

Wstęp.....	2
Rozdział I Analiza literatury logistyki produkcji.....	3
1.1 Typowe modele przepływów produkcji.....	3
1.2 Sterowanie przepływami produkcji w różnych typach produkcji.....	6
1.3 Nowoczesne metody sterowania przepływami produkcji.....	11
1.4 Optymalna partia produkcji.....	16
Rozdział II Powiązania transportowe w logistyce produkcji.....	18
2.1 Infrastruktura transportowa.....	18
2.2 Projektowanie transportu wewnętrznego.....	26
2.3 Optymalizacja powiązań transportowych.....	31
Rozdział III Zakłócenia procesu produkcyjnego.....	34
3.1 Istota zakłóceń .....	34
3.2 Klasyfikacja zakłóceń.....	40
3.3 Przebieg procesu produkcyjnego w warunkach występowania zakłóceń.....	44
3.3.1 Miary poziomu rytmiczności.....	45
Rozdział IV Modelowanie systemu produkcji rytmicznej.....	49
Zakończenie.....	64
Spis Tabel.....	65
Spis Rysunków.....	66
Bibliografia.....	67

## **Wstęp**

Problemy związane z efektywnością procesów produkcyjnych nabierają coraz większego znaczenia. Wiadomo bowiem, że bez stałego podnoszenia efektywności wytwarzania nie będzie możliwe zrealizowanie celów gospodarczych, społecznych i politycznych.

Efektywność procesów produkcyjnych zależy od wielu czynników. Ich rozpatrzenie i przeanalizowanie przekracza ramy nierniejszej pracy. Najogólniej można powiedzieć, że efektywność bezpośredniego wytwarzania zależy od sprawnej organizacji procesów produkcyjnych. Niekiedy przyjmuje się, że miarą stopnia zorganizowania, a ściślej jakości sterowania procesami, jest ich rytmiczność. Rytmiczność procesu produkcyjnego jest parametrem wywierającym istotny wpływ na stopień wykorzystania środków produkcji i siły roboczej, wydajność pracy, rotację środków obrotowych oraz jakość produkcji.

## Rozdział I Analiza literatury logistyki produkcji

### 1.1 Typowe modele przepływów produkcji

Od kilku dziesiątków lat zasadniczym przeobrażeniami ulegają koncepcje (a w ślad za tym zastosowania) zarządzaniem przepływem strumieni rzeczowych (surowców, materiałów, półfabrykatów itp.) przez przedsiębiorstwo przemysłowe. Ostatnią obserwowaną w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, fazą tej ewolucji jest tzw. zarządzanie kanałowe (channel management), zwane także łańcuchem dostaw<sup>1</sup>.

Stopień wykorzystania zintegrowanego, logistycznego podejścia do zarządzania wspomnianym przepływem jest jednak uwarunkowany rodzajem wykonywanej produkcji. Konkretnie rozwiązania są bowiem determinowane przez stosowane technologie i organizację procesu wytwórczego, co ma istotny wpływ na możliwość użycia nowoczesnych narzędzi logistycznych.

Z punktu widzenia procesów logistycznych produkcji i stopnia złożoności sterowania nimi można wyróżnić następujące procesy produkcyjne:

- aparaturowe,
- obróbczo-montażowe.

Typowym przykładem pierwszych jest przemysł chemiczny, a drugich zaś przemysł maszynowy<sup>2</sup>.

Procesy aparaturowe są niekiedy nazywane procesami różniącymi (dywersyfikującymi) asortyment produktów, gdyż z niewielkiej liczby surowców w kolejnych stadiach produkcji wytwarza się, przy wykorzystaniu technologii chemicznej, liczne wyroby w asortymencie dostosowanym do popytu odbiorców. W procesach tych „po wejściu” surowców do pierwszej fazy produkcyjnej praktycznie nie można mieć wpływu na kształtowanie dalszych przepływów rzeczowych, gdyż są one poddane stosowanej technologii. Można zatem

---

<sup>1</sup> Zob. P. W. Bolt, zarządzanie przepływem produktów „Problemy magazynowania i transportu” 1992, zeszyt specjalny

<sup>2</sup> Coyle J. J., Bardi E. J., Langrey Jr. J. C.: Zarządzanie Logistyczne. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2002, s. 52.

powiedzieć, że logistyką produkcyjnych procesów aparaturowych steruje technologia. Płyne z tego wnioszek, że o racjonalności przepływów strumieni rzeczowych decydują rozwiązania podjęte na etapie projektowania przedsiębiorstwa i zatwierdzania odpowiedniej technologii produkcji. W procesach aparaturowych intensywność strumieni przepływu materiałów jest zatem determinowana technologicznymi parametrami produkcji.

Procesy aparaturowe trudno byłoby zaliczyć do procesów logistycznych. To oczywiście nie zmienia faktu, że dopływ surowców i odpływ produktów – jako elementy procesów logistycznych, są ściśle powiązane i determinowane procesami technologicznymi. Występuje jednak i inne sprzężenie. Zapotrzebowanie na konkretne produkty, czyli skala i struktura „wyjścia”, wyznacza intensywność strumieni „na wejściu”, a także ma wpływ na odpowiednie dostosowanie (w granicach technologicznie dopuszczalnych) procesów technologicznych<sup>3</sup>.

Procesy obróbczo-montażowe są określane mianem scalających (syntezujących) asortyment produktów, ponieważ z wielu materiałów (kilka a nawet kilkanaście tysięcy pozycji) wytwarza się ograniczony rodzajowo zestaw produktów finalnych. W tego typu procesach dominuje technologia mechaniczna (kucie, tłoczenie, obróbka wiórowa, spawanie, montaż itp.). W przemysłach obróbczo-montażowych, zwłaszcza o masowym lub seryjnym (a zwłaszcza wielkoseryjnym) typie produkcji, oprócz licznych strumieni przepływów istnieją różne rodzaje zapasów produkcji w toku (międzykomórkowe i wewnątrzkomórkowe), czemu rzecz jasna towarzyszy mnogość informacji. Wszystko to sprawia, że decyzja, sterująca takimi przepływami produkcji (Prosta w odniesieniu do każdego izolowanego przypadku), z uwagi na swoiste „przekleństwo wymiaru” ulega olbrzymiemu skomplikowaniu. Z tego też względu dalsze rozważania na temat logistyki procesów produkcji warto skoncentrować na przypadkach dotyczących procesów obróbczo-montażowych.

---

<sup>3</sup> Bernard Rzezyński: Logistyka Miejska. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, wrzesień, 2007, s. 18, 34

Najczęściej spotykanymi rozwiązaniami organizacji przepływów produkcji o tym charakterze są:

- linie potokowe stałe zsynchronizowane
- linie potokowe stałe niesynchronizowane,
- linie potokowe zmienne,
- gniazda przedmiotowe o produkcji powtarzalnej,
- gniazda o produkcji niepowtarzalnej.

Linie potokową stałą zsynchronizowaną tworzy grupa stanowisk (gniazd), na których jest wytwarzany jeden rodzaj wyrobu, przy czym każde z nich służy do wykonania jednej operacji o czasie trwania równym w przybliżeniu taktowi produkcji<sup>4</sup>.

Linia potokowa stała niesynchronizowana różni się, zgodnie z nazwą od poprzedniej linii brakiem synchronizacji pracy stanowisk. Wynika to z nieopłacalności bądź niemożliwości takiej organizacji przepływu produkcji.

Gdy na jednej linii można odebrać, po uprzednim jej przebrojeniu, różne przedmioty, wówczas mamy do czynienia z linią potokową zmienną. Praca na takiej linii obejmuje partię produkcyjną, po wykonaniu której następuje przebrojenie linii<sup>5</sup>.

W gniazdach przedmiotowych o produkcji powtarzalnej praca przebiega według wzorcowych harmonogramów obciążeń stanowisk o powtarzalnej i ustabilizowanej produkcji<sup>6</sup>.

Gniazda o produkcji niepowtarzalnej dominują w organizacji procesu produkcji nie potokowej. To rozwiązanie organizacyjne, wobec dużej zmienności wykonywanych prac i niewystępowania stałych przydziałów poszczególnych operacji do konkretnych stanowisk roboczych, cechuje brak ściślejszych powiązań między stanowiskami. W takich warunkach wzrasta rola i znaczenie

---

<sup>4</sup> Takt produkcji jest to odstęp czasu (liczony w minutach, godzinach, dniach itd.), w którym „splywają” z linii dwa kolejne takie same wyroby.

<sup>5</sup> Marek Fertsch: Logistyka produkcji. Miejsce logistyki we współczesnym zarządzaniu produkcją. W: Marek Fertsch (red.): Logistyka Produkcji. Poznań: ILiM, 2003, s. 6, 14-17, seria: Biblioteka Logistyka

<sup>6</sup> Czesław Skowronek, Zdzisław Sarjusz-Wolski: Logistyka w przedsiębiorstwie. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 2003, s. 23-31

wewnątrzkomórkowego sterowania przepływem produkcji. Oprócz planowania robót, rejestrowania spływu produkcji itp., istotnym nowym zadaniem odpowiednich służb, zwanych potocznie rozdzielnią, jest operatywne rozdzielanie robót na poszczególne stanowiska<sup>7</sup>.

## **1.2 Sterowanie przepływami produkcji w różnych typach produkcji**

Podobnie jak w procesach logistycznych innych faz działalności przedsiębiorstwa, tak i w logistyce produkcji występują procesy rzeczowe (materialne) oraz procesy informacyjne.

Procesy rzeczowe obejmują przede wszystkim transport wewnętrzny surowców, materiałów, półfabrykatów itp., czynności manipulacyjne i tworzenie zapasów produkcji w toku. Natomiast w procesach informacyjnych do najważniejszych należą planowanie, sterowanie i regulowanie przepływów produkcji.

Punktem newralgicznym sterowania przepływami produkcji są rzutujące na ich płynny przebieg zapasy produkcji w toku. Generalną zasadą postępowania jest tutaj minimalizacja wielkości tych zapasów<sup>8</sup>, przyczyniająca się do zmniejszenia zamrożonego kapitału obrotowego i zapotrzebowania na powierzchnię składową.

Podział zapasów produkcji w toku został przedstawiony na rysunku 1.

Zapasy międzykomórkowe<sup>9</sup> z reguły przechowywane w magazynach, służą wyrównaniu różnic w zapotrzebowaniu, wynikających ze zmieniającej się intensywności pracy w poszczególnych komórkach i obejmują zapasy cykliczne zwane również technologicznymi i poza cykliczne, utrzymywane na wypadek wystąpienia nieprzewidzianych zakłóceń.

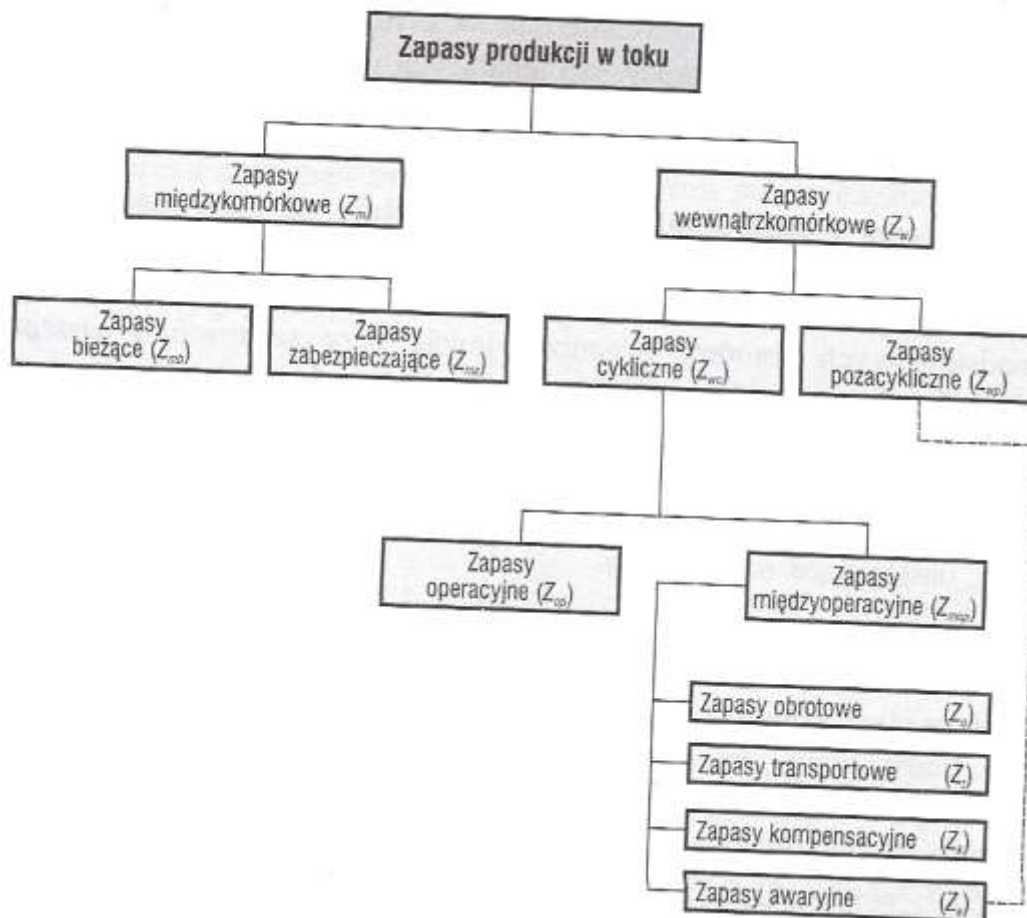
---

<sup>7</sup> Piotr Blaik: Logistyka. Warszawa: PWE, 2001, s. 57-59

<sup>8</sup> Nowoczesny kierunek w tej dziedzinie wyznacza system Just in Time, znany też pod japońską nazwą kanban (aczkolwiek zakres tego jest nieco węższy).

<sup>9</sup> W literaturze dotyczącej organizacji przepływów produkcyjnych częściej spotyka się określenie: zapasy międzywydziałowe

Rysunek 1 Podział zapasów produkcji w toku



Źródło: K. J. Wróblewski, Podstawy sterowania przepływem produkcji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993, s. 101

Z kolei zapasy wewnątrzkomórkowe obejmują zapasy cykliczne, zwane również technologicznymi i poza cykliczne, utrzymywane na wypadek wystąpienia nieprzewidzianych zakłóceń.

Na zapasy cykliczne składają się zapasy operacyjne, czyli wyroby obrabiane na danym stanowisku i zapasy międzyoperacyjne. Te ostatnie mogą obejmować<sup>10</sup>:

- zapasy obrotowe, utrzymywane w celu synchronizacji czasów wykonania kolejnych operacji,

<sup>10</sup> Maciej Szymczak: Logistyka miejska. W: Elżbieta Golemska (red.): Kompendium wiedzy o logistyce. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006, s. 297-321

- zapasy transportowe, czyli wyroby pozostające w transporcie bądź oczekujące na transport
- zapasy kompensacyjne tworzone w celu wyrównania sporadycznych różnic w wydajnościach pracy, odbiegających od wydajności normowanych,
- zapasy awaryjne, gromadzone w przypadku dużej awaryjności danego stanowiska pracy.

W sterowaniu przepływami produkcji<sup>11</sup> rozróżnia się sterowanie wewnątrz i międzykomórkowe.

W sterowaniu wewnątrzkomórkowym chodzi o ustalanie i kontrolę wykonania zadań podstawowych komórek organizacyjnych, przy zachowaniu następującej hierarchii ważności: jakość produkcji, terminowość zakończenia prac, skracanie cykli produkcyjnych, minimalizacja tzw. czasów przygotowawczo-zakończeniowych.

W sterowaniu przepływami produkcji stosuje się, w zależności od modelu przepływu, następujące rozwiązania<sup>12</sup>:

- Linie potokowe stałe zsynchronizowane – Plan robót dla każdego stanowiska w linii, w ustalonym okresie (np. tygodniu), wynika z planu komórki nadrzędnej, a plany zmianowe – z okresowego planu linii. Podstawową przesłanką dla ustalenia planów jest wydajność linii, określana taktem produkcji jednej sztuki wyrobu bądź partii transportowej (iloczyn taktu produkcji jednej sztuki i liczby sztuk w partii transportowej).
- Linie potokowe stałe niesynchronizowane – Podstawowym rozwiązaniem planistycznym jest harmonogram pracy linii, uwzględniający tzw. okres powtarzalności (cykl w jakim powtarza się identyczny przebieg wykonywania robót). Wobec różnych czasów trwania poszczególnych operacji jednostkowych między

---

<sup>11</sup> W prezentowaniu metod oparto się na pracy: K. J. Wróblewski, Podstawy sterowania..., jw.

<sup>12</sup> Ibidem



stanowiskami powstają zapasy obrotowe, do których obliczenia stosuje się okres powtarzalności, a następnie sporządza harmonogram pracy linii. Niekiedy są także tworzone zapasy kompensacyjne i transportowe.

- Linie potokowe zmienne – W sterowaniu przepływami produkcji w takim rozwiązaniu organizacyjnym podstawowym narzędziem jest wzorcowy harmonogram pracy linii, z którego wynikają wymagające przestrzegania terminy rozpoczęcia i zakończenia produkcji poszczególnych partii wyrobów. Jedną z podstawowych informacji, z której się korzysta przy opracowywaniu wspomnianego harmonogramu, jest okres powtarzalności (zwany też taktem przebrojenia linii, rytmem linii lub taktem partii), tj. okres między rozpoczęciem obróbki dwóch kolejnych partii tego samego wyrobu.
- Gniazdo przedmiotowe o produkcji powtarzalnej – podstawowym narzędziem sterowania jest wzorcowy harmonogram obciążenia stanowisk, opracowany dla dłuższego okresu (np. roku).
- Gniazda o produkcji niepowtarzalnej, dominujące w produkcji jednostkowej bądź małoseryjnej. Wobec braku powiązań między poszczególnymi stanowiskami (duża zmienność wykonywanych robót) szczególnego znaczenia nabierają ewidencja i ewentualna korekta przepływu produkcji. Do planowania tego typu produkcji stosuje się wiele różnych metod (np. planowanie sieciowe)<sup>13</sup>.

Rozwój współczesnych konstrukcji i technologii produkcji, a także środków technicznych i systemów przetwarzania informacji towarzyszy stale rozszerzająca się liczba metod międzykomórkowego sterowania przepływem produkcji. Do najważniejszych tego rodzaju metod należy zaliczyć sterowanie według:

- taktu produkcji,

---

<sup>13</sup> Krzysztof Ficoń: Logistyka ekonomiczna : procesy logistyczne. Warszawa: BEL Studio, 2008, s. 92

- okresu powtarzalności produkcji,
- programu i zapasów,
- poziomów minimum-maksimum zapasów,
- poziomu zapasu krytycznego,
- wyprzedzeni.

Metoda taktu produkcji wykorzystuje obok samej wielkości taktu, wydajność jednostkową linii. Normy wydajności pozwalają ustalić niezbędny czas do wykonania danej partii bądź liczbę elementów możliwych do wykonania w rozpatrywanym okresie (np. w czasie jednej zmiany)<sup>14</sup>.

Podstawowym narzędziem sterowania według okresu powtarzalności produkcji jest harmonogram przebiegu produkcji, wymagający dokładnego przestrzegania. Wynikają z niego m. in rodzaje i kolejność operacji do wykonania na poszczególnych stanowiskach oraz cykle i terminy wykonania określonych partii.

Sterowanie według programów i zapasów jest stosowane zazwyczaj w sytuacji braku możliwości zsynchronizowania pracy dwóch komórek, co pociąga za sobą potrzebę utworzenia magazynu międzykomórkowego. Na podstawie planu końcowego montażu ustala się dla poszczególnych komórek tzw. plany splotu produkcji, uwzględniające również normy zapasów wewnątrzkomórkowych. W omawianej metodzie wymagają ustalenia także normy zapasów międzykomórkowych<sup>15</sup>.

Stosując metodę poziomów minimum-maksimum zapasów, ustala się normę zapasu minimum, stanowiącą rezerwę na wypadek opóźnienia dostawy z poprzedniej komórki. Drugą normę (maksimum) stanowi wielkość zużycia między kolejnymi dostawami, powiększona o normę zapasu minimum.

O ile metoda minimum-maksimum jest szczególnie przydatna w sytuacji regularnego kształtowania się zużycia, a więc w sytuacji na ogół stałych przedziałów dostaw, o tyle metoda pozioma zapasu krytycznego nadaje się

---

<sup>14</sup> Dembińska – Cyran I., Jedliński M., Milewska B., Logistyka wybrane zagadnienia do studiowania przedmiotu, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2001, s. 128

<sup>15</sup> Jeszka A., M., Sektor usług logistycznych w teorii i praktyce, Difin, Warszawa 2009, s. 54-55

zwłaszcza wtedy, kiedy potrzeby pojawiają się sporadycznie (nieregularnie). Zapas krytyczny jest niezbędnym do sprowadzenia nowej partii (o stałej wielkości, wynikającej np. z optymalnej partii produkcyjnej). Obniżenie się poziomu zapasu do poziomu krytycznego jest zatem sygnałem do niezwłocznego wywołania dostawy z poprzedniej komórki.

Metoda wyprzedzeni stosowana głównie do produkcji jednostkowej o długim cyklu produkcyjnym, jest oparta na cyklogramach, umożliwiających sterowanie przepływem produkcji. Cyklogramy te (np. w formie wykresów Gantta bądź sieci zależności) określają wielkości i terminy potrzeb materiałowych w odniesieniu do konkretnego wyrobu, komórki, operacji technologicznej itp<sup>16</sup>.

### **1.3 Nowoczesne metody sterowania przepływami produkcji**

Postępujący wzrost roli konsumenta (ryнку) w procesach wytwórczych powoduje zmianę obowiązującej w nich dotychczas zasady: „wytwórz produkt i poszukaj jego nabywcy” na zasadę „znajdź nabywcę i wytwarzaj według jego życzeń”<sup>17</sup>.

Jednym z nowoczesnych kierunków usprawniania procesów logistycznych jest system Just in Time, czyli dokładnie na czas (E. A. Silver i R. Peterson<sup>18</sup> nazywają system JIT systemem JITM, czyli Just in Time Manufacturing, dla podkreślenia, że dotyczy procesów wytwarzania). Węższą wersją systemu JIT, dotyczącą głównie przepływu produkcji w przedsiębiorstwie przemysłowym, jest japoński system kanban (w języku japońskim: karta, naklejka), wprowadzony do praktyki gospodarczej przez koncern Toyota.

Celem tych systemów było eliminowanie strat powstających na skutek okresowej nadprodukcji, oczekiwania, opóźnień transportowych, braków produkcyjnych, długotrwałego magazynowania itp. Konsekwencją tych strat jest

---

<sup>16</sup> Kawa A., „Informatyka integralną częścią logistyki”, „Raport Informatyka”, w „Eurologistics” 2002, nr 4

<sup>17</sup> R. Jansen, M. Hertlein, Kurs 2000. Logistyka lat dziewięćdziesiątych – wymogi i rozwiązania „Problemy Magazynowania i Transportu” 1992, zeszyt specjalny.

<sup>18</sup> E. A. Silver, R. Peterson, Podstawy sterowania..., j.w.

bowiem nadmierne zamrożenie kapitału i zwolnienie szybkości jego ruchu okrężnego.

Syntetyczne rezultaty stosowania systemu kanban w niektórych branżach przemysłu japońskiego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki stosowania systemu kanban w niektórych branżach przemysłu japońskiego

Wyszczególnienie	Części Samochodowe	Elementy Elektryczne	Wyroby Elektroniczne	Motocykle
Okres działania systemu Kanban (lata)	3	3	4	2
Poziom zapasów Produkcji w toku (poziom Wyjściowy=100)	45	16	30	20
Czas produkcji (poziom Wyjściowy=100)	40	20	25	50
Przyrost wydajności Pracy (w %)	50	80	60	50

Źródło: E. A. Silver, R. Peterson, sterowania..., s. 35

Podstawowymi założeniami systemu kanban są zwłaszcza:

- Konieczność dotrzymywania wysokiej jakości produkowanych części, podzespołów i zespołów,
- maksymalne skracanie czasów przygotowawczo-zakończeniowych (np. w celu przebrojenia linii),
- minimalizacja liczebności partii produkcyjnych (obowiązują ustalone normatywy)<sup>19</sup>.

W omawianym systemie, opartym na zasadzie „ssania”, korzysta się z dwóch rodzajów kart kanban.

<sup>19</sup> Mikiharu Aoki: Jak działa fabryka Toyoty, Shinsei Consulting Sp. z o.o. Sp.k., Poznań 2013

- kart przepływu (ruchu, transportu) – są one sygnałem do przemieszczenia jednego pojemnika z gniazda nadania (wytworzenia) do gniazda odbioru (wykorzystania), jedna karta odpowiada standardowej liczbie części (podzespołów, zespołów) określonej dla danego pojemnika i dwóch współpracujących ze sobą gniazd,
- kart produkcji – sygnalizują one konieczność niezwłocznego wytworzenia części (podzespołów, zespołów) w ustalonej ilości.

Wzory kart produkcji i przepływu (transportu przedstawiono w tabeli 2

Z kolei schemat cyrkulacji kart kanban został uwidoczniony na rysunku 2.

System JIT nie powinien być traktowany jako system regulujący przepływ produkcji. Wielu zachodnich autorów<sup>20</sup> podkreśla, że w gruncie rzeczy jest to nowa „filozofia” podejścia do problemów logistycznych. Podstawą tej „filozofii zdrowego rozsądku” są dwie nieodłączne przesłanki.

Tabela 2 Karty produkcji i przepływu

Karta produkcji

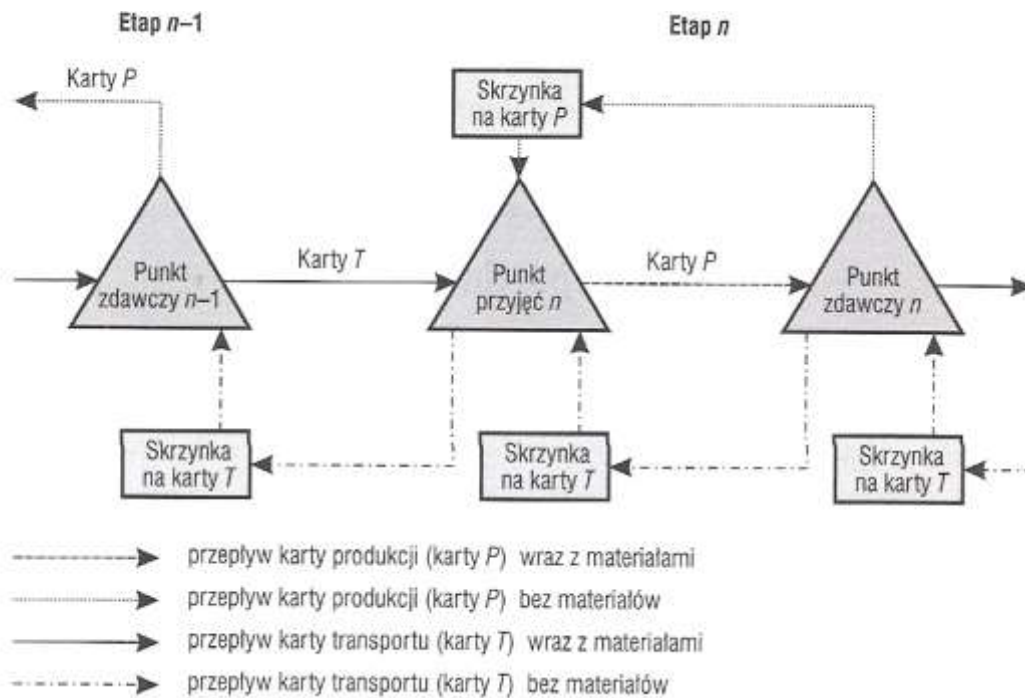
Miejsce pobrania	Miejsce zdania	Etap produkcji
Nazwa materiału		
Numer materiału		
Wyrób gotowy		
Karta przepływu		
Miejsce pobrania	Miejsce zdania	Etap poprzedzający
Nazwa materiału		Etap następujący
Numer materiału		

<sup>20</sup> Na przykład A. Dear, Working Towards Just In Time, Kogan Page Ltd, London, 1988

Wyrób gotowy		
Pojemność pojemnika	Rodzaj	Liczba pojemników

Źródło: J. Witkowski, Wdrażanie i efekty techniki kanban w małej firmie produkcyjnej, „Gospodarka Materiałowa & Logistyka” 1998, nr. 1, s. 7

Rysunek 2 Schemat cyrkulacji kart kanban



Źródło: J. Witkowski, Wdrażanie i efekty..., jw., s. 7

Pierwszą przesłanką jest nawyk doskonalenia. Oznacza on, że należy aktywnie i konsekwentnie doskonalić wszelkie działania. Mimo, że hasło takie jest powszechnie znane i wydaje się banalne, to w systemie JIT akcent jest położony nie na „musimy”, lecz na „doskonalić”<sup>21</sup>.

Drugą przesłanką jest eliminacja marnotrawnych praktyk. I to stwierdzenie wydaje się oczywiste i szeroko stosowane. Wszak od lat przedsiębiorstwa usiłują np. obniżyć koszty produkcji, często jednak z bardzo miernymi rezultatami. W wielu przypadkach jest to związane ze skoncentrowaniem się na działaniach mających na celu eliminację kosztów, a nie eliminację marnotrawnych praktyk.

<sup>21</sup> Zarządzanie logistyką, Alan Harrison Remko van Hoek, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2009

Dotychczasowe doświadczenia zachodnich przedsiębiorstw we wdrażaniu JIT wskazują, że pierwszym krokiem była najczęściej próba wywarcia nacisku na dostawców zewnętrznych, wyrażająca się apelem typu: „przystopujemy do wdrażania JIT i potrzebujemy waszej pomocy”. Zazwyczaj na tym apelu nie tylko się zaczynało wdrażanie, lecz także kończyło. Tymczasem ofensywę należy prowadzić na wszystkich „frontach”, od własnego przedsiębiorstwa poczynając.

Bardzo dobrym pomysłem, jak dowodzi praktyka krajów zachodnich jest rozpoczęcie wdrażania JIT od pilotowej próby. Jest to zadanie oczywiście łatwiejsze do wykonania, a ponadto, w przypadku osiągnięcia (co bardzo prawdopodobne), pozytywnych wyników, ma niesłychanie doniosły, oprócz doświadczenia walor psychologiczny. Stanowi bowiem nie tylko dowód, że wdrażanie JIT ma sens, lecz także motywację dla pozostałych<sup>22</sup>.

Wdrożenie systemu JIT wymaga wielu przedsięwzięć organizacyjno-technicznych, wśród których w pierwszej kolejności należy wymienić:

- jasne określenie celu dla wybranego odcinka działalności, gdzie będzie wdrażany JIT,
- ustalenie i wyodrębnienie niezbędnej bazy normatywnej, do której należy zaliczyć: wykazy włączonych do systemu JIT dostawców i komórek przedsiębiorstwa, listy materiałów, części półfabrykatów itp., schematy zewnętrznych i wewnętrznych tras logistycznych, oceny dotychczasowych opóźnień, niezbędne elementy kosztów itd.
- zintegrowanie czynności prognostycznych, planistycznych, sterujących i regulacyjnych, zapewniające ściśle powiązanie popytu odbiorców, logistycznych procesów produkcji i zaopatrzenia<sup>23</sup>

Jak wykazują doświadczenia krajów gospodarczo rozwiniętych, zwłaszcza Japonii, najistotniejsze czynniki powodzenia we wdrażaniu systemu JIT znajdują się jednak w sferze psychologicznej. Silny nacisk położono powiem na zmianę

---

<sup>22</sup> Ibidem

<sup>23</sup> Artur Świerczek, Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw, „Logistyka” nr 1/2007, s. 74-77

sposobu myślenia pracowników i ich motywowanie (nie tylko finansowe) do „nałogowego” ujawniania i eliminowania marnotrawnych praktyk oraz nieustannego doskonalenia działalności całego przedsiębiorstwa, a także jego poszczególnych komórek organizacyjnych, faz działalności itp.

#### 1.4 Optymalna partia produkcji

Optymalna partia zakupu, zakłada jednorazową realizację dostawy. Chcąc zastosować takie podejście (minimalizujące koszty tworzenia i utrzymania zapasu) do dostawy z własnej produkcji, tj. dokonywanej sukcesywnie do magazynu zbytu, to wzór na optymalną partię zakupu ulegnie drobnej modyfikacji. W takiej sytuacji zapasy będą się bowiem kształtować na niższym poziomie niż przy dostawach zewnętrznych (jednorazowych). Zilustrowano to na rysunku 3.

Oznaczamy średni zapas przez  $Z$ , intensywność popytu przez  $Y$ , a maksymalnie możliwą intensywność produkcji przez  $X$ .

Widać więc

$$\bar{Z} = \frac{Q}{2} \left( 1 - \frac{Y}{X} \right),$$

$$LKZ = \frac{Q}{2} \left( 1 - \frac{Y}{X} \right) K_u + \frac{P}{Q} K_r.$$

Z kolei optymalna partia produkcji jest ustalana na podstawie wzoru:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2PK_r}{K_u \left( 1 - \frac{Y}{X} \right)}}$$

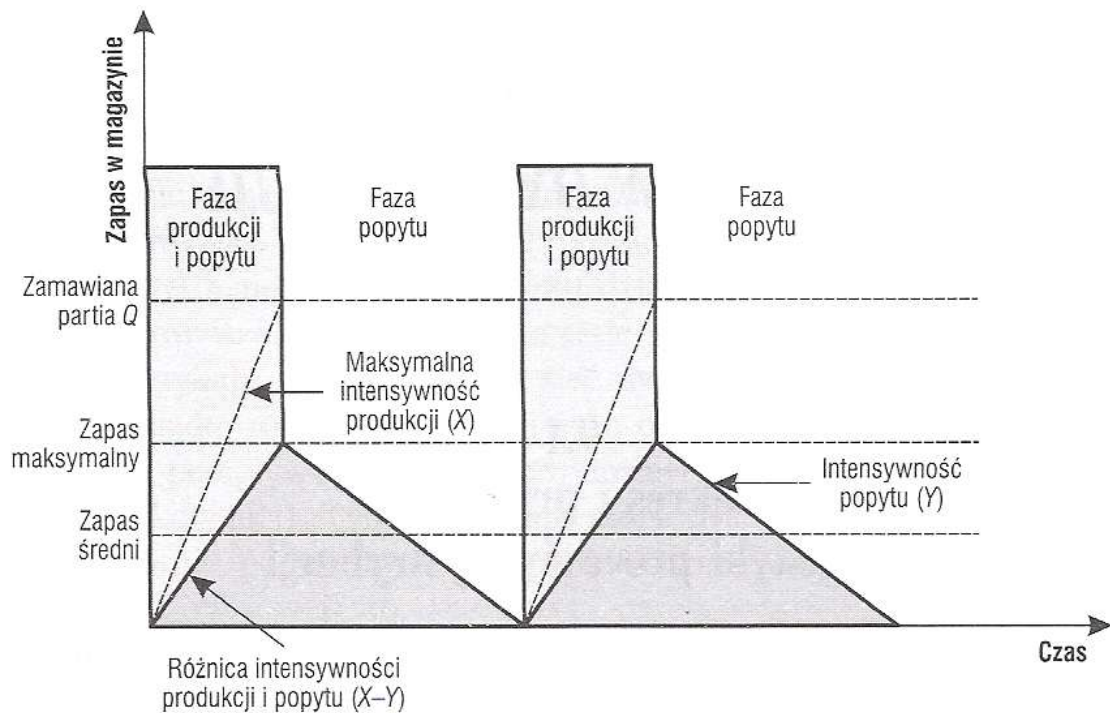
który można przekształcić następująco

$$Q_{opt} = Q_{opt} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{Y}{X}}}$$

Jak widać, w celu obliczenia optymalnej partii produkcji ( $Q_{opt}$ ) należy „normalną” optymalną partię zakupu pomnożyć przez czynnik korygujący  $\sqrt{\frac{1}{1 - \frac{Y}{X}}}$



Rysunek 3 Kształtowanie się zapasów zasilanych z własnej



Źródło: Z. Sarjusz-Wolski, Strategia zarządzania zaopatrzeniem, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998, s. 126

Podzespół nabywany dotychczas od dostawcy zewnętrznego w optymalnych partiach  $Q_{opt} = 270$  szt. postanowiono produkować we własnym przedsiębiorstwie. Roczna zdolność produkcyjna  $X = 3600$  szt., a potrzeby  $Y = 2400$  szt. Optymalna partia produkcji będzie więc następująca

$$Q_{opt} = Q_{opt} \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{Y}{X}}} = 270 \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{2400}{3600}}} \approx 473 \text{ szt.}$$

Oczywiście powinna zachodzić nierówność  $Y < X$ , gdyż w przeciwnym razie (potrzeby większe od możliwej podaży) narastałyby zaległości w dalszych fazach montażu<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Z. Sarjusz-Wolski, Strategia zarządzania zaopatrzeniem, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998, s. 127

## **Rozdział II Powiązania transportowe w logistyce produkcji**

### **2.1 Infrastruktura transportowa**

Transport jako zespół czynności polegających na przemieszczaniu m.in. dóbr materialnych w czasie i przestrzeni przy użyciu odpowiednich środków technicznych jest niewątpliwie składnikiem infrastruktury technicznej logistyki. To oczywiście nie oznacza, że zaliczenie transportu, zwłaszcza jego środków technicznych, do infrastruktury logistycznej pozbawia tę sferę działania samodzielności technicznej, organizacyjnej i ekonomicznej. Są to zupełnie inne sprawy. Systemowe rozumienie procesów logistycznych zakłada kompleksowe ich rozpatrywanie, co nie eliminuje samodzielnych, specyficznych warunków funkcjonowania sfery transportu<sup>25</sup>.

Infrastrukturę transportową jako składnik procesów logistycznych rozpatruje się tylko ze specyficznych punktów widzenia, jakie niesie logistyka. Chodzi tu zwłaszcza o dwa podstawowe aspekty, sprawność przepływu dóbr materialnych w sferze transportu oraz minimalizację kosztów tego przepływu.

Sprawność przepływu to dostarczenie produktu we właściwym czasie, do odpowiedniego miejsca, zgodnie z dyspozycjami dysponenta, tj. dostawcy lub odbiorcy. Oznacza to, że usługa transportowa jest podporządkowana decyzjom podejmowanym zwykle przez inny podmiot niż podmiot transportowy. W tym rozumieniu transport pełni funkcję usługową w stosunku do pozostałych uczestników procesu logistycznego.

Sprawność procesów transportowych to we współczesnej gospodarce podstawowy wymóg efektywnościowy. Celem nowych koncepcji logistycznych, takich jak Just in Time, kanban i innych jest w istocie zapewnienie wysokiej sprawności oraz niezawodności dostaw, co z kolei zależy od funkcjonowania transportu.

Minimalizacja kosztów transportu zależy przede wszystkim od wyboru ekonomicznego rodzaju transportu, konkretnych środków transportu,

---

<sup>25</sup> Włodzimierz Rydzkowski (red.), Krystyna Wojewódzka-Król (red.), aut: Henryk Babis [et al.]: Transport. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008, s. 85

optymalizacji tras i czasu transportu. Koszty transportu, zwłaszcza zewnętrznego, stanowią istotny składnik kosztów procesów logistycznych. Badania wskazują, że często koszty te (zwłaszcza przy ładunkach masowych) mogą stanowić nawet 50% całości kosztów logistycznych<sup>26</sup>.

Oczywiście badanie ekonomicznych problemów transportu należy do szczegółowych, samodzielnych dyscyplin wiedzy ekonomicznej. Natomiast zakres zainteresowań logistyki jest ograniczony do tych problemów, które są związane z przepływem dóbr materialnych. W tej sprawie są oczywiście i inne poglądy. Całą sferę transportu dóbr materialnych traktuje się jako składnik logistyki globalnej, która powstaje i zwiększa zakres działania w wyniku globalizacji gospodarki poszczególnych krajów i regionów ekonomicznych (np. Unia Europejska).

Koncepcja logistyki globalnej opiera się na uwzględnianiu następujących tendencji, jakie są widoczne w gospodarce europejskiej i światowej<sup>27</sup>:

- rosnącej liczby powiązań produkcyjnych w układach regionalnych i międzykontynentalnych,
- wzrastającej specjalizacji produkcji i związanego z tym ograniczenia rozpiętości procesów wytwórczych (zmniejszenia stopnia dywersyfikacji asortymentu produkcji),
- skracania czasu realizacji zadań oraz zwiększenia elastyczności procesów produkcyjnych,
- rozszerzenia zastosowania strategii zarządzania przepływem strumieni dostaw, mających na celu minimalizację zapasów (metody Just in time i inne),
- pozyskiwania surowców, półfabrykatów, części i podzespołów na rynku światowym.

Wymienione tendencje zwiększają znaczenie rynku usług transportowych, działającego wspomagająco na rzecz sfery produkcji i handlu.

---

<sup>26</sup> W takim rozumieniu, jakie zostało przedstawione tj. koszty przepływu fizycznego zapasów, a także procesów informacyjnych.

<sup>27</sup> H. Krampe, Logistyka globalna, Konig 1995, s. 23

W koncepcji logistyki globalnej chodzi więc o wykorzystanie usług transportowych jako elementu globalnej optymalizacji przepływu dóbr materialnych, mającej na celu zwiększenie sprawności oraz ekonomicznej efektywności produkcji i obrotu. W takim rozumieniu infrastruktura transportowa staje się składnikiem infrastruktury logistycznej i równocześnie może być traktowana jako część procesów logistycznych, zachowując swą odrębność i specyficzne warunki funkcjonowania, wykraczające poza zainteresowanie logistyki<sup>28</sup>.

Infrastrukturę transportową procesów logistycznych tworzy pięć podstawowych gałęzi transportu:

- transport kolejowy,
- transport samochodowy,
- transport rurociągowy,
- żegluga śródlądowa i morska,
- transport lotniczy.

W ujęciu krajowym w przewozie ładunków zasadnicze znaczenie mają trzy pierwsze gałęzie transportu. Przypada na nie podstawowa część przewozu ładunków towarowych w ujęciu tonażowym i w wielkości wykonanej pracy przewozowej. Żegluga morska jest wykorzystywana przede wszystkim do obsługi transportowej handlu zagranicznego, a ostatnio także do przewozów między portami obcymi. W przewozach ładunków towarowych transport lotniczy odgrywa z natury rzeczy, rolę marginalną, zwłaszcza w Polsce, co wynika zarówno z rachunku kosztów przewozu, jak i z braku własnych samolotów transportowych. Dalsze rozważania zostaną ograniczone do transportu kolejowego, samochodowego i rurociągowego.

W ostatnich latach w strukturze transportu zaszły istotne zmiany. Został zapoczątkowany proces restrukturyzacji, ale stopień jego zaawansowania jest zróżnicowany w poszczególnych gałęziach transportu.

---

<sup>28</sup> Jacek Żak: Transport. W: Danuta Kisperska-Moroń, Stanisław Krzyżaniak (red.): Logistyka. Poznań: ILiM, 2009, s. 142-144

Zmiany w strukturze transportu można mierzyć wieloma miernikami. Z punktu widzenia procesów logistycznych istotne są zwłaszcza dwa podstawowe mierniki.

- Masa przewiezionych ładunków w tonach,
- Praca przewozowa w tonokilometrach<sup>29</sup>.

Jeżeli pominąć żeglugę morską i żeglugę śródlądową, to zostają trzy najważniejsze gałęzie transportu, na które przypada podstawowa część przewozów tj. transport kolejowy, samochodowy i rurociągowy. Zestawienie dla lat 1985-2009, po wyłączeniu danych dotyczących żeglugi morskiej i żeglugi śródlądowej przedstawiono w tabelach 3 oraz 4. Dane z tych tabel pozwalają stwierdzić, że w ostatnich latach wzrosła rola transportu samochodowego. Udział tego transportu, liczony w tonach, wynosił w 2009 r. 84% całości przewozów, a w tonokilometrach udział ten w latach 1990-2009 wzrósł do przeszło 74%, zmalał zaś udział transportu kolejowego z 60,6% w 1990 r. do 16,8% w 2009 r.

Tabela 3 Struktura gałęziowa ładunków w transporcie krajowym w latach 1985-2009 (bez żeglugi morskiej i śródlądowej)

Lata	Transport						
	Ogółem (w mln t)	Kolejowy		samochodowy		rurociągowy	
		W mln t	W %	W mln t	W %	W mln t	W %
1	2	3	4	5	6	7	8
1985	1 852	419	22,6	1394	75,3	39	2,1
1990	1 608	282	17,5	1 293	80,4	33	2,1
1995	1 345	225	16,7	1 087	80,8	33	2,5
1996	1 351	224	16,6	1 092	80,8	35	2,6
1997	1 372	227	16,5	1 111	81,0	34	2,5
1998	1 325	206	15,6	1 078	81,3	41	3,1
1999	1 297	187	14,4	1 068	82,3	43	3,3
2000	1 314	188	14,3	1 083	82,4	44	3,3

<sup>29</sup> Ibidem

2001	1 286	169	13,1	1 072	83,4	35	3,5
2001	1 271	223	17,6	1 002	78,8	46	3,6
2003	1 276	242	18,9	982	77,0	52	4,1
2004	1 293	283	21,9	957	74,0	53	3,9
2005	1 404	270	19,3	1 080	76,8	54	3,6
2006	1 480	291	19,7	1 114	75,3	56	3,8
2007	1 533	245	16,0	1 213	79,3	57	3,7
2008	1 656	249	15,0	1 339	80,7	49	3,0
2009	1 691	201	11,9	1 425	84,3	50	3,0

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: dla lat 1985-1996 – Rocznik Statystyczny 1997, GUS, Warszawa 1997, Tabela 3 (573), dla lat 1997-1998 – Rocznik Statystyczny 1999, GUS, Warszawa 1999, tabela 3 (437), dla lat 1999-2000 – Rocznik Statystyczny 2001, GUS, Warszawa 2001, tabela 3 (434), dla lat 2001-2002 – Rocznik Statystyczny 2003, GUS, Warszawa 2003, tabela 3 (451), dla 2003 r. – Rocznik Statystyczny 2004, GUS, Warszawa 2004, Tabela 3 (449), dla lat 2004-2005 – Rocznik Statystyczny 2006, GUS, Warszawa 2006, tabela 3 (456), dla lat 2006-2007, Rocznik statystyczny 2008, GUS, Warszawa 2008, tabela 3 (449), dla lat 2008-2009 – Rocznik Statystyczny 2010, GUS Warszawa 2010, tabela 3 (447).

Tabela 4 Struktura gałęziowa przewozu ładunków w transporcie krajowym w latach 1985-2009, mierzona pracą przewozową (bez żeglugi morskiej i śródlądowej).

Lata	Transport						
	Ogółem (w mld tkm)	Kolejowy		samochodowy		rurociągowy	
		W mld tkm	W %	W mld tkm	W %	W mld tkm	W %
1	2	3	4	5	6	7	8
1985	174,2	120,6	69,2	36,6	21,0	17,0	9,8
1990	137,7	83,5	60,6	40,3	29,3	13,9	10,1
1995	133,8	69,1	51,6	51,2	38,3	13,5	10,1

1996	140,1	68,3	48,8	56,5	40,3	15,3	10,9
1997	147,4	68,7	46,6	63,7	43,2	15,0	10,2
1998	148,3	61,8	41,4	69,5	46,6	18,0	12,0
1999	145,4	55,5	38,2	70,5	48,5	19,4	13,3
2000	147,6	54,4	36,9	72,8	49,3	20,4	13,8
2001	143,2	47,9	33,5	74,4	51,9	21,9	14,6
2001	143,6	47,8	33,2	74,7	52,1	21,1	14,7
2003	151,7	49,6	32,7	78,2	51,6	23,9	15,7
2004	187,6	52,3	27,8	110,5	59,0	24,8	13,2
2005	195,1	50,0	25,6	119,7	61,4	25,4	13,0
2006	248,9	53,6	21,5	136,5	54,8	25,6	10,3
2007	267,3	54,3	20,3	159,5	59,7	23,5	8,8
2008	247,6	52,0	21,0	174,2	70,2	21,2	8,5
2009	257,9	43,4	16,8	191,5	74,2	22,9	8,9

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: dla lat 1985-1996 – Rocznik Statystyczny 1997, GUS, Warszawa 1997, Tabela 3 (573), dla lat 1997-1998 – Rocznik Statystyczny 1999, GUS, Warszawa 1999, tabela 3 (437), dla lat 1999-2000 – Rocznik Statystyczny 2001, GUS, Warszawa 2001, tabela 3 (434), dla lat 2001-2002 – Rocznik Statystyczny 2003, GUS, Warszawa 2003, tabela 3 (451), dla 2003 r. – Rocznik Statystyczny 2004, GUS, Warszawa 2004, Tabela 3 (449), dla lat 2004-2005 – Rocznik Statystyczny 2006, GUS, Warszawa 2006, tabela 3 (456), dla lat 2006-2007, Rocznik statystyczny 2008, GUS, Warszawa 2008, tabela 3 (449), dla lat 2008-2009 – Rocznik Statystyczny 2010, GUS Warszawa 2010, tabela 3 (447).

Na wymienione zmiany strukturalne, a także na zmniejszenie wielkości przewozu ładunków w transporcie kolejowym wpłynęły niewątpliwie zmiany systemowe w gospodarce oraz w jej strukturze materialnej, zwłaszcza w wielkości i strukturze produkcji. Wzrost przewozu ładunków w transporcie samochodowym jest powszechną prawidłowością, jaką można zaobserwować w

krajach rozwiniętych. Z punktu widzenia pracy przewozowej znaczący jest także udział transportu rurociągowego<sup>30</sup>.

Niewątpliwie pozytywnym zjawiskiem była racjonalizacja przewozów w 2000 r. w stosunku do 1985 wielkość przewiezionych ładunków mierzona w tonach zmalała o 29 %, a mierzona w tonokilometrach o 20%. Kolejne lata przyniosły pewien wzrost przewozów, ale nadal są one niższe niż w latach 80 XX w.

Zmiany, jakie zaszły w strukturze transportu, wskazują na wzrost ekonomiczności sfery procesów logistycznych. Kierunek zmian jest podobny do tego, jaki o wiele wcześniej występował w krajach rozwiniętych. Z punktu widzenia procesów logistycznych zmiany te należałoby ocenić pozytywnie, aczkolwiek pełne dostosowanie struktury transportowej do wymogów nowoczesnej gospodarki jest procesem długotrwałym i niezmiernie kapitochłonnym. Zaistniałe zmiany są dopiero oczątkiem obiektywnych procesów, jakie muszą nastąpić w polskiej gospodarce, aby mogła ona nadążyć za tendencjami światowymi.

W ujęciu syntetycznym podstawowe zjawiska, jakie zachodzą w infrastrukturze transportowej logistyki można charakteryzować następująco:

- Zmienia się struktura własnościowa transportu samochodowego – wzrósł udział przewozów przez przewoźników sektora prywatnego. Udział tego sektora w sprzedaży usług transportowych ogółem już w 1993 r. wynosił ok. 17%<sup>31</sup>, w 2000 r. wzrósł do ok. 60%<sup>32</sup>, w 2005 r. do ok. 74%<sup>33</sup>, w 2009 do 81%<sup>34</sup>. Nie jest to jednak wskaźnik w pełni miarodajny, gdyż dotyczy przedsiębiorstw transportowych zatrudniających powyżej 9 pracowników, a więc nie obejmuje drobnych przewoźników, na których przypada znaczna część transportu samochodowego.

---

<sup>30</sup> Komisja Europejska: White Paper. European transport policy for 2010: time to decide. COM(2001) 0370 – m.in. o roli kolei w kształtowaniu systemu transportowego Europy

<sup>31</sup> „Biuletyn Statystyczny” 1994, nr. 4, tablica 2

<sup>32</sup> Rocznik Statystyczny 2001, GUS Warszawa 2001, tablica 2 (433)

<sup>33</sup> Rocznik Statystyczny 2006, GUS Warszawa 2006, tablica 2 (455)

<sup>34</sup> Rocznik Statystyczny 2010, GUS Warszawa 2010, tabela 2 (446)



- Nastąpiło istotne zmniejszenie udziału w przewozach ładunku w transporcie kolejowym na korzyść transportu samochodowego. Dotyczy to także przewozów międzynarodowych.
- W przewozach towarowych wzrasta udział środków transportu specjalizowanego, dostosowanego do transportu specyficznych grup ładunków (chłodnie, kontenery, samochody samowyładowcze itp.)
- Wzrasta przeciętna ładowność wagonów i samochodów, przy jednoczesnym ich różnicowaniu (zwłaszcza samochodów) oraz dostosowaniu do wymogów przewożonych ładunków i zmieniającego się popytu ze strony podmiotów gospodarczych (wytwórczych i handlowych)
- Wobec zróżnicowanego rynku usług transportowych, pełnej równowagi podaży i popytu usług transportowych, a nawet nadwyżki podaży nad popytem, następuje proces ograniczania tzw. Transportu gospodarczego przez podmioty gospodarcze nie zajmujące się profesjonalnie transportem tj. przedsiębiorstwa przemysłowe, budowlane, handlowe.
- Przedsiębiorstwa transportowe podejmują świadczenie innych usług, tylko pośrednio związanych z transportem, które można określić jako usługi logistyczne.
- Zwiększa się potencjał przewozowy transportu samochodowego. Przejawem tego procesu może być liczba zarejestrowanych samochodów ciężarowych, zwiększyła się ona z 1 879 tys. Szt. W 2000 r do 2 797 tys. Szt. W 2009 r., czyli o blisko 50%<sup>35</sup>.

Wymienione zjawiska i zmiany w sferze transportu tworzą korzystną sytuację w z punktu widzenia potrzeb logistyki. Chodzi zwłaszcza o możliwość ekonomicznego wyboru rodzajów transportu, a także określonych środków transportowych. Podstawowymi kryteriami wyboru stają się: niezawodność usług

---

<sup>35</sup> Rocznik Statystyczny 2010, GUS Warszawa 2010, Tablica 22 (466)

transportowych, minimalizacja ich kosztów, optymalna ochrona ładunków przed zniszczeniem, a także realizowanie ewentualnych dodatkowych usług logistycznych przez wyspecjalizowane przedsiębiorstwa transportowe. Wiele z nich przekształca się w przedsiębiorstwa logistyczne, oferując o wiele szerszy zakres usług niż tylko usługi transportowe.

## **2.2 Projektowanie transportu wewnętrznego**

Transport wewnętrzny (np. wózki widłowe, transportery palet) odgrywa ważną rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstwa przemysłowego. Odnosi się to zwłaszcza do dużych jednostek branży obróbczo-montażowej (np. w przemyśle samochodowym), w których istnieje wiele wydziałów produkcyjnych i magazynów. Między nimi, a frontami wyładowczymi zachodzą nieustannie przepływy materiałów, elementów kooperacyjnych, półfabrykatów itp., obejmujące w skali miesiąca niekiedy kilkadziesiąt tysięcy ton. Wynika z tego znaczenie właściwej organizacji transportu wewnętrznego, kryjącej w sobie, wobec masowości tych procesów, znaczne rezerwy oszczędnościowe.

Właściwe wewnętrzne powiązania transportowe powinny być ustalane na etapie projektowania przedsiębiorstwa bądź w trakcie jego modernizacji (zmiana lokalizacji komórek produkcyjnych i magazynów).

Projektowanie transportu wewnętrznego w przedsiębiorstwie to złożony proces, zawierający warstwę techniczną, organizacyjną i ekonomiczną. Powinien on być ściśle zintegrowany z projektowaniem przedsiębiorstwa jako całości bądź z restrukturyzacją (modernizacją). Szczegółowe omówienie tych zagadnień wykracza poza zakres niniejszej pracy. Warto jednak wskazać na kilka zagadnień, które muszą być poznane przed przystąpieniem do właściwego projektowania. W tym miejscu nie jest rozważany problem zewnętrznej, transportowej obsługi przedsiębiorstwa, lecz tylko zagadnienie transportu wewnętrznego, który łączy poszczególne ogniwa magazynowania produktów oraz przemieszcza te produkty.

Projektowanie transportu wewnętrznego powinno być oparte na różnych analizach i rozstrzygnięciach przedprojektowych. Poniżej znajdują się najważniejsze z nich:

- Obliczenie masy ładunków przeznaczonych dla poszczególnych sfer funkcjonowania przedsiębiorstwa (na wejściu, w sferze produkcji, w zbycie itd.),
- Topografia lokalizacji magazynów i wydziałów produkcyjnych wraz z ustaleniem długości dróg przepływu,
- Intensywność strumieni przepływu: stała, zmienna, sporadyczna determinowana rozmiarami i strukturą produkcji, sprzedaży itp.,
- Przyjęte zasady obsługi transportowej – zasada tłoczenia lub ssania, np. czy magazyn surowców dostarcza materiały na stanowiska produkcyjne, czy też organizatorem zaopatrzenia sfery produkcji są odpowiednie komórki tej sfery,
- Przyjęte zasady organizacji transportu wewnętrznego: transport scentralizowany lub zdecentralizowany (główne ogniwa przepływu mają własne środki transportu wewnętrznego).

Dopiero analiza i rozstrzygnięcie przykładowo wymienionych problemów pozwala przejść do projektowania transportu wewnętrznego, doboru środków tego transportu itp<sup>36</sup>.

W transporcie wewnętrznym można wyróżnić transport ciągły i transport przerywany. Transport ciągły dotyczy branż aparaturowych (np. przemysłu chemicznego, cukrowniczego) i jest zdeterminowany technologią produkcji. Z kolei transport przerywany występuje głównie we wspomnianych branżach obróbczo-montażowych i charakteryzuje go nierównomierny dopływ i odpływ ładunków.

W zależności od rozmieszczenia punktów nadania i odbioru stosuje się następujące trzy rodzaje systemów organizacji transportu wewnętrznego: wahadłowy, promieniowy i obwodowy.

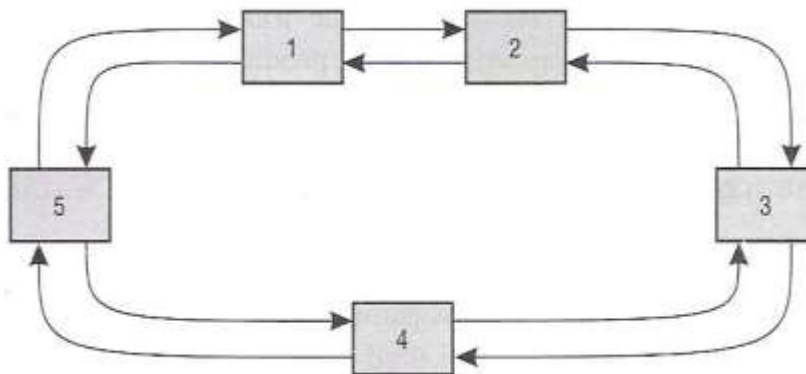
---

<sup>36</sup> Ibidem, s. 78

System wahadłowy ma miejsce w transporcie między dwoma punktami, którego regułą jest przewóz ładunków tylko w jedną stronę (powrót jest zazwyczaj „pusty”). Z kolei system promieniowy wiąże jeden punkt wysyłki (lub odbioru) z kilkoma punktami odbioru (lub wysyłki) i podobnie jak w systemie wahadłowym charakteryzuje go zwykle jeden pusty przebieg.

Bardziej skomplikowany jest system obwodowy. System ten jest stosowany do utrzymywania więzi transportowej między kilkoma punktami, jeżeli punkty te są zlokalizowane wzdłuż linii ciągłej, a przewóz ładunków następuje w tym samym kierunku, kolejno od punktu pierwszego do ostatniego.

Rysunek 4. Obwodowy system przewozów



Źródło: : W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 76

W przypadku gdy istnieją co najmniej trzy punkty (wydziały produkcyjne, magazyny), zaplanowanie przewozów należy zacząć od rozpatrzenia właśnie systemu obwodowego (okrężnego)<sup>37</sup>.

Tabela 5. Program dobowego transportu wewnętrznego (w tonach)

Wydział-nadawca/Wydział Odbiorca	1	2	3
1	0	3	3
2	5	0	3
3	4	4	0

<sup>37</sup> Matematyczny opis zadania znajduje się w książce: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 76 i dalsze. Z książki tej pochodzi powyższy przykład.

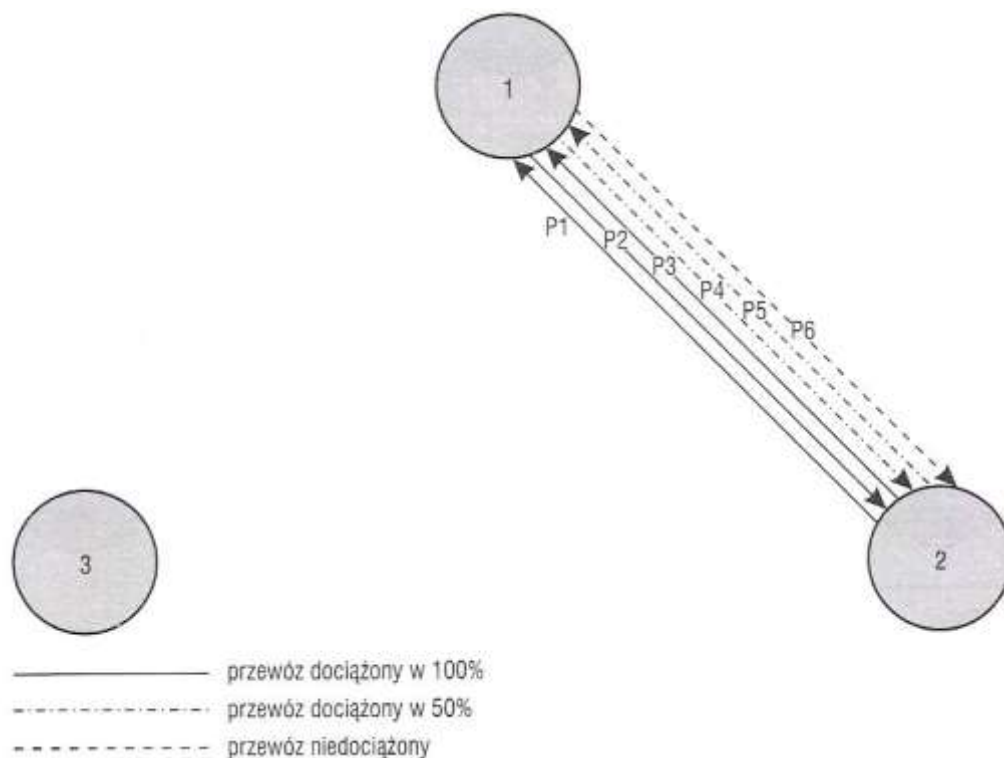
Źródło: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 77

Środkami transportu wykorzystywanymi do wykonywania tego zadania są wózki akumulatorowe o nośności 2 ton. Miejscem ich postoju jest punkt 2.

Gdyby zastosowano wahadłowy system transportu, wykonanie zadania wymagałoby 16 przejazdów. Na przykład do przewiezienia ładunków między punktami 2 i 1 byłoby konieczne 6 przejazdów: 3 odciążone w 100%, 2 dociążone w 50% i 1 niedociążony (pusty). Pokazuje to rysunek 4.

Z kolei wykonanie w sposób wahadłowy przewozów między punktami 2 i 3 wymagałoby 4 przejazdów ( w tym 3 dociążone w 100% i 1 dociążony w 50%), a między punktami 1 i 3 – 6 przejazdów (3 dociążone w 100%, 1 dociążony w 50% i 2 puste).

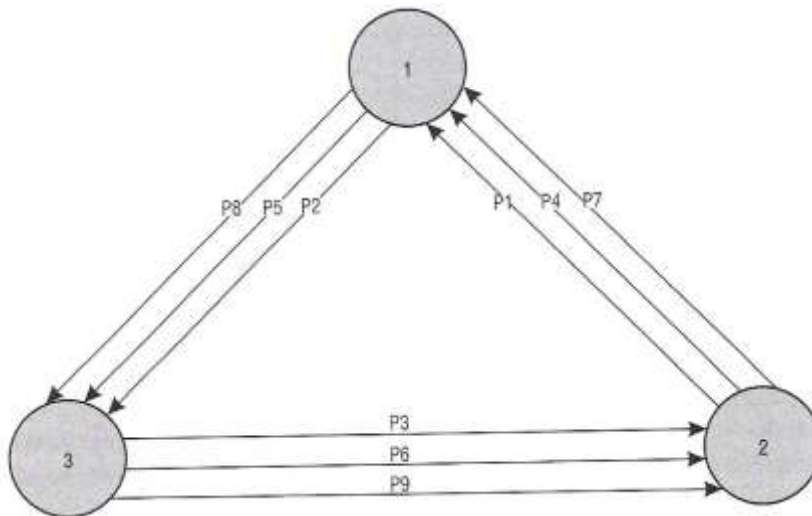
Rysunek 5 Wahadłowy system przewozów między punktami 2 i 1



Źródło: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 83

Rysunek 6 Obwodowy system przewozów

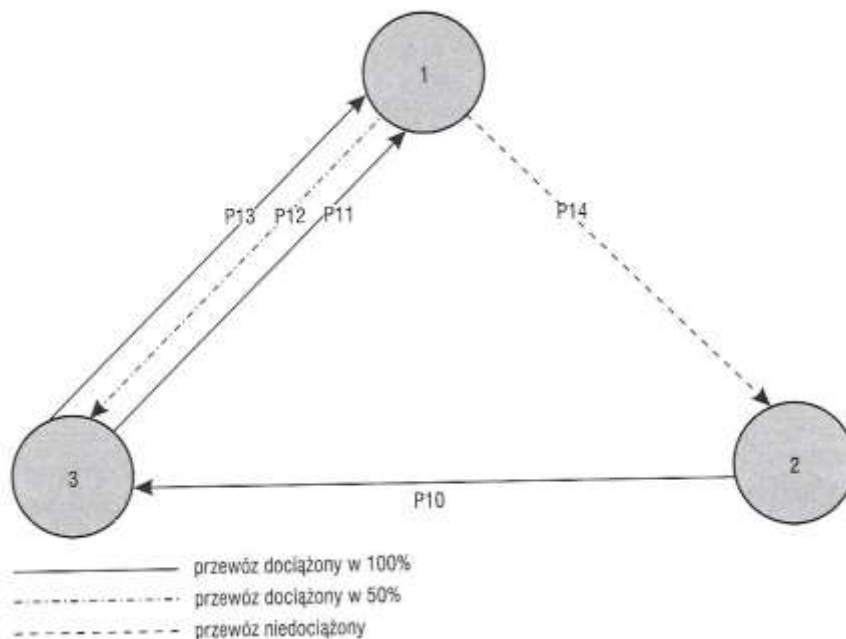
A. Przejazdy lewo kierunkowe (ruch przeciwny do ruchu wskazówek zegara)



Źródło: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 87

Rysunek 7 Obwodowy system przewozów

B. Przejazdy prawo kierunkowe (ruch zgodny z ruchem wskazówek zegara)



Źródło: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 87

Na ogólną liczbę 16 przejazdów złożyły się:

- Przejazdy dociążone w 100% - 9

- Przejazdy dociążone w 50% - 4
- Przejazdy niedociążone (przebiegi puste) – 3

Przejście na transport obwodowy pozwala zredukować liczbę pojazdów do 14. Wynika to z rysunku 5 i 6.

Należy zauważyć, iż w przejazdach prawo kierunkowych po wykonaniu przewozu P11 (2 tony z punktu 3 do 1) wyjątkowo miał miejsce powrót wahadłowy do punktu 3 (przewóz P12, obciążenie w 50%). Pozostałe przewozy były już ponownie prawo kierunkowe. Łatwo zatem dostrzec, że liczba całkowicie dociążonych przejazdów wzrosła do 12, co pozwoliło zmniejszyć ogólną liczbę przejazdów do 14.

### **2.3 Optymalizacja powiązań transportowych**

Ustalenie sieci dystrybucyjnej nie wyczerpuje jeszcze, rzecz jasna, problemów związanych z przemieszczaniem produktów. Istotną sprawą jest zwłaszcza właściwe zaplanowanie powiązań transportowych, bezpośrednio rzutujących na koszty fizycznego przepływu towarów. Trzeba dodać, iż trudności wynikające z możliwie oszczędnego (ewentualnie optymalnego, tj. najlepszego z punktu widzenia, w tym przypadku ponoszonych kosztów) wariantu wspomnianych powiązań są potęgowane w miarę wzrostu liczby punktów wysyłki i odbioru.

Problematyka powiązań transportowych dotyczących jednorodnych produktów przesyłanych od wielu dostawców do wielu odbiorców jest już szczegółowo zbadana. Istnieje wiele metod prowadzących do optymalnego rozwiązania takich zadań<sup>38</sup>, przy założeniu minimalizacji kosztów transportu. Należy zwłaszcza wymienić uniwersalną metodę Simpleks, służącą do rozwiązywania wszelkich zadań programowania liniowego. Metody te zostały już uwzględnione w licznych programach komputerowych, ukierunkowanych na

---

<sup>38</sup> A. Całczyński, Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku PWE Warszawa 1992, s. 75

wspomaganie menedżerów w podejmowaniu optymalnych decyzji gospodarczych.

Jedną z uproszczonych metod rozwiązywania klasycznego zadania transportowego jest tzw. Metoda minimalnego elementu. Polega ona na znajdowaniu wielkości partii od jednego dostawcy do jednego odbiorcy (wielkość ta jest oznaczana ogólnie  $x_{ij}$ ) na podstawie najniższych jednostkowych kosztów transportu ( $c_{ij}$ )<sup>39</sup>.

Tabela 6. Macierz jednostkowych kosztów transportu (jednostki pieniężne) oraz wielkości podaży i popytu)

Punkty Wysyłki	Punkty odbioru			Podaż
	O1	O2	O3	
D1	27	40	60	150
D2	35	28	42	120
Popyt	60	120	80	x

Źródło: opracowanie własne

Macierz jednostkowych kosztów transportu od dostawcy D1 do odbiorcy Oj przedstawiono w tabeli 6. W tabeli tej podano także podaż poszczególnych dostawców (ostatnia kolumna) oraz popyt odbiorców (ostatni wiersz). Jak można zauważyć, w przykładzie podaż (270 szt.) przewyższa popyt (260 szt.), co oznacza iż 10 szt. pozostanie u któregoś z dostawców w zapasie.

Rozdysponowanie masy towarowej między odbiorców będzie oceniane z punktu widzenia łącznych kosztów transportu (trzeba dążyć oczywiście do ich minimalizacji).

Pierwszym krokiem w metodzie minimalnego elementu jest ustalenie najmniejszego elementu macierzy kosztów. W tym przypadku jest nim  $c_{11}$ , wynoszący 27 jednostek pieniężnych (liczba ta została zaznaczona wytłuszczonym drukiem (tabela 7). Kierując się tą wielkością zostaje pozostawiona całość potrzeb odbiorcy dostawą od dostawcy 1, zatem  $x_{11} = 60$  szt.

<sup>39</sup> E. Turban, J. Meredith, Fundamentals of Management..., s. 437



Po pierwszej decyzji najniższym jednostkowym kosztem transportu wchodzącym w rachubę jest (liczba pogrubiona)  $c_{22} = 28$  jednostek pieniężnych (tabela 7).

Tabela 7. Macierz jednostkowych kosztów transportu (jednostki pieniężne) oraz skorygowane po pierwszej decyzji wielkości podaży)

Punkty Wysyłki	Punkty odbioru			Podaż
	O1	O2	O3	
D1		40	60	90
D2	35	<b>28</b>	42	120
Popyt	0	120	80	x

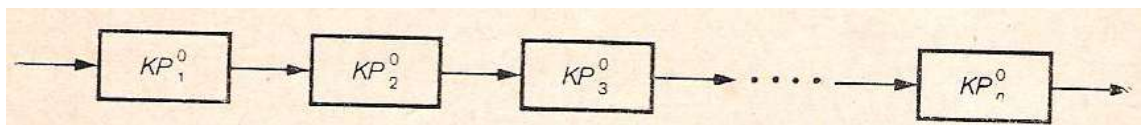
Źródło: opracowanie własne

## Rozdział III Zakłócenia procesu produkcyjnego

### 3.1 Istota zakłóceń

Aby określić ogólne warunki, jakie muszą być spełnione, aby można było mówić o niezawodnym (tzn. niezawodnością równą jedności) przebiegu procesu produkcyjnego zostanie przedstawiony proces produkcyjny pewnego wyrobu (podzespołu, części montażowej) przebiegający w komórce stopnia pierwszego. Proces ten jest ciągiem operacji produkcyjnych realizowanych na stanowiskach produkcyjnych i w związku z tym można go przedstawić jako układ składający się z pewnej liczby stanowisk produkcyjnych (komórek produkcyjnych stopnia zerowego), sprzężonych ze sobą szeregowo, przy czym każde stanowisko reprezentuje tu wykonanie jednej lub kilku operacji produkcyjnych składających się na dany proces. Oznaczając przez  $n$  liczbę stanowisk, natomiast przez  $KP^0_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) poszczególne stanowiska, których proces składa się na proces produkcyjny całego wyrobu, opis ten można przedstawić schematycznie jak na poniższym rysunku<sup>40</sup>.

Rysunek 8 Interpretacja procesu produkcyjnego wyrobu jako układ sprzężonych szeregowo stanowisk produkcyjnych.



Źródło: W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994, s. 119

Zostaną przeanalizowane powiązania pomiędzy stanowiskami i dlatego strzałki na rysunku 7 określają następstwo operacji produkcyjnych. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, by interpretować ją ogólniej jako wyjście ze stanowiska  $KP$  i jednocześnie wejście stanowiska  $KP^0_i$  i tym samym zachować zgodność z przedstawioną uprzednio interpretacją cybernetyczną stanowiska produkcyjnego.

<sup>40</sup> Sołtysik M., Podstawy zarządzania logistycznego, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1995, nr 5, s. 29

Zakładając, że  $0 < p_i \leq 1$ ) oznacza niezawodność procesu produkcyjnego stanowiska  $KP0_i$  oraz że procesy produkcyjne poszczególnych stanowisk są niezależne od siebie, przebieg operacji produkcyjnych na danym stanowisku nie wywiera wpływu na przebieg innych operacji na innych stanowiskach. Można sądzić przy tym, iż założenie takie jest możliwe do przyjęcia w praktyce. Niezawodność  $P$  procesu produkcyjnego rozpatrywanego wyrobu wyrazi się wtedy wzorem  $P = P_1 * P_2 * \dots * P_n$ , czyli jest ona iloczynem niezawodności wszystkich procesów produkcyjnych stanowisk składających się na proces produkcyjny wyrobu. Oznacza to, że niezawodność procesu produkcyjnego wyrobu równą jedności (tzn. proces niezawodny) można osiągnąć jedynie wtedy, gdy niezawodność procesu produkcyjnego każdego stanowiska będzie równa jedności czyli wtedy gdy:  $P_1 = P_2 = \dots = P_n = 1$ <sup>41</sup>.

Można odnotować tu zatem, że uzyskanie niezawodnego procesu produkcyjnego wyrobu możliwe jest tylko w wypadku niezawodnych procesów poszczególnych stanowisk, na których jest on realizowany.

Warto jeszcze zwrócić uwagę, na dość istotny fakt. Jeżeli przyjąć, że niezawodności procesów poszczególnych stanowisk są mniejsze od jedności to, jak łatwo zauważyć z wzoru wynika, że niezawodność  $P$  procesu produkcyjnego wyrobu maleje wraz ze wzrostem  $n$ , tzn. liczby stanowisk, na których jest on realizowany. Wtedy nawet w wypadku dużej, bliskiej jedności, niezawodności poszczególnych stanowisk, niezawodność procesu produkcyjnego wyrobu może być mała. Na przykład dla stu stanowisk, których niezawodność procesu na każdym z nich wynosi 0,99, niezawodność procesu produkcyjnego wyrobu będzie wynosiła zaledwie  $P = 0,99^{100} \approx 0,4$ . Dla jeszcze większej liczby stanowisk (co przy wyrobach złożonych jest całkiem realne) niezawodność ta będzie jeszcze mniejsza<sup>42</sup>.

W praktyce przemysłu rzadko można spotkać systemy produkcyjne, których procesy produkcyjne charakteryzowałyby się odpowiednio wysoką

---

<sup>41</sup> Sołtysik M., Teoretyczno-metodologiczne problemy współczesnej logistyki, „Gospodarka Materiałowa & Logistyka” 2001, nr 11, s. 110

<sup>42</sup> Wasylko M., Logistyka w gospodarce narodowej część II. Podstawowe zagadnienia mikrologistyki, Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Kupieckiej, Łódź 2000, s. 93

niezawodnością. W analizie mającej na celu zbadanie tego problemu i prowadzącej do podwyższenia niezawodności procesów produkcyjnych główną uwagę należy skupić na stanowiskach produkcyjnych, ponieważ jak wcześniej stwierdzono, źródłem zawodności procesu produkcyjnego wyrobu jest zawodność procesów odpowiednich stanowisk produkcyjnych.

Mówiąc o zawodności procesów produkcyjnych chodzi w gruncie rzeczy o zakłócenia jego przebiegu rozumiane w sensie potocznym tego słowa. Przeciwdziałanie tym zakłóceniom jest więc naturalnym zabiegiem prowadzącym w efekcie do poprawy niezawodności procesu produkcyjnego wyrobu i tym samym rytmicznego jego przebiegu<sup>43</sup>.

Punktem wyjścia do opracowania skutecznych metod przeciwdziałania zakłóceniom procesu powinno być poznanie ich natury i charakteru, klasyfikacja oraz określenie miar pozwalających wyrazić je w sposób ilościowy. Rozważania należy rozpocząć od ustalenia pewnych kwestii natury terminologicznej. Jest to istotne, ponieważ w literaturze brak jest jednoznacznej, precyzyjnej definicji pojęcia zakłócenia procesu produkcyjnego. Potoczny sens tego pojęcia prowadzi niejednokrotnie do nieporozumień, gdyż mówiąc o zakłóceniu można mieć na myśli czynnik zakłócający, a innym razem skutek, który ten czynnik wywołuje<sup>44</sup>.

Dla większej konkretności rozważań zostały one przeprowadzone na przykładzie systemu produkcyjnego, złożonego z grupy współpracujących podsystemów. Główną częścią systemu produkcyjnego jest podsystem produkcji podstawowej. Jest on obsługiwany przez wiele innych podsystemów, mających zapewnić jego prawidłowy przebieg. Będą to przykładowo podsystemy: remontowy, narzędziowy, magazynowy, transportowy itp.<sup>45</sup>.

Podsystemy te rozpatrywane oddzielnie są same w sobie złożonymi systemami składającymi się z pewnych obiektów, charakteryzującymi się

---

<sup>43</sup> Ibidem, s. 111

<sup>44</sup> Kasolik J., Kamińska P., Ryłko T., Katalog elektroniczny towarów i Krajowa Grupa Robocza ds. EDI. Dwa przedsięwzięcia na rzecz rozwoju gospodarki elektronicznej, [w:] Nowoczesne tendencje w logistyce, Materiały I Konferencji Naukowej, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2003

<sup>45</sup> Keith Oliver R., Michael D. Webber: Supply-chain management: logistics catches up with strategy, in: Logistics. The strategic issues. W: Christopher, Martin (red.), London, Chapman & Hall, 1992, s. 63-75. cyt za Rutkowski K., Zarządzanie łańcuchem dostaw – próba sprecyzowania terminu i określenia związków z logistyką, „Gospodarka Materiałowa” 2004, nr 12, s. 36

przyjętymi regułami działania oraz wytwarzającymi określone wyroby lub usługi na rzecz podsystemu produkcji podstawowej. Procesu w tych podsystemach przebiegają jednocześnie z procesem podstawowym. Powiązane ze sobą procesy przebiegające jednocześnie można nazwać procesami współbieżnymi. Współpracujące ze sobą podsystemy o współbieżnych procesach oddziałują na podsystem podstawowy przez swoje wyjścia. Sposób tych oddziaływań jest przedmiotem planowania (sterowania), w trakcie którego ustalane są terminy oraz ilości dostarczanych materiałów, a także usług lub innego rodzaju zasileń.

Jest oczywiste, że proces podstawowy zależy od przebiegu procesów współbieżnych w systemach współpracujących przy czym z punktu widzenia procesu podstawowego ważny jest nie tyle sam ich przebieg, co ich rezultaty, wyrażone przez charakterystykę ich wyjść. W idealnych warunkach charakterystyka ta jest zdeterminowana, tzn. w zaplanowanych momentach dostarczane są zaplanowane ilości wyrobów lub usług. W warunkach rzeczywistych ma ona charakter losowy, co oznacza, że rzeczywiste terminy i (lub) ilości dostarczanych wyrobów lub usług różnią się od planu, przy czym różnice te można traktować jak zmienne losowe<sup>46</sup>.

Warto w tym momencie przyjrzeć się sytuacji wewnątrz systemu podstawowego. Na jego strukturę składają się środki pracy, przedmioty pracy oraz pracownicy i zachodzące pomiędzy nimi relacje. W idealnych zdeterminowanych warunkach środki pracy i pracownicy mają niezmienną w czasie, planowaną zdolność do pracy. Wyraża się to tym, że czasy wykonania operacji produkcyjnych są zgodne z planem i cały proces przebiega planowo. Wiadomo, że w warunkach rzeczywistych nie zawsze tak jest.

Dla zrozumienia tej sytuacji zostały przeprowadzone następujące rozważania. Środki pracy, przedmioty pracy i pracownicy są pierwotnymi czynnikami produkcji. Niezależnie od udziału w procesie produkcji, każdy z nich jest obiektem w pewnym procesie, który przebiega w szerszym otoczeniu i które zmienia jego stan. Pracownicy podlegają wpływowi skomplikowanych procesów społecznych (wykształcenie, wychowanie, środowisko społeczne i

---

<sup>46</sup> Krawczyk S., Zarządzanie procesami logistycznymi, PWE, 2001, s. 142

kulturalne, zdrowie, warunki pracy, motywacje itp.). W procesach tych ulegają zmianie własności pracowników, zmienna jest ich zdolność do wykonania pracy, wyrażają się odchyleniami wydajności lub absencją.

Podobnie zmieniają się środki pracy (starzenie, zużycie, odkształcenia itp.), co przejawia się w obniżeniu pewnych ich parametrów roboczych lub zupełnej niezdolności do pracy.

Przedmioty pracy podlegają również skomplikowanym procesom, których wynikiem jest ich wadliwość.

Na wszystkie podstawowe czynniki produkcji oddziałują więc skomplikowane procesy, zależne zarówno od zjawisk istniejących poza systemem produkcyjnym, jak i wewnątrz niego. Procesy te są przedmiotem badań oddzielnych nauk (nauki społeczne, eksploatyka, socjologia, psychologia, kwalitologia itp.), które mają na celu wyjaśnienie ich istoty i ilościowe ujęcie rządzących nimi praw. Obecnie na podstawie długotrwałej ich obserwacji, można jedynie w przybliżeniu podać pewne statystyczne wskaźniki wyrażające np. absencję pracowników, wadliwość wyrobów czy awaryjność maszyn.

Wracając do podsystemów współpracujących z podsystemem produkcji podstawowej, warto stwierdzić, że można je rozpatrywać w ten sam sposób. Występują w nich tak samo podstawowe czynniki produkcji oraz współpracują z nimi inne podsystemy.

Z rozważań tych wynika jeszcze raz zasadnicza rola podstawowych czynników produkcji, które wpływają na przebieg procesu w całym systemie oraz na procesy we wszystkich podsystemach współpracujących<sup>47</sup>.

Realność rozważań w tak skomplikowanej sytuacji można uzyskać tylko przez cybernetyczne ujęcie całości, którego istotną własnością jest w tym wypadku konieczność wyraźnego oddzielenia systemu od otoczenia. Wydzielenie to pozwala skoncentrować się na procesach przebiegających wewnątrz systemu, natomiast procesy przebiegające w podsystemach należących do otoczenia, rozpatrywać tylko przez ich wyjścia, które są wyjściami do

---

<sup>47</sup> Bak D., Rozwój i rola logistyki w Wielkiej Brytanii, „Problemy Magazynowania i Transportu” 2003, zeszyt specjalny, s. 84

badanego systemu. W ujęciu cybernetycznym własności wejść systemu oraz własności jego obiektów są wyrażone przez zbiory parametrów, co stwarza podstawę do ilościowego ujmowania zachodzących w systemie zjawisk. Istotne dla przebiegu procesu jest wyróżnienie w systemie jego własności stałych i zmiennych.

Własności stałe przedstawiają te zjawiska zachodzące w systemie, których zajście można przewidzieć z całą pewnością (z prawdopodobieństwem równym jedności). Przebieg procesu w systemie, którego wszystkie własności są stałe, można całkowicie wyznaczyć (zaplanować).

Własności zmienne wyrażają te zjawiska zachodzące w systemie, których zajścia można się spodziewać z pewnym prawdopodobieństwem (mniejszym od jedności). Występowanie takich własności powoduje, że przebieg procesu jest niezgodny z planem. W efekcie powstają sytuacje niepożądane wymagające dodatkowych zabiegów, mających na celu przywrócenie przebiegu planowanego.

W świetle przedstawionych rozważań należałoby teraz to pojęcie nieco skrócić.

Zakłóceniem produkcyjnym można nazwać zmianę własności obiektów systemu produkcyjnego lub jego wejść, nie będącą wynikiem celowego działania, powodującą niepożądane odstępstwa przebiegu procesów tego systemu od przebiegu planowanego<sup>48</sup>.

Definicja ta wymaga kilka słów komentarza. Przede wszystkim nasuwa się tu pytanie, dlaczego przez pojęcie zakłócenie należy rozumieć taką zmianę własności obiektów systemu produkcyjnego lub jego wejść, która nie jest wynikiem celowego działania. Wątpliwość w tym zakresie budzi fakt, że skutki zmian własności obiektów systemu produkcyjnego lub jego wejść, wywołane działaniami celowymi, umyślnymi, są identyczne z takimi samymi zmianami nie wynikającymi z celowego działania.

---

<sup>48</sup> Przytoczona definicja jest zgodna z ogólniejszą definicją pojęcia zakłócenie zawartą w Małym Słowniku Cybernetycznym, a która brzmi: zakłócenie – wszelkie niepożądane i destrukcyjne oddziaływanie na układ lub proces, powodujące najczęściej zmianę stanu jego układu w kierunku osiągnięcia stanów odległych od stanu równowagi lub celu działania.

### 3.2 Klasyfikacja zakłóceń

Klasyfikacje czynników wpływających na przebieg różnorodnych zjawisk sporządzane są na ogół według dwóch głównych zasad:

1. Wyróżnienie wszystkich czynników wpływających na przebieg zjawiska,
2. Grupowanie czynników według wspólnych cech<sup>49</sup>.

Sam układ klasyfikacyjny może być tworzony w sposób analityczny, tzn. począwszy od cech najogólniejszych do czynników pierwotnych lub w sposób syntetyczny, tzn. od czynników pierwotnych do cech najogólniejszych. W praktyce systemy klasyfikacyjne powstają przez kolejne próby wykonywane na przemian jednym i drugim sposobem.

Podstawową cechą klasyfikacji jest jej zupełność oraz rozłączność. Przez zupełność należy tu rozumieć własność polegającą na ujmowaniu wszystkich wyróżnionych przy opisie danego zjawiska czynników, przez rozłączność natomiast własność polegającą na występowaniu każdego czynnika tylko jeden raz.

Zarówno wybór czynników pierwotnych, jak i cech, według których, są one grupowane, ma charakter subiektywny, podporządkowany sposobowi podejścia do opisu przedmiotowego zjawiska. Celem tak sporządzonych klasyfikacji jest kwantyfikacja złożonych zjawisk, wyodrębnienie w nich obszarów, które mogą stać się przedmiotem dalszych badań.

Przechodząc na grunt procesów produkcyjnych warto postawić sobie za cel przedstawienie klasyfikacji zakłóceń produkcyjnych, która będzie pomocna przy opracowywaniu metod przeciwdziałania zakłóceniom. Posłużono się tu cybernetycznym opisem systemu produkcyjnego<sup>50</sup>.

---

<sup>49</sup> Polak P., Tokarski M., Elektroniczna wymiana danych – środek usprawnienia działań logistycznych, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 1996, nr 1, s. 71

<sup>50</sup> Wojtachnik R., Elektroniczna wymiana dokumentów. Handel, usługi, logistyka, finanse, Mikom, Warszawa 2004, s. 146



Zakłócenia produkcyjne powodują niepożądane odstępstwa przebiegu procesów od przebiegu planowanego. Biorąc za podstawę cybernetyczny opis problemu produkcyjnego nie trudno jest zauważyć, że przebieg procesów w systemie zależy od stanów poszczególnych zasileń oraz od stanów obiektów systemu (wyposażenia i załogi). Na jej podstawie można podzielić zakłócenia produkcyjne na zasileniowe i obiektowe.

Zakłócenia zasileniowe oddziałują na proces produkcyjny przez wejście systemu produkcyjnego. Konkretna postać tych zakłóceń objawia się w okresowym braku (niedoborze) jednego lub kilku zasileń. Zakłócenia zasileniowe nie naruszają gotowości systemu produkcyjnego do realizacji przebiegających w nim procesów, jednakże okresowy brak jednego lub kilku zasileń zakłóca planowany ich przebieg<sup>51</sup>.

W zależności od rodzaju zasileń można tu wyróżnić zakłócenia zasileń: materiałowo-surowcowych, energetycznych, finansowych i informacyjnych.

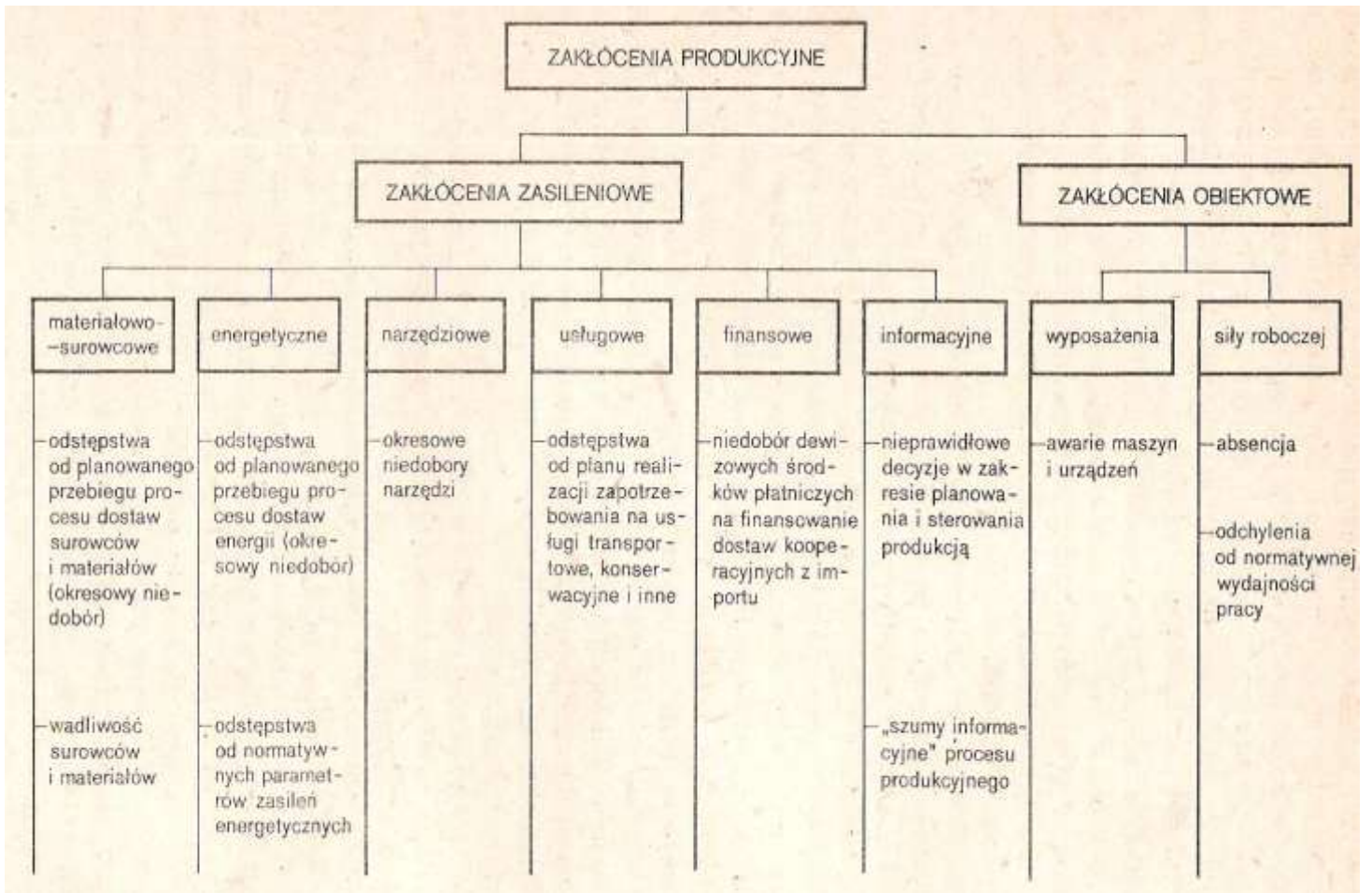
Zakłócenia zasileń materiałowo-surowcowych oraz energetycznych oraz energetycznych. Zakładając, przebieg procesu produkcyjnego w warunkach zdeterminowanych można zaplanować w czasie zapotrzebowanie na zasilenia materiałowo-surowcowe i energetyczne. Nie jest przy tym istotne, czy pochodzą one z kooperacji wewnętrznej czy zewnętrznej. Każde odchylenie w realizacji zapotrzebowania od ustalonego planu wyrażającym się okresowym brakiem (niedoborem) materiałów, surowców lub energii. Dostarczone materiały, surowce i energia muszą spełniać określone wymagania jakościowe tzn. charakteryzować się wyznaczonymi parametrami eksploatacyjnymi i użytkowymi. W przeciwnym wypadku wystąpią zakłócenia w postaci wybrakowanych materiałów lub surowców (zasilenia materiałowo-surowcowe) albo obniżenia poniżej dopuszczalnej granicy napięcia prądu lub spadku ciśnienia energii sprężonego powietrza (zasilenia energetyczne)<sup>52</sup>.

---

<sup>51</sup> Matulewicz J., CRM - Sprzedaż i Marketing, „Logistyka i Jakość”, 2000, nr 4, s. 147

<sup>52</sup> Ibidem

Rysunek 9 Schemat klasyfikacji zakłóceń produkcyjnych.



Źródło: Bak D., Rozwój i rola logistyki w Wielkiej Brytanii, „Problemy Magazynowania i Transportu” 2003, zeszyt specjalny, s. 84

Zakłócenia zasileni narzędziowych. Zapotrzebowania na narzędzia pracy nie można zaplanować dokładnie w czasie ze względu na losowy charakter ich trwałości, a w następstwie losowej wielkości ich zużycia w procesie produkcyjnym. Jeśli nawet wielkość zapotrzebowania zostanie zaplanowana w sposób zawyżony, niż to wynika z istniejącej trwałości, to i tak możliwe są okresowe niedobory narzędzi na stanowiskach, będące zakłóceniami zasileni narzędziowych.

Zakłócenia zasileni usługowych. Przy zdeterminowanym przebiegu procesu produkcyjnego można ustalić rozłożony w czasie plan zapotrzebowania

na usługi transportowe, konserwacyjne i inne. Odstępstwa od tak sporządzanego plan są zakłóceniami zasileń usługowych.

Zakłócenia zasileń finansowych. Działalność produkcyjna przedsiębiorstwa jest w warunkach finansowania z kredytu bankowego i na ogół nie występuje niedobór środków finansowych. Niedobór ten może dotyczyć jedynie środków dewizowych, których planowane wcześniej wielkości nie zawsze mogą być zrealizowane. Stąd jedynym rodzajem zakłóceń w tej grupie może być niedobór<sup>4</sup> środków dewizowych na finansowanie dostaw kooperacyjnych z importu.

Zakłócenia zasileń informacyjnych, nie prawidłowe decyzje w zakresie planowania i sterowania produkcją. Mogą to być również błędne dane o sposobie realizacji procesu technologicznego oraz inne „szumy informacyjne” procesu produkcyjnego.

Zakłócenia obiektowe oddziałują na proces produkcyjny za pośrednictwem obiektów, za pomocą których jest on realizowany. Zakłócają one gotowość systemu produkcyjnego do realizacji przebiegających w nim procesów. W zależności od rodzaju obiektu można tu wyróżnić zakłócenia: elementów wyposażenia i załogi (siły roboczej).

Zakłócenia wyposażenia obejmują wszelkiego rodzaju awarie maszyn i urządzeń, natomiast zakłóceniami siły roboczej są: absencja oraz odchylenia od normatywnej wydajności pracy.

Przez absencję można rozumieć tu planowaną nieobecność w pracy (nieobecność planowana np. urlopy, nie jest zakłóceniem zgodnie z proponowaną tu definicją tego pojęcia). Nieobecność ta może odnosić się do całej zmiany roboczej lub jej części. Natomiast odchylenia od normatywnej wydajności pracy (obliczanej z normatywnej pracochłonności i planowanego wskaźnika przekroczenia normy) są to zmiany rzeczywistego czasu wykonywania operacji produkcyjnych wynikające z fizjologicznego rytmu pracy robotników zarówno w przekroju dobowym, jak i tygodniowym.

Rysunek 8 zawiera schemat omówionej poprzednio klasyfikacji zakłóceń produkcyjnych. Możliwe są oczywiście bardziej szczegółowe podziały

klasyfikacyjne zarówno w grupie zakłóceń zasileniowych, jak i obiektowych (np. absencję można podzielić na usprawiedliwioną i nieusprawiedliwioną, absencję usprawiedliwioną można z kolei podzielić na absencję chorobową oraz inną usprawiedliwioną). Podziały takie można przeprowadzać z punktu widzenia różnych kryteriów klasyfikacyjnych (np. przyczyn powstawania zakłóceń). Wydaje się jednak, że dalszy podział powinien być uzależniony od konkretnego celu badawczego. Zaprezentowana tu klasyfikacja opiera się na opisie cybernetycznym systemu produkcyjnego. Przy założeniu innych koncepcji opisu możliwe jest uzyskanie innego przekroju klasyfikacyjnego zakłóceń produkcyjnych.

### **3.3 Przebieg procesu produkcyjnego w warunkach występowania zakłóceń**

Bezpośrednim skutkiem są odchylenia od zaplanowanego dla warunków zdeterminowanych, rytmicznego przebiegu procesu produkcyjnego (odchylenia od wzorca). Można tu mówić o braku rytmiczności procesu, lub że proces przebiega nierytmicznie. Oczywiście, rytmiczny przebieg uwarunkowany jest jeszcze wieloma innymi czynnikami, m. in. dobrą organizacją produkcji, a zwłaszcza sprawnym systemem planowania wewnątrzzakładowego<sup>53</sup>. Udoskonalenie tych czynników może wyeliminować zaburzenia wynikające ze świadomych i celowych działań i tym samym przyczynić się do rytmicznego przebiegu procesu produkcyjnego. Jednakże zaburzenia będące wynikiem świadomych, celowych działań, w rozumieniu niniejszej pracy nie są zakłóceniami.

Wielkość odchylenia od rytmicznego przebiegu procesu produkcyjnego zależy od intensywności oddziaływania zakłóceń. W zależności więc od tego można mówić o mniejszym lub większym poziomie rytmiczności procesu produkcyjnego. Aby poziom ten można było kwantyfikować, niezbędne jest posługiwanie się odpowiednimi miernikami.

---

<sup>53</sup> Obszerne rozważania w tym zakresie można znaleźć w pracy A. Starostecki Rytmiczność produkcji...

### 3.3.1 Miary poziomu rytmiczności

Przez poziom rytmiczności rozumieć można miarę oceny systemu produkcyjnego, w którym są realizowane powtarzalne procesy produkcyjne. Zagadnienie oceny dowolnego systemu (niekoniecznie produkcyjnego) ma zasadnicze znaczenie dla stwierdzenia, w jaki sposób system ten wykonuje funkcje, dla których został stworzony. Miara oceny działania systemu określa jego reakcję na czynniki wejściowe ( w tym wypadku na występujące zakłócenia). W zależności od sytuacji, jej znajomość może być różnie wykorzystana i tak:

- Przy estymacji parametrów wyjściowych systemu miara oceny nie pełni już innych funkcji (oprócz wymienionej funkcji podstawowej), po prostu jest w indywidualny sposób interpretowana przez badacza,
- Przy projektowaniu systemu miara oceny jest porównywana z miarą odniesienia, co stanowi dalej podstawę do oceny prawidłowości struktury systemu,
- Przy sterowaniu systemem miara oceny służy do stwierdzenia czy określone informacje wejściowe (bodźce) systemu spowodują oczekiwaną reakcję,
- Przy identyfikacji systemu miara oceny służy do oszacowania, czy badany model systemu jest adekwatny do pewnego systemu rzeczywistego<sup>54</sup>.

Szczególną rolę pełni miara oceny w wypadkach estymacji i projektowania systemu, gdzie może być wykorzystana jako funkcja kryterium w procedurze jego optymalizacji. Miara rytmiczności powinna charakteryzować się takimi cechami, jak łatwość jej interpretacji i obserwacji.

---

<sup>54</sup> Gartner Group, "The CRM Implications of Economic Downturns, Research Note M-13-0855", 2001, s. 26

Wiele naturalnych, bezpośrednio obserwowalnych cech systemu produkcji rytmicznej może być wykorzystywana do oceny jego działania. Możliwe jest tworzenie miar sztucznych, nie obserwowalnych bezpośrednio, ale opartych na składnikach prostszych, możliwych do bezpośredniego zaobserwowania<sup>55</sup>.

Analizując własności różnych możliwych miar można wśród nich wydzielić miary: naturalne, analityczne i statystyczne<sup>56</sup>.

Do grupy miar naturalnych należą te wielkości, które można bezpośrednio zaobserwować i wyrazić za pomocą fizycznych jednostek ilości, masy i czasu np.:

- Wykonanie produkcji,
- Zapasy produkcji w toku,
- Cykle produkcyjne,
- Czasy trwania operacji produkcyjnych,
- Planowane przestoje stanowisk roboczych,
- Planowane przestoje robotników.

Miarami analitycznymi są te parametry systemu, które powstają z miar naturalnych przez proste operacje matematyczne. Jednostki tych miar zależą od użytych do ich utworzenia miar naturalnych oraz rodzaju zastosowanych operacji przekształcających. Dla przykładu można tu wymienić:

- Wykorzystanie stanowisk produkcyjnych,
- Wykorzystanie pracowników,
- Koszt przestoju stanowisk produkcyjnych,
- Koszt przestoju pracowników,
- Koszt pracy stanowisk produkcyjnych,
- Koszt pracy pracowników.

---

<sup>55</sup> Piasecka A., Logistyka w wydawnictwie, Biblioteka Analiz, Warszawa 2004, s. 41

<sup>56</sup> Wasylko M., Logistyka w gospodarce narodowej część II. Podstawowe zagadnienia mikrologistyki, Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Kupieckiej, Łódź 2000, s. 158

Miary statystyczne powstają w wyniku przekształcenia miar naturalnych lub analitycznych za pomocą metod statystycznych. Tworzenie miar statystycznych pozwala otrzymywać bardziej zagregowane wielkości do oceny systemu. Zamiast wymieniania konkretnych miar statystycznych, warto przytoczyć wielkości statystyczne, które mogą służyć do ich tworzenia, np.:

- Średnia arytmetyczna,
- Odchylenie standardowe,
- Współczynnik zmienności,
- Współczynnik korelacji,
- Rozkład prawdopodobieństwa.

Wybór rodzaju stosowanej miary zależy przede wszystkim od celów stawianych przy projektowaniu lub badaniu systemu oraz od możliwości dokonania odpowiednich pomiarów lub obliczeń. Podstawowe znaczenie mają zawsze miary naturalne, chociaż ich bezpośrednie wykorzystanie jest utrudnione ze względu na zróżnicowane miana. Stanowią one jednak podstawę tworzenia miar analitycznych i statystycznych, które bez nich nie mogłyby istnieć.

W istniejącej literaturze, jak również w praktycznych zastosowaniach można się spotkać z wieloma metodami i wskaźnikami pomiaru rytmiczności. Okazuje się jednak, że mierniki te dotyczą jedynie spływu produkcji, a nie przebiegów procesów produkcyjnych w czasie. Brak prób ich mierzenia można tłumaczyć trudnością ujęcia tego złożonego zjawiska w jednym wskaźniku<sup>57</sup>.

Proponowane przez większość autorów mierniki rytmiczności spływu produkcji można podzielić na dwie grupy. Są to wskaźniki oparte na porównaniu:

1. Rzeczywistego wykonania produkcji z założeniami planu,
2. Danych ewidencyjnych rzeczywistego wykonania produkcji w analizowanych przedziałach czasu.

---

<sup>57</sup> Ibidem

W pierwszej grupie wskaźników rytmiczność rozpatruje się w relacji: plan – wykonanie. Można tu dokonać dalszego ich podziału na wskaźniki uwzględniające:

1. Wielkości sprawozdawcze w granicach nie wyższych od planowanych zadań, zakłada się, że przekroczenie zadań planowanych nie narusza rytmiczności produkcji,
2. Zarówno niewykonanie, jak i przekroczenie planu, podejście to wydaje się słuszniejsze, ponieważ zwiększenie wydajności w niektórych tylko ogniwach procesu produkcyjnego również prowadzi do odchyień od planowanego przebiegu tego procesu<sup>58</sup>.

---

<sup>58</sup> Abt S., Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie, PWE, Warszawa 1998, s. 93



## Rozdział IV Modelowanie systemu produkcji rytmicznej

Jak już wcześniej stwierdzono, opracowanie modelu systemu produkcyjnego jest złożonym przedsięwzięciem, wymagającym znajomości zasad tworzenia i działania systemu oraz metod i technik, za pomocą których będzie on budowany. Niezbędna jest też odpowiednia wiedza z zakresu określonych kierunków naukowych.

Prezentowana tu metodyka modelowania systemów produkcyjnych została oparta na następujących założeniach metodologicznych.

- Do opisu systemu produkcyjnego wystarczy wyznaczyć obiekty, z których ten system się składa oraz jego strukturę, czyli zależności określające współdziałanie obiektów,
- Systemy produkcyjne można interpretować jako systemy obsługowe o działaniu dyskretnym.

Pierwsze założenie ma zasięg ogólny i wykracza poza klasę systemów produkcyjnych. Jego zasadność wynika, z ogólnego określenia systemu jako zbioru obiektów i relacji zachodzących między nimi<sup>59</sup>.

Zasadność drugiego założenia zależy w dużej mierze od sposobu interpretacji systemu produkcyjnego jako systemu obsługowego.

Omówiona metodyka modelowania nawiązuje więc do koncepcji opisu systemów produkcyjnych, traktującej je jako systemy obsługi.

W zależności od sposobu budowy modelu symulacyjnego, jego użyteczność do rozwiązywania różnych zagadnień, a także zakres jego możliwości badawczych mogą być większe lub mniejsze. Przedstawiona tu metodyka modelowania symulacyjnego systemów produkcyjnych charakteryzuje się dość dużym stopniem uogólnienia. Pozwala zatem budować modele systemów produkcyjnych służące różnorodnym celom z zakresu projektowania, sterowania i regulacji w systemach produkcyjnych, działających w warunkach zakłóceń.

---

<sup>59</sup> M. Mazur, Pojęcie systemu i rygory jego stosowania, „Przegląd organizacji” 1976, nr 12, s. 6

Metodyka ta składa się z następujących etapów i kroków:

- I. Sformułowanie problemu,
- II. Opis systemu produkcyjnego,
  1. Określenie funkcji systemu,
  2. Opis zasobów systemu,
  3. Opis reguł działania systemu,
- III. Opis otoczenia systemu produkcyjnego,
  1. Określenie funkcji otoczenia,
  2. Opis zasobów otoczenia,
  3. Opis działania otoczenia,
- IV. Projektowanie modelu symulacyjnego,
  1. Ustalenie założeń do modelu,
  2. Opis obiektów,
  3. Opis procesu,
  4. Ustalenie postaci danych i wyników
- V. Budowa programu symulacyjnego,
- VI. Weryfikacja modelu symulacyjnego<sup>60</sup>.

Celem trzech pierwszych etapów jest opis rozwiązywanego problemu w kategoriach systemowych, na tle systemu, w którym on występuje. Opis ten koncentruje się na systemie i na otoczeniu, traktowanym również jako system. Zarówno dla systemu, jak i jego otoczenia określa się ich funkcje, obiekty i reguły działania<sup>61</sup>.

Opracowanie w etapach II i III opisy są podstawą do wykonania czynności występujących w etapach IV-V. Zbudowany model, w wyniku weryfikacji (etap VI), może wymagać wniesienia odpowiednich korekt. Ostatecznie model symulacyjny powstaje przez kilkakrotne zrealizowanie etapów II, V i VI. Poniżej został przedstawiony omówiony bardziej szczegółowo zakres poszczególnych etapów.

---

<sup>60</sup> Rutkowski K., Czas logistyki, „Buisnesmann”, 1993 nr.3 s.43

<sup>61</sup> Beier F.J., Rutkowski K. , „Logistyka” Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1995, s. 74

- I. Sformułowanie problemu. Przyszły użytkownik modelu (decydent) formułuje tu problem do rozwiązania. Powinien on mieć postać zadania projektowego, w którym decydent określa: an czym polega problem, jakie główne czynniki w nim występują i jaki charakter powinno mieć rozwiązanie. Postawienie problemu może nawiązywać do konkretnej sytuacji praktycznej. W etapie tym nie wymaga się od decydenta formułowania uogólniających założeń. Całość zadania może być przedstawiona werbalnie.
- II. Opis systemu produkcyjnego. Następuje tu systemowe ujęcie postawionego problemu. Powinno ono doprowadzić do określenia systemu, w którym występuje dany problem. Do opisu takiego systemu wystarczy charakterystyka jego obiektów oraz łączących je zależności. Należy dążyć do takiego uogólnienia całości opisu, aby sformułowany system odpowiadał nie tylko konkretnemu problemowi postawionemu w etapie I, lecz również szerszej klasie problemów podobnych. Powinno tu także nastąpić wyraźne rozgraniczenie obiektów i własności między systemem a jego otoczeniem<sup>62</sup>.

Opis systemu powinien uwzględniać następujące elementy:

1. Określenie funkcji systemu. Przez funkcję systemu można rozumieć sposób przekształcania jego wejścia w wyjście. Zgodnie z przyjętymi wcześniej założeniami, chodzi tu o sprecyzowanie charakteru wykonywanych przez system obsługi przekształceń dokonywanych na materiałach wejściowych oraz określenie postaci materiałów wyjściowych,
2. Opis zasobów systemu. Trzeba tu opisać obiekty występujące w systemie, czyli jego zasoby. Praktycznie opisuje się je z dokładnością do klas obiektów, czyli ich grup o podobnych własnościach i zachowaniu się w systemie. Należy tu również

---

<sup>62</sup> Ciesielski M., „Logistyka w strategiach firm”, PWN Warszawa – Poznań, 1999, s. 85

określić formy przestrzennej więzi pomiędzy obiektami i ich klasami, precyzując hierarchię ich rozmieszczenia i powiązań (np. w postaci współpracujących komórek produkcyjnych różnych stopni). Wyrażenie powinno być wymienione, które obiekty wchodzi w skład stanowisk obsługowych, a które są obiektami obsługiwanymi. Grupy obiektów o określonych funkcjach mogą tworzyć podsystemy (np. podsystem transportowy). Po ich wydzieleniu należy je potraktować jako systemy i opisać według tych samych reguł,

3. Opis reguł działania systemu. Reguły te są opisową formą relacji łączących obiekty systemu w trakcie jego pracy. Charakterystyka ta powinna się opierać na opisie zasobów i precyzować trzy grupy reguł, występujących w systemach obsługowych. Są to reguły wejścia, obsługi i wyjścia<sup>63</sup>.

Przez reguły wyjścia należy rozumieć sposób wchodzenia do procesu obsługi. Praktycznie oznacza to rodzaj inicjowania pracy oczekujących stanowisk obsługowych w momencie przybycia materiałów lub przechowywania materiałów w magazynach przy braku wolnych stanowisk.

Reguły obsługi są opisową formą przebiegu procesu obsługowego w systemie. Istotne są tu: określenie sposobu pobierania materiałów z magazynu do obsługi, charakterystyka czasu obsługi, opis przerw i wznowień obsługi oraz sposoby przekazywania materiału pomiędzy stanowiskami obsługowymi<sup>64</sup>.

Reguły wyjścia precyzują ogół warunków, w jakich obsłużone obiekty opuszczają system. Należy tu odróżnić opuszczenie systemu na skutek uszkodzenia obiektu obsługiwanego, jego rezygnacji z obsługi lub wyjścia z systemu obiektu dobrze obsłużonego.

- III. Opis otoczenia systemu produkcyjnego. Otoczenie jest rodzajem systemu nadrzędnego, dostarczającego zasileń do systemu

---

<sup>63</sup> Beier F.J., Rutkowski K., „Logistyka” Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1993, s. 118

<sup>64</sup> Sołtysik M., Istota i cechy zarządzania logistycznego „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1994, nr 7-8, s. 145

będącego przedmiotem modelowania. Do otoczenia przekazywane są też wyniki pracy tego systemu<sup>65</sup>.

Z formalnego punktu widzenia otoczenie może być traktowane jako system. Jest tylko jeden wyjątek, otoczenie, jako system, nie ma już własnego otoczenia. Dopuszczenie takiej możliwości (tzn. aby otoczenie rozpatrywane jako system miało własne otoczenie) doprowadziłoby do nieokreśloności nieograniczonego ciągu kolejnych, zawierających się systemów, co z góry przekreśliłoby realność ich badania i uzyskiwania efektywnych rozwiązań. Dlatego postawiony problem należy przedstawić w postaci tzw. Systemu zamkniętego, składającego się z systemu otwartego i otoczenia, poza którymi nie jest rozpatrywane już nic więcej.

Otoczenie można opisać według takich samych zasad, jak system otwarty, z uwzględnieniem sformułowanych poprzednio uwag. Należy więc kolejno opisać jego funkcje, zasoby i reguły działania<sup>66</sup>.

1. Określenie funkcji otoczenia. Przez funkcję otoczenia należy rozumieć sposób wypełniania przez nie nadrzędnej roli w stosunku do badanego systemu. Na ogół polega ona na dostarczeniu do systemu różnego rodzaju zasileń (materiałowych, energetycznych, informacyjnych itd.), oraz odbieraniu i ocenie rezultatów pracy systemu.
2. Opis zasobów otoczenia. W otoczeniu systemu obsługowego istnieją zwykle źródła, z których napływają zasilenia do systemu badanego, odbiorcy wyników pracy tego systemu oraz różnego rodzaju obiekty wykonujące na rzecz systemu określone usługi. Obiekty te powinny być opisane pod względem swojego rodzaju, liczebności i charakterystyki. W wielu wypadkach mogą być one traktowane jako istniejące w otoczeniu podsystemy (np. dostawczy,

---

<sup>65</sup> Skowronek C., Sariusz – Wolski Z. „Logistyka w przedsiębiorstwie”, PWE Warszawa 1995, s. 47

<sup>66</sup> Blaik P., „Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania przedsiębiorstwem” PWE, Warszawa 1999, s. 128

odbiorczy i kooperacyjny). Należy je więc opisać w taki sam sposób jak systemy.

3. Opis działania otoczenia. Podobnie jak w wypadku systemu określa się tu reguły działania obiektów (podsystemów) w otoczeniu, opisując formę współpracy otoczenia i badanego systemu. Istotny jest przede wszystkim sposób dostarczania różnego rodzaju zasileń do systemu. Jeśli w otoczeniu wyróżnione są podsystemy o dobrze określonych obiektach i strukturze, to każdy z nich należy opisać według takich samych zasad jak system

IV. Projektowanie modelu symulacyjnego. Podstawą do konstrukcji modelu symulacyjnego jest dokonany w poprzednich etapach opis systemu produkcyjnego i jego otoczenia. Zanim jednak model symulacyjny przyjmie swą ostateczną postać, musi być poddany odpowiedniej weryfikacji. Z tego też względu czynności wchodzące w zakres tego etapu składają się na projekt modelu symulacyjnego, a nie ostateczny model.

1. Ustalenie założeń do modelu. Krok ten ma na celu określenie podstawowych postulowanych własności modelu oraz charakteryzujących go wielkości, a więc:
  - Celów poznawczych modelu,
  - Wielkości danych,
  - Wielkości wynikowych<sup>67</sup>.

Ustalenie celów poznawczych modelu jest rozwinięciem i uszczegółowieniem sformułowanego na wstępie problemu. Należy wyznaczyć główny cel modelu, zgodnie z postawionym problemem, oraz wyszczególnić możliwe do osiągnięcia cele uboczne, których zrealizowanie może być użyteczne dla odbiorcy modelu. Trzeba też określić rodzaj modelu (do estymacji, do projektowania, do sterowania).

---

<sup>67</sup> Beier F.J., Rutkowski K. „Logistyka” Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1993, s. 98

Ustalenie podstawowych wielkości danych następuje na podstawie sporządzonego opisu systemu. Określają one przede wszystkim rozmiary systemu jako całości oraz jego podsystemów czy klas obiektów.

Rodzaj wyprowadzonych wielkości wynikowych zależy od rodzaju modelu. Mogą one wyrazić np. wykorzystanie środków, wielkość produkcji czy czas wykonywania pewnych zadań. W modelach przeznaczonych do optymalizacji systemu mogą mieć postać funkcji kryterium, ujmujących w sobie wiele składników sprowadzonych do jednej miary (np. koszt produkcji jako suma wielu składników kosztu)<sup>68</sup>.

2. Opis obiektów. Wiedza o systemie i dokonany wcześniej jego opis pozwalają na wyodrębnienie hierarchicznego układu jego obiektów (mogą to być obiekty proste lub podsystemy). W podziale tym należy dążyć do wyodrębnienia grup obiektów o jednakowych regułach działania. Grupy te zostaną nazwane klasami obiektów. Wyodrębnienie klas jest bardzo pomocne w dalszym opisie, który polega na ustaleniu atrybutów obiektów w klasach. Przez atrybuty obiektów można rozumieć tu wszelkie wielkości, za pomocą których określany jest stan obiektów. Początkowo, lista atrybutów wyznaczana będzie przez wielkości wynikające z opisu systemu, np. w klasie wyrobów znane będą parametry operacji produkcyjnych, a w klasie stanowisk na rozpoczęcie opisu procesu przebiegającego w systemie. W trakcie opisu prawdopodobnie pojawią się jeszcze nowe wielkości, które trzeba będzie dołączyć do list atrybutów obiektów w klasach<sup>69</sup>.

Szczególnym rodzajem atrybutów są wielkości przedstawiające zakłócenia oddziałujące na system. Są to zmienne losowe o określonych charakterystykach. Należy dla nich ustalić sposób ich wyznaczania, np. przez

---

<sup>68</sup> Milewski D., Logistyka – podejście systemowe czyli całościowe, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1998 nr 9, s.193

<sup>69</sup> Augustyniak G.M., Rola elastycznych systemów wytwarzania w zarządzaniu logistycznym przedsiębiorstwami, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1995 nr 3 s.49

podanie typu rozkładu prawdopodobieństwa (z którego będą generowane) i parametrów tego rozkładu.

3. Opis procesu. W systemach o działaniu dyskretnym zmiany systemu następują w kolejno po sobie następujących chwilach czasowych. Zmiana stanu jest wywołana przez pewną akcję, która została tu nazwana zdarzeniem. Cały proces jest więc następstwem określonych rodzajów zdarzeń. Liczba rodzajów zdarzeń, jak to pokazano wcześniej jest ograniczona. Po ustaleniu ich rodzajów należy opracować treść zdarzeń, czyli opisać wywołane przez nie zmiany w obiektach systemu. Istotnymi momentami zdarzeń jest inicjowanie (najczęściej z pewnym opóźnieniem czasowym) innych zdarzeń. W momentach tych tworzą się wzajemne więzi wyznaczające następstwo różnego rodzaju działań w systemie<sup>70</sup>.

W treści zdarzeń zawarty jest również sposób zbierania informacji o przebiegu procesu. Rodzaje zbieranych informacji zostały ujęte w założeniach do modelu. Teraz należy podać, gdzie i jak zbierać te informacje<sup>71</sup>.

4. Ustalenie postaci danych i wyników. W trakcie opisu obiektów systemu i jego procesu może wystąpić potrzeba wprowadzenia dodatkowych danych (np. danych kosztowych, niezbędnych przy obliczaniu funkcji kryterium systemu). Na zakończenie więc prac nad projektem modelu należy zestawić pełną listę danych, które będą wykorzystywane w modelu. Podobnie projektowana początkowo forma wyników może w trakcie dalszych prac ulegać pewnym modyfikacjom. Przed rozpoczęciem czynności związanych z oprogramowaniem modelu potrzebne jest zatem jej ostateczne ustalenie.

- V. Budowa programu symulacyjnego. Do symulacji eksperymentu na modelu systemu produkcyjnego niezbędny jest komputer. Model

---

<sup>70</sup> Abt S., Woźniak H. „Podstawy logistyki” Uniwersytet Gdański, Gdańska 1993, s. 21

<sup>71</sup> Blaik P., „Logistyka. Koncepcja zintegrowanego zarządzania przedsiębiorstwa” PWE , Warszawa 1999, s. 72



służący za podstawę symulacji należy opracować w postaci programu, zwanego programem symulacyjnym. Jest to tzw. Oprogramowanie wykonanego uprzednio projektu modelu symulacyjnego<sup>72</sup>.

Program symulacyjny zawiera informacje o obiektach tego systemu i za pomocą swoich instrukcji opisuje zmiany stanu, którym podlegają te obiekty. Realizacja takiego programu będzie więc symulacją procesu przebiegającego w systemie, odwzorowanego w modelu.

Specyfika modelu symulacyjnego dla systemu produkcyjnego polega na potrzebie zastosowania w nim odpowiednich mechanizmów programowych, które umożliwiają opis jednocześnie przebiegających procesów składających się na system, zachodzących w różnych jego miejscach. Inną charakterystyczną cechą symulacyjnego modelu systemu produkcyjnego jest konieczność generowania zmiennych losowych, reprezentujących oddziaływanie zakłóceń produkcyjnych. Do tego celu stosowane są odpowiednie procedury numeryczne generowania liczb losowych<sup>73</sup>.

Specyficzne cechy modeli symulacyjnych doprowadziły do wyodrębnienia się specjalnych technik programowania, ułatwiających budowę modeli symulacyjnych. Techniki te mają postać niezależnych języków programowania lub pakietów oprogramowania zaprojektowanych jako nadbudowa istniejących języków programowania ogólnego zastosowania (np. FORTRAN lub ALGOL). Pakiety takie są pomocne przy tworzeniu programów symulacyjnych w takich językach programowania, które z założenia nie są do tych celów przeznaczone. Przykładem koncepcji opisu systemu i jego procesu możliwym do zrealizowania za pomocą pakietu oprogramowania w języku algorytmicznym, jest sposób przedstawiony w pracy J. Winkowskiego. Koncepcja takiego pakietu została też ujęta w pracy T. Jarząbka oraz

---

<sup>72</sup> Ciesielski M. , „Logistyka w strategiach firm” PWN, Warszawa – Poznań , 1999, s. 147

<sup>73</sup> Bleik P. , „Logistyka a zarządzanie przedsiębiorstwem. Nowe kierunki w zarządzaniu przedsiębiorstwem – koncepcje rozwojowe” , Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu, Praca Naukowa nr 784, Wrocław 1998, s. 86

doprowadzona do postaci użytkowej w jednej z prac badawczych Instytutu Organizacji Zarządzania.

Istnieje obecnie wiele języków symulacyjnych. Istotną różnicą pomiędzy nimi jest koncepcja opisu systemu, na której się opierają. Do najczęściej używanych obecnie języków symulacyjnych należą: GPSS i SIMSCRIPT (na komputery firmy IBM), CSL i SIMON (na komputery firmy ICL oraz ODRA serii 1300)<sup>74</sup>.

Nie warto tu omawiać sprawy wyboru języka symulacyjnego ani też kryteriów takiego wyboru. W praktyce bowiem decydują o tym zupełnie prozaiczne okoliczności, takie jak dostępność odpowiedniego dla danego języka kompilatora czy znajomość języka w zespole programującym.

Przebieg etapu budowy programu symulacyjnego zależy od wybranego języka programowania i dlatego można tu podać tylko kilka ogólnych wskazówek metodycznych.

Wspomniano już, że program symulacyjny jest na ogół złożony i dlatego przy jego budowie należy dokładnie przestrzegać zasad inżynierii oprogramowania. Można je znaleźć m. in w pracach W. Turskiego, E. Yourdana i innych. Tutaj warto jedynie stwierdzić, że zasady mają na celu budowę programów niezawodnych, sprawnych, elastycznych o prostej konstrukcji i poprawnym stylu. Takie cechy programu ułatwiają ich testowanie, eksploatację oraz ewentualną konserwację i modyfikację, przyczyniając się do obniżki kosztów.

- VI. Weryfikacja modelu symulacyjnego. Na etapie tym stwierdza się, czy zbudowany projekt modelu zadowalająco reprezentuje modelowany system produkcyjny. Ponieważ model symulacyjny zostaje odwzorowany w program symulacyjny (etap V), można powiedzieć, że z punktu widzenia programowania etap ten odpowiada testowaniu programu symulacyjnego. Trzeba tu jednak dodać, że dla tego typu programów metodyka testowania jest

---

<sup>74</sup> Pod redakcją Gołębskiej E. „Kompendium wiedzy o logistyce” PWN, Warszawa – Poznań, 1999, s. 36

bardziej złożona niż dla zwykłych programów o działaniu zdeterminowanym.

Istotą weryfikacji jest porównanie charakterystyk wyjściowych, otrzymanych z systemu rzeczywistego i z jego modelu symulacyjnego, przy takich samych charakterystykach wejściowych, np. porównanie, czy długość cykli produkcyjnych zaobserwowana w systemie w danych warunkach jest zgodną z długością cykli otrzymanych z modelu symulacyjnego uruchomionego dla takich samych warunków. Ponieważ charakterystyki wyjściowe mają postać rozkładów prawdopodobieństwa określonych wielkości, badanie ich zgodności powinno być wykonane metodami statystyki matematycznej.

Jest oczywiste, że aby dokonać weryfikacji modelu należy dysponować odpowiednimi obserwacjami zebranymi podczas działania rzeczywistego systemu, na ogół w długim okresie. Często, może to być nierealne, np. wtedy, gdy modelowany system jeszcze w rzeczywistości nie istnieje lub gdy w istniejącym systemie nie była prowadzona ewidencja pozwalająca na zebranie potrzebnych charakterystyk. W takich sytuacjach należy stosować inne sposoby weryfikacji<sup>75</sup>.

Ogólnie rzecz biorąc można zaproponować trzy sposoby weryfikacji:

1. Weryfikację bezpośrednią, przez porównanie charakterystyk wyjściowych systemu rzeczywistego i jego modelu symulacyjnego,
2. Weryfikację pośrednią, przez porównanie niektórych charakterystyk wyjściowych modelu symulacyjnego z charakterystykami wyjściowymi znanymi na podstawie rozwiązań uzyskanych za pomocą modeli innego rodzaju (np. matematycznych, wywodzących się z teorii masowej obsługi, teorii niezawodności itp.), opisujących cechy modelowanego systemu produkcyjnego w warunkach ograniczeń narzucanych przez te modele,

---

<sup>75</sup> Ibidem

3. Weryfikację przez porównanie zachowania się modelu symulacyjnego z wiedzą jego twórcy o zachowaniu się rzeczywistego systemu produkcyjnego.

Najlepszym sposobem jest oczywiście weryfikacja bezpośrednia. Każdy następny sposób należy stosować tylko wtedy, gdy nierealne jest wykorzystanie poprzedniego. Poniżej znajduje się ich szczegółowe omówienie.

Weryfikacja bezpośrednia. Porównanie charakterystyk wyjściowych systemu rzeczywistego i jego modelu może być wykonane na podstawie metod statystyki matematycznej. W tym wypadku będą miały zastosowanie tzw. Testy zgodności. Istnieje duża liczba takich testów w określonych warunkach.

Dla zilustrowania ich istoty można założyć, że pewną charakterystykę (np. cykl produkcyjny wyrobu) przedstawia zbiór obserwacji  $c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1n}$  pochodzących z systemu rzeczywistego i drugi zbiór obserwacji  $c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2m}$  zaobserwowanych na wyjściu modelu symulacyjnego zrealizowanego dla takich samych warunków. Należy odpowiedzieć na pytanie, czy model symulacyjny dobrze odwzorowuje system ze względu na tę charakterystykę. Innymi słowy, chodzi o zbadanie, czy obydwie zbiory obserwacji reprezentują zgodny typ rozkładu prawdopodobieństwa wraz z jego parametrami. Formalizując to pytanie można sformułować hipotezę statystyczną oczekującą, że oba ciągi obserwacji pochodzą z tej samej populacji generalnej (tzn. mają ten sam rozkład prawdopodobieństwa). Hipotezę tę można zweryfikować za pomocą jednego z testów dla dwóch rozkładów empirycznych, np. tzw. Testu Kołmogorowa – Smirnowa<sup>76</sup>.

Weryfikacja pośrednia. Jeśli zebranie odpowiednich charakterystyk z systemu rzeczywistego jest niemożliwe, weryfikację przeprowadza się za pomocą znanego modelu innego typu niż weryfikowany model symulacyjny. Będzie to na ogół model reprezentujący określony fragment działania lub pewne

---

<sup>76</sup> Wojciechowski T, Rynek materiałów a logistyka w zasilaniu materiałowym przedsiębiorstw, „Gospodarka Materiałowa”, 1996 nr 10 s. 22

własności systemu rzeczywistego. Wiele takich modeli dostarcza np. teoria niezawodności czy teoria masowej obsługi.

Warto w tym miejscu rozpatrzeć model komórki produkcyjnej o specjalizacji technologicznej. W jej skład wchodzi  $n$  stanowisk podobnych technologicznie (np. oddział pieców hartowniczych). Do komórki tej napływają partie wyrobów w celu wykonania na nich (jednocześnie na całej partii) określonej operacji. Operacja ta może być zrealizowana na dowolnym stanowisku. W komórce istnieje obsługa wielostanowiskowa, tzn. jeden pracownik może obsługiwać grupę stanowisk. Zmiennymi losowymi w modelu są: okres dostawy partii do obróbki  $t_d$ , czas obróbki partii  $t_o$ , współczynnik absencji pracowników oraz okres międzyawaryjny i czas naprawy stanowisk. Model ma na celu zbadanie, jak się kształtuje wielkość produkcji w toku, w zależności od liczby stanowisk oraz warunków dostawy i obsługi.

Zbudowanie takiego modelu nie powinno nastęrczać większych trudności, natomiast jego weryfikacja bezpośrednia może być nierealna z powodu trudności zebrania kompletnych danych. Sytuację tę można częściowo poprawić. Zaobserwowano bowiem, że przedstawiony model, w pewnych szczególnych przypadkach, odpowiada jednemu ze znanych modeli teorii masowej obsługi. Jest to mianowicie model systemu  $n$ -kanałowego z oczekiwaniem (zgłoszenia wchodzące do systemu oczekują dotąd, aż zostaną obsłużone), z nieograniczonym strumieniem zgłoszeń (liczba jednostek wchodzących może być dowolna i nie ogranicza się jej z góry) oraz bez strat (każda jednostka przybywająca do systemu będzie przyjęta do obsługi).

Niektóre charakterystyki takiego systemu można obliczyć z ustalonych wzorów matematycznych. Zakładając, że liczba partii przybywających do obsługi w jednostce czasu ma rozkład Poissona z wartością przeciętną  $\lambda$ , a czas obsługi jednej partii ma rozkład wykładniczy z wartością przeciętną  $\alpha$ , można obliczyć następujące charakterystyki<sup>77</sup>:

---

<sup>77</sup> Woźniak H. Wykorzystanie analizy typu ABC i XYZ w logistyce sfery zaopatrzenia, „Gospodarka materiałowa” 1992, nr 7-8

- średnia liczba jednostek oczekujących na obsługę:

$$E_1 = \frac{p_n \cdot \lambda}{n \cdot \alpha \left(1 - \frac{\lambda}{n \cdot \alpha}\right)^2} ;$$

- Średnia liczba jednostek znajdujących się w obsłudze:

$$E_2 = \frac{n \cdot p_n}{1 - \frac{\lambda}{n \cdot \alpha}} + p_0 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{1}{(k-1)!} \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^k ;$$

- Średni czas oczekiwania na obsługę:

$$T = \frac{z}{n \cdot \alpha - \lambda} ,$$

Gdzie

$P_0$  – Prawdopodobieństwo tego, że w systemie nie ma żadnego zgłoszenia:

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^k + \frac{\alpha}{(n-1)! (n\alpha - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^n} ;$$

$Z$  – prawdopodobieństwo tego, że wszystkie stanowiska są zajęte:

$$z = \frac{\alpha p_0}{(n-1)! \cdot (n\alpha - \lambda)} \cdot \left(\frac{\lambda}{\alpha}\right)^n ,$$

$P_n$  – prawdopodobieństwo tego, że w systemie znajduje się  $n$  zgłoszeń:

$$p_n = \left(1 - \frac{\lambda}{n \cdot \alpha}\right) \cdot z .$$

Weryfikacja modelu symulacyjnego za pomocą omawianego tu sposobu polega na wykonaniu wielu niezależnych eksperymentów w warunkach odpowiadających założeniom modelu masowej obsługi. W tym wypadku należy założyć, okres między dostawami partii obróbczych o rozkładzie wykładniczym ze średnią, to  $1/\alpha$  oraz zerowy współczynnik absencji pracowników i zerowy czas naprawy stanowisk, które uległy awarii. Zgodność wyników uzyskanych z obydwu modeli można ocenić przez pośrednie ich porównanie.

## **Zakończenie**

Opisane w pracy modele kompensacji należy traktować jako narzędzia wspomagające proces projektowania na etapie wyboru rodzaju rezerwy i określenia ich wielkości na poziomie ekonomicznie uzasadnionym. Nie wyczerpuje się to oczywiście całości projektowania modeli produkcyjnych. Na zakończenie pracy warto przypomnieć sobie kwestię eliminacji zakłóceń. Jako zasadę należy przyjąć, że najpierw podejmuje się odpowiednie przedsięwzięcia mające na celu zmniejszenie poziomu zakłóceń do osiągalnego minimum. Przedsięwzięcia te mogą dotyczyć np.: poprawy jakości wykonywanych prac remontowych i obsługi konserwacyjnej maszyn, wprowadzenia oprzyrządowania zmniejszającego wadliwość produkcji oraz zmiany materiałów wyjściowych.



## **Spis Tabel**

Tabela 1. Wyniki stosowania systemu kanban w niektórych branżach przemysłu japońskiego

Tabela 2 Karty produkcji i przepływu

Tabela 3 Struktura gałęziowa ładunków w transporcie krajowym w latach 1985-2009 (bez żeglugi morskiej i śródlądowej)

Tabela 4 Struktura gałęziowa przewozu ładunków w transporcie krajowym w latach 1985-2009, mierzona pracą przewozową (bez żeglugi morskiej i śródlądowej).

Tabela 5. Program dobowego transportu wewnętrznego (w tonach)

Tabela 6. Macierz jednostkowych kosztów transportu (jednostki pieniężne) oraz wielkości podaży i popytu)

Tabela 7. Macierz jednostkowych kosztów transportu (jednostki pieniężne) oraz skorygowane po pierwszej decyzji wielkości podaży)

## **Spis Rysunków**

Rysunek 1 Podział zapasów produkcji w toku

Rysunek 2 Schemat cyrkulacji kart kanban

Rysunek 3 Kształtowanie się zapasów zasilanych z własnej

Rysunek 4. Obwodowy system przewozów

Rysunek 5 Wahadłowy system przewozów między punktami 2 i 1

Rysunek 6 Obwodowy system przewozów

Rysunek 7 Obwodowy system przewozó

Rysunek 8 Interpretacja procesu produkcyjnego wyrobu jako układ sprzężonych szeregowo stanowisk produkcyjnych.

Rysunek 9 Schemat klasyfikacji zakłóceń produkcyjnych.

## Bibliografia

1. Mikiharu Aoki: Jak działa fabryka Toyoty, Shinsei Consulting Sp. z o.o. Sp.k., Poznań 2013
2. Abt S., Woźniak H. „Podstawy logistyki” Uniwersytet Gdański, Gdańska 1993
3. Augustyniak G.M., Rola elastycznych systemów wytwarzania w zarządzaniu logistycznym przedsiębiorstwami, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1995
4. Bak D., Rozwój i rola logistyki w Wielkiej Brytanii, „Problemy Magazynowania i Transportu” 2003
5. Beier F.J., Rutkowski K. , „Logistyka” Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1995
6. Piotr Blaik: Logistyka. Warszawa: PWE, 2001
7. P. W. Bolt, zarządzanie przepływem produktów „Problemy magazynowania i transportu” 1992
- A. Całczyński, Metody optymalizacyjne w obsłudze transportowej rynku PWE Warszawa 1992
8. Ciesielski M., „Logistyka w strategiach firm”, PWN Warszawa – Poznań, 1999
9. Coyle J. J., Bardi E. J., Langrey Jr. J. C.: Zarządzanie Logistyczne. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2002
10. Dembińska – Cyran I., Jedliński M., Milewska B., Logistyka wybrane zagadnienia do studiowania przedmiotu, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2001
11. Marek Fertsch: Logistyka produkcji. Miejsce logistyki we współczesnym zarządzaniu produkcją. W: Marek Fertsch (red.): Logistyka Produkcji. Poznań: ILiM, 2003
12. Krzysztof Ficoń: Logistyka ekonomiczna : procesy logistyczne. Warszawa: BEL Studio, 2008

13. Pod redakcją Gołembskiej E. „Kompendium wiedzy o logistyce” PWN, Warszawa – Poznań, 1999
14. Zarządzanie logistyką, Alan Harrison Remko van Hoek, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2009
15. R. Jansen, M. Hertlein, Kurs 2000. Logistyka lat dziewięćdziesiątych – wymogi i rozwiązania „Problemy Magazynowania i Transportu” 1992
16. Jeszka A., M., Sektor usług logistycznych w teorii i praktyce, Difin, Warszawa 2009
17. Kasolik J., Kamińska P., Ryłko T., Katalog elektroniczny towarów i Krajowa Grupa Robocza ds. EDI. Dwa przedsięwzięcia na rzecz rozwoju gospodarki elektronicznej, [w:] Nowoczesne tendencje w logistyce, Materiały I Konferencji Naukowej, Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała 2003
18. Kawa A., „Informatyka integralną częścią logistyki”, „Raport Informatyka”, w „Eurologistics” 2002
19. H. Krampe, Logistyka globalna, Konig 1995
20. Krawczyk S., Zarządzanie procesami logistycznymi, PWE, 2001
21. Matulewicz J., CRM - Sprzedaż i Marketing, „Logistyka i Jakość” , 2000
22. M. Mazur, Pojęcie systemu i rygory jego stosowania, „Przegląd organizacji” 1976
23. Milewski D., Logistyka – podejście systemowe czyli całościowe, „Gospodarka Materialowa i Logistyka” 1998
24. Piasecka A., Logistyka w wydawnictwie, Biblioteka Analiz, Warszawa 2004
25. Polak P., Tokarski M., Elektroniczna wymiana danych – środek usprawnienia działań logistycznych, „Gospodarka Materialowa i Logistyka, 1996
26. W. Radzikowski, Z. Sariusz-Wolski, Metody optymalizacji decyzji logistycznych, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1994
27. Rutkowski K., Czas logistyki, „Buisnesmann”, 1993

28. Włodzimierz Rydzkowski (red.), Krystyna Wojewódzka-Król (red.), aut: Henryk Babis [et al.]: Transport. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2008
29. Bernard Rzeczyński: Logistyka Miejska. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, wrzesień, 2007
30. Z. Sarjusz-Wolski, Strategia zarządzania zaopatrzeniem, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1998
31. Czesław Skowronek, Zdzisław Sarjusz-Wolski: Logistyka w przedsiębiorstwie. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, 2003
32. Sołtysik M., Podstawy zarządzania logistycznego, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1995
33. Sołtysik M., Teoretyczno-metodologiczne problemy współczesnej logistyki, „Gospodarka Materiałowa & Logistyka” 2001
34. Sołtysik M., Istota i cechy zarządzania logistycznego „Gospodarka Materiałowa i Logistyka” 1994
35. Maciej Szymczak: Logistyka miejska. W: Elżbieta Gołębska (red.): Kompendium wiedzy o logistyce. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006
36. Artur Świerczek, Od łańcuchów dostaw do sieci dostaw, „Logistyka” nr 1/2007
37. Wasylko M., Logistyka w gospodarce narodowej część II. Podstawowe zagadnienia mikrologistyki, Wydawnictwo Naukowe Wyższej Szkoły Kupieckiej, Łódź 2000
38. J. Witkowski, Wdrażanie i efekty techniki kanban w małej firmie produkcyjnej, „Gospodarka Materiałowa & Logistyka” 1998
39. Wojciechowski T, Rynek materiałów a logistyka w zasilaniu materiałowym przedsiębiorstw, „Gospodarka Materiałowa”, 1996
40. Wojtchnik R., Elektroniczna wymiana dokumentów. Handel, usługi, logistyka, finanse, Mikom, Warszawa 2004

41. Woźniak H. Wykorzystanie analizy typu ABC i XYZ w logistyce sfery zaopatrzenia, „Gospodarka materiałowa” 1992
42. K. J. Wróblewski, Podstawy sterowania przepływem produkcji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993
43. Jacek Żak: Transport. W: Danuta Kisperska-Moroń, Stanisław Krzyżaniak (red.): Logistyka. Poznań: ILiM, 2009
44. Rocznik Statystyczny 2001, GUS 2010