

Ekonomia

Układanie tras pojazdów w łańcuchu dostaw

Modele, metody, zastosowania

Radostaw Jadczyk



Układanie tras pojazdów w łańcuchu dostaw

Modele, metody, zastosowania



WYDAWNICTWO
UNIWERSYTETU
ŁÓDZKIEGO

Ekonomia

Układanie tras pojazdów w łańcuchu dostaw

Modele, metody, zastosowania

Radostaw Jadczyk

Radosław Jadczak – Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny
Katedra Badań Operacyjnych, 90-214 Łódź, ul. Rewolucji 1905 r. nr 39

RECENZENT

Maciej Nowak

REDAKTOR INICJUJĄCY

Monika Borowczyk

REDAKTOR

Aneta Tkaczyk

SKŁAD I ŁAMANIE

AGENT PR

KOREKTA TECHNICZNA

Leonora Gralka

PROJEKT OKŁADKI

Katarzyna Turkowska

Zdjęcie wykorzystane na okładce: © Depositphotos.com/candy18

© Copyright by Radosław Jadczak, Łódź 2019

© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2019

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.08628.18.0.M

Ark. wyd. 14,0; ark. druk. 18,25

ISBN 978-83-8142-140-9

e-ISBN 978-83-8142-141-6

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-131 Łódź, ul. Lindleya 8

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. (42) 665 58 63

Spis treści

Wprowadzenie	9
Rozdział 1	
Procesy transportowe w zarządzaniu łańcuchem dostaw	13
1.1. Łańcuch dostaw	13
1.2. Kanały dystrybucji	18
1.3. Procesy transportowe	22
1.4. Organizacja procesów transportowych	27
Rozdział 2	
Klasyczny problem transportowy	33
2.1. Sformułowanie problemu decyzyjnego	34
2.2. Warianty klasycznego problemu transportowego	35
2.2.1. Zadanie transportowe otwarte	36
2.2.2. Zadanie transportowe z kryterium czasu	36
2.2.3. Zadanie transportowe z blokadą tras	37
2.2.4. Wielokryteriove zadanie transportowe	38
2.2.5. Wieloszczeblowe zadanie transportowe	39
2.2.6. Zadanie transportowo-produkcyjne	44
2.2.7. Zagadnienie przydziału	45
2.2.8. Minimalizacja pustych przebiegów	46
2.3. Algorytm transportowy	48
Rozdział 3	
Układanie trasy jednego pojazdu	51
3.1. Sformułowanie problemu decyzyjnego	52
3.2. Warianty problemu komiwojażera	59
3.2.1. Symetryczny i niesymetryczny problem komiwojażera	59
3.2.2. Problem komiwojażera w grafie niepełnym	60
3.2.3. Problem komiwojażera z minimalizacją czasu	62
3.2.4. Problem chińskiego listonosza	63
3.2.5. Problem m -komiwojazerów	67
Rozdział 4	
Układanie tras wielu pojazdów	69
4.1. Sformułowanie problemu decyzyjnego	71
4.2. Warianty problemu wielu komiwojazerów	75

6 Spis treści

4.2.1. Problem wielu komiwojażerów z ograniczeniami zasobowymi	75
4.2.2. Problem wielu komiwojażerów z oknami czasowymi	80
4.2.3. Problem wielu komiwojażerów z dostawą i/lub odbiorem dóbr	83
4.2.4. Problem wielu komiwojażerów z obsługą rozdzieloną	89
4.2.5. Problem wielu komiwojażerów z uzupełnieniami ładunku	92
4.2.6. Problem wielu komiwojażerów z obsługą okresową	97
4.2.7. Stochastyczny problem wielu komiwojażerów	103
4.2.8. Dynamiczny problem wielu komiwojażerów	110
4.2.9. Wielokryterialny problem wielu komiwojażerów	116
4.2.10. Wielobazowy problem wielu komiwojażerów	126
Rozdział 5	
Metody dokładne układania tras pojazdów	141
5.1. Podstawowe założenia metody podziału i ograniczeń	141
5.2. Metody dokładne a zagadnienie przydziału	147
5.3. Metody dokładne a minimalne drzewo rozpinające	154
Rozdział 6	
Heurystyki układania tras pojazdów	163
6.1. Heurystyki konstrukcyjne	164
6.2. Heurystyki dekompozycyjne	177
Rozdział 7	
Metaheurystyki układania tras pojazdów	193
7.1. Jednoagentowe przeszukiwanie lokalne	194
7.1.1. Algorytmy lokalnej optymalizacji	195
7.1.2. Algorytmy symulowanego wyżarzania	207
7.1.3. Algorytmy przeszukiwania tabu	219
7.2. Metaheurystyki wieloagentowe	233
7.2.1. Algorytmy mrówkowe	235
7.2.2. Algorytmy ewolucyjne	248
Zakończenie	269
Spis rysunków i tabel	273
Bibliografia	281

Table of Contents

Introduction	9
Chapter 1	
Transport processes in supply chain management	13
1.1. Supply chain	13
1.2. Distribution channels	18
1.3. Transport processes	22
1.4. Transport processes organization	27
Chapter 2	
Classic transportation problems	33
2.1. Decision problem formulation	34
2.2. Classic transportation problem variants	35
2.2.1. Open transportation problem	36
2.2.2. Transportation problem with time criterion	36
2.2.3. Transportation problem with route blocking	37
2.2.4. Multiobjective transportation problem	38
2.2.5. Multilevel transportation problem	39
2.2.6. Transportation-production problem	44
2.2.7. Assignment problem	45
2.2.8. Minimization of empty routes	46
2.3. Transport algorithm	48
Chapter 3	
Travelling salesman problem	51
3.1. Decision problem formulation	52
3.2. Travelling salesman problem variants	59
3.2.1. Symmetric and asymmetric travelling salesman problem	59
3.2.2. Traveling salesman problem in incomplete graph	60
3.2.3. Traveling salesman problem with time criterion	62
3.2.4. Chinese postman problem	63
3.2.5. Multiple travelling salesman problem	67
Chapter 4	
Vehicle routing problem	69
4.1. Decision problem formulation	71
4.2. Vehicle routing problem variants	75

8 Table of Contents

4.2.1. Capacitated vehicle routing problem	75
4.2.2. Time windows vehicle routing problem	80
4.2.3. Pich-up and delivery vehicle routing problem	83
4.2.4. Split delivery vehicle routing problem	89
4.2.5. Vehicle routing problem with satellite facilities	92
4.2.6. Period vehicle routing problem	97
4.2.7. Stochastic vehicle routing problem	103
4.2.8. Dynamic vehicle routing problem	110
4.2.9. Multiobjective vehicle routing problem	116
4.2.10. Multi-depot vehicle routing problem	126
 Chapter 5	
Exact methods for vehicle routing problems	141
5.1. Branch and bounds basics	141
5.2. Exact algorithms and assignment problem	147
5.3. Exact algorithms and minimum spanning tree	154
 Chapter 6	
Heuristics for vehicle routing problems	163
6.1. Construction heuristics	164
6.2. Decomposition heuristics	177
 Chapter 7	
Metaheuristics for vehicle routing problems	193
7.1. Single-agent local optimization	194
7.1.1. Local search algorithms	195
7.1.2. Simulated annealing algorithms	207
7.1.3. Tabu search algorithms	219
7.2. Multi-agent metaheuristics	233
7.2.1. Ant algorithms	235
7.2.2. Evolutionary algorithms	248
 Conclusion	269
List drawings and tables	273
Bibliography	281

Wprowadzenie

Dzisiejsze rozumienie procesów logistycznych jest niewspółmiernie szersze niż blisko siedemdziesiąt lat temu, kiedy logistyka zaczynała być postrzegana jako niezwykle użyteczna koncepcja biznesowa. Ciągły rozwój procesów gospodarczych, postępująca globalizacja rynku, a także rozkwit i doskonalenie istniejących technik zarządzania sprawiły, że konieczne stało się wypracowanie nowego spojrzenia na logistykę, wykraczającego daleko poza granice pojedynczego przedsiębiorstwa.

Obecnie z zagadnieniem logistyki nierozzerwalnie łączy się pojęcie łańcucha dostaw, który według wielu badaczy jest częścią łańcucha logistycznego, a nawet sieci logistycznych. Łańcuch dostaw – w dużym uproszeniu – to zbiór wzajemnie ze sobą powiązanych podmiotów, których nadrzędnym celem jest dostarczenie finalnemu nabywcy pożądanego przez niego produktu z jak największą wartością dodaną. Procesy logistyczne natomiast stanowią zbiór wszelkich działań służących osiągnięciu tego celu przy jak najwyższym poziomie obsługi konsumenta finalnego.

Globalizacja procesów gospodarczych oraz nieustannie zmieniające się potrzeby rynku stawiają przed decydentami nowe wyzwania nie tylko w kwestii pozyskiwania nowych rynków zbytu, ale także (jeżeli nie przede wszystkim) poprawy konkurencyjności na rynkach istniejących. Wyzwania te dotyczą ciągłego doskonalenia działań zarówno w zakresie modyfikacji istniejących i konstruowania nowych łańcuchów dostaw, jak i obsługujących je procesów logistycznych. Ponadto bardzo szybki i wciąż postępujący rozwój systemów informacyjnych (w tym informatycznych i telekomunikacyjnych) stawia decydentów przed koniecznością podejmowania decyzji właściwie w czasie rzeczywistym. Powoduje to, że coraz wyraźniejszych kształtów nabiera i coraz bardziej doceniana staje się logistyka o charakterze operacyjnym, polegająca na nieustannym identyfikowaniu, formułowaniu i rozwiązywaniu problemów decyzyjnych w celu poszukiwania optymalnych decyzji.

Niewątpliwie kolejnym sporym wyzwaniem jest identyfikacja i rozwiązywanie problemów w zakresie dystrybucji produktów w łańcuchu dostaw. Chodzi tu między innymi o problemy transportowe, a w szczególności te, które dotyczą układania tras jednego lub wielu pojazdów. W literaturze przedmiotu znane są one od dawna pod nazwą zagadnienia jednego lub wielu komiwojażerów. Znacznie dłuższą historię ma problem jednego komiwojażera, którego początki sięgają połowy

XIX stulecia. Problem wielu komiwojazerów z kolei po raz pierwszy został sformułowany przez G.B. Dantziga i J.H. Ramsera w 1959 roku jako problem wysyłania ciężarówek (*Truck Dispatching Problem*).

Cechą charakterystyczną zagadnień układania tras dla pojazdów jest łatwość ich sformułowania, w przeciwieństwie do znalezienia optymalnego rozwiązania. Pojazd lub pojazdy, które wyruszają z miejsca startowego (bazy), mają za zadanie odwiedzić każdy z zadanej liczby punktów zlokalizowanych na określonym obszarze geograficznym, spełniając przy tym wszystkie nałożone na problem ograniczenia (np. dotyczące czasu pracy pojazdu, ładowności, godzin pracy odwiedzanych punktów itp.) w taki sposób, aby szeroko rozumiany łączny koszt tras wszystkich wykorzystanych pojazdów był jak najniższy.

Jest to wysoce skomplikowane zagadnienie, a poszukiwanie optymalnego układu tras oraz problem jednego i wielu komiwojazerów wciąż przyciągają uwagę wielu badaczy oraz praktyków, czego najlepszym dowodem jest ogromna i wciąż powiększająca się liczba publikacji na ten temat. Można w nich znaleźć zarówno próby identyfikacji i opisu modeli nowych odmian podstawowego problemu decyzyjnego, jak i prezentację coraz to nowszych metod ich rozwiązywania. Proponowane metody poszukiwania optymalnych tras charakteryzują się z jednej strony prostotą, a z drugiej strony wysokim stopniem złożoności podejmowanych kroków. Jedne gwarantują znalezienie rozwiązań optymalnych, podczas gdy inne tego nie zapewniają, dając rozwiązania bardzo dobre, ale nie najlepsze z możliwych. Niestety zazwyczaj decyzje optymalne okupione są dużym wysiłkiem obliczeniowym.

Nie sposób przedstawić w tym miejscu wszystkich istniejących metod odnoszących się do problemów układania tras pojazdów. Dlatego celem niniejszej pracy jest próba zebrania oraz usystematyzowania wiedzy i doświadczeń z ostatnich blisko pięćdziesięciu lat badań nad zagadnieniami logistyki operacyjnej w zakresie transportu. Motywacją do jej napisania było wypełnienie luki w piśmiennictwie w tej dziedzinie, gdyż i w fachowej literaturze obcojęzycznej, i w literaturze polskiej brakuje pozycji podejmujących tak ważne z punktu widzenia logistyki operacyjnej zagadnienia.

Książka podzielona została na siedem rozdziałów, które układają się w trzy nieformalne części. Rozdział pierwszy to część wprowadzająca. Przedstawiono w nim podstawowe zagadnienia związane z łańcuchem dostaw oraz procesami transportowymi. Zawiera definicje łańcuchów dostaw, kanałów dystrybucji, procesów transportowych i przewozowych oraz ich najważniejsze klasyfikacje. Omówiono tam także rolę procesów transportowych w obsłudze łańcucha dostaw ze szczególnym uwzględnieniem najważniejszych form i modeli ich organizacji.

Część drugą stanowią kolejne trzy rozdziały, których celem jest prezentacja podstawowych modeli i ich odmian dotyczących zagadnień układania tras pojazdów. Rozdział drugi poświęcony został najbardziej znanemu wśród logistyków klasycznemu problemowi transportowemu. Oprócz sformułowanej tam podstawowej postaci problemu przedstawiono również najważniejsze jego

odmiany i modyfikacje, a także algorytm transportowy służący znalezieniu rozwiązania optymalnego. Klasyczny problem transportowy jest nie tylko ważny z punktu widzenia problematyki logistyki operacyjnej, ale może też stanowić niezwykle cenne narzędzie w poszukiwaniu rozwiązań zadań, o których będzie mowa w dalszej części książki.

W rozdziałach trzecim i czwartym zdefiniowano zagadnienia układania tras – odpowiednio – jednego i wielu pojazdów. Rozdział trzeci omawia problem komiwojażera. Poza tym, że znajduje się on w centrum zainteresowań logistyków, stanowi także problem o charakterze kombinatorycznym, chętnie podejmowany jako pole zastosowań do wielu nowych narzędzi optymalizacji.

Z kolei rozdział czwarty skupia się stricte na problematyce układania tras pojazdów i sformułowano w nim podstawową postać problemu wielu komiwojażerów. Ponadto przedstawiono w tym miejscu najważniejsze, zdaniem autora, warianty i modyfikacje problemu podstawowego, które uwzględniają występujące w praktyce gospodarczej dodatkowe założenia i warunki związane z optymalizacją tras pojazdów (tj. ograniczenia czasowe, ograniczenia związane z zasobami transportowymi czy założenia związane z samą strukturą rozwiązywanego zadania).

Trzecia (nieformalna) część pracy poświęcona została prezentacji metod służących do poszukiwania optymalnych tras pojazdów. Jako że w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat pojawiło się ich bardzo wiele, zdecydowano się wybrać spośród nich te najważniejsze i najbardziej charakterystyczne. Ich opis znajduje się w trzech osobnych rozdziałach.

Rozdziały piąty i szósty stanowią zbiór klasycznych podejść do rozwiązania problemów układania tras jednego i wielu pojazdów. Rozdział piąty zawiera prezentację metod dokładnych, czyli takich, które gwarantują znalezienie rozwiązania optymalnego. Jednakże metody te charakteryzują się znacznym stopniem złożoności i trudności, a ponadto bardzo często korzystają z przekształconej wyjściowej postaci problemu podstawowego (np. zagadnienia przydziału czy minimalnego drzewa rozpinającego), dlatego w rozdziale szóstym przedstawiono najchętniej stosowane przez praktyków strategie poszukiwania optymalnych tras, jakimi są metody heurystyczne. W przeciwieństwie do metod dokładnych nie zapewniają one, że znaleziony przez nie układ tras jest najlepszy, lecz cechują się o wiele niższym stopniem złożoności, co powoduje, że są łatwe w użyciu.

Ostatni rozdział, omawiający metody optymalizacji układania tras pojazdów, jest najobszerniejszy, ponieważ zawiera nowatorskie, a zarazem nieklasyczne podejścia do układania tras pojazdów. Metody tam przedstawione czerpią motywację nie tylko z cech i konstrukcji samego problemu układania tras (metody przeszukiwania lokalnego), ale także z procesów zachodzących w naturze (algorytmy metaheurystyczne). W rozdziale tym zaprezentowano zastosowanie do problemów jednego i wielu komiwojażerów: algorytmów symulowanego wyżarzania, algorytmów przeszukiwania tabu, algorytmów mrówkowych oraz algorytmów ewolucyjnych. Przybliżenie ich podstawowych założeń i procesów działania może

też stanowić inspirację do budowy konkretnych metod poszukiwania najlepszych rozwiązań innych problemów optymalizacji.

Niniejsza pozycja może być adresowana do szerokiego grona czytelników. Z jednej strony mogą to być praktycy (analitycy i decydenci) poszukujący najlepszych, a zarazem korzystnych ekonomicznie rozwiązań służących optymalizacji problemów transportowych (i nie tylko) w ramach logistyki operacyjnej w swoich przedsiębiorstwach. Z drugiej strony publikacja ta może być także wykorzystywana jako zwarty materiał źródłowy stanowiący punkt wyjścia do dalszych badań zarówno nad identyfikacją nowych odmian problemów układania tras pojazdów, jak i poszukiwaniem nowych, lepszych sposobów ich rozwiązywania. Ponadto w intencji autora powinna ona stanowić interesujące uzupełnienie literatury logistycznej, a w szczególności w zakresie logistyki operacyjnej.

Rozdział 1

Procesy transportowe w zarządzaniu łańcuchem dostaw

W dobie gospodarki globalnej logistyka jest terminem rozumianym o wiele szerzej niż w drugiej połowie ubiegłego stulecia. Pojęcie to ewaluowało od prostego fizycznego ruchu produktu pomiędzy wytwórcą a konsumentem do dziedziny wiedzy, której jednym z celów jest optymalne kształtowanie łańcuchów dostaw.

Dzisiejsze znaczenie logistyki rozumiane jest jako proces polegający na planowaniu, realizowaniu oraz kontrolowaniu przepływu dóbr i informacji pomiędzy jego interesariuszami, w szczególności pomiędzy dostawcami i odbiorcami. Procesy fizycznego przepływu dóbr oraz przepływu informacji nie odnoszą się tylko do wąsko pojmowanej bezpośredniej relacji dostawca–odbiorca (np. producent–konsument), lecz obejmują wszystkie relacje, począwszy od naturalnych źródeł wytworzenia, na punkcie konsumpcji skończywszy. Podmiotem szeroko rozumianych działań logistycznych jest łańcuch dostaw, który może być definiowany w ramach pojedynczego przedsiębiorstwa, ale i pewnego zbioru organizacji, znacznie się od siebie różniących pod względem np. swojej podstawowej działalności.

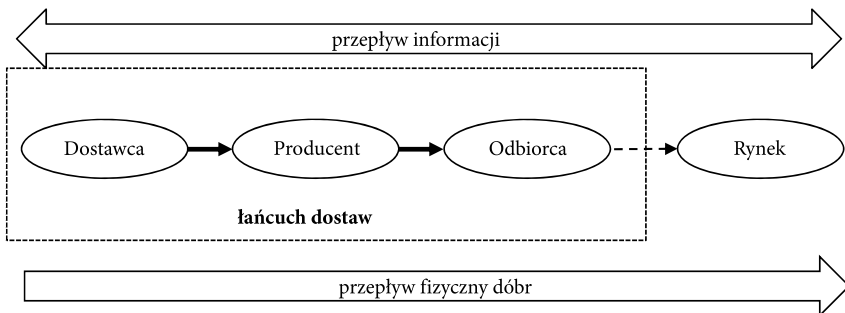
1.1. Łańcuch dostaw

W literaturze związanej z logistyką trudno znaleźć jedną uniwersalną definicję pojęcia łańcucha dostaw. Przedstawia się je na rozmaite sposoby: jako pewną strukturę podmiotów gospodarczych, jako proces gospodarczy lub filozofię zarządzania. Według jednej z definicji łańcuch dostaw to zbiór różnych organizacji, które zaangażowane są w różnego rodzaju procesy i działania mające na celu dostarczenie finalnemu konsumentowi produktów lub usługi (Christopher, 2000, s. 14). To zaangażowanie polega na różnego rodzaju powiązaniach z dostawcami i odbiorcami. Z kolei w Słowniku *terminologii logistycznej* (Fertsch, 2006) łańcuch

logistyczny rozumiany jest dwojako. Po pierwsze, jest to proces, który stanowi sekwencja zdarzeń dotyczących przemieszczenia dóbr, aby zwiększyć ich wartość. Po drugie, łańcuch dostaw to pewna struktura (organizacja), którą stanowi grupa przedsiębiorstw mająca na celu zaspokojenie popytu na produkty w całym łańcuchu fizycznego przepływu dóbr. Grupa przedsiębiorstw osiąga ten cel przez podejmowanie wspólnych działań, które w szczególności dotyczyć mogą: rozwoju, produkcji, sprzedaży, zaopatrzenia, serwisu, dystrybucji, zarządzania zasobami oraz czynności wspierających.

Łańcucha dostaw nie można jednak postrzegać tylko w kategoriach określonej pionowej struktury, w której np. dystrybutorzy produktu należą do producenta (są jego własnością). Coraz częściej przedsiębiorstwa doceniają możliwość korzystania z rozmaitych usług świadczonych przez osobne podmioty gospodarcze (outsourcing), dzięki czemu mogą się skupić na swojej podstawowej działalności. Zjawisko to nie odnosi się zresztą tylko do usług. Formą outsourcingu może być także nabywanie różnego rodzaju dóbr (np. surowców lub materiałów) niezbędnych do funkcjonowania przedsiębiorstwa, które dotąd dane przedsiębiorstwo musiało wytwarzać we własnym zakresie. Taki sposób inicjowania i rozwijania powiązań pomiędzy podmiotami gospodarczymi jest charakterystyczny właśnie dla łańcucha dostaw.

Łańcuch dostaw może mieć charakter zarówno wewnętrzny, jak i zewnętrzny (rys. 1.1 i 1.2) (Fechner, 2007).

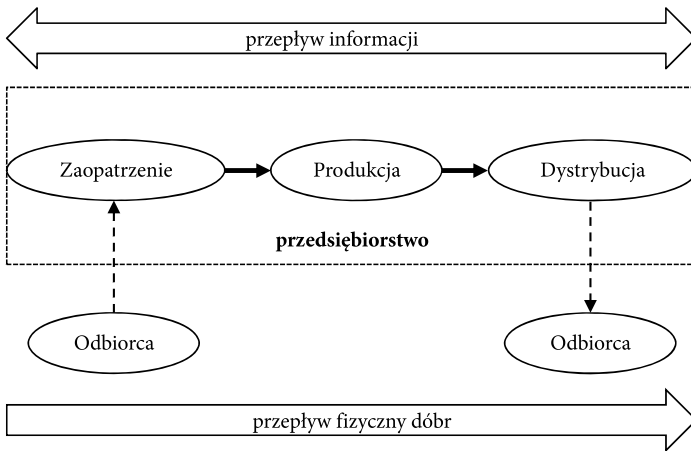


Rys. 1.1. Zewnętrzny łańcuch dostaw

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Fechner, 2007).

O łańcuchu zewnętrznym można mówić wtedy, gdy tworzą go podmioty od siebie niezależne (w sensie prawnym i gospodarczym), ale nastawione na realizację wspólnego celu. Z kolei w wypadku łańcucha wewnętrznego jego strukturę tworzą jednostki organizacyjne (np. działy, przedstawicielstwa, oddziały itp.) należące do danego przedsiębiorstwa. Ich zadaniem jest osiągnięcie celu, jaki stoi przed danym przedsiębiorstwem. Należy tutaj zauważyć, że zarówno kształt, jak i stopień złożoności konkretnego łańcucha dostaw (zewnętrznego i wewnętrznego) nie są zawsze jednakowe. Wręcz przeciwnie – są one bardzo zróżnicowane i uzależnione od wielu czynników, do których należą między innymi:

- cel, jaki jest postawiony przed łańcuchem dostaw;
- liczba i charakter podmiotów tworzących łańcuch dostaw;
- rodzaj produktu, dla którego funkcjonuje łańcuch dostaw;
- zasięg działania łańcucha dostaw;
- wzajemne powiązania pomiędzy podmiotami tworzącymi łańcuch dostaw.



Rys. 1.2. Wewnętrzny łańcuch dostaw

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Fechner, 2007).

W związku z tym potencjalne konfiguracje łańcucha dostaw (w szczególności zewnętrzne) mogą mieć charakter:

- bardzo prosty (bezpośrednie relacje odpowiednio producenta z dostawcą i producenta z odbiorcą); konfiguracje te zazwyczaj dotyczą bardzo prostych produktów i cechują się niewielkim zasięgiem działania;
- złożony (rozbudowana struktura zarówno po stronie dostawców, jak i po stronie odbiorców, np. dostawcy niższego rzędu i dostawcy wyższego rzędu); konfiguracje te dotyczą bardziej złożonych produktów oraz cechują się dużym zasięgiem działania np. przez rozbudowaną formę dystrybucji;
- kompleksowy (struktura rozbudowana o dodatkowe podmioty świadczące np. usługi informatyczne, logistyczne, finansowe, telekomunikacyjne); w konfiguracjach tych widoczny jest największy stopień integracji podstawowych podmiotów (dostawców i odbiorców), działających na podstawie wypracowanych takich samych standardów dotyczących np. przepływu informacji lub zarządzania konkretnymi operacjami logistycznymi.

Istotę każdego łańcucha dostaw stanowią jego poszczególne ogniwa oraz kształt wzajemnych relacji pomiędzy nimi. Ogniwami łańcuchów dostaw są osobne i niezależne od siebie przedsiębiorstwa, jak również podmioty gospodarcze, które mogą należeć do jednego właściciela. Wyróżniamy ogniwa: początkowe (zaopatrujące

w materiały i surowce niezbędne do produkcji), pośrednie (wytwarzające półprodukty i wyroby gotowe) oraz końcowe (dostarczające produkty do klientów końcowych). Pomiedzy nimi mogą występować odrębne podmioty zapewniające sprawny przepływ fizyczny produktów, do których można zaliczyć operatorów logistycznych (np. centra dystrybucyjne i logistyczne).

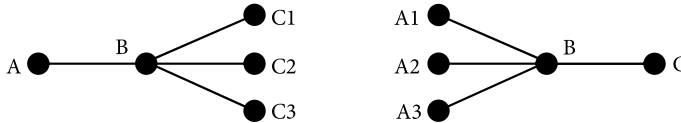
Z kolei wzajemne powiązania pomiędzy poszczególnymi ogniwami każdego łańcucha dostaw pozwalają na wyodrębnienie różnych ich konfiguracji, których kształt w sposób bezpośredni wpływa na sposób (metody) realizacji przepływów fizycznych produktów oraz związanych z nimi przepływów informacyjnych. W związku z tym wyróżnić można następujące przykładowe konfiguracje spotykane w łańcuchach dostaw:

- bezpośrednio (rys. 1.3a);
- pośrednio dwuetapowe (rys. 1.3b);
- pośrednio wieloetapowe (rys. 1.3c);
- mieszane (rys. 1.3d).



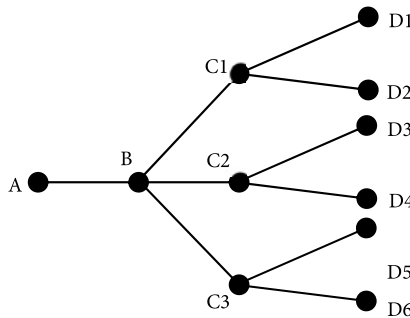
Rys. 1.3a. Przykłady konfiguracji bezpośredniej w łańcuchu dostaw

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Szatek, 1992).



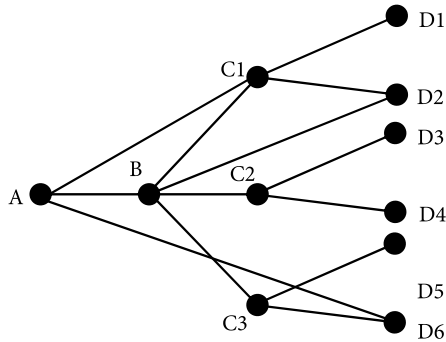
Rys. 1.3b. Przykłady konfiguracji dwuetapowej pośredniej w łańcuchu dostaw

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Szatek, 1992).



Rys. 1.3c. Przykład konfiguracji wieloetapowej pośredniej w łańcuchu dostaw

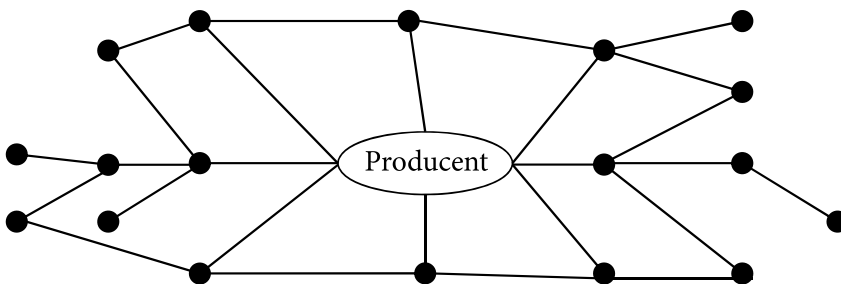
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Szatek, 1992).



Rys. 1.3d. Przykłady konfiguracji mieszanej w łańcuchu dostaw
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Szalek, 1992).

Do czynników kształtujących konfigurację danego łańcucha dostaw zaliczyć można: rodzaj produktu (w szczególności jego stopień złożoności), lokalizację przestrzenną dostawców oraz odbiorców, lokalizację infrastruktury operatorów logistycznych (magazyny, terminale przeładunkowe), przyjętą strategię współpracy z jednym lub wieloma dostawcami czy jednym lub wieloma operatorami logistycznymi.

Pojęciem, które jest naturalnym rozwinięciem łańcucha dostaw, jest „sieć dostaw” (Łupicka, 2006, s. 11). Może być ona traktowana także jako złożenie wielu łańcuchów dostaw. Termin ten wynika bezpośrednio z samej postaci, jak również z możliwości dowolnego rozbudowania przedstawionej powyżej konfiguracji mieszanej łańcucha dostaw (rys. 1.4), co powoduje, że przyjmuje on postać sieci. Jest to odzwierciedleniem rzeczywistości gospodarczej, w której nierzadko mamy do czynienia z dostawcami dostawców lub klientami klientów tworzącymi wspólnie bardzo rozbudowany system dostaw. Ponadto tak jak w łańcuchach dostaw, tak i w sieciach dostaw ogniwami mogą być operatorzy logistyczni, świadczący usługi wszystkim pozostałym podmiotom (dostawcom i odbiorcom).



Rys. 1.4. Sieć dostaw
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Łupicka, 2006, s. 11).

Z pojęciami łańcucha dostaw lub sieci dostaw w sposób nierozzerwalny wiąże się termin zarządzania łańcuchem dostaw. Można go zdefiniować jako pewnego rodzaju koncepcję zarządzania relacjami z dostawcami i odbiorcami, a także z klientami w celu dostarczenia produktu we właściwym miejscu i czasie, przy jednoczesnej minimalizacji kosztów związanych z funkcjonowaniem łańcucha dostaw.

Wreszcie, patrząc całościowo na łańcuch logistyczny, począwszy od źródeł wytwarzania podstawowych surowców niezbędnych do powstania wyrobów gotowych, a skończywszy na konsumentach finalnych, wyróżnić można dwie części łańcucha dostaw z punktu widzenia każdego ogniwa (przedsiębiorstwa) pośredniego: łańcuch zaopatrzenia oraz łańcuch dystrybucji. Dotyczy to także łańcucha wewnętrznego w ramach konkretnego przedsiębiorstwa, gdzie wskazuje się podsystem logistyki zaopatrzenia i podsystem logistyki dystrybucji. W obrębie obu tych części bardzo istotną rolę odgrywają kanały zaopatrzenia i dystrybucji kształtujące bezpośrednio sposób przepływu fizycznego produktów.

1.2. Kanały dystrybucji

Choć można dokonać podziału łańcucha dostaw na część dotyczącą zaopatrzenia i dystrybucji, to z perspektywy każdego przedsiębiorstwa stanowiącego jego ogniwo wszystkie ogniwa (podmioty) znajdujące się po nim tworzą łańcuch dystrybucji. Szczególnym pojęciem związanym z logistyką dystrybucji jest „kanał dystrybucji”. Najprościej rzecz ujmując, jest to jeden podmiot lub większa liczba podmiotów uczestniczących w procesie przepływu fizycznego dóbr od producenta do użytkownika końcowego (Coyle i in., 2002). Z punktu widzenia szeroko rozumianego łańcucha dostaw kanał dystrybucyjny może mieć swój początek w ogniwie, które stanowi przedsiębiorstwo produkcyjne, a koniec u konsumenta finalnego. Pośrednimi punktami kanału mogą być np. centra dystrybucji, hurtownie, punkty sprzedaży detalicznej, stanowiące własność producenta lub będące niezależnymi od niego podmiotami gospodarczymi. Z kolei z perspektywy dostawcy, który dostarcza producentowi niezbędne materiały i surowce do produkcji, jego kanał dystrybucji kończyć się może właśnie na nim, gdzie konsumentem finalnym jest dla niego producent wyrobu gotowego. Poszczególne kanały dystrybucji składać się mogą na łańcuch dostaw lub szerzej – sieć dostaw.

W literaturze przedmiotu rozróżnia się kilka rodzajów kanałów dystrybucyjnych, do których zaliczyć można:

- kanały dystrybucji pośrednie i bezpośrednie;
- kanały dystrybucji krótkie i długie;
- kanały dystrybucji wąskie i szerokie.

Podział ten warunkowany jest przede wszystkim przyjętą strukturą dystrybucji w łańcuchu dostaw, a w szczególności liczbą pośredniczących ogniw pomiędzy dostawcą a finalnym nabywcą produktu. Kanały bezpośrednie to takie, które dotyczą bezpośrednich powiązań producenta z finalnymi nabywcami, w przeciwieństwie do kanałów pośrednich, w których zaangażowane są podmioty pośrednie łączące producenta z finalnym odbiorcą.

Mianem krótkich kanałów dystrybucji zwykle określa się te, które składają się z co najwyżej jednego podmiotu pośredniczącego, w przeciwieństwie do kanałów długich zawierających większą liczbę pośredników. Z kolei podział kanałów dystrybucji na wąskie i szerokie uwarunkowany jest stopniem złożoności ogniw wszerek łańcucha dostaw. Im większa liczba pośredników tego samego typu na poszczególnych etapach dystrybucji, za tym szerszy można uznać kanał dystrybucji.

Przedstawione powyżej rodzaje kanałów dystrybucji mają swoje wady i zalety. Mniej rozbudowane kanały dystrybucji powodują, że różnice w cenach tego samego produktu między producentem a punktem sprzedaży detalicznej są znacznie mniejsze niż w wypadku kanałów bardziej złożonych. Z kolei kanały bardziej rozbudowane oferują większe możliwości w dotarciu do dużej liczby potencjalnych odbiorców. Ponadto szybciej i elastyczniej reagują one na zmieniający się popyt konsumentów finalnych ze względu na możliwość zdecentralizowania poziomu zapasów w poszczególnych ogniwach łańcucha dostaw. Ale też budowa złożonych kanałów dystrybucji wymaga także właściwej organizacji i ciągłej kontroli procesów związanych z przemieszczaniem fizycznym produktów w dół kanału (od producenta przez pośredników do klienta finalnego) oraz przepływem informacji w górę kanału (od uczestników rynku przez pośredników do producenta).

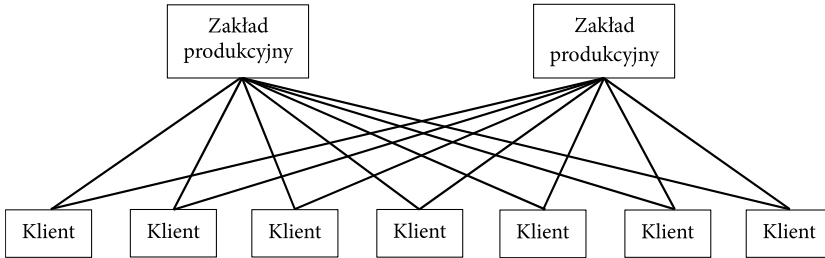
Konstrukcja konkretnego kanału dystrybucji wynika wprost z przyjętej strategii dystrybucji fizycznej produktów. Wśród znanych modeli systemów fizycznej dystrybucji produktów wyróżnić można trzy podstawowe (Rutkowski, 2005, s. 55–62):

- 1) model dostaw bezpośrednich;
- 2) scentralizowany model dystrybucji;
- 3) zdecentralizowany model dystrybucji.

Model dostaw bezpośrednich odnosi się do sytuacji, w której dostawy są realizowane bezpośrednio od przedsiębiorstwa produkcyjnego (rys. 1.5). Dotyczyć to może produkcji na zamówienie, w szczególności dóbr o charakterze luksusowym lub produktów nienależących do luksusowych, ale zamawianych przez klientów finalnych w dużych ilościach. Model ten może być stosowany także wobec produktów wysoce wyspecjalizowanych lub łatwo się psujących. Jego zalety to:

- możliwość redukcji poziomu zapasów w łańcuchu dostaw, a tym samym niższe koszty z nimi związane;
- ograniczenie liczby operacji transakcyjnych i ryzyka związanego z uszkodzeniem produktu;

- skrócenie czasu pomiędzy produkcją a momentem udostępnienia produktu do sprzedaży finalnemu nabywcy;
- możliwość optymalizacji poziomu produkcji;
- uzyskiwanie informacji o popycie u źródeł jego powstawania.



Rys. 1.5. Model dostaw bezpośrednich

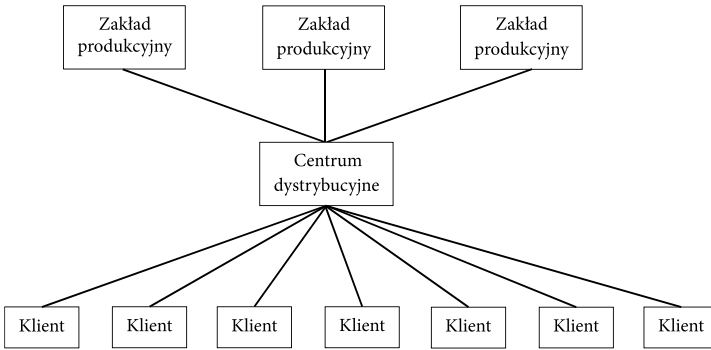
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Rutkowski, 2005, s. 55–62).

Model ten nie jest bynajmniej pozbawiony wad i z jego stosowaniem wiążą się następujące problemy:

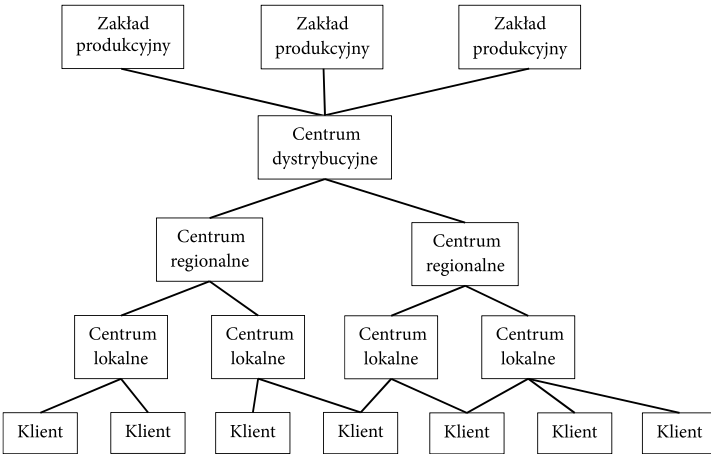
- większe obciążenie punktów sprzedaży detalicznej związane z procesami zamówień;
- brak zapasów bezpieczeństwa w razie pojawienia się problemów u producenta;
- większe koszty związane z transportem;
- większe koszty związane z obsługą transakcyjną u producenta (przy dużej liczbie małych odbiorców);
- mniejsza elastyczność w dostosowaniu się do zmian popytu u nabywców (np. okresy sezonowe, wakacyjne).

Drugi z wymienionych modeli dystrybucji – model scentralizowany – wprowadza do łańcucha dostaw dodatkowe ogniwo w postaci centrum dystrybucji (rys. 1.6). Nabywcy finalni obsługiwani są z jednego miejsca, które przejmuje od producenta na siebie ciężar realizacji ich zamówień. W miejscu tym utrzymywany jest zapas produktu, którego poziom dostosowywany jest do bieżących potrzeb rynku. Funkcję centrów dystrybucyjnych pełnią bardzo często parki magazynowe lub wyspecjalizowane centra logistyczne oferujące znacznie szerszy zakres usług. Podstawową zaletą centrów dystrybucyjnych jest obniżenie kosztów funkcjonowania i obsługi łańcucha logistycznego, w szczególności w sytuacji, kiedy nabywcy finalni są rozproszeni oraz znajdują się w znacznej odległości od producenta.

Przeciwieństwem systemu scentralizowanego jest model zdecentralizowany (rys. 1.7), w którym dostawy produktów do nabywców finalnych realizowane są z wykorzystaniem składów i centrów dystrybucyjnych nie tylko producenta, ale także poszczególnych pośredników.



Rys. 1.6. Model scentralizowany
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Rutkowski, 2005, s. 57).



Rys. 1.7. Model zdecentralizowany
Źródło: opracowanie własne na podstawie (Rutkowski, 2005, s. 58).

Omawiając wady i zalety dwóch ostatnich modeli dystrybucji, należy zauważyć, że bardzo często to, co jest korzyścią wypływającą z jednego z nich, jest jednocześnie wadą drugiego. Do podstawowych korzyści zastosowania modelu scentralizowanego zaliczyć można:

- możliwość konsolidacji przesyłek transportowych, a tym samym generowania oszczędności na transporcie;
- znaczną redukcję poziomu zapasów (w przeciwieństwie do systemu zdecentralizowanego);
- większą precyzję w badaniu popytu nabywców finalnych;
- niższe koszty stałe i zmienne związane z zaangażowaniem infrastruktury logistycznej;

- większą integrację łańcucha dostaw w wyniku centralnie sterowanego przepływu informacji.

Z kolei wśród zalet systemu zdecentralizowanego wymienia się między innymi:

- minimalizację globalnych kosztów fizycznej dystrybucji produktów (w szczególności przez producenta);
- wysoki poziom obsługi klienta (szybkie reakcje na zmieniające się potrzeby nabywców finalnych dzięki utrzymywanym zapasom w każdym punkcie pośrednim);
- krótki czas dostaw (im dłuższy kanał dystrybucji, tym bliżej klienta jest ostatnie jego ogniwo);
- relatywnie niższe koszty transportu na ostatnim etapie dostaw do klienta finalnego.

1.3. Procesy transportowe

Wśród procesów związanych z fizycznym przepływem produktów w łańcuchach dostaw jednym z najważniejszych jest proces transportowy. Należy go rozumieć jako zbiór wszelkiego rodzaju działań, których celem jest dokonanie przemieszczenia produktu z jednego lub kilku punktów początkowych (punktów nadania) do jednego lub kilku punktów końcowych (punktów odbioru) (Fertsch, 2006, s. 107). Na działania te składają się czynności organizacyjne, wykonawcze, a także transakcyjne (handlowe). Czynności organizacyjne to inaczej przygotowanie realizacji procesu transportowego (np. sporządzenie stosownej dokumentacji, wybór formy transportu i podmiotu, który się go podejmie, ustalenie tras przewozu). Wśród czynności wykonawczych wyróżnia się te, które są w bezpośredni sposób związane z fizycznym przemieszczeniem produktów od nadawcy do odbiorcy, oraz czynności manipulacyjne: załadunek i wyładunek, a także dojazd środka transportowego do miejsca załadunku, a następnie jego powrót do bazy (lub do kolejnego miejsca załadunku). Czynności transakcyjne natomiast związane są z zawieraniem umów zakupu usług transportowych (negocjacje z podmiotami oferującymi usługi transportowe, dokonywanie płatności itp.) (Mendyk, 2009, s. 189–195).

Ostateczny kształt procesu transportowego, w tym jego poszczególnych czynności, przeważnie jest wynikiem przyjętego w łańcuchu dostaw modelu dystrybucji. Poza tym każdy decydent musi zdawać sobie sprawę z tego, że proces transportowy składa się właśnie z wyżej wymienionych etapów, które bezpośrednio przekładają się na czas jego realizacji. Sam przewóz z punktu *A* do punktu *B* wcale nie musi być najdłuższą trwającą jego częścią. Analizując, ile czasu zajmuje każda z czynności poza fizycznym przewozem, mamy szansę poszukać ewentualnych