

**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.

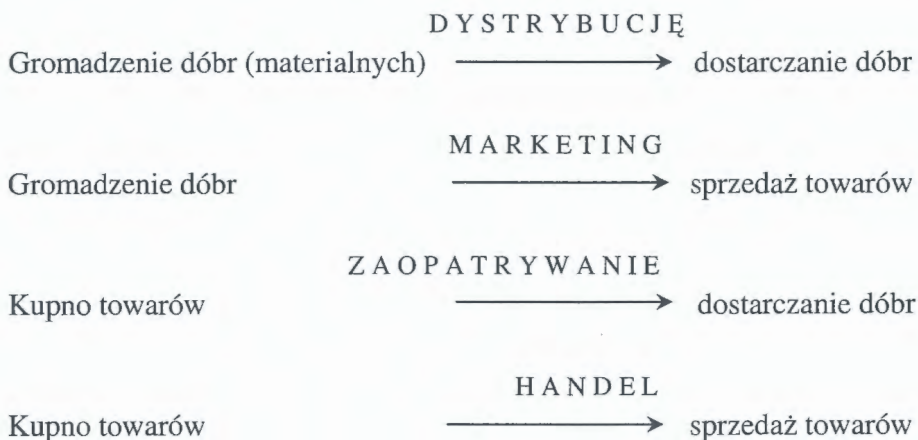
System logistyczny, może więc stanowić fragment przedsiębiorstwa, jak i przeciwnie – przedsiębiorstwa mogą być elementami systemu logistycznego.

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 III

LOGISTYCZNE PRZEPIŁYWY RZECZOWE FINANSOWE W FIRMIE

1. Przepływy rzeczowe, materiałowe [16]

W przedsiębiorstwie organizacja (i optymalizacja) przepływów rzeczowych, a w tym:

- surowców i części od producentów na miejsce produkcji,
- wyrobów gotowych z magazynu zbytu do klientów,
- wyrobów wybrakowanych i odpadów z miejsca produkcji do odpowiednich składowisk

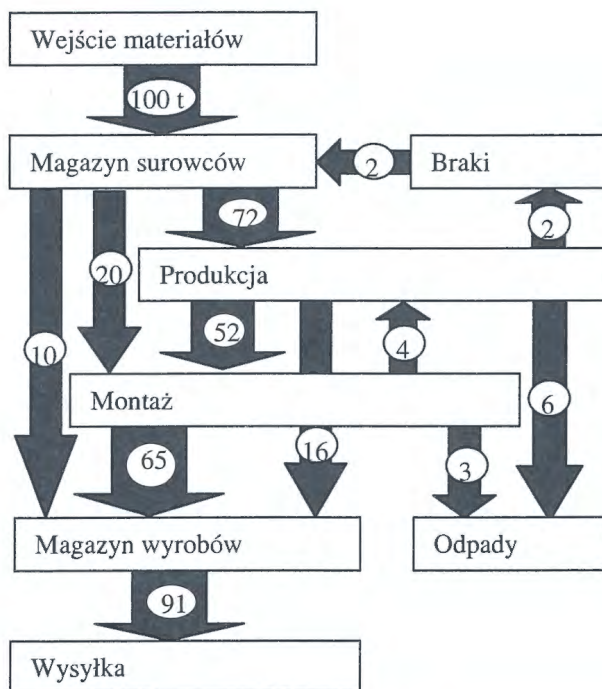
jest zadaniem bardzo skomplikowanym i odpowiedzialnym.

Wynika to z różnorodności surowców i części, rodzaju produkowanych wyrobów i odpadów oraz rozproszenia w przestrzeni dostawców i klientów nawet wtedy, gdy jest to produkcja masowa lub wielkoseryjna o stałym w czasie natężeniu (intensywności) produkcji.

Uproszczona sieć przepływów podstawowych materiałów, części i wyrobów w przedsiębiorstwie, pokazana jest na rysunku 3. Sieć taka może być także opisana w postaci tablicy pod rysunkiem.

Istnieje wiele odmian wykresu przepływu. Najprostszą jest ta, która pokazuje linią ciągłą drogę, jaką materiał musi przebyć z punktu wejścia, tzn. od miejsca gdzie został po raz pierwszy zidentyfikowany, do punktu, w którym osiąga swój cel przepływu.

Oczywiście przepływ materiałów musi być wymuszony przez odpowiedni plan ruchu środków transportowych. Materiały drobne są, dla ułatwienia transportu, pakowane w większe „porcje”, które mają postać palet, skrzynek itp. W tych przypadkach, jednostką ładunkową danego materiału jest skrzynka, paleta itp.



Punkty nadania	Punkty odbioru								Suma
	Wejście materiałów	Magazyn Surowców	Produkcja	Montaż	Braki	Odpady	Magazyn Wyrobów	Wysyłka	
Wejście materiałów		100							100
Magazyn surowców			72	20			10		102
Produkcja				52	2	6	16		76
Montaż			4			3	65		72
Braki		2							2
Odpady									-
Magazyn wyrobów								91	91
Wysyłka									-
Suma		102	76	72	2	9	91	91	91

Rys. 3. Wykres Sankeya przepływu materiałów i odpowiednia tablica krzyżowa przepływu

W rezultacie, od postaci opakowania materiału, zależą niezbędne dla nich środki transportowe i przeładunkowe – w tym także pracownicy (tak zwani - robotnicy placowi).

Zwykle więc "przepływy materiałów" mają charakter przerywany a ich wymuszenie wymaga dysponowania odpowiednią technologią przewozu i przeładunku.

W Tablicy 1 pokazano możliwe rozwiązania technologiczne, przy pomocy, których możemy zapewnić „przepływ” materiałów. Oczywiście w zależności od zastosowanych rozwiązań, zmienia się będzie koszt przemieszczania. Wybór najlepszych rozwiązań technologicznych zależy od wielkości tych przepływów, mierzonej natężeniem przepływu w ilości jednostek ładunkowych na jednostkę czasu.

W Tablicy 2, pokazano sposób wyznaczania przepływów, wielkości pracy przeładunkowej i niezbędnej powierzchni magazynu, dla trzech rodzajów materiałów: rozpuszczalnika, farby i lakieru, przy założeniu, że roczne zapotrzebowanie na te materiały jest następująca:

$$\lambda_{\text{rozp.}} = 1.920.000 \quad \text{spojemników / rok}$$

$$\lambda_{\text{farb.}} = 9.360.000 \quad \text{puszek / rok}$$

$$\lambda_{\text{lak.}} = 34.000 \quad \text{beczek / rok}$$

Rozpuszczalnik opakowany jest w pojemnikach, w których jest 20 butelek, te z kolei umieszczone są na płaskiej drewnianej palecie, na której mieszczą się 32 pojemniki.

Farba dostarczana jest w puszkach, zapakowanych w skrzynię zawierającą 720 puszek.

Natomiast lakier dostarczany jest w beczkach na drewnianych paletach, po 2 beczki.

Jeżeli przeanalizujemy pierwszy wiersz tej tablicy odnoszący się do rozpuszczalnika, to stwierdzimy, że przeładunek roczny magazynu będzie równy $\lambda = 60$ tys.palet/rok, co oznacza masę 3.000 palet/rok. 0,32 tony/paletę = 19.200 ton/rok.

Jeżeli przyjmiemy, że maksymalny zapas w magazynie powinien wystarczyć na 12 dni produkcji to -

- w tym czasie produkcja zużyje

$$\frac{60.000 \text{ palet}}{360 \text{ dzień}} \cdot 12 \text{ dni} = 2000 \text{ palet}$$

Tablica 1. Zbiór rozwiązań techniczno-organizacyjnych elementów zakładowego układu logistycznego

Lp	Zadanie/funkcja	Możliwe rozwiązania						
		a	b	C	d	e	f	g
1.	Ładunek	pojedyncze sztuki	opakowania jednostkowe	opakowania zbiorcze	jednostki ładunkowe paletowe	jednostki kontenerowe		
2.	Środki pomocnicze	podstawka	paleta płaska	paleta skrzyniowa	kontener własny	kontener zwrotny		
3.	Środki transportowe	człowiek	wózek unoszący	wózek podnośnikowy czółowy	układnica regałowa	Wózek wielofunkcyjny	przeñośniki wałk./rolkowe	suwnice, dźwigi, żurawie
4.	Sposób przeładunku	ręczny	mechaniczny					
5.	Proces przeładunkowy	jednocyklowy	wielocyklowy					
6.	Rodzaj cyklu transp.	prosty	kombinowany					
7.	Proces transportowy	ciągły	przerwany	Mieszany				
8.	Urządzenia do składowania	składowanie bez urządzeń	palety samonośne	regaly półkowe	regaly paletowe stałe	regaly przesuwane	regaly przepływowe	
9.	Sposób składowania	blokowy	rzędowy	Regałowy	bezregałowy			
10.	System składowania	styczny	dynamiczny	selektywny	nieselektywny			
11.	Porządek składowania	dowolny	ustalony	zasada fi-fo				
12.	Składowanie można pominąć	gdy rytmy dostawy są zgodne z rytмами zużycia lub wysyłki (np. just in time) lub przepływ ładunków odbywa się obok magazynu						
13.	Komisjonowanie	w strefie składowania	w wyodrębnionej strefie	nie występuje				
14.	Sposób komisjonowania	ręczny	mechaniczny	automatyczny				
15.	System komisjonowania	statyczny	dynamiczny	jednowymiarowy	dwuwymiarowy	wydawanie centralne	wydawanie zdecentralizowane	
16.	Urządzenia do komisjonowania	wózek unoszący	wózek kompletacyjny czółowy	wózek wielofunkcyjny	przeñośnik wałk./rolkowy	przeñośnik taśmowy	układnica kompletacyjna	

Tablica 2. Program transportu i magazynowania

Lp	Nazwa materiału lub grupy materiałów	Jednostka materiału lub opakowania			Jednostka ładunkowa				Roczny przeładunek na wejściu lub na wyjściu „P” co odpowiada wartości $\lambda=P/\text{rok}$			wielkość normatywu składowania w dniach „N” co odpowiada wartości Tlat rotacja zapasu $S^o = 360/N$ co odpowiada wartości 1/T	Składowanie zapasu maksymalnego $Z_{\max} = \frac{P}{S_o} = \lambda T = Q$		
		rodzaj i kształt	wymiały [mm]	masa [kg]	rodz., kształt i wymiały [mm]	liczba i masa jedn. mat. lub opak. w jedn. ładunkowej		jednostek art. lub opak. [szt.]	ton	jednostek ładunkowych	[jedn. tow.] lub [opak.] lub [szt]		ton	jednostek ładunkowych	
						szt.	Kg								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
							5x7		9x5	9:7			9:13	10:13	(11:13)
1.	Rozpuszczalnik w butelkach	Pojemnik z 20 butelkami	40x40x26	10	Paleta płaska drewniana 1200x800x1200	32	320	1.920.000	19.200	60.000	12	30	64.000	640	2000
2.	Farby	Puszka	Ø99x119	0,8	Paleta skrzyniowa 1240x840x970	720	576	9.360.000	7488	13.000	12	30	312.000	250	432
3.	Lakiery	beczka	Ø600x850	210	Paleta płaska drewniana 1200x800x1200	2	420	34.000	7140	17.000	24	15	2268	476	1.134

W rezultacie, wielkość jednorazowej dostawy Q będzie równa 2000 palet. Stąd wynika, że magazyn napełnia się i rozładowuje 30-krotnie w ciągu roku a więc rotacja zapasów jest równa

$$\frac{360 \text{ dni/rok}}{12 \text{ dni}} = 30 \quad \frac{1}{\text{rok}} = \frac{1}{T}$$

Z powyższych wyrażeń wynika, że powierzchnia magazynu przeznaczona do przechowywania rozpuszczalnika winna być przystosowana do przyjęcia $Q = 2000$ pojemników z rozpuszczalnikiem (nie licząc minimalnego zapasu bezpieczeństwa).

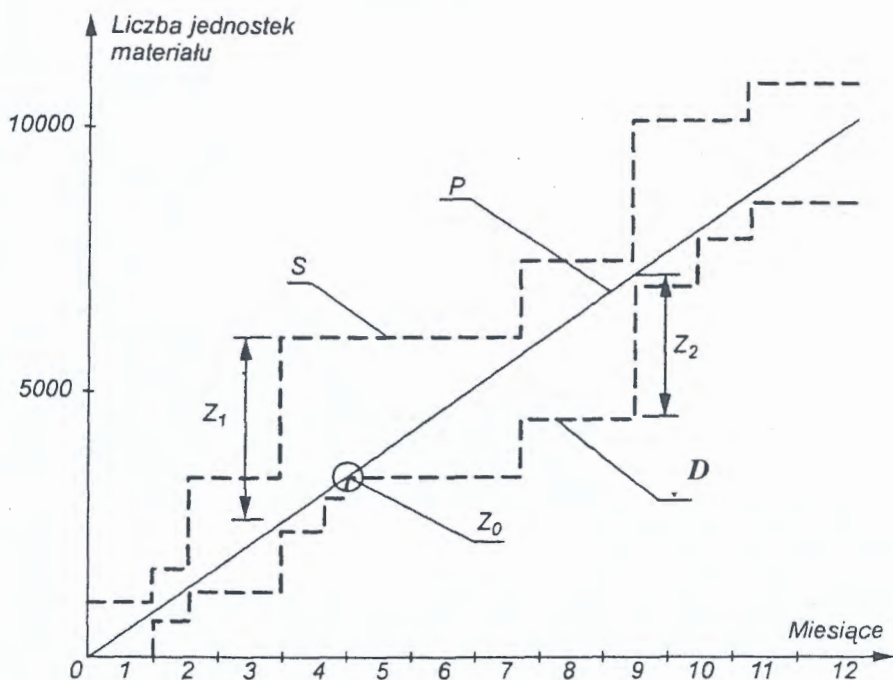
Natomiast średni stan zapasów rozpuszczalnika w magazynie (przy ciągłym wydawaniu $\frac{2000}{12}$ palet dziennie) będzie równy (nie licząc minimalnego zapasu bezpieczeństwa)

$$Z = \frac{1}{2} \lambda T = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{6} \cdot 12 = \frac{1}{2} Q = 1000 \text{ palet}$$

W podobny sposób możemy rozważyć pozostałe wartości wielkości w drugim i trzecim wierszu Tablicy.

Często, nie zawsze możemy liczyć na tak regularne dostawy 2000 palet, co 12 dni. Zarówno wielkość dostaw może ulec zmianie jak i cykl dostaw a także odbiór palet z magazynu na produkcję, wtedy niezbędny jest dodatkowo, odpowiedni zapas bezpieczeństwa, którego minimalną wielkość możemy obliczyć we wcześniej opisany sposób.

Na rysunku 4 pokazany jest, narastająco, wykres dostaw przedstawiony funkcją schodkową, oznaczoną symbolem „S”, gdzie wysokość schodka pokazuje wielkość dostawy jednostkowej, a początek schodka – chwilę dostawy.



Rys. 4. Przykład wykresu logistycznego dla ustalenia maksymalnej pojemności magazynów surowców i wyrobów gotowych: P – narastająca rytmiczna linia produkcji, S – narastająca skokowa linia dostaw surowców, D – narastająca skokowa linia wysyłek wyrobów, Z_1 – maksymalny zapas surowców miarodajny dla określenia potrzebnej wielkości magazynu, Z_2 – maksymalny zapas wyrobów miarodajny dla określenia potrzebnej wielkości magazynu, Z_0 – zerowy zapas wyrobów.

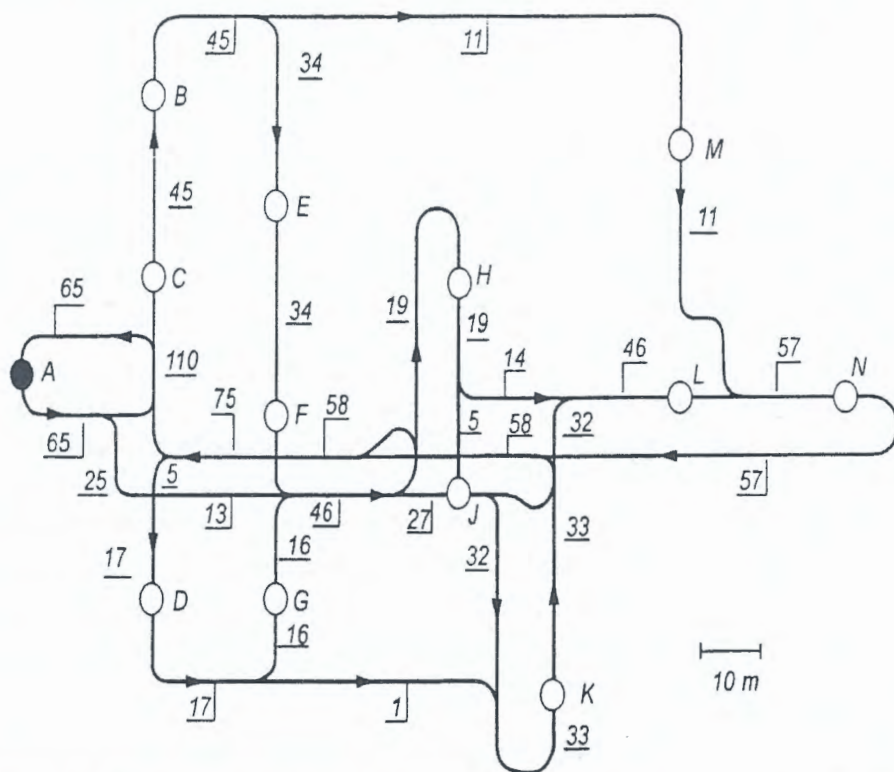
Dolna funkcja, oznaczona symbolem D przedstawia analogiczne chwile i wielkości odbieranych z magazynu partii towarów. Różnica rzędnych tych dwóch funkcji pokazuje, jak zmienia się stan ilościowy towaru w magazynie.

Jak łatwo zauważyć, największy w ciągu roku zapas Z_1 był na początku miesiąca kwietnia a najmniejszy w jednym z dni miesiąca września.

Na tym tle pokazano wykres średniego zużycia w produkcji *P*.

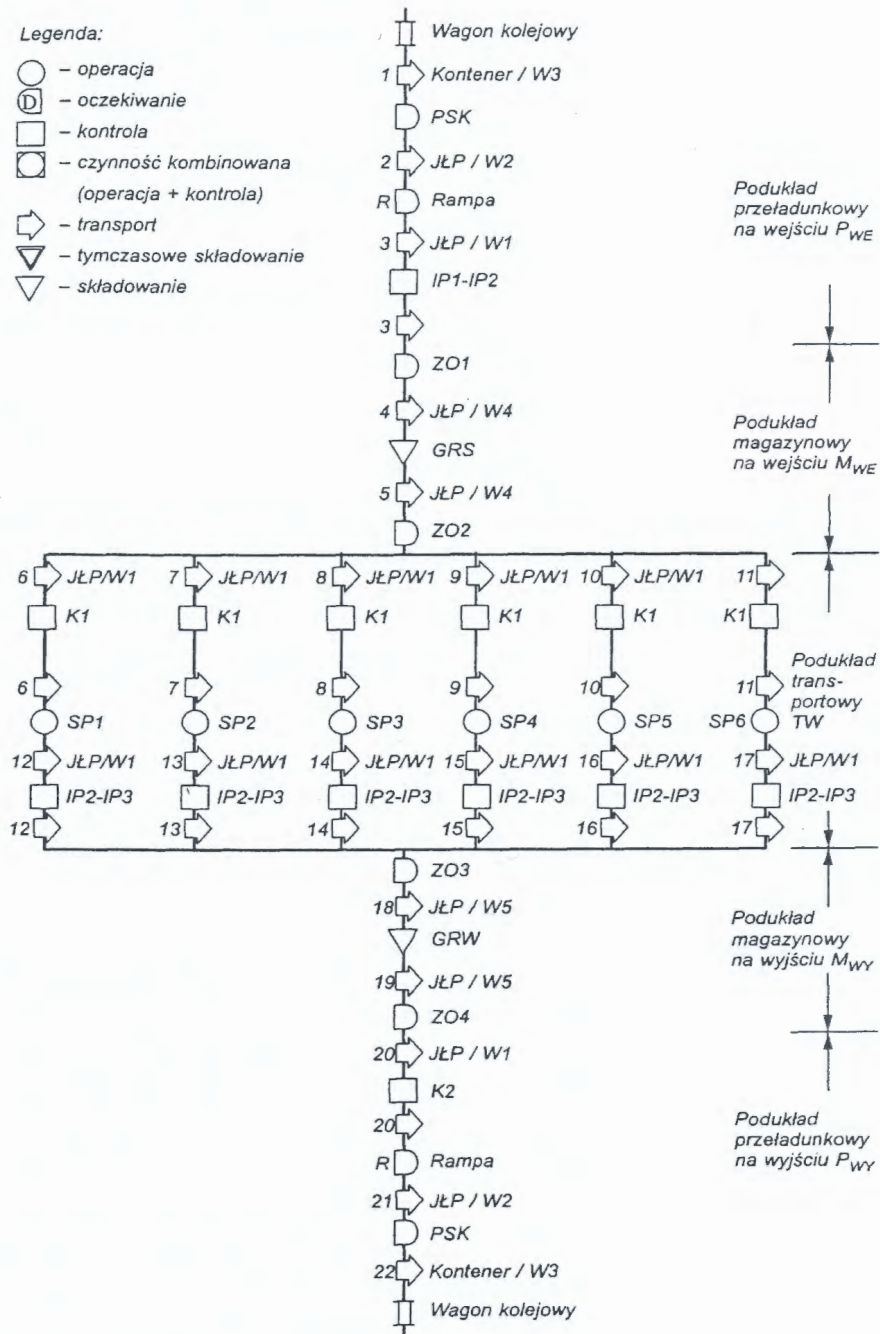
Celem zapewnienia odpowiedniego przemieszczania ładunków niezbędne jest posiadanie odpowiednich środków transportowych - w tym przypadku wózków.

Na rys. 5 widoczny jest graf przemieszczania się wózków przewożących ładunki między stanowiskami obróbki z określonymi natężeniami przepływu w jednostkach ładunkowych (np. paletach, paczkach) na godzinę.



Rys. 5. Wykres przepływu materiałów pomiędzy stanowiskami obróbki (od A do N) z określeniem natężenia przepływu w jednostkach ładunkowych na godzinę.

Na rys. 6 pokazany jest szczegółowy opis procesu przepływu materiałów w dużym magazynie zakładu produkcyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem wszelkich czynności magazynowych.



Rys. 6. Karta procesu przepływu materiałów w zakładzie produkcyjnym

2. Analiza kosztów przepływów rzeczowych w przedsiębiorstwie

Zajmiemy się analizą kosztów logistyki w przedsiębiorstwie. Koszty te związane są z przepływem materiałów między stanowiskami pracy w przedsiębiorstwie.

Jak wiemy[15], operacje którym podlegają materiały, można podzielić na trzy rodzaje. Są to:

1. operacje wytwórcze zmieniające właściwości materiału wejściowego na inne właściwości pożądane.
2. operacje związane z przemieszczeniem materiału z jednego miejsca na drugie, bez zmiany właściwości materiału, oraz
3. operacje polegające na przetrzymywaniu materiału przez określony czas w tym samym miejscu, bez zmiany ich właściwości.

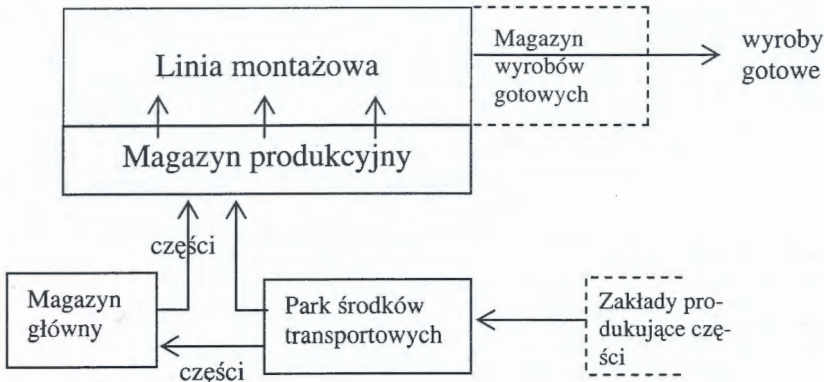
Operacje pierwszego rodzaju – wytwórcze są realizowane na wspomnianych (technologicznych) stanowiskach pracy.

Operacje drugiego rodzaju – transport są realizowane przez różnego rodzaju jednostki transportowe.

Operacje trzeciego rodzaju - przechowywanie, zachodzą w różnego rodzaju magazynach.

Do kosztów logistyki w przedsiębiorstwie zaliczają się koszty związane z wykonywaniem operacji drugiego i trzeciego rodzaju.

Aby ułatwić zrozumienie sposobu naliczania kosztów logistyki, dokonamy analizy kosztów na przykładzie zakładu produkcji komputerów a dokładniej – na przykładzie zakładu montażu komputerów.



Rys. 7. Struktura przepływów w Zakładzie Montażowym

W skład rozpatrywanego przez nas zakładu wchodzi następujące elementy:

- linia montażowa,
- magazyn produkcyjny (przy linii montażowej), zwany często magazynem podręcznym,
- magazyn główny (patrz rys. 7),
- park środków transportowych (samochodów).

Zakład pracuje na zamówienia, w związku z czym odbiór każdej partii wykonanych komputerów odbywa się bezpośrednio z linii produkcyjnej. Produkcja na zamówienie wymusza produkcję seryjną określonego w zamówieniu typu komputera. W naszym przypadku zamówienie dotyczy dostawy 20 szt. komputerów.

Linia produkcyjna składa się z pięciu stanowisk oznaczonych symbolami A, A1, A2, A3, A4 (patrz rys.8). Na stanowiskach A4 i A3 składa się komputer z trzech rodzajów części, przy czym na stanowisku A3 wykonuje się kontrolę poprawności elektrycznej montażu. Dalsza część montażu odbywa się na stanowiskach A2 i A1. Na stanowisku A odbywa się całościowe sprawdzenie poprawności działania komputera wraz z podstawowym oprogramowaniem. Po opuszczeniu tego stanowiska komputer jest odebrany własnym transportem przez zamawiającego. Na stanowisku A4 odbywa się montaż elektro-mechaniczny, gdzie scala się trzy rodzaje części, z których dwie dostarczane są bezpośrednio z magazynu głównego oraz jedna – z magazynu produkcyjnego. Na stanowiskach A4 i A3 pracują specjaliści od montażu mechaniczno-elektrycznego.

W przedsiębiorstwie, na stanowiskach A2, A1 oraz A pracują specjaliści od elektroniki. Części „D” i „B” do tych stanowisk są dostarczane z magazynu produkcyjnego. Ten zaś, kolejno zaopatrywany jest z magazynu głównego, za wyjątkiem części „B” dostarczanej bezpośrednio z fabryki w NRF. Magazyn główny zaopatrywany jest z różnych fabryk z terenu: Polski, Francji, Tajwanu i NRF. Koszty dowozu tych części do Polski obciążają Zakład Montażu.

Sieciowy schemat przepływów materiałowych w omawianym Zakładzie montażu komputerów jest przedstawiony na rys. 8. Na rysunku tym zaznaczono także terminy odbioru partii towaru dwóch rodzajów części D i B dla przypadku, gdy, zgodnie z zamówieniem, odbiór pierwszego komputera z serii zamówionej, ma być zrealizowa-

ny w dniu 15.07 o godz. 10⁰⁰. Linia montażowa posiada wydajność zapewniającą odbiór kolejnych komputerów co dwie godziny ($\mu = 0,5 \frac{\text{szt.}}{\text{godz.}}$). Zakład Montażu pracuje na jedną zmianę, od 8⁰⁰ do 16⁰⁰.

Dla wyznaczenia chwil odbioru zamówionych części z fabryki w NRF, musimy znać czasy trwania poszczególnych operacji. Czasy te, wyrażone w roboczogodzinach [rbg], są uwidocznione w postaci cyfr na strzałkach (łukach), które obrazują operacje. I tak przykładowo, liczba $\tau_3 = 5$ na łuku prowadzącym od A3 do A2 oznacza, że czas operacji kontrolnej trwa 5 [rbg]. Jeżeli na łuku nie ma liczby oznacza to, że czas trwania tej operacji (np. dowozu części D z magazynu głównego z miejsca C2 do stanowiska A2 linii montażowej) jest pomijalnie mały.

Na łukach łączących magazyny ze stanowiskami linii montażowej, charakteryzujących istotną operację transportu, widoczne są dwie liczby T oraz \mathbf{T} . Pierwsza z nich określa cykl dostaw – co ile roboczogodzin dostarczana jest kolejna partia towaru a druga czas trwania transportu. Przykładowo, przemieszczanie części D z miejsca D1 na D2 odbywa się, co $T_G = 20$ [rbg], przy pomijalnie małym czasie transportu ($\tau_G = 0$).

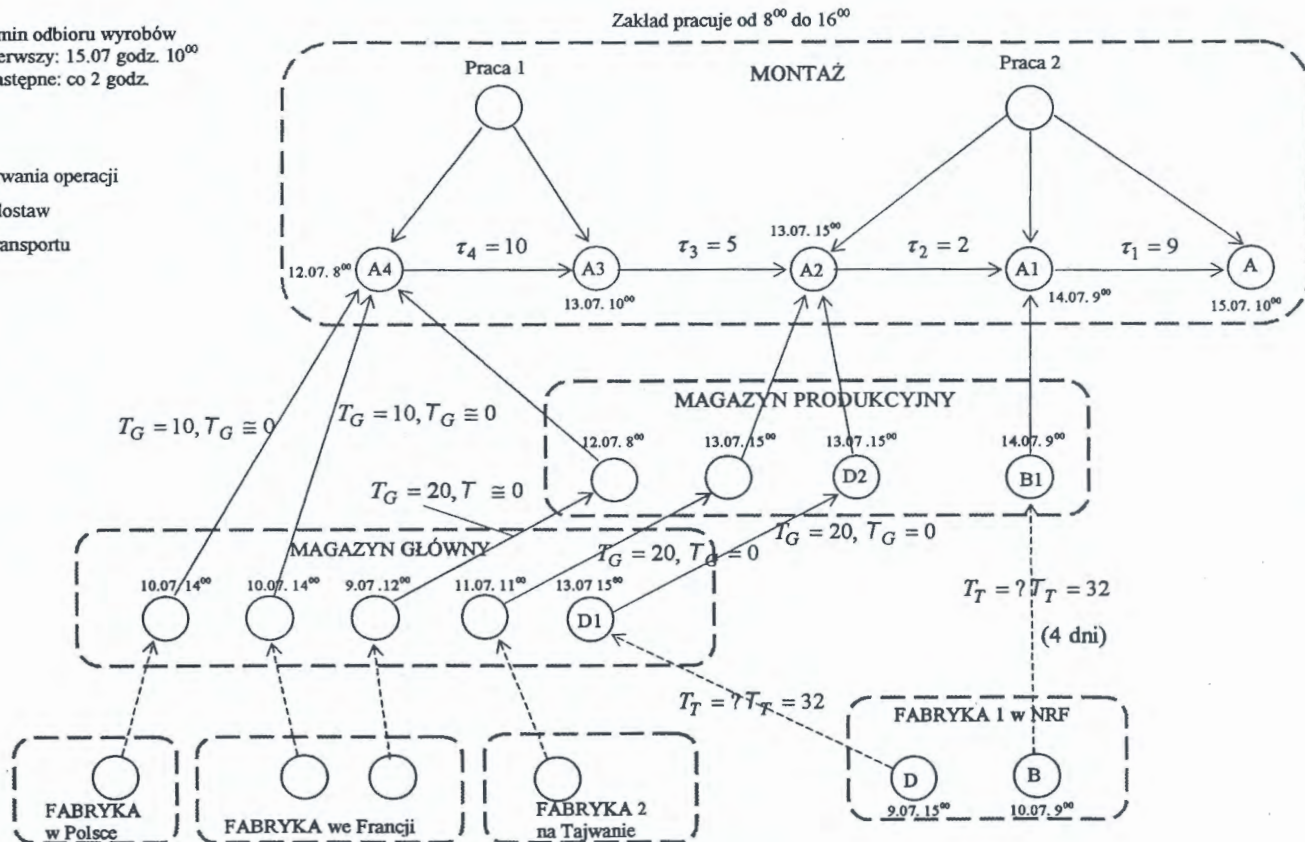
Część ta przywożona jest z fabryki w NRF, o czym świadczy łuk z D do D1, przy czym czas transportu jest odpowiedni ($T_T = 32$) godziny pracy zakładu a więc licząc według czasu kalendarzowego, odpowiada to 4 dobom. Tak długi czas wynika głównie z długich czasów postoju na granicy polsko-niemieckiej i uwzględnieniem czasu załadunku i rozładunku.

Natomiast cykl dostaw T_T jest nieokreślony i jest zmienną decyzyjną osoby odpowiedzialnej za procesy logistyczne w przedsiębiorstwie

Zależy on od intensywności produkcji równej wydajności linii $\mu = 0,5 \frac{\text{komp.}}{\text{rbg}}$ oraz wielkości wybranego środka transportu – czy dostawa winna być realizowana przez wielkie samochody (TIR-y) czy też przez samochody dostawcze.

Zadany termin odbioru wyrobów
 Pierwszy: 15.07. godz. 10⁰⁰
 Następne: co 2 godz.

τ_i – czas trwania operacji
 T_i – cykl dostaw
 T_i – czas transportu



Rys. 8. Sieć technologiczna Zakładu Montażowego

Na rysunku 9 i 10 pokazano wszystkie kalendarzowe terminy związane z dostawą części D i B tak, aby zapewnić wyprodukowanie pierwszego komputera z zamówionej serii dn. 15.07 o godz. 10⁰⁰.

I tak, części D winny znaleźć się w magazynie produkcyjnym najpóźniej o godz. 15⁰⁰ dnia 13.07. Po odbiór partii tych części winien zgłosić się najpóźniej w fabryce (w RFN) nasz środek transportowy dnia 09.07 o godz. 15⁰⁰.

Podobnie, po odbiór części B nasz środek transportowy winien najpóźniej zgłosić się w fabryce (w RFN) dnia 10.07 o godz. 9⁰⁰.

W ten sposób, możemy wyznaczyć wszystkie najpóźniejsze terminy zajścia odpowiednich zdarzeń tak, aby zapewnić terminowe wykonanie zamówienia. Oczywiście można znacznie wcześniej przywieźć niezbędne części z D i B, z NRF i przechowywać je w magazynie. Jednak wtedy powiększony jest koszt kredytu obrotowego, gdyż niepotrzebnie wcześniej musielibyśmy zapłacić za otrzymane części.

Założmy następnie przykładowo, że ustaliliśmy środek transportu dla przewozu części D z NRF, w którym mieści się jednorazowo $N_T = 20$ opakowanych części.

Stąd wynika, że cykl dostaw będzie równy:

$$T_T = \frac{N_T}{\mu} = \frac{20 \text{ [szt.]}}{\frac{1}{2} \left[\frac{\text{szt.}}{\text{godz.}} \right]} = 40 \text{ roboczogodzin}$$

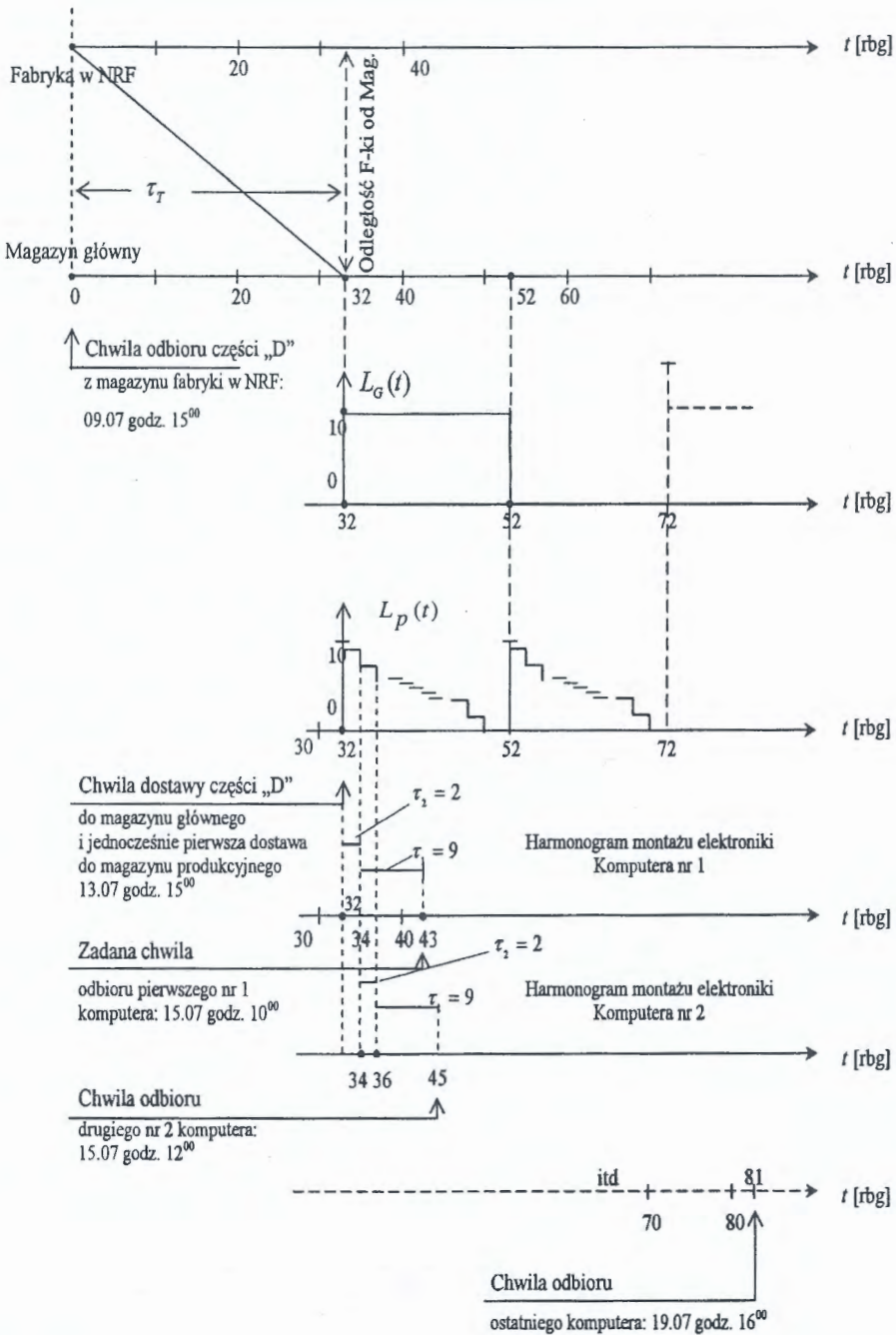
Cykl ten wyrażony w jednostkach kalendarzowych będzie równy

$$\frac{40 \text{ roboczogodzin}}{8 \left[\frac{\text{godz.}}{\text{dobę}} \right]} = 5 \text{ dni.}$$

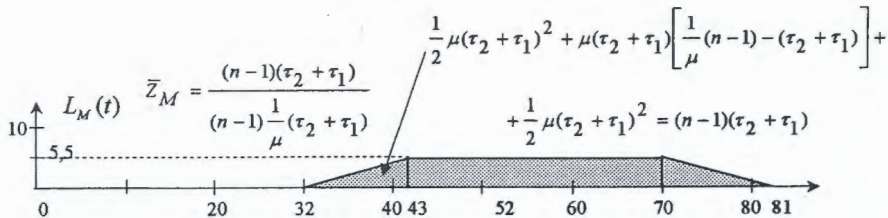
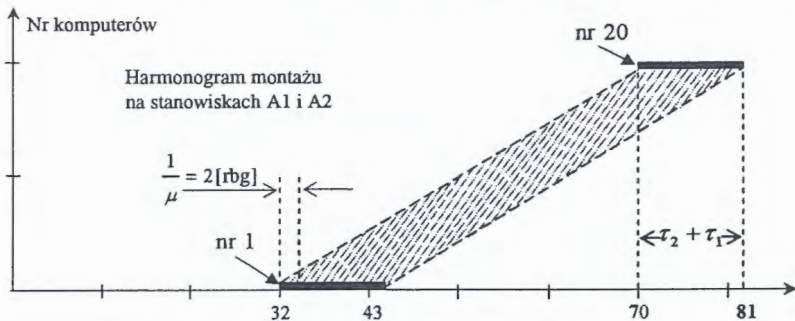
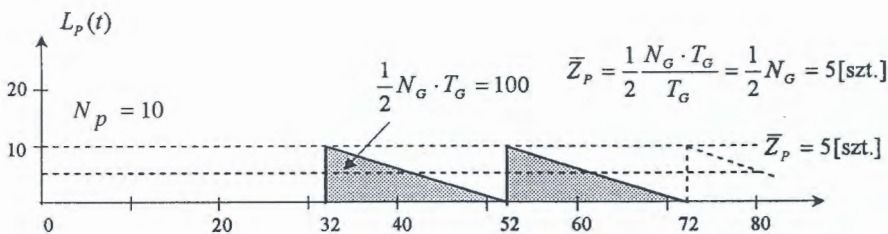
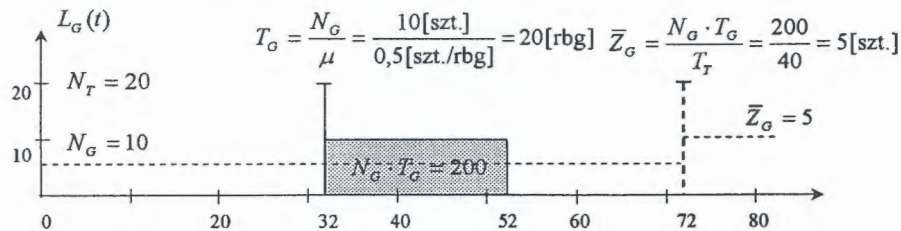
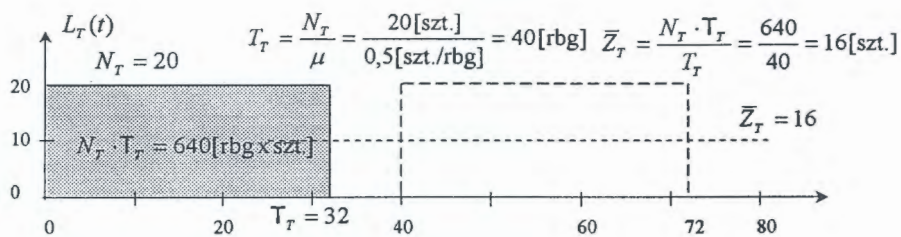
Co pięć dni musi być podstawiona w NRF jednostka transportowa. Ponieważ cykl transportowy, obejmujący czas jazdy tam i z powrotem jest równy ośmiu dniom, więc do ciągłego dowozu części D niezbędne są

$$\frac{8}{5} \cong 2$$

jednostki transportowe. Samochody te będą wykorzystane w 63% - do dowozu części D.



Rys. 9. Harmonogram dostaw części „D” do magazynów: głównego i produkcyjnego oraz na linii montażu elektroniki



Rys. 10. Liczba części „D” w transporcie (L_T) magazynach (L_G, L_P) i montażu (L_M) dla serii $n=20, \mu=0,5[\text{szt./rbg}]$ oraz $T_T=32[\text{rbg}]$

Na rys. 10 przedstawiono wykresy jak będą zmieniać się stany zapasu części „D”: w transporcie, w magazynach: głównym i produkcyjnym oraz na linii montażowej.

I tak, w transporcie zamrożonych, będziemy mieli 20 szt. części D w czasie 32 rob./godz. W magazynie głównym zamrożonych będzie 10 części D w czasie 20 rob./godz. jeżeli co drugą chwilę odbioru z magazynu głównego (z przeznaczeniem do magazynu produkcyjnego), zsynchronizujemy z chwilami przyjazdu środka transportu (z częściami D) z NRF. Synchronizacja taka zapewnia minimalizację kosztów zamrożenia towaru.

W magazynie produkcyjnym pobierane partie części D są magazynowane i sukcesywnie wydawane na stanowisko A2. Charakterystycznym jest tu kształt „piło-zębowy” funkcji stanu zapasu części D.

Na ostatnich dwóch wykresach przedstawiony jest harmonogram produkcji oraz stanu zapasu części D już wmontowanych w kolejne komputery.

Stan ten utrzymuje się przez pewien okres czasu na niezmiennym poziomie pod warunkiem, że zamawiający w sposób ciągły odbiera każdy komputer natychmiast za niego płacąc. Jest to więc najbardziej korzystna sytuacja dla Zakładu. Gdyby zamawiający odbierał jednocześnie wszystkie 20 komputerów (oczywiście w terminie o 50 roboczogodzin późniejszym od godz. 10⁰⁰ dn. 15.07 czyli o godz. 16⁰⁰ dn. 19.07), to wtedy zapas wmontowanych w komputery części D rósłby od wartości zero w chwili $t = 32$ [rbg] do wartości 20 w chwili $t = 81$ [rbg].

Na rysunku podano także sposób obliczania liczby zamrożonych części.

I tak, w okresie $T_T = 40$ [rbg]

– w transporcie mamy:

$$N_T \cdot T_T = 20 \cdot 32 = 640 \text{ [rbg x szt.]};$$

– w magazynie głównym:

$$N_G \cdot T_G = 10 \cdot 20 = 200 \text{ [rbg x szt.]};$$

– w magazynie produkcyjnym:

$$2 \cdot \left[\frac{1}{2} N_G \cdot T_G \right] = 2 \cdot 100 = 200 \text{ [rbg x szt.]};$$

- na linii montażowej:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \mu (\tau_2 + \tau_1)^2 + \mu (\tau_2 + \tau_1) \left[\frac{1}{\mu} (n-1) - (\tau_2 + \tau_1) \right] + \frac{1}{2} \mu (\tau_2 + \tau_1)^2 = \\ = (n-1) - (\tau_2 + \tau_1) = 19 \cdot 11 = 209 \text{ [rbg x szt.]} \end{aligned}$$

W całym okresie montażu, to jest w okresie:

$$\frac{1}{\mu} (n-1) - (\tau_2 + \tau_1) = 2 \cdot 19 + 11 = 49 \text{ [rbg]}$$

zapasy średnie w transporcie, magazynach i na montażu będą równe:

$$\bar{Z}_T = \frac{N_T \cdot T_T}{T_T} = \frac{640}{40} = 16 \text{ [szt.]}$$

$$\bar{Z}_G = \frac{N_G \cdot T_G}{T_T} = \frac{200}{40} = 5 \text{ [szt.]}$$

$$\bar{Z}_P = \frac{2 \cdot \frac{1}{2} N_G \cdot T_G}{T_T} = \frac{2 \cdot 100}{40} = 5 \text{ [szt.]}$$

$$\bar{Z}_M = \frac{(n-1) \cdot (\tau_2 + \tau_1)}{\frac{1}{2} \mu (n-1) - (\tau_2 + \tau_1)} = \frac{209}{49} \approx 4,25 \text{ [szt.]}$$

W sumie, zamrożony, martwy (w różnych odcinkach czasowych) zapas części „D” nie może być niższy od $16 + 5 + 5 + 4,25 = 30,25$ [szt.]

Jeżeli chcielibyśmy obliczyć zapas średni \bar{Z} części D w całym okresie realizacji tego pojedynczego zamówienia, to musimy zsumować wszystkie iloczyny [rbg x szt.] i podzielić przez okres realizacji zamówienia, to jest 81 [rbg]. Wykorzystując te działania otrzymamy

$$640 + 200 + 2 \cdot 100 + 209 = 1249 \text{ [rbg x szt.]}$$

oraz

$$\bar{Z}_D = \frac{1249}{81} \approx 15,4 \text{ [szt.]}$$

Średnio więc, w okresie realizacji zamówienia, liczba części „D” zamrożona w procesie produkcji będzie równa 15,4 [szt.]. Średnio będzie to wymagało kredytu obrotowego (do sfinansowania tego martwego zapasu) w wysokości

$$C_D \cdot \bar{Z}_D \text{ [zł]}$$

gdzie C_D jest ceną zakupu części „D” u producenta. Koszt takiego kredytu obrotowego takiej wysokości określa wartość wyrażenia

$$\rho \cdot C_D \cdot \bar{Z}_D$$

gdzie ρ jest stopą kredytu obrotowego (w okresie 81 [rbg] czyli około 10 dni)

Jest to najmniejszy koszt związany z zamrożeniem części „D”, który obciąża Zakład Montażowy.

Zauważmy, że w chwili odbioru komputera z linii, część „D” jest droższa od ceny zakupu C_D o wartość

$$\rho \cdot C_D \cdot \bar{Z}_D \cdot \frac{1}{n} \quad \text{tylko z powodu zamrożonych zapasów części „D”}.$$

Ale koszty zamrożenia (martwych) zapasów są tylko częścią kosztów logistyki, ponoszonych z montowaniem części „D” do komputera.

Mianowicie, koszty te musimy uzupełnić o koszty transportu części „D” (przywozu z NRF).

Ogólnie, w naszym przypadku, koszty transportu części „D” składają się z kosztów dowozu części z fabryki w NRF do magazynu głównego i z magazynu głównego do magazynu produkcyjnego.

Jeżeli przyjęliśmy, że transport z magazynu głównego odbywa się przy pomocy ręcznego wózka załadowywanego i rozładowywanego przez robotnika magazynowego, to koszty takiego transportu w skali rocznej łatwo można obliczyć a następnie przeliczyć na okres

produkcji zamówionej serii komputerów – 81 roboczogodzin – co odpowiada ≈ 10 roboczym dniom kalendarzowym.

Podobnie, możemy wyznaczyć koszt transportu części „D” z NRF do magazynu głównego. Często będzie to po prostu koszt zlecenia przewozów specjalistycznej firmie przewozowej.

W przypadku, gdy przewozy wykonujemy transportu własnym, koszt ten będzie równoważny kosztom utrzymania dwóch samochodów (wraz z kierowcami) przy uwzględnieniu zużycia materiałów eksploatacyjnych (w tym paliwo) oraz kosztów obsługi technicznych.

Także odpisy amortyzacyjne tych samochodów (oraz wózka) będą obciążać konto kosztów logistyki.

Niezależnie od kosztu zamrożenia zapasów oraz transportu części „D”, występują także koszty utrzymania magazynów [8].

Zwykle koszty te (w skali rocznej) możemy wyrazić formułą

$$K_0 + K \cdot M$$

gdzie K_0 - koszt stały, niezależny od wielkości magazynu,

K - koszt utrzymania jednostki powierzchni magazynu (wraz z niezbędnym wyposażeniem),

M - pojemność magazynu.

Wielkość K_0 dotyczy kosztów stałych utrzymania (wynajęcia) magazynu, (z odpisami na amortyzację budynków) zaś K związane jest z kosztami eksploatacyjnymi (ogrzewanie, oświetlenie, płace załogi).

Wartość M_G -pojemności magazynu głównego (magazynu produkcyjnego) zależą od przyjętych wartości T_G i T_P a mianowicie (patrz rys.11)

$$M_G = 10 \text{ lub } 20 \text{ [szt.]}$$

W pierwszym przypadku (10) zakładamy, że wraz z przybyciem samochodu bezpośrednio ładujemy na wózek transportowy, przewożąc części „D” do magazynu produkcyjnego.

W drugim przypadku (20) zakładamy, że wyładunek następuje z samochodu do magazynu głównego, a następnie owe części „D” wydawane są do magazynu podręcznego. Wartość M_p jest jednoznacznie określona wielkością dostaw $N_G = 10$ [szt.]. W ten sposób, znając wartość K_0 oraz K możemy wyznaczyć roczny koszt utrzymania takich magazynów. Oczywiście nie możemy obciążyć rocznymi kosztami utrzymania magazynów, czynności montażu części „D” do 20 [szt.] komputerów - z dwóch powodów.

Pierwszy powód wynika z faktu, że magazynów tych będziemy potrzebowali tylko przez okres około 10 dni a nie przez 365 dni – cały rok.

Drugi powód wynika z faktu, że na ogół magazyny takie są wspólne dla wielu części i utrzymanie pojemności wspólnego magazynu obciąża wszystkie części, z których montowany jest komputer.

Nie byłoby też komplikacji gdyby przyjąć, że dla przechowywania części „D”, niezbędny jest oddzielny magazyn przeznaczony tylko dla tych części. Wtedy drugi powód byłby nieaktualny.

Zagadnienie znacznie upraszcza się, gdy mamy do czynienia z produkcją ciągłą (masową).

Mianowicie, wtedy wielkość średnich zapasów w transporcie, magazynach głównym i produkcyjnym pozostaje bez zmian.

Natomiast zapas średni części „D” w montażu możemy znacznie łatwiej obliczyć, mianowicie:

$$\bar{Z}_M = \mu(\tau_2 + \tau_1) = 5,5$$

W rezultacie, zamówiony zapas części „D” w Zakładzie Montażowym będzie równy

$$\bar{Z}_C = \bar{Z}_T + \bar{Z}_G + \bar{Z}_P + \bar{Z}_M = 16 + 5 + 5 + 5,5 = 31,5 \text{ [szt.]}$$

Wartość zaangażowanego kredytu obrotowego będzie równy

$$C_D \cdot \bar{Z}_C$$

a koszt roczny utrzymania martwego zapasu

$$\rho \cdot C_D \cdot \bar{Z}_C$$

gdzie ρ jest stopą oprocentowania kredytu obrotowego w stosunku rocznym.

Na rysunku 11 pokazane są przebiegi zapasów $L(t)$ w transporcie i magazynach dla różnych wartości T_T przy produkcji ciągłej.

Zauważmy, że w transporcie zapas średni \bar{Z}_T części „D” dla kolejnych przypadków będzie wyrażał się następującymi wzorami:

$$\text{a) } \bar{Z}_T = \frac{N_T T_T}{T_T} = \mu \cdot T_T$$

$$\text{b) } \bar{Z}_T = \frac{1}{T_T} \{ (\Gamma_T - T_T) \cdot 2 \cdot N_T + [T_T - (\Gamma_T - T_T)] N_T \} = \mu T_T$$

$$\text{c) } \bar{Z}_T = \frac{1}{T_T} \{ (\Gamma_T - 3T_T) \cdot 4 \cdot N_T + [T_T - (\Gamma_T - 3T_T)] 3N_T \} = \mu T_T$$

gdzie $\frac{N_T}{T_T} = \mu$. Jak więc widać, zapas średni w transporcie nie zależy

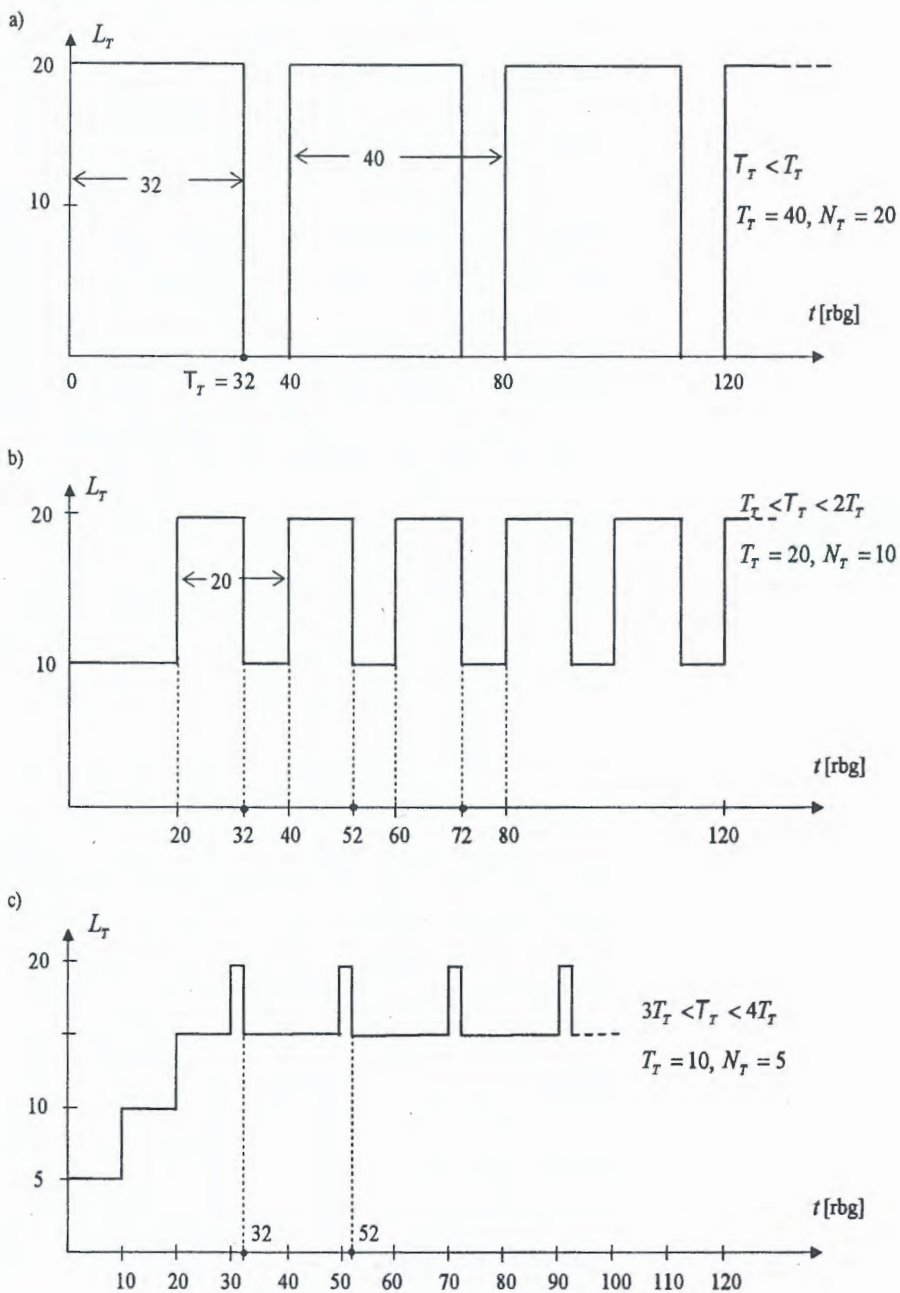
od wyboru okresu dostaw T_T .

Jeżeli spojrzymy na rysunek 10, na przebieg funkcji $L(t)$ chwilowych stanów w magazynach, to zapas średni części „D” w magazynach wyrazi się wzorami

$$\bar{Z}_G = \frac{1}{2} N_T T_T \left(1 - \frac{T_P}{T_T} \right) \cdot \frac{1}{T_T} = \frac{1}{2} \mu (T_T - T_P)$$

$$\bar{Z}_P = \frac{1}{2} N_P T_P \left(1 - \frac{T_0}{T_P} \right) \cdot \frac{1}{T_P} = \frac{1}{2} \mu (T_P - T_0)$$

gdzie $T_0 = \frac{1}{\mu}$, $\frac{N_T}{T_T} = \mu$, $\frac{N_P}{T_P} = \mu$



Rys. 11. Wykres L_T liczby zamrożonych w transporcie (dla $T_T = 32$ część „D”) w zależności od okresu T_T dostaw

Natomiast średni zapas części „D” na linii montażowej w każdym przypadku wyraża się wzorem

$$\bar{Z}_M = \mu(\tau_2 + \tau_1)$$

W ostatecznym rezultacie, zamrożony (martwy) średni zapas części „D” w Zakładzie Montażowym, nie może być mniejszy od wartości wyrażenia

$$\begin{aligned} \bar{Z} &= \mu T_T + \frac{1}{2} \mu(T_T - T_P) + \frac{1}{2} \mu(T_P - T_0) + \mu(\tau_2 + \tau_1) = \\ &= \mu \left[T_T + \frac{1}{2}(T_T - T_0) + \tau_2 + \tau_1 \right] \end{aligned}$$

Jak widać, martwy zapas części „D” zależy od różnicy cyklu dostaw T_T do magazynu głównego i cyklu $T_0 = \frac{1}{\mu}$ odbioru tych części z magazynu produkcyjnego na linię montażową.

Oczywiście, wielkość zapasu martwego (zamrożonego) zależy od wartości μ, T_T, τ_2, τ_1 , na które to wielkości logistyk w przedsiębiorstwie, praktycznie nie ma wpływu.

Zwróćmy uwagę na fakt, że zapas średni \bar{Z} , możemy obliczyć przy pomocy prostego wzoru

$$\bar{Z} = \mu \cdot \bar{\tau}$$

gdzie $\bar{\tau}$ jest średnim czasem przebywania części w rozpatrywanym ogniwie logistycznym.

Jeżeli jest to transport, to

$$\bar{Z}_T = \mu \cdot T_T$$

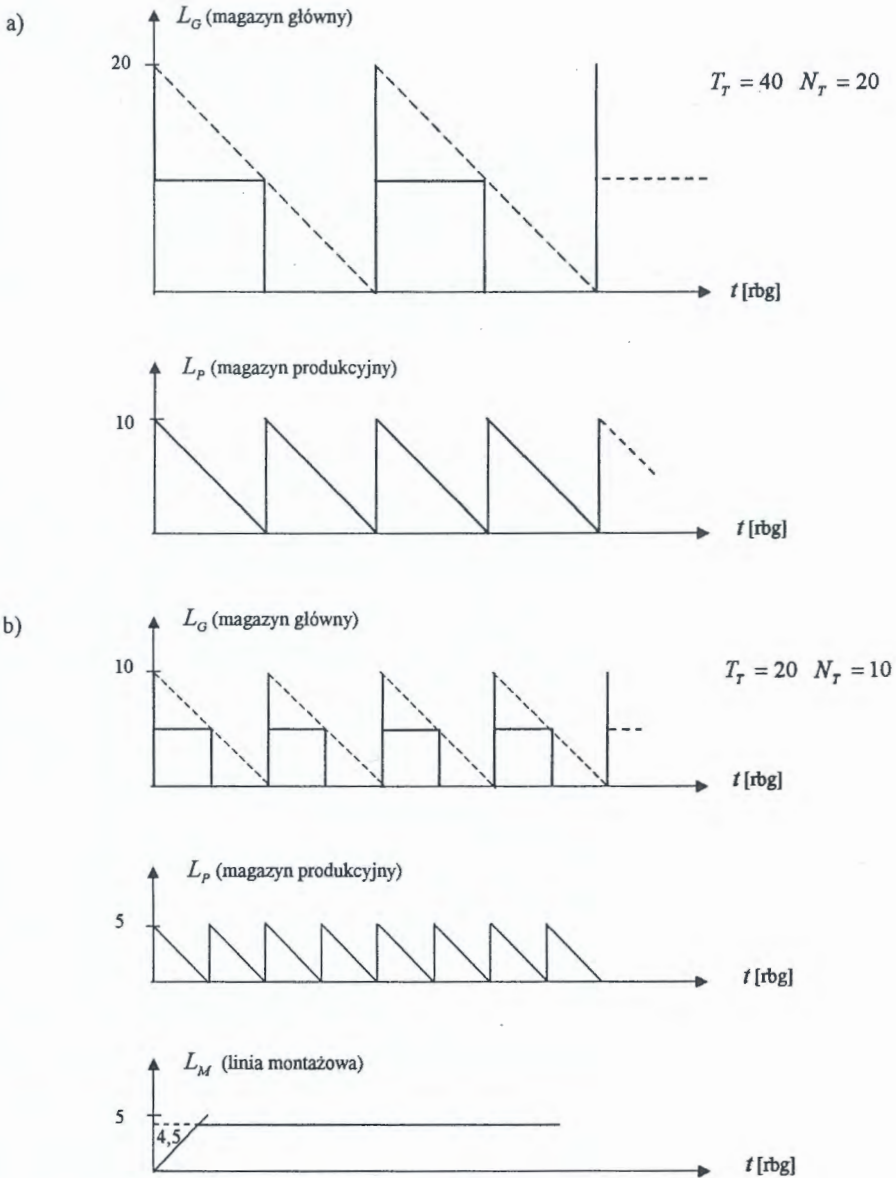
Jeżeli jest to magazyn pojedynczy, to

$$\bar{Z}_M = \mu \cdot \frac{1}{2} T$$

Jeżeli jest to jeden z wielu kaskadowo połączonych magazynów, to

$$\bar{Z}_{M_i} = \mu \left(\frac{1}{2} T_i - \frac{1}{2} T_{i+1} \right)$$

itd.



Rys. 12. Wykresy L_T , liczby zamrożonych części „D” w magazynach głównym i pomocniczym oraz w toku montażu dla dwóch okresów

transportowych T_T oraz $T_P = \frac{1}{2}T_T$

Podobnie możemy obliczyć zapas martwy dla innych części.

Na przykład, gdybyśmy przyjęli ten sam cykl transportowy dla części „B”, ponieważ obydwie te części przywożone są z tej samej miejscowości, tym samym środkiem transportu, to średnią wielkość martwego zapasu części „B” można by obliczyć wykorzystując ten sam wzór usuwając z niego wielkość τ_2 .

Nie byłoby to jednak prawdą, gdyż części „B” dowożone tym samym środkiem transportu, zostałyby przedwcześnie przywiezione i musiałyby być dodatkowo przechowywane w magazynie przez czas τ_2 . W rezultacie zapas martwy części „B” wyrażałby się tym samym dokładnie wzorem. Gdybyśmy chcieli uniknąć dodatkowego przechowywania, to musielibyśmy po części „B” wysłać inny środek transportu. Chociaż wtedy, zmniejszylibyśmy martwy zapas części „B”, to wzrosłyby koszty transportu (na jednostkę czasu). Przyjmując, że koszty utrzymania magazynu dla części „D” wyrażają się funkcją

$$K_0 + K \cdot M, \quad \left[\frac{\text{zł}}{\text{jedn.czasu}} \right]$$

gdzie M – pojemność magazynu, otrzymamy następujące koszty utrzymania magazynu

– głównego

$$K_{0G} + K \cdot \frac{1}{2} N_T = K_{0G} + \frac{1}{2} K \cdot \mu \cdot T_T$$

– produkcyjnego

$$K_{0P} + K \cdot \frac{1}{2} N_p = K_{0P} + \frac{1}{2} K \cdot \mu \cdot T_p$$

więc koszty utrzymania obu magazynów wyrażą się następującą formułą

$$K_{0G} + K \cdot \frac{1}{2} N_T + K_{0P} + K \cdot \frac{1}{2} N_p = K_{0G} + K_{0P} + \frac{1}{2} K (N_T + N_p)$$

Ale, ponieważ założyliśmy, że:

$$N_p = \frac{1}{2} N_T \quad \left(T_p = \frac{1}{2} T_T \right)$$

oraz $N_T = \mu T_T$, więc koszty utrzymania obydwu magazynów będą równe

$$\aleph_0 + \frac{1}{2} \aleph \mu \left(T_T + \frac{1}{2} T_T \right) = \aleph_0 + \frac{3}{4} \aleph \cdot \mu \cdot T_T$$

przy czym $\aleph_0 = \aleph_{0G} + \aleph_{0p}$

Na rysunku 13 pokazano przebiegi kosztów logistyki (transport, utrzymanie magazynów oraz zamrożenie zapasów wraz ze zmianą T_T okresem dostaw do magazynu głównego.

Jak można zauważyć, suma kosztów [3] + [4] + [2] posiada swoje minimum. Wartość T_T , dla którego suma ta osiąga minimum jest wartością, przy której koszty logistyki dla części „D” są najmniejsze.

Uwzględnijmy następnie, że koszt zamrożenia zapasów w magazynach jest równy

$$\rho C [\bar{Z}_G + \bar{Z}_p]$$

Pomijamy przy tym koszty zamówienia zapasów części „D” na linii montażowej, gdyż za ich wysokość nie jest odpowiedzialna służba logistyczna przedsiębiorstwa – są one parametrem technicznym technologii montażu i obciążają bezpośrednio proces produkcyjny.

Ponieważ, jak wiemy (patrz str. 90) ale na str. 96 jest, że

$$\bar{Z}_G + \bar{Z}_p = \frac{1}{2} \mu (T_T - T_0) \quad \text{gdzie} \quad T_0 = \frac{1}{\mu}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_G + \bar{Z}_p &= \frac{N_G T_G}{T_T} + \frac{2 \cdot \frac{1}{2} N_G T_G}{T_T} = \\ &= 2 \frac{N_G T_G}{T_T} = 2 \frac{\frac{1}{2} N_T \cdot \frac{1}{2} T_T}{T_T} = \frac{1}{2} \mu T_T \end{aligned}$$

gdyż $N_G = \frac{1}{2}N_T$, $N_G = \frac{1}{2}T_T$

Koszt zamrożenia zapasu części „D” w magazynach będzie równy

$$\frac{1}{2}\rho C\mu T_T$$

A koszt zamrożenia zapasu części „D” w transporcie:

$$\frac{1}{2}\rho C\mu T_T$$

Ostatecznie więc, koszt utrzymania zapasów części „D” (wyłączając koszt utrzymania magazynów) będzie równy

$$\aleph_0 + \frac{3}{4}\aleph\mu T_T + \frac{1}{2}\rho C\mu(T_T + T_T)$$

Przekształcając to wyrażenie do postaci

$$\aleph_0 + \frac{1}{2}\rho C\mu T_T + \mu\left(\frac{3}{4}\aleph + \frac{1}{2}\rho C\right)T_T = A + BT_T$$

gdzie $A = \aleph_0 + \frac{1}{2}\rho C\mu T_T$, koszty niezależne od T_T ,

$$B = \mu\left(\frac{3}{4}\aleph + \frac{1}{2}\rho C\right) \quad \text{współczynnik proporcjonalnych}$$

kosztów do wartości T_T .

Podobnie postępując z kosztami transportowymi (na jednostkę czasu), które w przykładzie T_T można wyrazić ogólną formułą:

$$k_0 + k \cdot N_T,$$

otrzymamy: $\frac{k_0 + k \cdot N_T}{T_T} = \frac{k_0}{T_T} + k \cdot \mu$ gdzie $\frac{N_T}{T_T} = \mu$

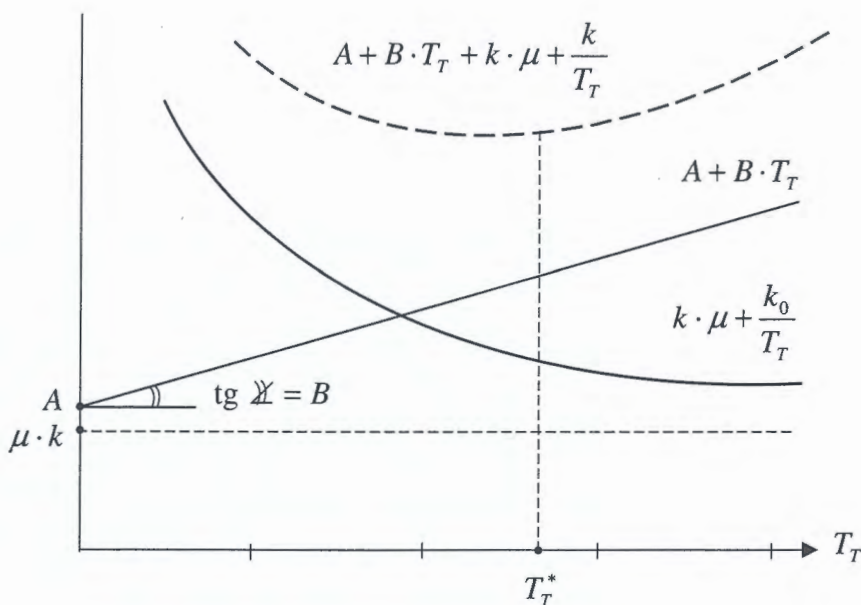
W rezultacie, zależność sumy kosztów magazynowania martwego zapasu

i transportu

$$A + B \cdot T_T$$

$$k \cdot \mu + \frac{k_0}{T_T}$$

od wartości T_T jest przedstawiona na rysunku



Rys. 13. Zależność kosztów logistyki Zakładu Montażowego od cyklu T_T dostaw części „D”

Optymalną wartość T_T^* możemy wyznaczyć, przyrównując pierwszą pochodną sumy kosztów względem T_T - do zera. Otrzymamy wtedy równanie

$$B - \frac{k_0}{T_T^2} = 0$$

Stąd otrzymamy

$$T_T^* = \sqrt{\frac{k_0}{B}}$$

lub podstawiając wartość B :

$$T_T^* = \sqrt{\frac{k_0}{\mu \left(\frac{3}{4} k_0 + \frac{1}{2} \rho C \right)}}$$

Optymalny okres dostaw części „D” z NRF będzie tym większy im większa wartość ma stały koszt k_0 - uruchomienia transportu (przejazdu samochodem po części, niezależnie od wielkości ładunku) a tym mniejszy im większa jest wartość μ, ρ, C . Wyznaczona wartość T_T^* determinuje optymalną wielkość jednorazowej dostawy: $N_T^* = \mu \cdot T_T^*$.

W rezultacie, powinniśmy dobrać taki środek transportowy, którego ładowność q była bliska wartości N_T^* a pozostałe parametry k_0 i k były zbliżone do przyjętych do obliczeń. Możliwe jest także inne podejście do wyboru środka transportu a mianowicie, dla kolejnych rodzajów $\tau = 1, 2, \dots, I$ środka transportu scharakteryzowanych liczbami q_i, k_i, k_{0i} obliczamy wartość T_i ze wzoru

$$T_{T_i} = \frac{N_{T_i}}{\mu} = \frac{q_i}{\mu}$$

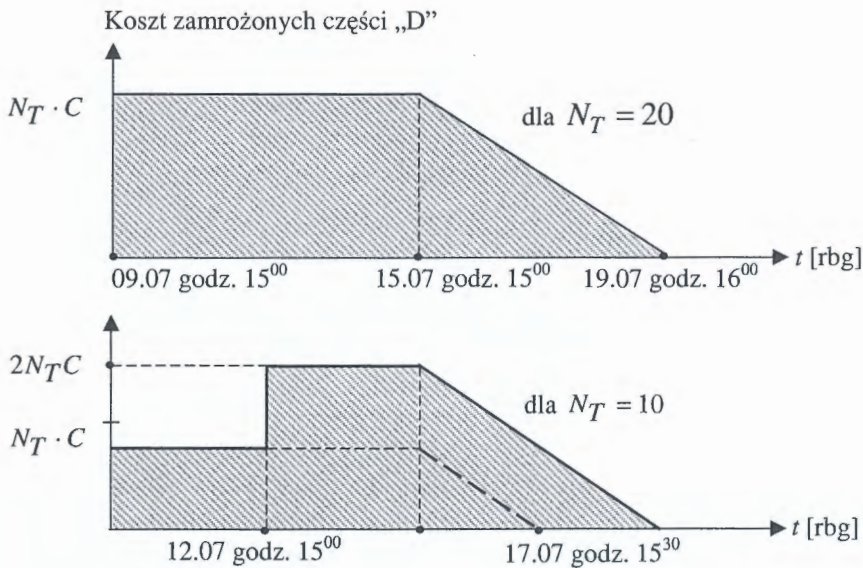
przyjmując $N_{T_i} = q_i$

Dla każdego rodzaju środka $r = 1, 2, \dots, R$ obliczamy następujące koszty logistyki i wybieramy ten, dla którego koszty są najmniejsze.

3. Analiza finansowa płatności za dostawy części i wyrobów gotowych

Zwróćmy uwagę, że koszty te są liczone przy założeniu, że za nabyte części „D” płaciliśmy natychmiast przy ich załadunku na samochód oraz przy założeniu, że uzyskujemy zapłatę za każdy wyprodukowany komputer – również natychmiast.

Z finansowego punktu widzenia mamy więc „zamrożone” w martwym zapasie środki finansowe o wysokości $N_T \cdot C$ zgodnie z wykresami widocznymi na rys.14.



Rys. 14. Wykres kosztu zamrożenia części „D” z finansowego punktu widzenia, dla $N_T = 20$ oraz 10

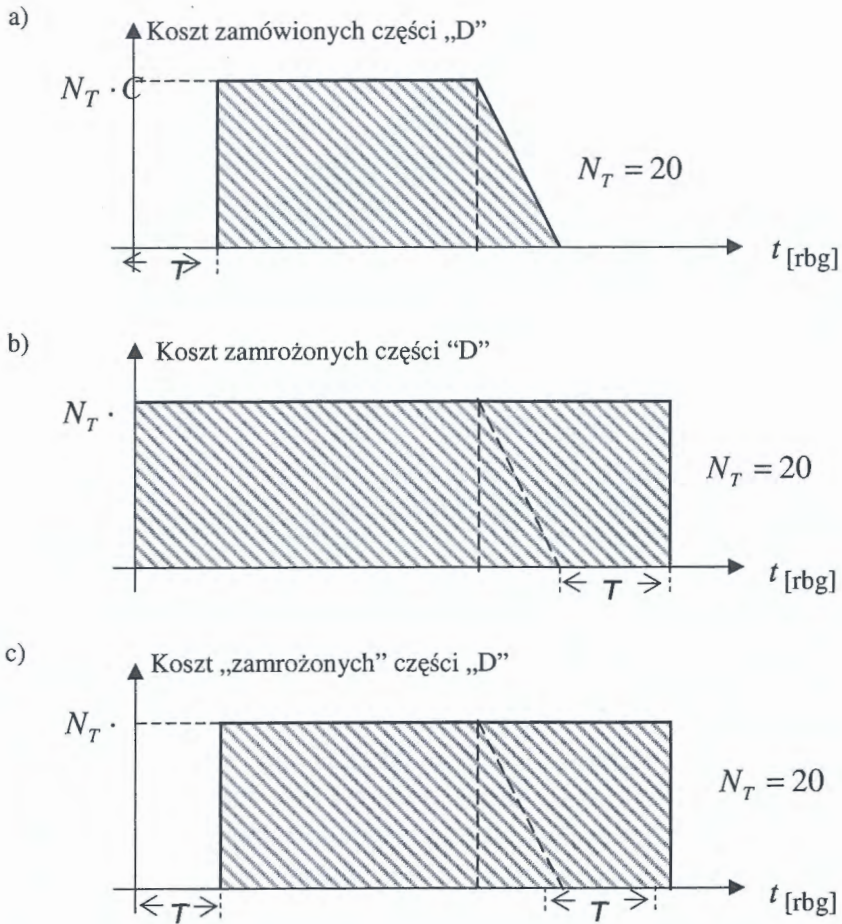
Wiemy, że płatności rzadko układają się w sposób przyjęty w założeniach. Jak się więc zmienia sytuacja gdy zapłatę za część „D” opóźnimy o czas T_1 a należność za komputery otrzymamy po czasie T_2 od chwili zakończenia produkcji całej serii?

Odpowiedź na to pytanie ilustrują rysunki poniżej.

Rysunki te pokazują dobitnie, jak wielkie znaczenie mają wartości T_1 oraz T_2 . Wraz z rosnącą wartością T_1 zmniejszamy koszty zamrożenia części „D” a więc obniżamy koszty montażu, czyli podwyższamy nasze zyski.

W ten sposób przrzucamy część naszych kosztów zamrożenia na dostawcę, który w rezultacie częściowo finansuje naszą działalność.

Przeciwny skutek wywołuje wzrost wartości T_2 . Nasza zgoda na to, żeby odbiorca komputerów opóźniał swoją zapłatę powoduje, że nasze koszty zamrożenia części „D” wzrastają.



Rys. 15. Wpływ opóźnienia zapłaty T_1 za nabyte części „D” oraz opóźnienia należności T_2 za serię wykonanych komputerów (dla $N_T = 20$)

Powoduje to, że koszty montażu komputerów rosną a zysk Zakładu Montażowego maleje.

Skutek ten odbija się w utracie płynności finansowej Zakładu Montażowego i konieczności zaciągnięcia dodatkowego kredytu, którego koszt (obsługa) zmniejsza nasze zyski.

Oczywiście, koszty zamrożenia części „D” są tylko częścią kosztów logistyki zaopatrzenia Zakładu Montażowego w te części.

Pełna analiza kosztów w zależności od sytuacji obejmująca także koszty transportu i magazynowania, została pokazana wcześniej.

Tym mniej pokazany wpływ wielkości T_1 oraz T_2 obrazuje, jak ten koszt zależy od umiejętności negocjowania umów z dostawcami i odbiorcami, co do terminów płatności.

Jednak zwykle, służby logistyczne nie mają wpływu na warunki umowy. Nie branie pod uwagę roli wielkości T_1 oraz T_2 może sprawić przykrą niespodziankę kierownikom przedsiębiorstw. Znaczenie wielkości T_1 oraz T_2 rośnie wraz ze wzrostem cen zakupywanych części i czasem trwania produkcji wyrobu.

Należy zauważyć, że podobny sposób przedstawiania procesów (nie tylko logistycznych) w przedsiębiorstwie został wprowadzony do nauk ekonomicznych pod postacią metody ABC (Activity Based Costing) przez R. Cooper'a i R. Kaplan'a w USA w 1988 roku.

Niezależnie, w Polsce, taki sposób przedstawienia procesów wytwórczych został po raz pierwszy opisany w skrypcie szkoleniowym WAT mojego autorstwa „Optymalizacja systemów produkcyjnych” Seria: Ekonometria. Warszawa 1972. Następnie w roku 1990 opracowany został przez dra H. Mierzejewskiego specjalny język komputerowy do szybkiego zaprogramowania obliczeń na sieciach. Język ten, pod nazwą GRAF (lub PROGOS) oraz opisana metoda, były szeroko wykorzystywane do modelowania działalności kilkudziesięciu przedsiębiorstw, poddawanych procesom restrukturyzacji.

Metoda ta oraz niektóre, bardziej interesujące modele sieciowe restrukturyzowanych przedsiębiorstw, zostały opisane ponownie w roku 2000 w mojej książce „Sieciowe modele symulacyjne do wyznaczania strategii rozwoju przedsiębiorstw”.

Sposób wykorzystywania możliwości współczesnych komputerów do minimalizacji kosztów logistyki w przedsiębiorstwie jest opisany w następnym punkcie.



4. Komputerowy model logistyki przedsiębiorstwa (Przykład) [15]

Opisana w Rozdziale – Analiza kosztów logistyki wykazuje, że jest to czynność bardzo pracochłonna. W przypadku analizy systemu zaopatrywania w wiele różnych rodzajów części i materiałów, niezbędnych do działalności przedsiębiorstwa, jesteśmy zmuszeni do korzystania z możliwości nowoczesnych komputerów.

Wykorzystanie tych możliwości uwarunkowane jest zbudowaniem modelu matematycznego dla obliczania kosztów logistyki oraz zaprogramowaniem tego modelu na komputer.

O ile ta druga czynność – zaprogramowanie modelu nie natrafia na żadne trudności – pod warunkiem, że będziemy programowali przy użyciu specjalistycznego języka GRAF (lub ORGPLAN-[12]), nauka posługiwania się, którym nie zajmuje więcej czasu aniżeli kilka godzin (zakładając techniczną umiejętność posługiwania się komputerem).

Tylko zbudowanie adekwatnej do rzeczywistości sieci przepływów rzeczowych, w postaci grafu opisanego liczbami, może przysporzyć więcej trudności.

Sposób pokonywania tych trudności pokażemy na przykładzie budowy modelu sieciowego uproszczonych przepływów rzeczowych w pewnym przedsiębiorstwie, którego schemat logistycznej struktury jest widoczny na rys. 20.

Szerzej opisane zasady budowy modeli sieciowych znajdzie Czytelnik w książce mojego autorstwa „Sieciowe modele symulacyjne do wyznaczania strategii rozwoju przedsiębiorstw”, -Instytut Interfacji, Warszawa 2000 r.- z której ten przykład zastał wzięty.

Znaczenie logistycznych procesów dla rozpatrywanego przedsiębiorstwa było duże, ze względu na dostawy elementów zaopatrzeniowych z szeregu krajów transportem samochodowym a nawet morskim. Ponadto zaopatrzenie w części kooperujących przedsiębiorstw, także obejmowało swym zasięgiem szereg krajów. Wszystko to realizowano własnym lub wynajętym transportem. Tylko sprzedaż wyrobów własnych odbywała się z magazynu wyrobów gotowych środkami odbiorcy.

W uproszczonym przykładzie wyróżniono trzy asortymenty zaopatrzeniowe: A, B i C. Z tego dwa, A i B, są wysyłane także do kooperujących zakładów. Element C wraz z elementami A i B jest zużywany do wyrobu oznaczonego symbolem D. Dla realizacji tych celów przedsiębiorstwo posiada, w naszym przykładzie, dwa własne parki samochodowe: zbytu i zaopatrzenia oraz trzy magazyny: główny, produkcyjny na hali produkcyjnej oraz magazyn wyrobów gotowych (D).

Ponieważ obiektem naszego zainteresowania są procesy logistyczne, więc problem modelowania procesów produkcji zostanie całkowicie pominięty. Schemat logistycznej struktury przedsiębiorstwa jest widoczny na rys. 20.

Celem analizy procesów logistycznych było zmniejszenie kosztów obsługi logistycznej przedsiębiorstwa a w szczególności wybranie najlepszych sposobów transportu - to jest odpowiedniego typu i ilości środków transportowych, określenie najlepszych cykli zaopatrzeniowych (częstości i wielkości dostaw), zbadanie możliwości zmniejszenia powierzchni magazynowych oraz, co wcale nie jest takie łatwe, wyznaczenie kosztów obsługi logistycznej i miejsc ich powstawania (w celu zmiany sposobu księgowania).

W ramach kosztów obsługi logistycznej wyróżniono:

- średnie koszty utrzymania zapasów,
- koszty utrzymania magazynów o niezbędnej pojemności szczytowej,
- koszty utrzymania transportu, zależne zarówno od niezbędnej liczby środków transportu jak i ich przebiegu.

Koszty utrzymania zapasów wynikają z oprocentowania ρ kredytu obrotowego, którego wielkość jest sumą iloczynów zapasu Z i jednostkowej ceny C towaru. Koszty utrzymania magazynów wynikają z ich powierzchni A zależnej od wielkości szczytowego zapasu Z_{\max} oraz kosztów utrzymania jednostki powierzchni κ . Do kosztów utrzymania jednostki powierzchni κ należą koszty

- remontów urządzeń
- klimatyzacji (ogrzewania)
- podatków od powierzchni gruntu, i budynków

- amortyzacji urządzeń i budynków
- wynagrodzeń obsługi magazynu.

Koszty utrzymania transportu są proporcjonalne do ilości N środków transportu, przebiegu kilometrowego P oraz ewentualnie są powiększone o koszt stały k^0 .

Koszty proporcjonalne do ilości środków N dotyczą

- amortyzacji
- podatków i ubezpieczeń
- garażowania
- oraz
- wynagrodzeń kierowców zawodowych.

Koszty proporcjonalne do liczby P przejechanych kilometrów, dotyczą kosztów:

- paliwa
- materiałów eksploatacyjnych (w tym opon)
- obsług technicznych (w tym remontów i napraw).

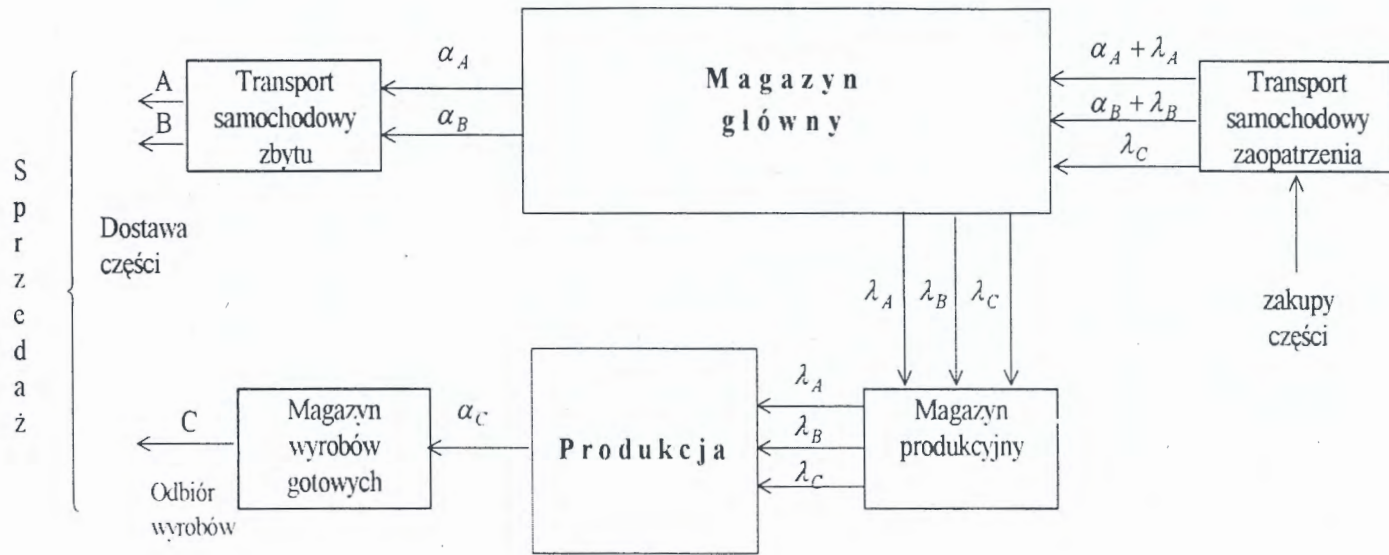
Na rys. 20 pokazana jest uproszczona sieć obliczeniowa przepływów rzeczowych logistycznego zaplecza przedsiębiorstwa. Wszystkie obliczenia wykonywane były w zależności od wielkości sprzedaży wyrażonych w jednostkach naturalnych: α_A , α_B , α_D . Z tego powodu kierunek obliczeń, strzałek na rysunku (łuków) przebiega od zadawanych wartości wyjściowych - sprzedaży α_A , α_B i α_D do zapotrzebowania na elementy λ_A , λ_B i λ_C .

Do zmiennych decyzyjnych charakteryzujących procesy logistyczne, należą cykle dostaw:

T - do magazynu głównego

T_p - do magazynu produkcyjnego.

Do zmiennych decyzyjnych należą ponadto wielkości V_α i V_λ - pojemności różnych typów samochodów nadających się do przewozu elementów.



Rys. 18. Schemat logistycznej struktury przedsiębiorstwa

Wielkości ϑ_A , ϑ_B , ϑ_C określają normatywy niezbędnej powierzchni dla przechowywania lub przewożenia jednostkowych elementów A , B lub C odpowiednio.

Oczywiście od typu samochodu zależy czas podróży towaru: przewozu T_λ elementów A , B i C oraz wywozu T_α elementów A i B do kooperantów. Czasy te są funkcją szybkości transportu i długości pokonywanej trasy.

Trasy mają zwykle charakter okrężny, co jest spowodowane koniecznością zarówno odbioru elementów z różnych miejsc ich produkcji, jak i dowozem elementów do wielu odbiorców. W związku z tym ładunek przewożony przez samochody (lub statki) jest odpowiednią „mieszkanką” różnych środków transportu wynikającą z potrzeb i zamówień. Czas przewozu ładunków jest wtedy zwykle dwukrotnie mniejszy od czasu trwania cyklu roboczego środka transportu.

Celem objaśnienia sposobu obliczeń rozpatrzmy następujący przykład.

Dane jest zapotrzebowanie przewozowe $\alpha = 500 \left[\frac{\text{szt.}}{\text{tydzień}} \right]$

pewnego towaru, którego jednostka (sztuka) zajmuje przestrzeń ładunkową $\vartheta = 0,125 \text{ [m}^3\text{]}$. Towar ma być przewieziony po danej trasie na odległość $D = 1000 \text{ [km]}$.

Do przewozu projektuje się użyć samochodów o ładowności $V = 8 \text{ [m}^3\text{]}$. W czasie jednej jazdy (tam i z powrotem) samochód dwukrotnie przekracza granice dwóch państw oczekując w kolejce na odprawę celną. Uwzględniając ponadto konieczność wypoczynku kierowcy, ocenia się, że na tej trasie przebieg samochodu w ciągu tygodnia nie przekroczy $S = 5 \text{ tys. km}$.

Na podstawie tych danych wyliczamy czas przewozu ładunku:

$$T = \frac{D}{S} = 0,2 \text{ [tygodnia]}$$

a pełny cykl przewozowa samochodu będzie równy

$$2T = 0,4 \text{ [tygodnia]}$$

(przyjmując przybliżenie, że czas przejazdu samochodu z ładunkiem jest taki sam jak bez ładunku).

W okresie jednego cyklu przewozowego musi być przewiezionych

$$2T \cdot \alpha = 200 \text{ [szt.]}$$

towaru o objętości

$$2T \cdot \alpha \cdot \vartheta = 25 \text{ [m}^3\text{]}$$

W czasie przewozów, średnia objętość towaru znajdująca się „w drodze” będzie równa

$$Z = T \cdot \alpha \cdot \vartheta = 12,5 \text{ [m}^3\text{]}$$

Zauważmy, że w transporcie pojęcie średniej ilości towaru „w drodze”, odpowiada w produkcji pojęciu zapasu „w toku produkcji”.

Ponieważ pojemność ładunkowa V jednego samochodu jest równa $8 \text{ [m}^3\text{]}$ to samochody muszą wykonać w okresie jednego cyklu przewozowego

$$\frac{2T \cdot \alpha \cdot \vartheta}{V} = 3,125 \text{ [kursów]}$$

pokonując w tym czasie odległość

$$\frac{2T \cdot \alpha \cdot \vartheta}{V} \cdot 2D = 6250 \text{ [km]}$$

lub w ciągu tygodnia:

$$P = \frac{2T \cdot \alpha \cdot \vartheta}{V} \cdot \frac{2D}{2T} = \frac{2\alpha\vartheta D}{V} = 15625 \left[\frac{\text{km}}{\text{tydzień}} \right]$$

Ponieważ jeden samochód może w ciągu tygodnia pokonać odległość $S=5$ tys. [km], więc do obsługi linii przewozowej potrzeba:

$$N = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \vartheta \cdot D}{V \cdot S} = 3,125 \approx 4 \text{ [samochodów]}$$

Chociaż możliwości przewozowe 4 samochodów nie będą w pełni wykorzystane to 3 samochody nie zapewnią przewozu ładunków.

Wyznamy następnie T cykl dostaw do magazynu odbiorcy towaru. Jest oczywistym fakt, że wielkość pojedynczej dostawy jest wyznaczona pojemnością ładunkową samochodu a częstość (cykl) dostaw wynika z podzielenia cyklu przewozowego $2T$ przez liczbę kursów w cyklu: $T = \frac{2T}{2T \cdot \alpha \cdot \vartheta} = \frac{V}{\alpha \vartheta} = 0,128$ [tygodni]

Zreasumujmy nasze rozważania. Z punktu widzenia kosztów procesu logistycznego w przedsiębiorstwie, istotne będą następujące wielkości

- liczba niezbędnych środków transportu: N
- przebyta przez wszystkie środki transportu droga w jednostce czasu: P
- średnia wielkość objętości ładunku „w drodze”: Z
- cykl dostaw do magazynu T i wielkość jednej partii V .

Wartość V jest założona, zaś pozostałe wartości są wyznaczane ze wzorów:

$$N = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \vartheta \cdot D}{V \cdot S} = \frac{P}{S}$$

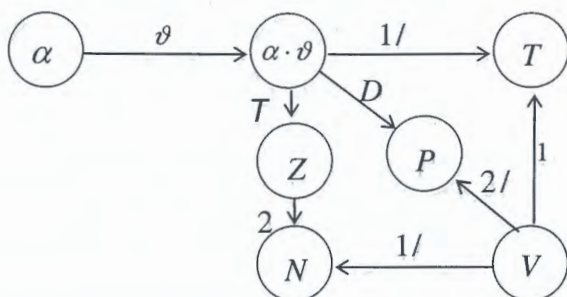
$$P = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \vartheta \cdot D}{V}$$

$$Z = \alpha \cdot \vartheta \cdot \frac{D}{S}$$

$$T = \frac{V}{\alpha \cdot \vartheta}$$

Na rys. 21 pokazany jest graf obliczeniowy tych wielkości.

Występujący na niektórych łukach znak „1/” oznacza, że w „wyjściowym” wierzchołku łuku pojawi się odwrotność liczby znajdującej się w „wejściowym” wierzchołku.



Rys. 21. Graf obliczeniowy przepływów rzeczowych linii transportowej

Znając wielkości N , P , Z , T możemy wyznaczyć koszty przewozów jako sumę następujących składników.

- Wartości zamrożonego kapitału, kosztów amortyzacji, podatków (drogowego i ubezpieczeń), opłat garażowych oraz wynagrodzenia kierowców całego parku samochodowego o liczebności N :

$$\gamma \cdot N$$

gdzie γ wymienione koszty stałe, związane z posiadaniem jednego samochodu (z kierowcą).

- Kosztu zużytego paliwa, opon, oleju; kosztu przeglądów technicznych i napraw (rozliczanych na km przebiegu) zależne od przebytej przez środki transportowe drogi:

$$\varepsilon \cdot P$$

gdzie ε wymienione koszty zmienne (eksploatacyjne) transportu, zależne od przebytej drogi.

- Koszty „zamrożenia” ładunku w transporcie:

$$\rho \cdot C \cdot Z$$

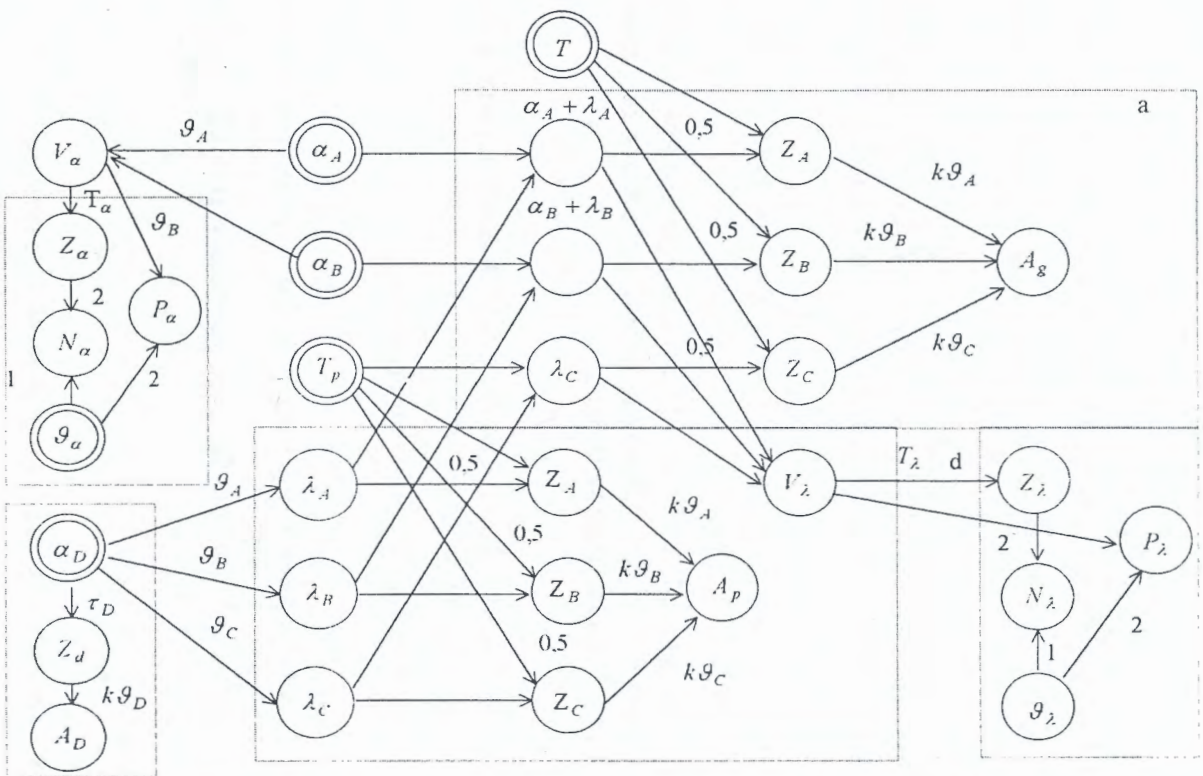
gdzie C cena jednostki objętości ładunku a ρ oprocentowanie kredytu obrotowego (np. dla 20% rocznie mamy $\rho = 0,2 \left[\frac{1}{\text{rok}} \right]$ lub

$$\rho = 0,0037 \left[\frac{1}{\text{tydzień}} \right]).$$

- Koszty utrzymania magazynu o pojemności minimalnej $A = V$:

$$k \cdot A = k \cdot V$$

gdzie k koszty utrzymania (wynajęcia) jednostki pojemności magazynu, uwzględniające koszty klimatyzacji (ogrzewania), remontów, oświetlenia, ochrony itp.



Rys. 20. Sieć obliczeniowa przepływów rzeczowych logistyki przedsiębiorstwa: a. Magazyn główny, b. Transport zbytu części, c. Magazyn wyrobów gotowych, d. Transport zaopatrzeniowy

Kosztu „zamrożonego” ładunku w magazynie:

$$\frac{1}{2} \rho \cdot C \cdot V$$

gdzie wielkości ρ , C mają znaczenie jak wyżej.

W tym miejscu konieczna jest następująca uwaga. Jeżeli cykl dostaw o wielkości V do magazynu jest równy T to wielkość niezbędnej powierzchni magazynu jest $A = V$ tylko wtedy, jeżeli cykl odbioru towaru z magazynu T_p spełnia nierówność

$$T_p \leq T$$

W ogólnym przypadku pojemność magazynu jest wyznaczona przez większą z dwóch liczb T_p i T :

$$\xi = \max \{T_p, T\}$$

przy czym wartości liczbowe tych dwóch wielkości spełniają równania:

$$T \cdot V = T_p \cdot V_p = \alpha \cdot \vartheta$$

gdzie V_p jest wielkością partii towaru odbieranych z magazynu.

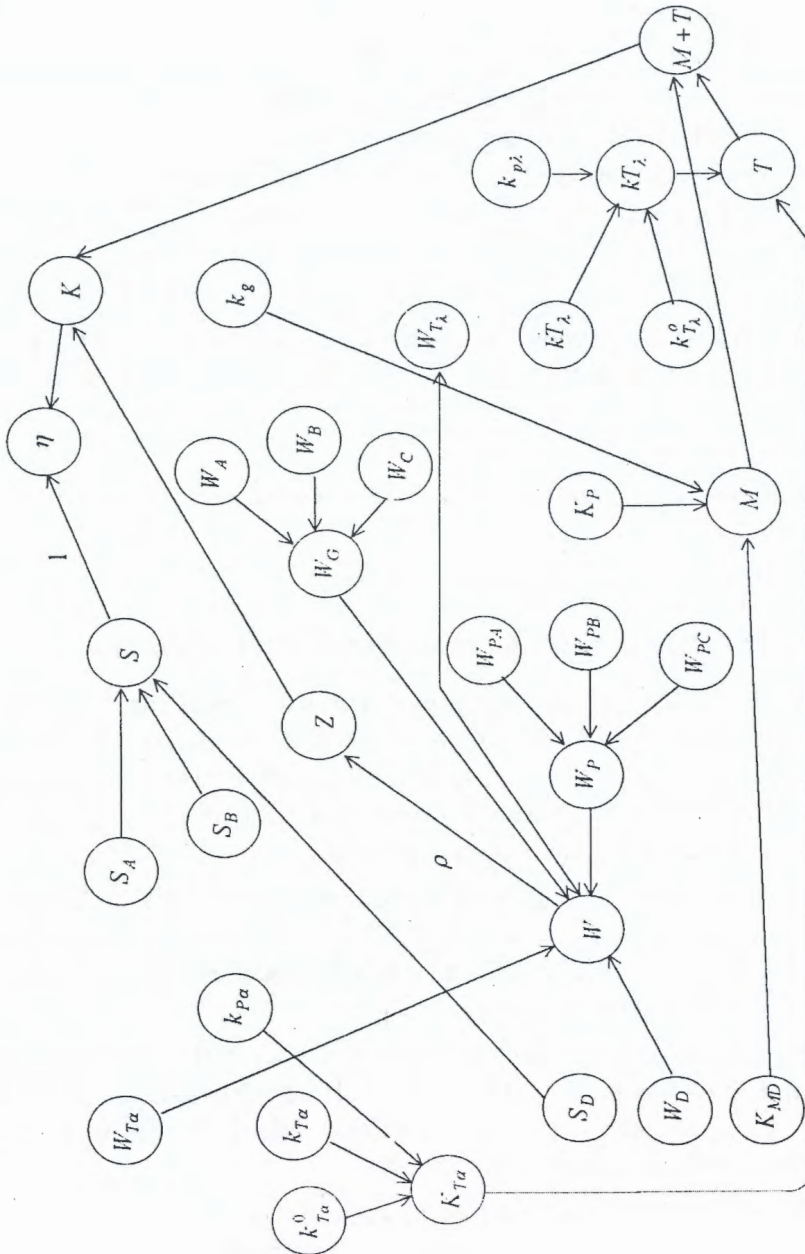
W przypadku, gdy do magazynu wpływa wiele strumieni towarów (niejednorodnych), o różnych cyklach i wielkościach dostaw i jednocześnie wypływa wiele strumieni towarów o innych cyklach i wielkościach partii, to zadanie wyznaczenia niezbędnej maksymalnej pojemności magazynu staje się nie trywialne.

Rozwiązanie tego problemu może Czytelnik znaleźć w książce: „Optymalizacja systemów zaopatrzenia” - S. Piasecki, Z. Kaszubowski, PWN, Warszawa-Łódź 1982 r. lub w książce „Podstawy logistyki”, Tom II (w przygotowaniu).

Wyżej wymieniona zależność dotyczy więc tylko szczególnego przypadku, gdy wielkość partii dostaw lub odbioru jednego ze strumieni jest dominująca i występuje on jako jedyny - bądź w postaci dostaw bądź odbioru towarów z magazynu.

Na przykład tak jak jest to widoczne na rys. 20, do magazynu głównego wpływa jeden strumień o wielkości partii dostaw V a wy-

pływają dwa strumienie: do magazynu produkcyjnego i do kooperantów o wyraźnie mniejszych partiach dostaw.



Rys. 21. Sieć przepływów finansowych w sferze logistyki przedsiębiorstwa

W większości takich przypadków nierówność

$$T_p \leq T$$

jest w praktyce zwykle spełniona.

Druga uwaga dotyczy wyznaczania „ceny” ładunku o jednostkowej objętości. Mianowicie, zazwyczaj przewożony ładunek nie jest jednorodny. Na przykład, na grafie widocznym na rys. 20, ładunek dostarczany do przedsiębiorstwa jest mieszanką trzech rodzajów części: A , B i C o jednostkowych objętościach ϑ_A , ϑ_B i ϑ_C i cenach C_A , C_B i C_C . Zapotrzebowanie na detale A jest równe $\alpha_A + \lambda_A$, na detale B : $\alpha_B + \lambda_B$ oraz na detale C : λ_C .

W takim przypadku „cena” ładunku o jednostkowej objętości będzie wyznaczona ze wzoru

$$C = \frac{C_A(\alpha_A + \lambda_A)\vartheta_A + C_B(\alpha_B + \lambda_B)\vartheta_B + C_C \cdot \lambda_C \cdot \vartheta_C}{(\alpha_A + \lambda_A)\vartheta_A + (\alpha_B + \lambda_B)\vartheta_B + \lambda_C \vartheta_C}$$

Analogicznie, występująca we wzorach wartość iloczynu $\alpha \cdot \vartheta$, będzie wyznaczona ze wzoru

$$\alpha \cdot \vartheta = (\alpha_A + \lambda_A)\vartheta_A + (\alpha_B + \lambda_B)\vartheta_B + \lambda_C \cdot \vartheta_C$$

Podobnie wyznaczamy „cenę” ładunku dostarczanego kooperantom a mianowicie, w tym przypadku będziemy mieli:

$$C = \frac{C_A \cdot \alpha_A \cdot \vartheta_A + C_B \cdot \alpha_B \cdot \vartheta_B}{\alpha_A \cdot \vartheta_A + \alpha_B \cdot \vartheta_B}$$

Z pokazaną na rys. 22 siecią obliczeniową przepływów rzeczowych związana jest sieć przepływów finansowych widoczna na rys 23. Obydwie sieci powiązane są strzałkami (łukami) pionowymi tak jak to jest pokazane w książce [12]. Ponieważ łuki te są niewidoczne na obu rysunkach sieci, to zostały one opisane w oddzielnej Tabelicy. Sieć przepływów finansowych widoczna na rysunku 23 scala poszczególne elementy kosztów, których źródła są widoczne na sieci obliczeniowej przepływów rzeczowych. I tak, w wierzchołku W mamy określoną wartość wszystkich zapasów, których utrzymanie kosztuje nas $W = \rho \cdot Z \cdot C$ [zł] (ρ – jest oprocentowaniem kredytu obrotowego).

Wykaz łąków „pionowych” łączących przepływy rzeczowe
z finansowymi

Łuk		Treść związku	Forma związku	a_{ij}	
z	do				
1	2	3	4	5	
Z_α	$W_{T\alpha}$	Związek wartości $W_{T\alpha}$, zapasów w transporcie zbytu ze średnim stanem zapasów w transporcie	$(\alpha_A C_A + \alpha_B C_B) T_\alpha$ C_A, C_B ceny zakupu elementu A lub B	C_A C_B T_α	
N_α	$K_{T\alpha}$	Zależność części kosz- tów $K_{T\alpha}$ transportu od liczby środków transpor- tu	$K_{T\alpha} = \gamma_\alpha N_\alpha$ gdzie $\gamma_\alpha = \rho C$ stałe koszty: podatków, garaży, płac kierownictwa	γ_α	
P_α	$K_{p\alpha}$	Zależność części kosz- tów $K_{p\alpha}$ transportu od przebiegu P_α	$K_{p\alpha} = \varepsilon_\alpha \cdot \mathcal{D}_\alpha$ gdzie ε_α = koszt: paliwa + mat. eksploatacyjnych + obsługi techn.	ε_α	
Z_λ N_λ P_λ	$W_{T\lambda}$ $K_{T\lambda}$ $K_{p\lambda}$	} Jak wyżej lecz w odnie- sieniu do transportu zaopatrzeniowego		C_λ γ_λ ε_λ	
Z_A	W_A		Zależność wartości śred- niej, zapasów W_A ele- mentów A w mag. głów. od stanu zapasów Z_A	$W_A = C_A \cdot Z_A$	C_A
Z_B Z_C	W_B W_C		} Jak wyżej lecz w odnie- sieniu do elementów B i C odpowiednio	$W_B = C_B \cdot Z_B$ $W_C + C_C \cdot Z_C$	C_B C_C
Z_A Z_B Z_C	W_{pA} W_{pB} W_{pC}	} Jak wyżej lecz w odnie- sieniu do magazynu produkcyjnego	$W_{pA} = C_A \cdot Z_A$ $W_{pB} = C_B \cdot Z_B$ $W_{pC} = C_C \cdot Z_C$	C_A C_B C_C	
Z_D	W_D	Jak wyżej lecz w odnie- sieniu do magazynu wyrobów gotowych	$W_D = C_D \cdot Z_D$	C_D	

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