

**WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI STOSOWANEJ
I ZARZĄDZANIA**



Stanisław Piasecki

PODSTAWY LOGISTYKI

Tom I

Wydawnictwo WIT
Warszawa 2005

Seria: SKRYPTY WSISiZ

**Skrypt zgłoszony przez Dziekana Wydziału
Informatycznych Technik Zarządzania
dr Barbarę Maźbic-Kulmę**

**WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI STOSOWANEJ
I ZARZĄDZANIA**

Stanisław Piasecki

PODSTAWY LOGISTYKI
Tom I

Wydawnictwo WIT
Warszawa 2005

© Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania
Warszawa 2005

ISBN 83-88311-79-4



45374

Skład i opracowanie graficzne:
Anna Gostyńska

Druk:
Zakład Poligraficzny
Jerzy Kosiński, Warszawa

Od Autora

Skrypt ten ta powstał jako rezultat moich wykładów w latach 1970 -2004 na temat logistyki, jeszcze wtedy, gdy obecna nazwa tego działu badań operacyjnych nie była używana.

Przedłożona publikacja jest oparta m.in. na bazie moich następujących skryptów i monografii:

„Optymalizacja systemów zaopatrzenia”, Wyd. WAT, 1971 (współautor Z. Kaszubowski),

*„Optymalizacja systemów przewozowych”, Wyd. WKiŁ 1973
„Optymalizacja dostaw z wykorzystaniem transportu rurowego”,
Wyd. PWN, 1986,*

*„Organization of Transport of Parcel Cargoes”, Wyd. IBS PAN,
1996.*

Do skryptu dołączyłem także pojedynczy zestaw typowych zadań kontrolnych na ćwiczenia rachunkowe i sprawdziany. Moje wykłady w Wyższej Szkole Informatyki Stosowanej i Zarządzania były także uzupełnione zajęciami w laboratorium komputerowym.

WSTĘP

Ogólnie przyjmuje się, że termin „logistyka” powstał w okresie wojen napoleońskich, jako rodzaj działalności służb zaopatrywania wojsk we wszystkie, niezbędne produkty do prowadzenia działalności bojowej wojska.

Szerzej, termin „logistyka” oznacza gałąź wiedzy, która zajmuje się organizacją procesów logistycznych – procesów zaopatrywania odbiorców w potrzebne dobra. Niema ona „nic” wspólnego z działem nauk matematycznych - logiką.

Jednak nie jest to cała prawda, Mianowicie, w okresie II wojny światowej, amerykańska Flota na Pacyfiku miała ogromne trudności z zaopatrywaniem: wojsk desantowych, okrętów wojennych, statków pomocniczych, samolotów pokładowych i ich załóg w różnego rodzaju: sprzęt, amunicję, żywność, lekarstwa, wodę, paliwo itp. na ogromne odległości tysięcy kilometrów, jednocześnie musiała koordynować zamówieniami działalność niemal całego przemysłu amerykańskiego. Nic zatem dziwnego, że służby zaopatrzenia, w głównej bazie Floty na Pacyfiku, w San Diego, musiały włączyć do planowania realizacji tych zadań także personel naukowy pobliskiego Stanford University. Opracowane tam metody matematyczne organizowania procesów zaopatrzenia znalazły swoje odbicie w odtajnionych pracach naukowych, publikowanych w specjalnym czasopiśmie naukowym „Logistic Quarterly”.

Jeżeli miejsca i chwile, w których potrzebne są określone dobra nie pokrywają się z miejscami i (lub) chwilami ich wytwarzania, to usunięcie tej rozbieżności jest (w naszym rozumieniu) zadaniem systemu logistycznego (zaopatrzenia i transportu) [4],[5],[8]. Przy tym, pod pojęciem systemu będziemy rozumieli zbiór elementów współdziałających przy realizacji zadania. System jest w pełni określony: zadaniem (przeznaczeniem), zestawem elementów (składem) i sposobem (organizacją) ich działania [12]. W skład systemu wchodzi elementy robocze i element (ogniwo) kierowania. W szczególności

ści skład roboczy systemu logistycznego tworzą magazyny, środki transportowe i przeładunkowe, zapewniając odpowiedni przepływ ładunków i wymuszając pożądane zmiany stanu towarów w magazynach.

Sposób, w jaki stany zapasów w magazynach są ze sobą powiązane przez ruch jednostek transportowych, determinuje organizację działania – współdziałanie elementów systemu logistycznego. Wyznaczanie organizacji działania jest zadaniem ogniwa (elementu) kierowniczego.

System logistyczny może zaopatrywać nadrzędną jednostkę (wytwórnę) w niezbędne dla jej działalności materiały lub (i) obce jednostki. Pierwszy typ, to organizacje skupu, zaopatrzenia itp.; drugi – organizacje dystrybucji, handlu itp.

Systemy logistyczne, które nie są samodzielnymi jednostkami gospodarczymi – przedsiębiorstwami, stanowią zwykle organizacyjnie wydzieloną część, zwaną wydziałem lub sekcją: zaopatrzenia, sprzedaży. W szczególności sprzedaż może być połączony z działalnością marketingową.

Systemy logistyczne będące samodzielnymi jednostkami gospodarczymi, to wszelkiego rodzaju przedsiębiorstwa handlowe, pośredniczące między wytwórcami i konsumentami: hurtownie, sklepy sprzedaży detalicznej, supermarkety, centrale handlowe (eksportowe i importowe) itp.

· Często system logistyczny tworzy szereg samodzielnych przedsiębiorstw: transportu (kolejowego, samochodowego, powietrznego, morskiego), przechowywania (magazynów, składnic) i przeładunku (porty, lotniska) powiązanych umowami i świadczących wzajemnie zlecone usługi na koszt klientów systemu.

Do takich systemów logistycznych, organizujących pracę wielu przedsiębiorstw specjalistycznych, należą wielkie przedsiębiorstwa spedycyjne. Wynajmują one niekiedy powierzchnie magazynowe w różnych miejscowościach, na całej kuli ziemskiej, zlecając transport ładunków różnymi rodzajami transportu. Często skład przedsiębiorstwa spedycyjnego ogranicza się do zespołu kierowniczego, organizującego wykonanie zleconego zadania, natomiast elementami wykonawczymi są wymienione przedsiębiorstwa specjalistyczne.

Nie trudno zauważyć, że w zbiorze różnego rodzaju przedsiębiorstw logistycznych, może działać wiele przedsiębiorstw spedycyjnych wspólnie wykorzystujących elementy robocze - przedsiębiorstwa specjalistyczne (magazyny, środki transportowe i przeładunkowe) na zasadzie rozdzielności wykonywania zadań w czasie i przestrzeni. W tym przypadku, ogniwa kierownicze przedsiębiorstw specjalistycznych pełnią rolę koordynacji wykorzystania posiadanych specjalistycznych elementów roboczych [6, 11].

W ten sposób, powstaje złożony konglomerat ogniw kierowania, wielu współpracujących przedsiębiorstw, w których nie istnieje hierarchia podległości (z wyjątkiem wojskowych systemów logistycznych). Niekiedy, więc przedsiębiorstwa spedycyjne są częścią wielkich organizacji przewozowych i przeciwnie.

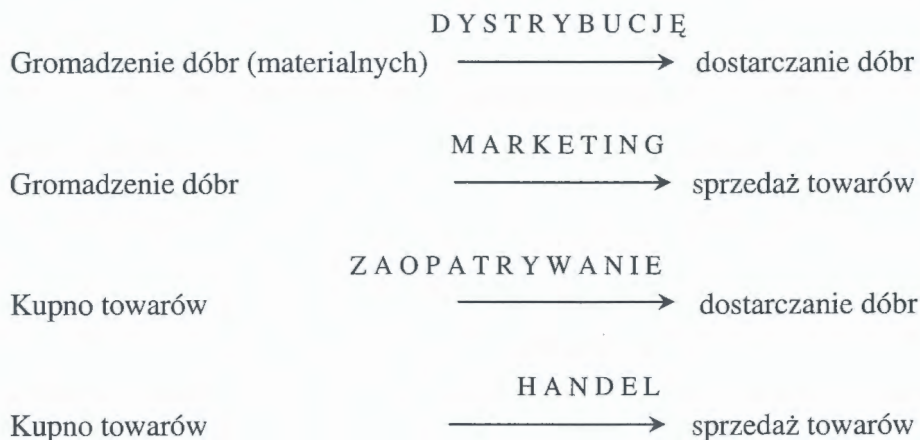
System logistyczny, może więc stanowić fragment przedsiębiorstwa, jak i przeciwnie – przedsiębiorstwa mogą być elementami systemu logistycznego.

Szersze naświetlenie niektórych, zagadnień organizacyjnych odnajdzie Czytelnik w pracy [12].

Wydaje się koniecznym, zastrzeżenie nazwy przedsiębiorstwa logistycznego dla tych organizacji, których przeznaczeniem jest usuwanie rozbieżności miejsc i chwil wytwarzania oraz konsumpcji dóbr materialnych. Jeżeli przeznaczeniem – głównym i jedynym – przedsiębiorstwa, jest przynoszenie jak największego zysku właścicielowi, to trudno nazwać taką działalność, jak na przykład - przetrzymywanie towarów w magazynach w celach spekulacyjnych – procesem logistycznym gdyż jest to postępowanie „antylogistyczne”, celowo wywołujące braki towarów w określonych miejscach i chwilach, aby uzyskać wyższe ceny. Niestety, granica między działalnością polegającą na usuwaniu rozbieżności między chwilami i miejscami wytwarzania i konsumpcji oraz potęgowaniu tych różnic jest płynna.

Procesem logistycznym (działaniem logistycznym) będziemy nazywali rodzaj działalności gospodarczej, mającej na celu usuwanie rozbieżności między chwilami i miejscami pojawienia się zapotrzebowania na dobra gospodarcze a chwilami i miejscami ich wytwarzania.

W zakresie działalności logistycznej możemy wyróżnić:



O jednostce organizacyjnej, wykonującej takie zadania mówimy, że realizuje funkcje logistyczne. Możemy wyróżnić trzy rodzaje funkcji logistycznych:

- funkcje przechowywania dóbr (towarów),
- funkcje przemieszczania dóbr (ładunków),
- funkcje organizacji procesów logistycznych.

Jednostki logistyczne mogą działać w różnych obszarach działalności gospodarczej (patrz tablica), jednak zawsze występują w roli pośrednika między dostawcą i odbiorcą.

Obszar działalności gospodarczej systemów logistycznych

	Odbiorcy	Zbiorowi (Przedsiębiorstwa)	Indywidualni (Klienci)
Dostawcy		Jednostki Logistyczne	Handel detaliczny
Zbiorowi (Przedsiębiorstwa)		Jednostki Skupu	Handel targowiskowy
Indywidualni (Rolnicy Rzemieślnicy)			

Z prawnego punktu widzenia, możemy wyróżnić dwie grupy: jednostki wchodzące w skład przedsiębiorstwa lub jednostki będące samodzielnymi przedsiębiorstwami.

Rodzaje Jednostek Logistycznych

1. Wewnątrzzakładowe: Wydziały, Biura, Sekcje ... Zaopatrzenia, Sprzedaży, Dostaw, Zakupów itp.
2. Samodzielne: Przedsiębiorstwa, Centrale, Hurtownie, Biura ... Logistyczne, Spedycyjne, Handlowe itp.

Niezależnie, jednostki logistyczne możemy dzielić według:

- rodzaju asortymentu towarowego, objętego działalnością logistyczną,
- rodzaju wykonywanych zadań (przechowywania, transportu, organizowania),
- wielkości obrotów towarowych,
- rozległości pokrywanego usługami terytorium.

Przykładami terytorialnych systemów logistycznych są:

Sieci magazynów sprzedaży -

- wyrobów spożywczych (np. Auchan, Tesco, itp.)
- samochodów osobowych (np. Fiata, Daewoo, itp.)
- komputerów (np. IBM, Compac, itp)

Sieci skupu -

- złomu
- owoców miękkich (np. Hortex)
- runa leśnego (np. Las).

W rezultacie system logistyczny tworzy splot współdziałających ze sobą różnego rodzaju przedsiębiorstw

- realizujących własnymi środkami proces obrotu towarowego (np. ORLEN, SCANIA itp.)
- realizujących środkami innych przedsiębiorstw proces obrotu (np. HARTWIG)

- realizujących cząstkowe zadania logistyczne
 - o transportowe (np. PKP, LOT itp.)
 - o magazynowe (Składnice, magazyny portowe itp.).

Działalność systemów logistycznych wyznaczają potrzeby odbiorców (klientów) a ograniczają możliwości źródeł zaopatrzenia oraz transportu i magazynowania.

W związku z tym, dużą rolę w systemach logistycznych stanowi umiejętność prognozy przyszłych potrzeb potencjalnych klientów. Umożliwiają one wcześniejsze zgromadzenie zapasów potrzebnych towarów i ich przemieszczenie środkami transportu tak, aby towar znalazł się „na miejscu” i „na czas”.

W szczególności, w monografii zajmiemy się organizacją systemu logistycznego, zakładając, że Czytelnik posiada wstępną znajomość technologii transportu i magazynowania.

Przy tym przez ORGANIZACJĘ SYSTEMU LOGISTYCZNEGO będziemy rozumieli:

- sposób współdziałania elementów systemu wymuszający racjonalny proces obrotu towarowego
- sposób synchronizacji stanów zapasów w magazynach

osiągany przy pomocy:

- środków transportu
- pomieszczeń, przystosowanych do przeładunku i przechowywania towarów.

Natomiast szczegóły technologiczne realizacji poszczególnych działań oraz opis techniczny poszczególnych środków transportu, sposobów magazynowania i wyposażenia magazynów Czytelnik odnajdzie w specjalistycznej literaturze, między innymi w [9] i [16].

Rozdział II

KOSZTY I OPTYMALIZACJA PROCESÓW LOGISTYCZNYCH W FIRMIE

Rozpatrzmy następujący przykład.

Przedsiębiorstwo produkcyjne, do utrzymania produkcji określonego wyrobu, musi być ciągle zaopatrywane w różnego rodzaju materiały i części.

Jedną z niezbędnych i kosztownych części, jest część nr i , którą przedsiębiorstwo nabywa od pewnego producenta, działającego w odległej miejscowości. Producent tej części sprzedaje je w cenie C_{oi} [zł/szt.] ze swojego magazynu fabrycznego.

Zgodnie z przyjętym programem produkcji α [szt./rok] przedsiębiorstwa, do każdego wyrobu końcowego niezbędna jest jedna część nr i , co określa zapotrzebowanie przedsiębiorstwa na te części.

Założmy, że koszt dowozu części z magazynu producenta do przedsiębiorstwa jest równy d_i [zł/szt.], przy tym uruchomienie każdej dostawy, niezależnie od wielkości partii Q_i pociąga koszt stały D_i .

Interesuje nas, jakie będą dodatkowe koszty dostawy tej części, oczywiście poza kosztem zakupu C_{oi} . Zatem koszty te musimy uwzględnić przy kalkulacji kosztów własnych wyrobu, w tym – w szczególności – koszt własny zamontowanej części nr i w wyrobie.

Naszym celem jest określenie, o jaką wartość wzrośnie cena wmontowanej do wyrobu części a głównie, w jaki sposób zmniejszyć ten koszt.

Sformułujmy więc zadanie optymalizacji procesu przepływu części nr i od ich producenta do rozważonego przedsiębiorstwa, minimalizujące koszty logistyki.

1. Minimalne koszty zaopatrywania przedsiębiorstwa w części

Koszt dostawy jednej partii części o wielkości Q [szt.] od odległego dostawcy nr i :

$$Q_i \cdot C_{oi} + Q_i \cdot d_i + D_i$$

gdzie: C_{oi} – cena części w magazynie dostawcy („loco magazyn dostawcy”)

d_i – cena przewozu części na drodze od dostawcy i do przedsiębiorstwa, proporcjonalna do odległości przewozu

D_i – koszt stały uruchomienia transportu części, niezależny od wielkości partii dostawy

Jeżeli symbolem C_i oznaczymy koszt części, na który składa się cena części C_{oi} oraz koszt dowozu części d_i :

$$C_i = C_{oi} + d_i$$

to koszt dostawy jednej partii części będzie określony wyrażeniem

$$Q_i \cdot C_i + D_i$$

Ponieważ dostaw takich partii o wielkości Q_i potrzeba

$$\frac{\alpha}{Q_i}$$

więc roczny koszt K_i^o dostaw części do przedsiębiorstwa będzie równy

$$K_i^o \left[\frac{\text{zł}}{\text{rok}} \right] = \frac{\alpha}{Q_i} D_i + C_i \cdot \alpha + \frac{Q_i}{2} \cdot C_i \cdot \rho$$

Ostatni człon wzoru wyraża koszt „zamrożenia” kapitału obrotowego, którego wielkość wyraża iloczyn

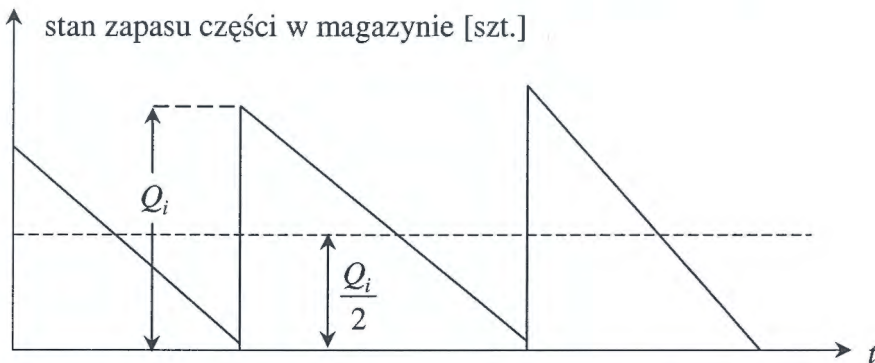
średniego zapasu w magazynie $\frac{Q_i}{2}$

oraz

kosztu C_i pojedynczej części

Wielkość ρ jest stopą oprocentowania kapitału obrotowego, który jest niezbędny dla utrzymania działalności przedsiębiorstwa.

Dokładniej: jest to tylko część niezbędnego kapitału, spowodowana koniecznością sprowadzania części od dostawcy nr i . Jeżeli więc oprocentowanie kredytu obrotowego, zaciągniętego w banku jest równe np. 25% rocznie to $\rho = 0,25$.



Rys. 1. Określenie średniego stanu zapasów w magazynie przy dostawach partii części o wielkości Q_i

Różniczkując K_i^o względem Q_i otrzymamy

$$\frac{dK_i^o}{dQ_i} = -\frac{1}{Q_i^2} \alpha \cdot D_i + \frac{1}{2} C_i \rho$$

Przyrównując pochodną do zera, otrzymamy równanie na optymalną wartość $Q_i = Q^*$ taką, dla której roczne koszty dostawy części osiągają wartość minimalną. Z tak otrzymanego równania:

$$\frac{1}{2} C_i \rho = \frac{1}{(Q_i^*)^2} \alpha \cdot D_i$$

wyznaczamy optymalną wartość Q_i^* :

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha \cdot D_i}{\rho \cdot C_i}} \quad [\text{szt}]$$

oraz optymalny cykl dostaw

$$T_i^* = \frac{Q_i^*}{\alpha} = \sqrt{\frac{2 D_i}{\rho \cdot \alpha \cdot C_i}} \quad [\text{szt}]$$

W chwilach składania kolejnych zamówień (Reorder Point – ROP) składamy zamówienie na następującą ilość części:

$$\alpha \cdot T_i^* + k \cdot \delta - \text{(aktualna pozostałość zapasu części w magazynie)}$$

gdzie:

δ – odchylenie średniokwadratowe zużycia części, w stosunku do wartości oczekiwanej, równej $\alpha \cdot T_i^*$, wywołane różnymi czynnikami losowymi,

k – współczynnik bezpieczeństwa, zapobiegający ewentualnym brakom części, zwykle $k = 2$, co zapewnia, że niebezpieczeństwo braku części jest mniejsze od 2,5%.

Po podstawieniu optymalnej wartości Q_i^* do wzoru na wartość K_i^o otrzymamy, że minimalny koszt dostaw części od odległego dostawcy nr i będzie równy:

$$K_{i,\min}^o = \sqrt{2 \cdot C_i \cdot \alpha \cdot D_i \cdot \rho} + C_i \cdot \alpha$$

Zauważmy, że gdyby koszty przewozu i magazynowania były równe zeru, to koszty dostaw byłyby równe

$$K_i^o = C_{oi} \cdot \alpha$$

a więc koszt pozostały $\Delta K_{i,\min}^o$ możemy traktować jako koszty logistyki

$$\Delta K_{i,\min}^o = \sqrt{2 \cdot C_i \cdot \alpha \cdot D_i \cdot \rho} + \alpha \cdot d_i$$

Są one spowodowane odległością dostawcy nr i od przedsiębiorstwa i są to koszty minimalne!

Każda więc część jest „obciążona” kosztami zaopatrzenia (logistyki) w wysokości

$$\Delta k_{i,\min}^o = \frac{\Delta K_{i,\min}^o}{\alpha} = \sqrt{\frac{2 \cdot C_i \cdot D_i \cdot \rho}{\alpha}} + d_i$$

Natomiast procentowy przyrost kosztu części (o koszt logistyki) będzie równy

$$\frac{\Delta k_{i,\min}^o}{C_{oi}} \cdot 100\% = \left(\sqrt{\frac{2 \cdot D_i \cdot \rho}{\alpha \cdot C_{oi}}} \cdot \left(1 + \frac{d_i}{C_{oi}} \right) + \frac{d_i}{C_{oi}} \right) \cdot 100\%$$

Aby uwzględnić wszystkie koszty związane z zaopatrzeniem przedsiębiorstwa w części, musimy uwzględnić koszt utrzymania magazynu części o odpowiedniej pojemności niezbędnej w chwili dostawy, celem rozładowania środków transportu.

Aby uwzględnić ten koszt, oznaczmy symbolami

m – roczny koszt utrzymania jednostki powierzchni (lub objętości) magazynu zapewniającego odpowiednie warunki przechowywania części, $\left[\frac{\text{zł}}{\text{m}^2 \cdot \text{rok}} \right]$ lub $\left[\frac{\text{zł}}{\text{m}^3 \cdot \text{rok}} \right]$;

oraz

q – powierzchnię lub objętość magazynu, niezbędną do przechowywania jednej części, $\left[\frac{\text{m}^2}{\text{szt}} \right]$ lub $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{szt}} \right]$

wtedy koszt utrzymania magazynu, o niezbędnej w chwili dostawy, powierzchni

$$Q_i^* \cdot q$$

będzie równy

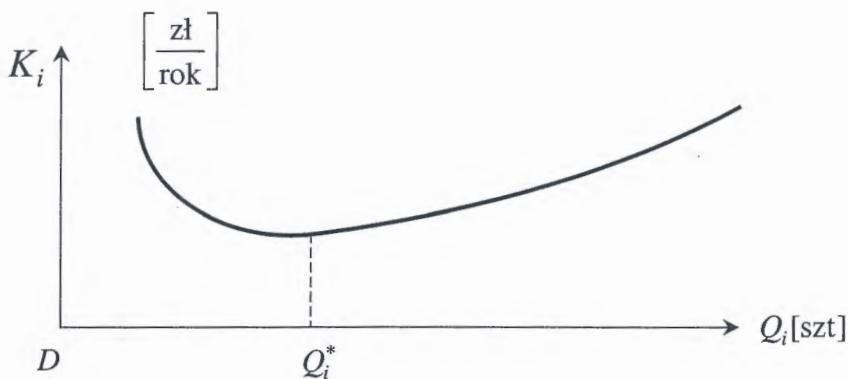
$$m \cdot q \cdot Q_i^* \left[\frac{\text{zł}}{\text{rok}} \right]$$

W tym więc przypadku, wzór na koszt zaopatrywania przedsiębiorstwa w części ulegnie uzupełnieniu, przyjmując postać

$$K_i = \frac{\alpha}{Q_i} \cdot D_i + C_i \cdot \alpha + \frac{Q_i}{2} C_i \cdot \rho + m \cdot q \cdot Q_i$$

Różniczkując K_i względem Q_i otrzymamy:

$$\frac{dK_i}{dQ_i} = -\frac{1}{Q_i^2} \cdot \alpha \cdot D_i + \frac{1}{2} C_i \cdot \rho + m \cdot q$$



Rys. 2. Przebieg zależności K_i od Q_i

Przyrównując pochodną do zera i rozwiązując równanie względem Q_i , otrzymamy wzór na optymalną wartość Q_i^* zapewniającą

minimalny koszt zaopatrywania przedsiębiorstwa w części, z uwzględnieniem kosztu utrzymania odpowiedniego magazynu

$$Q_i^* = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha \cdot D_i}{C_i \cdot \rho + 2 \cdot m \cdot q}}$$

Dla optymalnej partii dostaw, minimalny koszt zaopatrywania osiągnie wartość:

$$K_{i,\min} = \sqrt{2(C_i \cdot \rho + 2mq)\alpha \cdot D_i} + C_i \cdot \alpha$$

Przyrost kosztu części spowodowany koniecznością ich przewozu od dostawcy nr i a następnie przechowywania będzie równy:

$$\Delta K_{i,\min} = \sqrt{2(C_i \cdot \rho + 2 \cdot m \cdot q)\alpha \cdot D_i} + d_i \cdot \alpha$$

Odpowiednio przyrost kosztu pojedynczej części będzie równy

$$\Delta k_{i,\min} = \frac{\Delta K_{i,\min}}{\alpha} = \sqrt{\frac{2D_i}{\alpha}(C_i \cdot \rho + 2mq)} + d_i$$

a względem ceny części C_{oi} :

$$\frac{\Delta k_{i,\min}}{C_{oi}} \cdot 100\% = \left(\sqrt{\frac{2D_i \cdot \rho}{\alpha \cdot C_{oi}} \left(1 + \frac{d_i + 2 \frac{m \cdot q}{\rho}}{C_{oi}} \right)} + \frac{d_i}{C_{oi}} \right) \cdot 100\%$$

2. Minimalne koszty przy produkcji seryjnej, z cyklicznymi dostawami wyrobów gotowych do magazynu

Koszt uruchomienia produkcji seryjnej (po przerwie na produkcję innych wyrobów) jest równy C_o [zł] a koszt wyprodukowania jednej sztuki wyrobu jest równy K [zł/sztukę]. W sumie koszt własny 1 sztuki wyrobu przyjmowanego do magazynu będzie:

$$\frac{C_o}{Q_1} + K$$

gdzie Q_1 jest długością serii.

Czas wykonania Q_1 [sztuk] wyrobów, jest równy $T_1 = \frac{Q_1}{\mu_1}$ gdzie

μ_1 jest wydajnością linii produkcyjnej wyrażonej w ilości wyrobów wyprodukowanych w jednostce czasu. Ponieważ średni zapas w magazynie zbytu jest równy $\frac{1}{2}Q_1$, to koszt zamrożenia zapasów w okresie jednego cyklu będzie

$$\frac{1}{2}Q_1T \left(K + \frac{C_o}{Q_1} \right) \cdot \rho$$

W rezultacie, koszty fabryki ponoszone w okresie T będą równe

$$\left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) Q_1 + \frac{1}{2}Q_1T \left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot \rho$$

a koszty na jednostkę czasu

$$F = \frac{C_o}{T} + \frac{Q_1K}{T} + \frac{1}{2}Q_1 \left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot \rho$$

ale $T = \frac{Q_1}{\lambda_1}$ więc

$$F = C_o \frac{\lambda_1}{Q_1} + K \cdot \lambda_1 + \frac{1}{2} Q_1 \left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot \rho$$

gdzie λ_1 jest intensywnością opróżnienia magazynu zbytu

Po zróżniczkowaniu i przyrównaniu pochodnej do zera otrzymamy

$$-C_o \frac{\lambda_1}{Q_1} + \frac{1}{2} K \cdot \rho = 0$$

stąd

$$Q^* = \sqrt{\frac{2\lambda_1 C_o}{K \cdot \rho}}$$

3. Minimalne koszty przy produkcji seryjnej, magazyn zbytu zaopatrywany ze zmienną intensywnością μ_1

Koszt własny wyrobu przyjmowanego do magazynu

$$\frac{C_o}{Q_1} + K$$

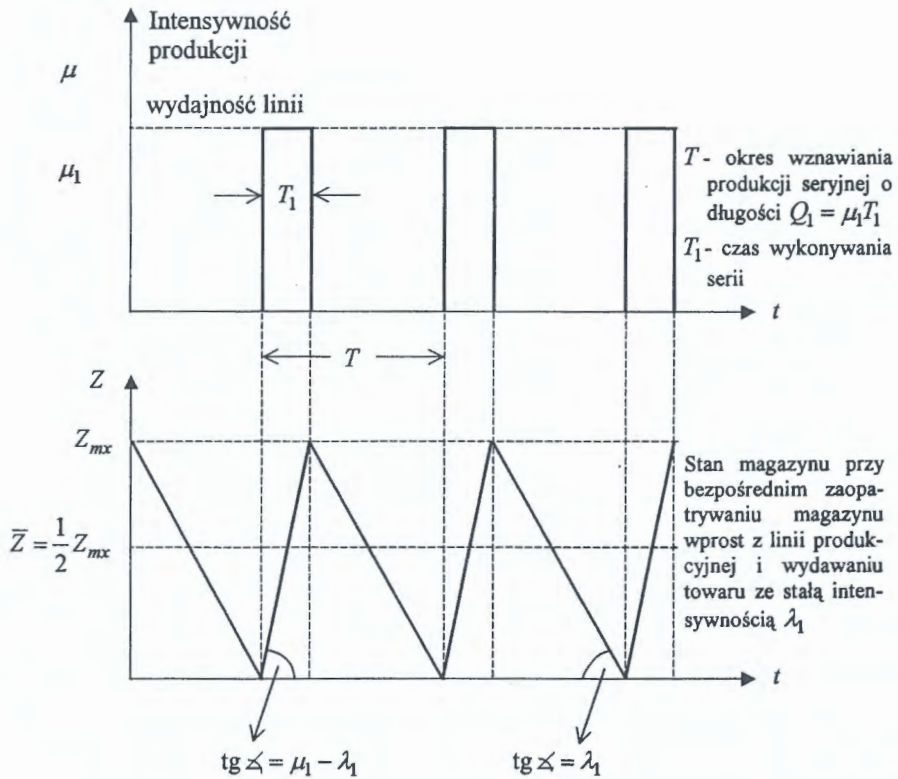
Maksymalny stan zapasów będzie równy

$$Z_{mx} = Q_1 - \lambda_1 T_1 = Q_1 \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right)$$

gdź $T_1 = \frac{Q_1}{\mu_1}$

Średni stan zapasów \bar{Z} mamy

$$\bar{z} = \frac{1}{2} Z_{mx} = \frac{1}{2} Q_1 \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right)$$



W rezultacie, koszty własne fabryki w okresie T będą równe

$$\left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot Q_1 + \frac{1}{2} Q_1 \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot T \cdot \rho$$

a na jednostkę czasu (po podstawieniu przez $T = \frac{Q_1}{\lambda_1}$)

$$F = C_o \frac{\lambda_1}{Q_1} + K \cdot \lambda_1 + \frac{1}{2} Q_1 \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \left(\frac{C_o}{Q_1} + K \right) \cdot \rho$$

Po zróżniczkowaniu i przyrównaniu pochodnej do zera, otrzymamy

$$-C_o \frac{\lambda_1}{Q_1^2} + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}\right) \cdot K \cdot \rho = 0$$

oraz

$$Q_1^* = \sqrt{\frac{2\lambda_1 C_o}{\left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}\right) \cdot K \cdot \rho}} \quad \text{dla} \quad \lambda_1 < \mu_1$$

Wraz z maleniem μ_1 wzrasta Q_1 i cykl dostaw $T = \frac{Q_1}{\lambda_1}$. W przypadku, gdy $\mu_1 \rightarrow \lambda_1$, magazyn staje się zbyteczny (sprzedaż bezpośrednio z linii produkcyjnej). W przypadku, gdy $\mu_1 \rightarrow \infty$ otrzymujemy poprzedni wzór klasyczny.

Zauważmy, że jeżeli koszty własne fabryki w okresie T (patrz wyżej) podzielimy przez Q_1 ilość wyprodukowanych w tym okresie wyrobów, to koszt własny wyprodukowania jednego wyrobu:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{C_o}{Q_1} + K\right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}\right) \left(\frac{C_o}{Q_1} + K\right) \cdot T \cdot \rho = \\ & = \left(\frac{C_o}{Q_1} + K\right) \left[1 + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}\right) \cdot T \cdot \rho\right] = \\ & = \left(\frac{C_o}{Q_1} + K\right) \left[1 + \frac{1}{2} Q_1 \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1}\right) \cdot \frac{\rho}{\lambda_1}\right] \end{aligned}$$

gdyż $T = \frac{Q_1}{\lambda_1}$

Podstawiając za Q_1 wartość Q_1^* , przy której koszt wytworzenia wyrobu jest minimalny, otrzymamy minimalny koszt własny (lub cenę własną) wyrobu

$$C_{\min} = K \left(1 + \sqrt{\frac{C_o \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \cdot \rho}{2\lambda_1 K}} \right)^2$$

Przyrost kosztu wytwarzania wyrobu ΔC_{\min} względem jego kosztu produkcji K będzie więc równy

$$\frac{\Delta C_{\min}}{K} = \sqrt{\frac{C_o \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \cdot \rho}{2\lambda_1 K}} + \frac{C_o \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \cdot \rho}{2\lambda_1 K}$$

Jeżeli więc, w koszcie produkcji uwzględnimy koszty zużytych materiałów

$$\sum_i (C_{oi} + \Delta k_{i,\min}^o) \cdot \eta_i$$

gdzie:

η_i – ilość zużytych części nr i do wytworzenia jednej sztuki wyrobu, przy tym $\alpha_i = \mu_i \lambda_i$

C_{oi} – cena zakupu części nr i (loco magazyn dostawcy)

$\Delta k_{i,\min}^o$ – koszt zaopatrzenia (logistyki) w części, jaką obciążona jest jedna część

(patrz poprzednie strony).

Jeżeli do bezpośrednich materiałowych kosztów produkcji dodamy pozostałe koszty ΔK takie, jak koszty pracy energii, zużycia maszyn (amortyzację) itp., to możemy określić wartość

$$K = \sum_i \eta_i \cdot (C_{oi} + \Delta k_{i,\min}^o) + \Delta K$$

oraz cenę własną wyrobu

$$C_{\min} = \left[\sum_i \eta_i \cdot (C_{oi} + \Delta k_{i,\min}^o) + \Delta K \right] \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{C_o \left(1 - \frac{\lambda_1}{\mu_1} \right) \cdot \rho}{2\lambda_1 K}} \right)$$

gdzie

$$\Delta k_{i,\min}^o = \sqrt{\frac{2 \cdot (C_{oi} + d_i) \cdot D_i \cdot \rho}{\eta_1 \lambda_1}} + d_i$$

D_i – stały koszt uruchomienia dostawy

d_i – cena transportu od magazynu dostawcy do odbiorcy

Po ustaleniu wartości C_{\min} oraz określeniu wydatków stałych (niezależnych od wielkości produkcji takich jak: utrzymanie budynków, ogrzewanie, podatek gruntowy itp., możemy określić cenę zbytu C naszego wyrobu.

4. Minimalizacja kosztów w warunkach sezonowego popytu, przekraczającego okresowo możliwości produkcyjne [13]

Niech zapotrzebowanie na wyroby będzie zmienne w czasie: $\lambda(t)$ takie, że $\lambda_{\max} > \mu$ - jest większe, w niektórych odcinkach czasu, od możliwości produkcyjnych.

Celem zaspokojenia zapotrzebowania w okresach, gdy zachodzi nierówność: $\lambda(t) > \mu$, należy – **zgromadzić zapas** towaru w tych okresach, gdy $\lambda(t) < \mu$, lub- **powiększyć możliwości produkcyjne** o wielkość $\Delta\mu$ poprzez wprowadzenie nocnych zmian (pracy w sobotę i niedzielę) – **lub podzlecić** innemu zakładowi (konkurencyjnemu?) wykonanie dodatkowych ΔL ilości towaru, tak aby zaspokoić zapotrzebowanie.

Nie dopuszcza się możliwości niezaspokojenia zapotrzebowania rynku. Oczywiście wszystkie te sposoby można wykorzystywać jednocześnie, należy jednak brać pod uwagę, że wykonanie dodatkowych wyrobów w godzinach ponadnormatywnych pociąga za sobą dodat-

kowe koszty, które powodują, że cena jednostki towaru C będzie większa o ΔC .

Jeżeli podzlecimy wykonanie dodatkowej ilości wyrobów ΔL w okresie ΔT tak, że $\frac{\Delta L}{\Delta T} = \Delta \mu$, to cena C' nabycia takich wyrobów będzie dużo większa od C (kosztu własnego).

W przypadku wcześniejszego wyprodukowania wyrobów na zapas, przechowywanie każdej jednostki towaru przez okres jednej jednostki czasu (zwykle rok), będzie nas kosztowało $C_h \left[\frac{\text{zł}}{\text{jedn. czasu}} \right]$ przy czym $C_h = C \cdot \rho$. Pomijamy tu koszty utrzymania magazynu o niezbędnej pojemności.

Wszystkie te dodatkowe koszty zmniejszają nasz zysk. Z drugiej strony, utrzymywanie tak wielkich zdolności produkcyjnych μ' , aby zawsze była spełniona nierówność $\lambda(t) \leq \mu'$, spowoduje także zwiększenie kosztów produkcji o większy koszt odpisów amortyzacyjnych większego parku maszynowego.

Zauważmy, że niekiedy wahania sezonowe produkcji są szczególnie duże, np. przy produkcji cukru. W szczytowym okresie kampanii produkcyjnej jesienią, wszystkie możliwości produkcyjne są maksymalnie wykorzystywane, podczas gdy w pozostałym okresie cukrownie nie pracują. Podobne zjawisko mamy przy produkcji lodów, przetwórci owoców itp.

Celem ilustracji zagadnienia planowania zapasów (i produkcji) w warunkach sezonowości zbytu, rozpatrzmy następujący przykład.

Prognoza zapotrzebowań klientów w następujących trzech miesiącach ($t = 1, 2, 3$) przewiduje następujące wartości $\lambda(t)$:

$\lambda(1) = 800$ palet/miesiąc Marzec, ale w magazynie posiadamy 100 palet (zapas pozostały z Lutego)

$\lambda(2) = 1000$ palet/miesiąc Kwiecień

$\lambda(3) = 750$ palet/miesiąc Maj.

przy tym, normatywne możliwości produkcji nie przekraczają $\mu = 700$ palet/miesiąc.

Są możliwości zwiększenia produkcji o 50 palet/miesiąc przez wykorzystanie wolnych sobót i niedziel, jednak to podraża normatywny koszt produkcji 40 zł/paletę o 10 zł tak, że koszt produkcji jednej palety będzie wtedy równy 50 zł.

W przypadku zamówienia palet u konkurenta, koszt nabycia będzie równy 70 zł, przy tym w okresie Marzec – Kwiecień, możemy uzyskać maksymalnie 150 palet/miesiąc a w Maju – 130 palet/miesiąc.

Sformułowanie matematyczne problemu.

Planowania zapasów (i produkcji) w warunkach sezonowości popytu

$$\begin{array}{ll} \lambda_{\min} \leq \lambda(t) \leq \lambda_{\max} & \text{intensywność zbytu} \\ \mu < \lambda_{\max} & \text{możliwości produkcji } (\mu) \end{array}$$

Możliwe strategie – sposoby realizacji zapotrzebowań s

- $s = 1$ Gromadzenie zapasów $Z(t)$, gdy $\lambda(t) < \mu$ oraz przechowywania przy koszcie $\tau \cdot \rho \cdot C$ plus koszt utrzymania magazynu.
- $s = 2$ Podwyższenie możliwości produkcyjnych o wartość $\Delta\mu$ przez pracę w nadgodzinach lub soboty i niedziele, przy wzroście kosztów jednostkowych wyrobów o ΔC .
- $s = 3$ Podzlecenie konkurencji dostarczania wyrobów (naszej firmie) $\Delta\mu$ lecz po wyższej cenie $C' > C$.

Dane:

$$\lambda(t) : \frac{t}{\lambda} \left| \begin{array}{ccc} t=1 & t=2 & t=3 \\ 700 & 1000 & 750 \end{array} \right. \text{ (miesiące)}$$

$$s = 1) \quad \mu(t) = \text{const.} = 700 \text{ przy } C = 40$$

$$s = 2) \quad \Delta(\mu) = 50 \text{ przy } C + \Delta C = 40 + 10, \text{ dla } \mu > 700$$

$$s=3) \Delta\mu \leq a \frac{t}{a} \left| \begin{array}{ccc} t=1 & t=2 & t=3 \\ 150 & 150 & 130 \end{array} \right. , \quad C'=70$$

$$\rho = 0,05 \frac{1}{\text{miesiąc}} \quad \rho C = 2 \text{ zł/miesiąc}$$

$$\rho(C + \Delta C) = 2,5 \text{ zł/miesiąc}$$

$$\rho C' = 3,5 \text{ zł/miesiąc}$$

SFORMUŁOWANIE MODELU

Zmienne decyzyjne

$x_{ij}^s \geq 0$ ilość towaru uzyskanego w okresie $t = i$ sposobem s przeznaczony na zaspokojenie popytu w okresie $t = j$.

Oczywiście $x_{ij}^s = 0$ zawsze, jeżeli $i > j$.

Ograniczenia

dla $t = 1$

$$\begin{aligned} x_{13}^1 + x_{23}^1 + x_{33}^1 + \\ + x_{13}^2 + x_{23}^2 + x_{33}^2 + \\ + x_{13}^3 + x_{23}^3 + x_{33}^3 \geq 700 \end{aligned}$$

dla $t = 2$

$$\begin{aligned} x_{12}^1 + x_{22}^1 + \\ + x_{12}^2 + x_{22}^2 + \\ + x_{12}^3 + x_{22}^3 \geq 1000 \end{aligned}$$

dla $t = 3$

$$\begin{aligned} x_{12}^1 + \\ + x_{11}^2 + \\ + x_{11}^3 \geq 700 \end{aligned}$$

dla $s = 1$

$$x_{11}^1 + x_{12}^1 + x_{13}^1 \leq 700$$

$$x_{22}^1 + x_{23}^1 \leq 700$$

$$x_{33}^1 \leq 700$$

dla $s = 2$

$$x_{11}^2 + x_{12}^2 + x_{13}^2 \leq 50$$

$$x_{22}^2 + x_{23}^2 \leq 50$$

$$x_{33}^2 \leq 50$$

dla $s = 3$

$$x_{11}^3 + x_{12}^3 + x_{13}^3 \leq 150$$

$$x_{22}^3 + x_{23}^3 \leq 150$$

$$x_{33}^3 \leq 130$$

Funkcja kryterium

$$F = \sum_s \sum_{i,j} C_{ij}^s \cdot x_{ij}^s$$

przy tym

dla $s = 1$

C_{ij}^1	j			
	i	1	2	3
1	1	40	42	44
2	2	-	40	42
3	3	-	-	40

dla $s = 2$

C_{ij}^2	j			
	i	1	2	3
1	1	50	52,5	55
2	2	-	50	52,5
3	3	-	-	50

dla $s = 3$

C_{ij}^3	j				
	i		1	2	3
	1		70	73,5	77
	2		-	70	73,5
	3		-	-	70

Jest to zadanie transportowe programowania liniowego, które rozwiążemy np. metodą węgierską.

Proгноza zapotrzebowania na towar		700	1000	750	
		Marzec $t = 1$	Kwiecień $t = 2$	Maj $t = 3$	
Mozliwości uzyskania towaru w poszczególnych miesiącach	Marzec	Produkcja normatyw. 700	700/40	/42	/44
		Produkcja ponadnormat. 50	/50	50/52,5	/55
		Zakup u konkurenta 150	/70	150/73,5	/77
	Kwiecień	Produkcja normatyw. 700		700/40	/42
		Produkcja ponadnormat. 50		50/50	/52,5
		Zakup u konkurenta 150		50/70	/73,5
	Maj	Produkcja normatyw. 700			700/40
		Produkcja ponadnormat. 50			50/50
		Zakup u konkurenta 130			/70

W powyższej tabelce w każdej kratce, w jej dolnym fragmencie, podane są wartości C_{ij}^s dla wszystkich s oraz $i \leq j$. Optymalne wartości $X_{ij}^{*s} > 0$ wpisane są na górze kratki. Wartości $X_{ij}^{*1} = 0$ nie są wpisywane do kratek.

5. Metody logistycznego planowania operatywnego w przedsiębiorstwie [13]

W rozdziale tym opiszemy niektóre metody planowania operatywnego dostaw przy zmieniającej się intensywności produkcji μ .

Przy ustalonym cyklu dostaw $T = 1$ tydzień (40 rbg), na Tablicy 1 przedstawiono przykład metody planowania operatywnego dostaw, w zależności od zmieniających się zapotrzebowań: $T \cdot \mu(t)$ określonych ciągiem liczb: 400, 750, 850, 1000, 800, 600, 700, 800 w poszczególnych tygodniach nr 40 ÷ 47 (patrz-dwa pierwsze wiersze tablicy).

Rezultatem planowania operatywnego są wielkości zamówień na dostawy i tworzą one (w ostatnim wierszu) ciąg liczb 1000, 1000, 1000, 750, 500, 750, 750.

Zamówienia muszą wyprzedzać chwile dostaw (pierwszy i drugi wiersz od dołu tablicy) o dwa tygodnie, tyle bowiem czasu T_T zajmie dostawcy przygotowanie i dowiezienie zamówionych towarów. Tak duże opóźnienie między chwilami składowania zamówień a chwilami dostaw, wymaga znajomości wielkości potrzeb produkcji na dwa tygodnie naprzód.

Jest to zasada ogólna: minimalne potrzeby znajomości produkcji w przyszłości muszą dotyczyć okresu o długości, co najmniej równej opóźnieniu dostaw względem chwil składania zamówień.

Powyższa metoda planowania operatywnego zilustrowana strzałkami na tablicy, może być formalnie opisana w sposób następujący.

Jeżeli symbolem $P(t+2)$ oznaczmy zapotrzebowanie produkcyjne, jakie jest przewidziane za dwa tygodnie, względem aktualnego tygodnia nr t , gdzie

$$P(t+2) = T \cdot \mu(t+2)$$

a symbolem $Z_K(t+1)$, pozostałość zapasu z końca poprzedzającego $(t+1)$ tygodnia, to zapotrzebowanie netto, powstałe po odjęciu pozostałego zapasu będzie równe

$$N(t+2) = P(t+2) - Z_K(t+1) + 300$$

gdzie ostatni składnik (300) wyznacza minimalny poziom zapasu bezpieczeństwa poniżej wartości którego nigdy stan zapasów nie powinien spadać.

Tak obliczone wartości N dla $t = 40, 41, \dots, 47$ są zapisane w czwartym wierszu tablicy.

Aby następnie obliczyć wartość $Z_K(t+2)$ pozostałego zapasu pod koniec tygodnia $t+2$, musimy odjąć zapotrzebowania brutto $P(t+2)$ od sumy dostaw $D(t+2)$ i pozostałości $Z_K(t+1)$ z poprzedniego tygodnia:

$$Z_K(t+2) = D(t+2) + Z_K(t+1) - P(t+2)$$

Wartości Z_K dla kolejnych tygodni: 40, 41, ..., 47 są wypisane w trzecim wierszu Tablicy.

Tablica 1. Planowanie tygodniowych dostaw (40 ÷ 47)

Tygodnie (nr) →		40	41	42	43	44	45	46	47
Zapotrzebowanie produkcyjne (brutto)		400	750	850	1000	800	600	700	800
Pozostałość – stan początkowy dla następnego okresu	500	100 →	350 →	500 →	500 →	450 →	350 →	400 →	350
Zapotrzebowanie netto (brutto - pozostałość + zapas bezpieczeństwa 300)				800	800	600	450	650	700
Otrzymane dostawy równe zamówieniom z przed 2 tygodni (czas transportu)			1000	1000	1000	750	500	750	750
Wielkość zamówienia (planowana)	1000	1000	1000	750	500	750	750		

POZOSTAŁOŚĆ (STAN MAGAZYNU NA KONIEC OKRESU) = STAN POCZĄTKOWY (POZOSTAŁOŚĆ Z POPRZEDNIEGO OKRESU) + DOSTAWY – ZAPOTRZEBOWANIE BRUTTO

Oczywiście ich wartość nie powinna spadać poniżej 300 jednostek. Rozwiązując powyższą równość względem $D(t+2)$, otrzymamy

$$D(t+2) = Z_K(t+2) - Z_K(t+1) + P(t+2)$$

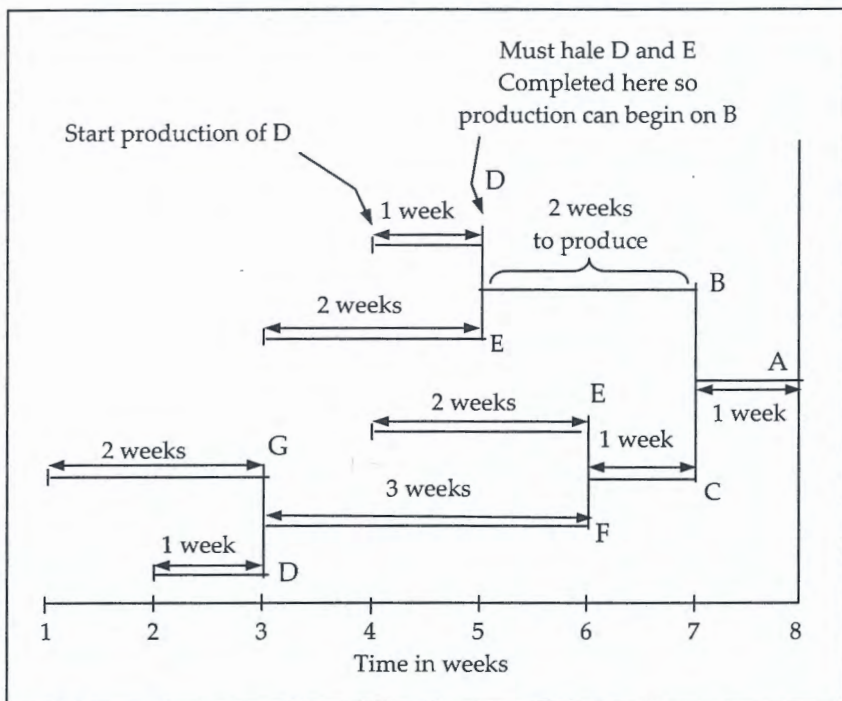
przy warunku, że $Z_K(t+2) \geq 300$.

W rezultacie, znając potrzebne dostawy $D(t+2)$ w chwili $t+2$ i uwzględniając 2 tygodniowe opóźnienie dostaw względem wielkości zamówienia S , możemy wyznaczyć wielkość zamówienia w chwili t

$$S(t) = D(t+2)$$

z dokładnością do 250 jednostek, wtedy kolejne zamówienia (ostatni wiersz Tablicy) przyjmują wartość 1000, 1000, 1000, 750, 500, 750, 750 dla $t = 39, 40, \dots, 45$.

W ten sposób możemy wyznaczyć „ręcznie”, harmonogram niezbędnych dostaw i harmonogram terminów składania zamówień, uwzględniający opóźnienia transportowe dostaw.



Rys. 16. Zależności czasowe operacji montażowych dla wyrobu A

Przy tym przyjęto, że do wyprodukowania:

1 szt. A	potrzeba	2 szt. części B oraz 3 szt. części C;
1 szt. B	potrzeba	2 szt. części D oraz 2 szt. części E;
1 szt. C	potrzeba	2 szt. części E oraz 2 szt. części F;
1 szt. F	potrzeba	2 szt. części D oraz 1 szt. części G.

Ostateczny kształt harmonogramu składania zamówień („Order Releases”) i spływu („Order Receipts”) poszczególnych części jest widoczny na Tablicy 3, w której uwzględniono stany zapasów w magazynie podręcznym („on Hand”) na hali produkcyjnej. Strzałki na Tablicy wskazują wielkości zamówień, na poszczególne części, i w którym tygodniu ma ono być złożone („Planned Order Releases”).

Następną komplikacją, przy układaniu harmonogramu dostaw części, jest okoliczność, gdy te same części wchodzi w skład różnych wyrobów końcowych i niektóre z nich są sprzedawane ponadto oddzielnie, jako części zapasowe. Taką sytuację ilustruje rysunek 17.

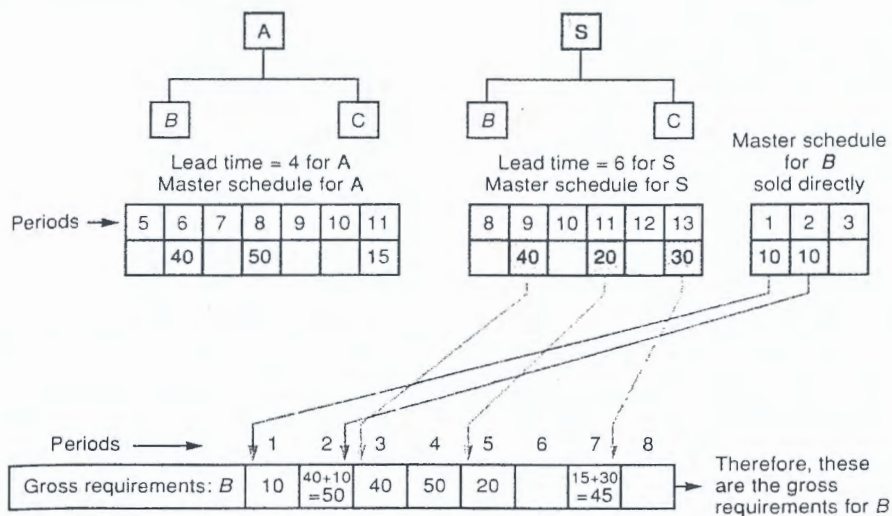
Fabryka sprzedaje dwa wyroby końcowe „A” i „S” oraz jako część zapasową wyrób „B”.

Terminy sprzedaży wyrobu „A”, zgodnie z zamówieniami, przypadają na 6, 8 i 11 okres (np. tydzień) a wyrobu „B” na 9, 11 i 13 okres. Części „B” muszą być przygotowane do sprzedaży w 1 i 2 okresie. Na rysunku widoczne są także ilości zamówionych wyrobów w wymienionych tygodniach.

Tablica 3. Zapotrzebowanie materiałów (części) do planu produkcji wyroby A

Lot- for- Lot	1	10	—	—	0	A	Gross Requirements									50				
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
							Net Requirements													40
							Planned Order Receipts													40
							Planned Order Releases												40	
Lot- for- Lot	2	15	—	—	1	B	Gross Requirements									80 ^A				
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
							Net Requirements													65
							Planned Order Receipts													65
							Planned Order Releases										65			
Lot- for- Lot	1	20	—	—	1	C	Gross Requirements									120 ^A				
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
							Net Requirements													100
							Planned Order Receipts													100
							Planned Order Releases											100		
Lot- for- Lot	2	10	—	—	2	E	Gross Requirements							130 ^B	200 ^C					
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	10	10	10	10	10	10	10						
							Net Requirements								120	200				
							Planned Order Receipts									120	200			
							Planned Order Releases							120	200					
Lot- for- Lot	3	5	—	—	2	F	Gross Requirements								200 ^C					
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
							Net Requirements													195
							Planned Order Receipts													195
							Planned Order Releases							195						
Lot- for- Lot	1	10	—	—	3	D	Gross Requirements						390 ^F	130 ^B						
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
							Net Requirements								380	130				
							Planned Order Receipts								380	130				
							Planned Order Releases							380		130				
Lot- for- Lot	2	0	—	—	3	G	Gross Requirements						195 ^F							
							Scheduled Receipts													
							Projected on Hand								0					
							Net Requirements								195					
							Planned Order Receipts								195					
							Planned Order Releases							195						

Spróbujmy ustalić harmonogram produkcji części „B”, która wchodzi (w stosunku 1:1), zarówno w skład wyrobu „A” jak i „B” przy założeniu, że czas przygotowania wyrobu „A” trwa 4 okresy a „B” 6 okresów.



Rys. 17. Harmonogram produkcji części „B” dla zapewnienia montażu wyrobów „A” i „S”

Wynikowy harmonogram potrzeb na części „B” pokazany jest w dolnej części rysunku. Ma on postać

t	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_B(t)$	10	50	40	50	20	-	45	-

Przykłady te ilustrują trudności układania harmonogramu wzajemnych dostaw między poszczególnymi Wydziałami lub Gniazdami Produkcji, przygotowujących niezbędne części.

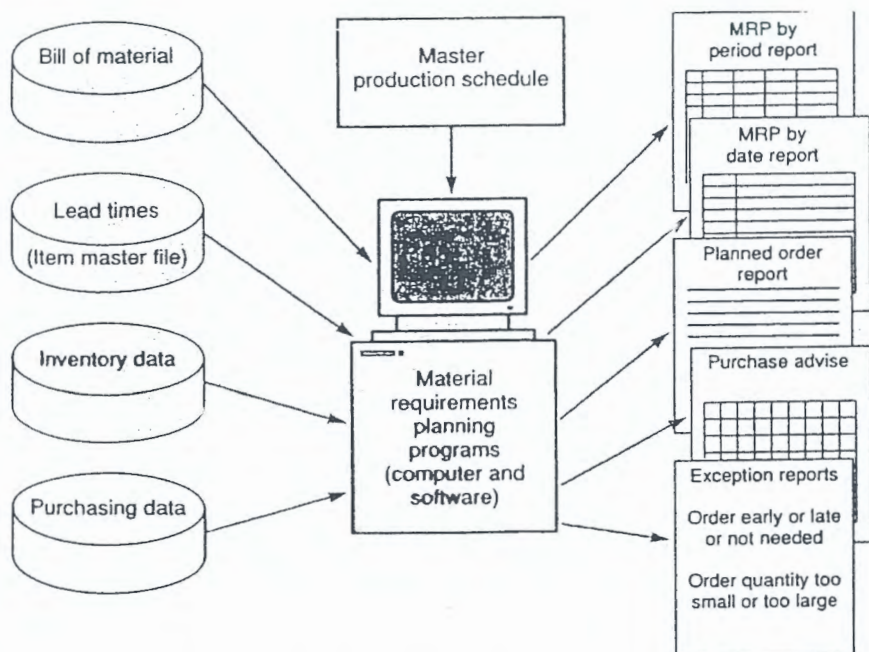
Oczywistym wnioskiem jest, że wszelkie odstępstwo od wyżej pokazanych zasad budowy operatywnych planów dostaw (zamówień) grozi przetrzymywaniem zbędnych zapasów części wykonanych zbyt wcześnie lub zahamowaniem produkcji z powodu braku części.

Oczywiście straty spowodowane zahamowaniem produkcji są o wiele większe i są niedopuszczalne, gdyż uświadamiają załogę, że

kierownictwo Zakładu nie panuje nad sytuacją – ma niedostateczne kwalifikacje.

W takich przypadkach, dominującym kryterium budowy harmonogramu dostaw i terminów zamówień, jest niedopuszczenie do zahamowania produkcji, nawet kosztem nienależytej dbałości o ustalenie optymalnej wielkości partii dostaw czy długości serii produkcyjnej.

Jeżeli jest to duży Zakład, który produkuje wiele wyrobów z części zunifikowanych, to harmonogram produkcji części zunifikowanych oraz dostaw pozostałych części do odbiorców staje się bardzo skomplikowany, tak skomplikowany, że do ich sporządzenia wykorzystuje się specjalne systemy komputerowe. Do bardziej znanych należy system MRP, którego struktura jest widoczna na rys. 18.



Rys. 18. Struktura Systemu MRP

Dwa podstawowe warianty sposobu układania harmonogramów (terminów składania i wielkości dostaw), w systemie MRP jest pokazany na Tablicach 4 i 5, poniżej.

Tablica 4

MRP Lot-Sizin MRP Lot-Sizing Problem: „Lot-for-Lot” Technique

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gross Requirements		35	30	40	0	10	40	30	0	30	55
Scheduled Receipts											
Projected on Hand	35	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Net Requirements		0	30	40	0	10	40	30	0	30	55
Planned Order Receipts			30	40		10	40	30		30	55
Planned Order Releases		30	40		10	40	30		30	55	

Holding costs = \$1/unit/week; setup cost = \$100; gross requirements average per week = 27; lead time = 1 week.

Pierwszy, polega na składaniu zamówień tak, jak wynika to z potrzeb („Gross Requirements”) uwzględniając konieczność posiadania podręcznego zapasu („Projected on Hand”).

Talicca 5

MRP Lot-Sizin MRP Lot-Sizing Problem: „EOQ” Technique

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gross Requirements		35	30	40	0	10	40	30	0	30	55
Scheduled Receipts											
Projected on Hand	35	35	0	43	3	3	66	26	69	69	39
Net Requirements		0	30	0	0	7	0	4	0	0	16
Planned Order Receipts			73			73		73			73
Planned Order Releases		73			73		73			73	

Holding costs = \$1/unit/week; setup cost = \$100; gross requirements average per week = 27; lead time = 1 week.

Drugi, uwzględnia warunek stałej, optymalnej wielkości zamówień (w ilości 73 szt.), co jednak powoduje dużą fluktuację stanu zapasu podręcznego.

W rezultacie, w pierwszym przypadku mamy 7 zamówień o różnych wielkościach od 10 do 55 szt. w drugim – 4 zamówienia o stałej wielkości 73 szt.

Jak to jest widoczne, optymalna wielkość dostaw Q^* ma szersze zastosowanie w przypadku równomiernej produkcji gdy $\mu(t) \approx \text{const}$.

W przypadku nierównomiernej produkcji i wielkości zamówień, lepszą może okazać się metoda minimalizacji zapasów przy znacznych wahaniami wielkości zamówień.

Optymalny wynik, (minimalne koszty) dla zmiennych zapotrzebowań, daje metoda dynamicznego programowania wielkości dostaw von Neumana, opisana przez Wagner'a i Whitin'a [6] i wykorzystywana w systemie MRP.

Wymaga ona jednak znajomości potrzeb na cały, objęty planowaniem, okres czasu i przyjęcia stałej wartości jednostki czasu, stanowiącej określony cykl dostaw T .

Spróbujmy wyznaczyć najkorzystniejszy sposób dostawy części, na których zapotrzebowanie P_i , w poszczególnych jednostkach czasu, jest równe:

$$[5, 7, 2, 5, 10, 2]$$

- ogółem 31 szt. w całym rozpatrywanym okresie.

Jeżeli przyjąłbyśmy, że w każdej jednostce czasu (tygodniu) dostarczamy potrzebną ilość części, to mielibyśmy ogółem 6 dostaw a wartościach Q_i równych opisywanemu zapotrzebowaniu.

Przy 3 dostawach w chwilach $t = 1, 3, 5$ wartości Q_i byłyby równe 12, 7, 12 - przy 2 dostawach mielibyśmy $Q_i = 14, 17$ a przy jednej $Q = 31$ (patrz rys. 19).

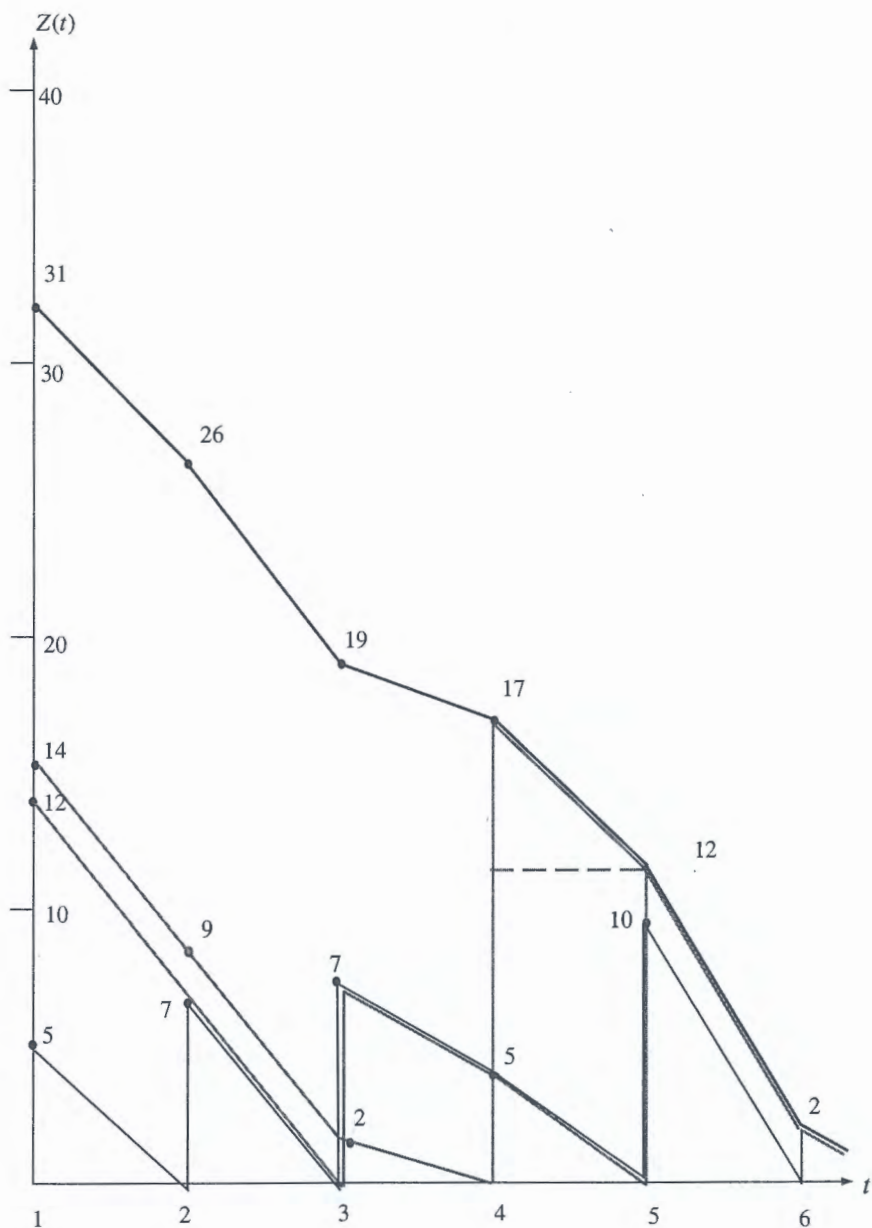
Koszty dostaw (bez kosztów transportu i kosztów zakupu części) według różnych sposobów dostaw, byłyby równe, dla-

- sześciu dostaw

$$6 \cdot C_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot C (P_1 + P_2 + \dots + P_6) = 6 \cdot C_0 + 15,5 \rho \cdot C$$

- trzech dostaw

$$3 \cdot C_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot C (P_1 + P_2 + \dots + P_6) + \rho C (P_2 + P_4 + P_6) = 3 \cdot C_0 + 29,5 \rho \cdot C$$



Rys. 19. Wykres stanu zapasów w magazynie dla przypadku: (tygodnie)

- sześciu zamówień w chwilach $t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
- trzech zamówień w chwilach $t = 1, 3, 5$
- dwóch zamówień w chwilach $t = 1, 5$
- jednego zamówienia w chwili $t = 1$

– dwóch dostaw

$$2 \cdot C_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot C (P_1 + P_2 + \dots + P_6) + \rho C (P_2 + P_3) + \rho \cdot C P_3 + \\ + \rho C (P_5 + P_6) + \rho \cdot C P_6 = 2 \cdot C_0 + 40,5 \rho \cdot C$$

– jednej dostawie

$$1 \cdot C_0 + \frac{1}{2} \rho \cdot C (P_1 + P_2 + \dots + P_6) + \\ + \rho \cdot C (P_2 + P_3 + \dots P_6) + \\ + \rho \cdot C (P_3 + P_4 + \dots P_6) + \\ + \rho \cdot C (P_4 + P_5 + P_6) + \\ + \rho \cdot C (P_5 + P_6) + \\ + \rho \cdot C P_6 = C_0 + 91,5 \rho \cdot C$$

gdzie C_0 jest kosztem uruchomienia dostawy (niezależnie od wielkości), C jest jednostkową ceną zakupu części.

Wybór najlepszego sposobu zaopatrywania przedsiębiorstwa w części, zgodnie z zapotrzebowaniem, polega na porównywaniu kosztu dostaw i wybraniu tego sposobu, przy którym owe koszty są najmniejsze.

Jest oczywistym, że taki sposób wyboru najlepszej strategii dostaw jest bardzo pracochłonny szczególnie, gdy rozpatrywanych odcinków czasu jest bardzo dużo. W takich przypadkach pomocny jest algorytm programowania dynamicznego, którego opis podany jest w [6].

A_g	K_g	Zależność kosztów K_g utrzymania magazynu głównego od jego pojemności M_g	$K_g = \kappa_g \cdot M_g$ gdzie κ_g koszt utrzymania jednostki pojemn. magazynu = koszty: remontów, klimatyzacji, podatków, amortyzacji i utrzymania obsługi magazynu	κ_g
A_p A_D	K_p K_D	} Jak wyżej lecz odnośnie magazynu produkcyjnego i wyrobów gotowych	$K_p = A_p \cdot \kappa_p$ $K_D = A_D \cdot \kappa_D$	κ_g
S_A	α_A	Zależność wartości sprzedaży S_A elementów A od ilości sprzedaży	$S_A = C'_A \cdot \alpha_A$ gdzie C'_A - cena sprzedaży elementu A ($C'_A > C_A$)	C'_A
S_B S_D	α_B α_D	} Jak wyżej lecz odnośnie elementu B i wyrobu D	$S_B = C'_B \cdot \alpha_B$ $S_D = C'_D \cdot \alpha_D$	C'_B C'_D

W wierzchołku M scalone są koszty utrzymania wszystkich magazynów a w wierzchołku T - całkowite koszty transportu. Ogólne koszty utrzymania systemu logistycznego w naszym, przykładowym przedsiębiorstwie są określone w wierzchołku K . Podobnie, w wierzchołku S wykazane są przychody ze sprzedaży elementów A i B oraz wyrobu D . Stosunek tych wielkości określa udział η kosztów utrzymania systemu logistyki w kwocie przychodów ze sprzedaży.

Jak nietrudno się domyślić, racjonalizacja procesów logistycznych w przedsiębiorstwie może mieć nie mniej istotne znaczenie jak racjonalizacja procesów produkcyjnych.

LITERATURA POMOCNICZA (monografie)

- [1] Hanssmann F.: Operations Research in Production and Inventory Control. John Wiley, New York 1962.
- [2] Hadley G., Whitin T.M.: Analysis of Inventory Systems. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- [3] Lewiński P.: Metody optymalizacji zadań transportowych. WKŁ, Warszawa 1970.

- [4] „Ekonometria”. Optymalizacja systemu zaopatrzenia. WAT, Warszawa 1971 (współautor: Zygmunt Kaszubowski).
- [5] „Ekonometria” Optymalizacja systemów transportowych. WAT, Warszawa 1971.
- [6] Optymalizacja systemów przewozowych. WKŁ, Warszawa 1973. (istnieje także przekład na jęz. ros. w wydawnictwie Transport, Moskwa 1979).
- [7] Wagner H.M.: Badania operacyjne. PWE, Warszawa 1980.
- [8] Piasecki S.: Optymalizacja systemów zaopatrzenia. PWN, Warszawa-Łódź 1982 (współautor: Zygmunt Kaszubowski).
- [9] Fijałkowski J.: Technologia magazynowania. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 1995.
- [10] Piasecki S.: Optymalizacja dostaw z wykorzystaniem transportu rurowego. PWN, Warszawa-Łódź 1986.
- [11] Piasecki S.: Organization of Transport of Parcel Cargoes. IBS PAN, Warszawa 1996.
- [12] Piasecki S.: Teoria organizacji – procedury projektowania. IBS PAN, Warszawa 1997.
- [13] Lawrence J.A., Pasternack B.A.: Applied Management Science. John Wiley & Sons, Inc., New York 1998.
- [14] Leszczyński J.: Modelowanie procesów transportowych. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 1999.
- [15] Piasecki S.: Sieciowe modele symulacyjne do wyznaczania strategii rozwoju przedsiębiorstw. Warszawa 2000.
- [16] Fijałkowski J.: Transport wewnętrzny w systemach logistycznych. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2000.
- [17] Nowicka-Skowron M.: Efektywność systemów logistycznych. PWE, Warszawa 2000.
- [18] Szymanowski W. i in.: Kierowanie operacyjne w przedsiębiorstwie. PWSBiA, Warszawa 2001.
- [19] Krawczyk S.: Metody ilościowe w logistyce. Wyd. C. H. Beck, Warszawa 2001.
- [20] Barcik R.: Logistyka dystrybucji. Wyd. ATH. Bielsko-Biała 2003.



**WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI STOSOWANEJ
I ZARZĄDZANIA**

pod auspicjami POLSKIEJ AKADEMII NAUK

**Wydział INFORMATYKI
studia inżynierskie i uzupełniające studia magisterskie**

**Wydział INFORMATYCZNYCH TECHNIK ZARZĄDZANIA
studia licencjackie, inżynierskie i uzupełniające studia
magisterskie**

ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa

<http://www.wit.edu.pl>

ISBN 83-88311-79-4