objectives may, however, be different: they may include improvement of flow continuity (e.g. Womack, Rother) or increased reliability and volume of deliveries (Nyhuis, Wiendhal). In pursuit of these objectives, one can use different methods and tools. These include integrated ERP systems and the widely understood Lean system (e.g. production, manufacturing) utilising the so-called 'lean toolbox'. In his work, Nyhuis, in order to analyse and formalise ongoing flow dependencies, suggests the application of nine laws of production logistics. The article includes a description of these nine critical laws of production logistics.*

### BIBLIOGRAFIA

1. Michłowicz E., *Logistics in production processes*. Journal of Machine Engineering Vol. 13, No. 4, 2013, 5-17.
2. Taylor G. D., *Logistics Engineering Handbook*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton 2008.
3. Womack J.P., Jones D.T., *Lean Thinking - szczuple myślenie*. ProdPress.com, Wrocław 2008.
4. Burton J., „Lean to stan umysłu”, [w] *Logistyka Produkcji*, No.2, s.26-27.
5. Rother M., Harris J.: *Tworzenie ciągłego przepływu*. Lean Enterprise Institut Poland, Wrocław 2007.
6. Nyhuis P., Windhal H.P., *Fundamentals of Production Logistics. Theory, Tools and Applications*. Springer – Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
7. Bicheno J., Hollweg M., *The Lean Toolbox: The essential guide to Lean transformation*. Pictis Books, Johannesburg 2008.
8. Michłowicz E., *New challenges in production logistics*. [in]: Fertsch M. (Eds.) *Innovative and intelligent manufacturing systems*, Publishing House of Poznan University of Technology, Poznan 2010, pp. 7-22.