

Leszek Reszka

DECYZJE MENEDŻERSKIE W LOGISTYCE



Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego

DECYZJE MENEDŻERSKIE W LOGISTYCE

Leszek Reszka

DECYZJE MENEDŻERSKIE W LOGISTYCE

Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego
Gdańsk 2019

Recenzent
dr hab. Joanna Bruzda, prof. UMK

Redaktor Wydawnictwa
Jerzy Toczek

Projekt okładki i stron tytułowych
Filip Sendal

Skład i łamanie
Mariusz Szewczyk

Publikacja sfinansowana ze środków projektu
PROgram Rozwoju Uniwersytetu Gdańskiego (ProUG)
realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój
na podstawie umowy nr POWR.03.05.00-00-Z308/17-00,
zawartej pomiędzy Narodowym Centrum Badań i Rozwoju
a Uniwersytetem Gdańskim w dniu 11.12.2017 roku



Fundusze Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



© Copyright by Uniwersytet Gdański
Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego

ISBN 978-83-8206-022-5
ISBN 978-83-8206-081-2 (online)

Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
tel./fax 58 523 11 37, tel. 725 991 206
e-mail: wydawnictwo@ug.edu.pl
www.wyd.ug.edu.pl

Księgarnia internetowa: www.kiw.ug.edu.pl

Druk i oprawa
Zakład Poligrafii Uniwersytetu Gdańskiego
ul. Armii Krajowej 119/121, 81-824 Sopot
tel. 58 523 14 49; fax 58 551 05 32

Spis treści

Wstęp	7
1. Zadania logistyki w przedsiębiorstwie	9
1.1. Istota i przedmiot logistyki	9
1.1.1. Definicja logistyki	9
1.1.2. Obsługowe i relacyjno-integracyjne funkcje logistyki	10
1.1.3. Mikroekonomiczne i makroekonomiczne aspekty logistyki	11
1.1.4. Komponenty systemu wsparcia logistycznego	12
1.2. Popyt w logistyce	16
1.2.1. Definicja popytu pierwotnego i wtórnego	16
1.2.2. Istota informatycznych systemów planowania potrzeb materiałowych	17
1.2.3. Graf Zeparde Gozinto	20
1.3. Optymalizacja decyzji związanych z zapasami	22
1.3.1. Optymalizacja a suboptymalizacja	22
1.3.2. Istota, funkcje i czynniki kształtowania zapasów	23
1.3.3. Optymalizacja wielkości dostawy (model Wilsona)	24
1.3.4. Modele sterowania zapasami (<i>re-order point, re-order cycle</i>)	27
1.3.5. Analiza ABC	28
1.3.6. Analiza XYZ	31
1.3.7. Koncepcja punktu rozdzielającego	34
1.4. Ocena i wybór dostawcy lub wykonawcy	36
1.4.1. Przesłanki znaczenia procesu zakupów w logistyce przedsiębiorstwa	36
1.4.2. Procedura wyboru dostawcy lub wykonawcy	37
1.4.3. Single sourcing, dual sourcing i multi sourcing	44
1.5. Logistyczny rachunek kosztów	46
1.5.1. Rachunek kosztów globalnych	46
1.5.2. ABC jako metoda zarządzania procesami logistycznymi	49
1.6. Projekt systemu wsparcia logistycznego przedsiębiorstwa	51
2. Prognozowanie w logistyce	53
2.1. Pojęcie prognozowania	53
2.1.1. Definicja prognozowania i prognozy	53
2.1.2. Parametry oceny jakości prognoz	56
2.1.3. Koszty prognozowania	64
2.2. Metody prognozowania	65
2.2.1. Przegląd metod prognozowania	65

2.2.2. Metody prognozowania oparte na szeregach czasowych	66
2.2.3. Prognozowanie na podstawie przyczynowo-skutkowych modeli ekonometrycznych	81
2.2.4. Metody heurystyczne	96
2.2.5. Metody analogowe	100
2.2.6. Metody scenariuszowe	100
2.2.7. Metody wykorzystujące sieci neuronowe	101
2.3. Prognozowanie w logistyce polskich przedsiębiorstw	102
2.4. Projekt na temat wykorzystania metod prognozowania w logistyce przedsiębiorstwa	104
3. Narzędzia optymalizacji procesów logistycznych	105
3.1. Istota optymalizacji w logistyce	105
3.2. Optymalizacyjne modele decyzyjne	106
3.3. Prezentacja narzędzia Solver	109
3.4. Cechy modeli programowania liniowego	112
3.5. Model optymalnego wyboru asortymentu produkcji	113
3.6. Zagadnienie mieszanki (diety)	116
3.7. Klasyczne zagadnienie transportowe	120
3.8. Zbilansowane i niezbilansowane zagadnienie transportowe	126
3.9. Zagadnienie przydziału	128
3.10. Zagadnienie transportowe z przeładunkiem	131
3.11. Projekt na temat wykorzystania prezentowanych metod optymalizacji w logistyce przedsiębiorstwa	136
Zakończenie	137
Bibliografia	139
Spis tabel	145
Spis rysunków	147

Wstęp

Jedną z głównych przyczyn powstania niniejszej pracy były obserwacje autora dotyczące kompetencji menedżerskich, w które powinien być wyposażony współczesny menedżer logistyki. Bazując na badaniach literaturowych oraz doświadczeniach dydaktycznych, zauważyć można pewną lukę w literaturze przedmiotu, która to rzadko kiedy odnosi się bezpośrednio do opisu narzędzi wspierających procesy podejmowania decyzji. A przecież trafność podejmowanych decyzji przesądza o sukcesie ekonomicznym przedsiębiorstw na współczesnym dynamicznie się zmieniającym rynku. W sposób szczególny dotyczy to logistyki, która sama w sobie, obok takich kryteriów, jak cena czy jakość, stanowi fundamentalny czynnik decydujący o przewadze konkurencyjnej przedsiębiorstwa.

Mając na względzie powyższe przesłanki, w monografii położono nacisk na przybliżenie Czytelnikowi metod i narzędzi pochodzących nierzadko z innych obszarów wiedzy, takich jak ekonometria czy badania operacyjne, możliwych do zastosowania przy wspieraniu procesów podejmowania decyzji menedżerskich w logistyce.

Po zaprezentowaniu podstawowych aspektów definicyjnych logistyki, jej podstawowych celów, zadań i funkcji skupiono się na prezentacji metod wspierających menedżera logistyki w przedsiębiorstwie. Pierwszą grupę stanowią metody dotyczące prognozowania popytu. Informacja o przyszłym popycie stanowi punkt wyjścia dla podejmowania decyzji w zakresie ilości i jakości niezbędnych zasobów, a także działań służących ich zapewnieniu. Druga grupa to metody optymalizacji procesów logistycznych, pozwalające wyznaczyć najlepsze rozwiązania, biorąc pod uwagę wybrane przez decydenta kryteria.

Niniejsza monografia jest wynikiem prac badawczych autora, jego doświadczeń z pracy dydaktycznej ze studentami, jak również ze współpracy z szeroko rozumianą praktyką gospodarczą.

1. Zadania logistyki w przedsiębiorstwie

1.1. Istota i przedmiot logistyki

1.1.1. Definicja logistyki

Z każdą działalnością człowieka związana jest konieczność posiadania zasobów. Są one niezbędne również do prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstw. Aby przedsiębiorstwo mogło sprawnie funkcjonować, musi mieć zapewnione właściwe zasoby, we właściwej ilości, we właściwym miejscu, we właściwym czasie i po właściwym koszcie. W literaturze postulat ten określa się **regułą 5W**¹ (ang. 5R: *the right resources, in the right quantity, to the right place, at the right time, and right cost*²). Można więc stwierdzić, że dla prawidłowego funkcjonowania każdego przedsiębiorstwa i – szerzej – każdej celowo zorganizowanej działalności człowieka niezbędne jest istnienie, oprócz jego działalności podstawowej, działań ją wspierających. Działalność podstawowa przedsiębiorstwa określana jest mianem jego procesu podstawowego. Oprócz niego w przedsiębiorstwie wyodrębnić można procesy wspierające, niezbędne dla sprawnego działania procesu podstawowego. Mogą to być między innymi procesy finansowe, marketingowe, dystrybucyjne, kadrowe czy wreszcie logistyczne (por. rys. 1.1).

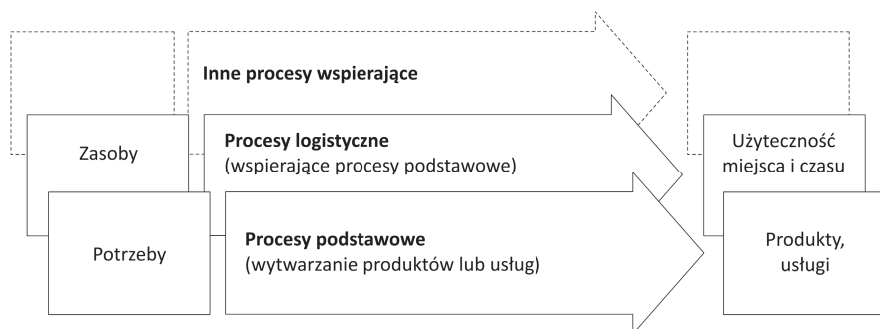
Pod pojęciem **procesu logistycznego** rozumieć należy wszelkie działania mające na celu zapewnienie zasobów zgodnie z regułą 5W. Procesy logistyczne realizowane są w ramach systemów logistycznych. Stąd też **system logistyczny** rozumieć można jako: „zespół elementów infrastrukturalnych, technicznych, technologicznych, prawnych, organizacyjnych, posiadających takie cechy i zdolności fizykotechniczne, które, będąc w odpowiednich współzależnościach (relacjach), umożliwiają realizację zadań obsługi logistycznej, realizację procesów logistycznych”³. Przykładowo, proces logistyczny w postaci magazynowania realizowany jest dzięki istnieniu takich

¹ M. Chaberek, *Makro- i mikroekonomiczne aspekty wsparcia logistycznego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002, s. 11.

² M. Naim i in., *A Model for Logistics Systems Engineering Management in Europe*, „European Journal of Engineering Education” 2000, Vol. 25, No. 1, s. 66.

³ M. Chaberek, *Logistyczne aspekty bezpieczeństwa [w:] Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. XIV*, pod red. M. Chabarka i L. Reszki, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka”, nr 56. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2015, s. 24.

komponentów systemu logistycznego, jak odpowiednio wyposażony magazyn, z zainstalowanym odpowiednim systemem informatycznym typu WMS, w którym funkcjonują właściwe zasady jego wewnętrznej organizacji; proces transportowy realizowany jest dzięki odpowiedniej infrastrukturze drogowej, w oparciu o przepisy ruchu drogowego, a w przypadku publicznego transportu zbiorowego również o takie elementy organizacyjne, jak rozkład jazdy; proces zapewnienia zasobu informacyjnego poprzez wysyłanie wiadomości poczty elektronicznej odbywa się dzięki takim komponentom systemu logistycznego, jak: komputer, odpowiednie oprogramowanie do wysyłania poczty elektronicznej czy wreszcie dostęp do Internetu. System logistyczny wraz z realizowanymi w nim procesami logistycznymi tworzy **system wsparcia logistycznego**, czyli: „skoordynowany, celowo zorganizowany podsystem organizacji, wspierający jej podstawowe procesy w zakresie integracji wszystkich działań związanych z koniecznym przepływem zasobów”⁴.



Rysunek 1.1. Współistnienie podstawowych i wspierających procesów w przedsiębiorstwie

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu w logistyce małego przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2010, s. 44.

1.1.2. Obsługowe i relacyjno-integracyjne funkcje logistyki

Omawiając tzw. **obsługowe funkcje logistyki**, należy podkreślić, że zadania logistyki rodzą się z chwilą zaistnienia konieczności obsługi dowolnego procesu gospodarczego, traktowanego jako proces podstawowy, w zakresie zapewnienia zasobów zgodnie z regułą 5W. Punktem wyjścia jest potrzeba (inaczej popyt) na określony produkt lub usługę. Popyt generuje działania podstawowe mające na celu jego zaspokojenie.

⁴ M. Chaberek, *Model systemu wsparcia logistycznego organizacji [w:] Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. I*, pod red. M. Chaberk, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001, s. 19.

Aby działania podstawowe mogły być właściwie realizowane, niezbędne są zasoby, co kreuje potrzebę wsparcia logistycznego. Nie byłoby działań logistycznych bez działań podstawowych, natomiast działania podstawowe nie mogłyby być realizowane bez wspierających ich działań logistycznych. O logistyce nie przesądza sam rodzaj działalności, taki jak transport, magazynowanie, pakowanie itp.⁵

Funkcje relacyjno-integracyjne wiążą się z kolei z relacjami między procesem podstawowym a logistycznym, jak również integracją elementów w ramach samego procesu logistycznego. Przykładem szukania właściwych relacji wewnątrz procesu logistycznego są relacje typu *trade-off*⁶, np. pomiędzy kosztami transportu a kosztami magazynowania, kosztami utrzymania własnego taboru a kosztami zatrudnienia obcego przewoźnika, redukcją zapasów a poziomem obsługi klienta itp.

Właściwe rozwiązywanie logistycznych relacji typu *trade-off* wymaga zastosowania podejścia systemowego, czyli sposobu myślenia, rozwiązania problemu lub postępowania, w którym zjawiska rozpatrywane są kompleksowo. Umożliwia ono unikanie rozwiązań suboptymalnych na rzecz rozwiązań optymalnych z punktu widzenia całego przedsiębiorstwa. Właściwe zrozumienie procesowego i systemowego charakteru logistyki jest niezbędne dla właściwego pomiaru kosztów⁷, jak również efektywności⁸ czy niezawodności⁹ systemu wsparcia logistycznego¹⁰.

1.1.3. Mikroekonomiczne i makroekonomiczne aspekty logistyki

Jak wspomniano wcześniej, logistyka dotyczy każdej celowo zorganizowanej działalności człowieka, zarówno w skali mikro-, jak i makroekonomicznej. Jeśli brane jest pod uwagę np. przedsiębiorstwo, mówi się wówczas o **mikrologistyce**, inaczej

⁵ M. Chaberek, *Praktyczny wymiar teorii logistyki*, „Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu” 2011, nr 10, s. 210.

⁶ Tłumacząc z języka angielskiego: „coś za coś”, co oznacza, że wybierając dany wariant rozwiązania, należy liczyć się z utratą pewnych korzyści możliwych do osiągnięcia przy wyborze innego rozwiązania.

⁷ Więcej na ten temat w: L. Reszka, *Koncepcja identyfikacji kosztów logistycznych z punktu widzenia pełnego cyklu życia systemu wsparcia logistycznego* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. III*, pod red. M. Chaberkę i C. Mańkowskiego, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 28, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2004, s. 99.

⁸ Więcej na ten temat w: M. Chaberek, *Pomiar i ocena efektywności systemów wsparcia logistycznego organizacji* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. II*, pod red. M. Chaberkę, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 26, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002, s. 69–80.

⁹ Więcej na ten temat w: L. Reszka, *Pomiar i ocena niezawodności systemów wsparcia logistycznego organizacji* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. 2*, pod red. M. Chaberkę, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 26, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002, s. 81–88.

¹⁰ L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 53.

logistyce przedsiębiorstwa, której zadaniem jest zapewnienie zasobów niezbędnych do prawidłowej realizacji procesu podstawowego przedsiębiorstwa, np. produkcyjnego, budowlanego, transportowego itp. Natomiast w skali np. całego państwa mówi się o **makrologistyce**, gdzie chodzi o wsparcie procesów podstawowych w kraju, np. transport studentów na uczelnię, pracowników do zakładów pracy – niezbędne są więc działania związane np. z zapewnieniem odpowiedniej infrastruktury, takiej jak drogi, koleje, sieć telekomunikacyjna itp.

Warto w tym miejscu wspomnieć, że w literaturze przedmiotu znaleźć można bardziej rozbudowane podziały logistyki w tym zakresie. Przykładowo, Krzysztof Ficoń opisuje tzw. **piramidę logistyki**, w której oprócz mikro- i makrologistyki wyróżnia również: mezologistykę, eurologistykę i logistykę globalną. **Mezologistyka** w takim ujęciu obejmuje poszczególne branże i działy gospodarki. Jest ogniwem pośrednim między ujęciem mikro- i makroekonomicznym, dotyczy grupy przedsiębiorstw i zachodzących między nimi procesów. **Eurologistyka** odnosi się natomiast do skali kontynentu europejskiego, a **logistyka globalna** – procesów logistycznych realizowanych w skali całego świata¹¹.

Zadanie 1.1

Praca w grupach.

Proszę sobie wyobrazić, że zakładają/prowadzą Państwo przedsiębiorstwo (każda grupa zakłada inny typ przedsiębiorstwa, np.: produkcyjne, transportowe, budowlane, szkołę, szpital, salon fryzjerski, sklep itp.).

1. Co będzie procesem podstawowym (albo procesami) w przedsiębiorstwie?
2. Jakie zasoby będą potrzebne w przedsiębiorstwie?
3. Co będzie procesem logistycznym (albo procesami), a co będzie systemem logistycznym?

Wyniki proszę przedstawić w formie prezentacji multimedialnej.

1.1.4. Komponenty systemu wsparcia logistycznego

Analizując system wsparcia logistycznego (swl) pod kątem realizowanych przez niego funkcji, można wyróżnić jego zasadnicze komponenty (obszary aktywności). Graficznie ukazuje to rysunek 1.2.

¹¹ K. Ficoń, *Zarys mikrologistyki*, BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2004, s. 16.



Rysunek 1.2. Główne funkcje systemu wsparcia logistycznego (swł)

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 57.

Jednym z najistotniejszych komponentów systemu wsparcia logistycznego jest **prognozowanie popytu**, które stanowi punkt wyjścia wszelkich działań logistycznych. W gospodarce rynkowej, w której dominuje tzw. rynek konsumenta, to właśnie popyt przesądza o asortymencie oferowanych produktów lub usług, jak również o skali działalności.

Właściwe oszacowanie popytu jest warunkiem koniecznym do prawidłowego **planowania zasobów**. Zgodnie z istotą logistyki chodzi tu o planowanie zapotrzebowania na wszelkie zasoby, w tym materiałowe, kadrowe, informacyjne, finansowe i inne.

Wspólne ujmowanie **zaopatrzenia i dystrybucji** wynika z tego, że w obydwu tych obszarach występują te same czynności, które mogą być wykonywane zarówno przez dostawcę (logistyka sfery dystrybucji), jak i odbiorcę (logistyka sfery zaopatrzenia). Warto dodać, że wraz ze wzrostem konkurencji coraz więcej zadań, które wcześniej były wykonywane przez odbiorców, została przerzucona na dostawców. Obecnie działania w zakresie zaopatrzenia sprowadzają się w zasadzie do poszukiwania i wyboru dostawców oraz negocjacji dotyczących ceny i warunków dostaw. Pozostałe czynności, od momentu złożenia zamówienia do momentu pojawienia się towaru u odbiorcy, wykonuje zazwyczaj dostawca.

Bardzo ważnym komponentem swł, związanym bezpośrednio z zaopatrzeniem i dystrybucją, jest **działalność transportowa**. Bez transportu nie byłoby możliwe fizyczne przemieszczanie materiałów, wyrobów gotowych czy pracowników.

O znaczeniu transportu decydują również jego koszty, które stanowią istotny odsetek ogólnych kosztów logistycznych. Zadania logistyczne dotyczące transportu obejmują przede wszystkim: dobór odpowiedniego środka transportu, dobór technologii przewozu, organizację przewozu, dobór technologii załadunku i wyładunku, ochronę ładunku w trakcie przewozu itp. Bardzo ważnym problemem decyzyjnym związanym z transportem jest decyzja dotycząca własności środków transportowych. Przedsiębiorca musi zdecydować, czy bardziej opłacalne jest posiadanie własnego taboru, czy korzystanie z usług obcego przewoźnika.

Cechą charakterystyczną działalności gospodarczej jest brak synchronizacji procesów zaopatrzenia, produkcji, dystrybucji i konsumpcji, który wynika przede wszystkim z braku lub niepełnej informacji o przyszłym popycie. Niezbędne jest zatem **magazynowanie**. Z uwagi na fakt, że zapasów nie można całkowicie wyeliminować, zadaniem logistyki jest ustalenie odpowiedniego ich poziomu, tak aby zachować maksymalnie korzystną relację *trade-off* między kosztami z nimi związanymi a korzyściami wynikającymi z ich utrzymywania. Ponadto zasadnicze znaczenie z punktu widzenia logistyki mają decyzje dotyczące magazynów, takie jak: forma własności (podobnie jak w przypadku środków transportu tak i w przypadku magazynów przedsiębiorca musi podjąć decyzję, czy korzystać z obcych magazynów, czy też posiadać własne), wielkość i liczba, lokalizacja i wewnętrzna organizacja.

Z transportem i magazynowaniem zasobów związany jest kolejny z komponentów swł – **pakowanie**. Opakowanie pełni szereg funkcji istotnych z punktu widzenia logistyki. Należy wśród nich wymienić takie funkcje, jak¹²:

- ochronne (zabezpieczenie towaru przed kradzieżą, uszkodzeniami mechanicznymi, wilgocią, temperaturą, szkodnikami itp.),
- magazynowe (ułatwianie procesów składowania, przemieszczania i kompletowania),
- transportowe (optymalne wykorzystanie ładowności środków transportu),
- kompletacyjne (ułatwianie sporządzania zestawów asortymentowych w poszczególnych partiach dostaw),
- informacyjne (przekazywanie informacji na temat rodzaju towaru, dat produkcji i ważności, sposobu użycia, ceny czy producenta),
- recyklingowe i kasacyjne (problem wielokrotnego wykorzystania opakowań oraz ich utylizacji).

W zakresie **zasobów ludzkich** działania logistyczne mogą być rozpatrywane w dwóch aspektach. Z jednej strony pracownicy, jak pozostałe zasoby, muszą się znaleźć w odpowiednim miejscu i czasie. Istotnego znaczenia nabiera więc odpowiednia organizacja transportu pracowników, szczególnie gdy miejsce pracy jest znacznie oddalone od miejsca zamieszkania. Drugi aspekt działań logistycznych

¹² A. Korzeniowski, M. Skrzypek, G. Szyszka, *Opakowania w systemach logistycznych*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 1996, s. 35–36.

w tym obszarze aktywności związany jest z podnoszeniem kwalifikacji pracowników. Dotyczy on organizacji wszelkiego rodzaju szkoleń, treningów czy kursów, tak aby przeprowadzić je w maksymalnie efektywny sposób, nie powodując przy tym zakłóceń w realizacji procesu podstawowego.

Istotnym zasobem niezbędnym do realizacji procesu podstawowego każdej organizacji jest **informacja**, która, jak wszystkie inne zasoby, jest przedmiotem zainteresowań logistyki. Ważne jest zapewnienie właściwych zasobów informacyjnych (na odpowiednim poziomie agregacji) we właściwej ilości (tak aby nie dochodziło do szumów informacyjnych wywołanych nadmiarem informacji, a zapewnione były informacje niezbędne do realizacji procesu podstawowego), we właściwym miejscu (w odpowiednim ośrodku decyzyjnym) i czasie (eliminując opóźnienia). Elementami podsystemu logistyki informacji mogą być: obsługa komputerowa przedsiębiorstwa, układy kanałów łączności, sieci informatyczne itd.¹³

Z zasobami informacyjnymi w oczywisty sposób związane jest **wsparcie techniką komputerową**. Pod tym pojęciem rozumieć należy zarówno zasoby sprzętowe (*hardware*) jak i odpowiednie oprogramowanie (*software*). Działania w ramach tego komponentu swl obejmują: monitorowanie oprogramowania, diagnozowanie zasobów informacyjnych i sprzętu komputerowego oraz planowanie sposobów bezkolizyjnego wdrażania urządzeń kolejnych generacji¹⁴.

Bardzo istotnym komponentem swl jest również **obsługa klienta**, traktowana często jako element wspólny marketingu i logistyki. Z punktu widzenia logistyki ważne jest, aby finalny produkt dostarczyć klientowi przedsiębiorstwa w taki sposób, aby pozostał on z przedsiębiorstwem przez jak najdłuższy czas.

Stosunkowo często w działalności przedsiębiorstw zdarza się, że sprzedawane na rynek produkty nie spełniają oczekiwań klienta, psują się lub klienci rezygnują z ich zakupu. Dochodzi wówczas do konieczności wykonywania napraw gwarancyjnych lub odbioru zwracanych produktów. **Zwrotny obrót towarów** stanowi zatem istotny komponent systemu wsparcia logistycznego. Znaczenie to wynika również ze specyfiki opisywanych działalności. Dodatkową komplikacją jest to, że przepływ zwrotny dotyczy zwykle niewielkiej ilości towaru i odbywa się w kierunku przeciwnym niż tradycyjne ciągi komunikacyjne w przedsiębiorstwach. Wpływa to na podwyższenie kosztów z nim związanych.

Nieodłączną cechą działalności gospodarczej, w tym przede wszystkim produkcyjnej, jest wytwarzanie produktów ubocznych, czyli tzw. odpadów. Dlatego też niezmiennie istotnym obszarem aktywności logistycznej jest **zarządzanie odpadami**. Pod pojęciem gospodarki odpadami rozumiano do niedawna sposoby ich

¹³ M. Chaberek, *Logistyka informacji zarządczej w kontrolingu przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001, s. 32.

¹⁴ M. Chaberek, *Model systemu wsparcia logistycznego...*, s. 22.

powtórnego wykorzystywania. Obecnie ma ona szersze znaczenie, obejmując dodatkowo zagadnienia utylizacji odpadów niemożliwych do powtórnego zastosowania. Logistykę powtórnego zagospodarowania można zatem zdefiniować jako: „zastosowanie koncepcji logistyki w odniesieniu do pozostałości, aby w ten sposób spowodować ekonomicznie i ekologicznie skuteczny przepływ pozostałości, przy jednoczesnej transformacji przestrzenno-czasowej, włącznie ze zmianą ilości i gatunku”¹⁵.

Istotną rolę w systemie wsparcia logistycznego odgrywają odpowiednie budynki i ich wyposażenie oraz odpowiedni sprzęt, które są niezbędne do funkcjonowania przedsiębiorstwa. Jako kolejny komponent swł wyróżnić więc należy **zapewnienie sprawności i niezawodności infrastruktury logistycznej**. Chodzi tu o tzw. działania utrzymaniowe, czyli działania naprawcze wykonywane po to, aby utrzymać elementy infrastruktury na poziomie w pełni operacyjnym¹⁶. Istotne jest, aby działania te nie były podejmowane dopiero w momencie wystąpienia awarii, ale tuż przed jej zaistnieniem¹⁷.

Zadanie 1.2

Kontynuując przykład przedsiębiorstwa opisanego w zadaniu 1.1, proszę:

- wskazać, które z zaprezentowanych komponentów systemu wsparcia logistycznego występują w przedsiębiorstwie;
- spróbować je opisać.

Wyniki proszę przedstawić w formie prezentacji multimedialnej.

1.2. Popyt w logistyce

1.2.1. Definicja popytu pierwotnego i wtórnego

Informacje o przyszłym popycie na produkty lub usługi przedsiębiorstwa mają istotne znaczenie dla jego działalności. Najczęściej stosowana definicja **popytu** określa go jako: ilość dobra, jaką nabywcy są gotowi zakupić przy różnym poziomie ceny¹⁸. Jak wynika z definicji, wielkość popytu nie jest wielkością stałą, lecz zmienia się w zależności od wielu czynników, przede wszystkim od ceny dobra.

Z punktu widzenia logistyki istotne jest dokonanie klasyfikacji popytu. Rozróżnia się tzw. popyt pierwotny oraz wtórny. **Popyt pierwotny** definiuje się jako ujawniane

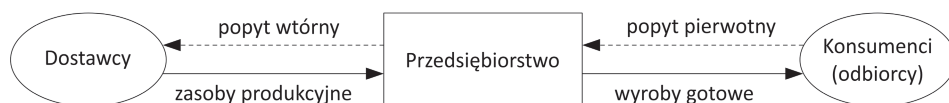
¹⁵ J. Bendkowski, M. Wengerek, *Logistyka odpadów*, t. 1, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002, s. 10.

¹⁶ B.S. Blanchard, *Logistics Engineering and Management*, Prentice Hall, New Jersey 1998, s. 37.

¹⁷ M. Chaberek, *Makro- i mikroekonomiczne aspekty...*, s. 104.

¹⁸ D. Begg, S. Fisher, R. Dornbusch, *Mikroekonomia*, PWE, Warszawa 1996, s. 77.

na rynku zapotrzebowanie zgłaszane przez konsumentów na produkty lub usługi przedsiębiorstwa¹⁹. Z kolei **popytem wtórnym** określa się powstający w przedsiębiorstwie popyt na materiały, części, podzespoły itp. (czyli, ogólnie mówiąc, zasoby produkcyjne)²⁰. Zależność tę można przedstawić graficznie (rys. 1.3).



Rysunek 1.3. Popyt pierwotny i wtórny

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 62.

Określenie „pierwotny” wynika więc z tego, że ten rodzaj popytu jest punktem wyjścia dla dalszych działań, takich jak: ustalanie asortymentu i wielkości produkcji, a także niezbędnych dla niej zasobów, czyli wysokości popytu wtórnego. Wysokość popytu wtórnego zależy od następujących czynników, zwanych **determinantami popytu wtórnego**:

- wielkości zapotrzebowania pierwotnego,
- struktury konstrukcyjnej produktu,
- stosowanej technologii.

1.2.2. Istota informatycznych systemów planowania potrzeb materiałowych

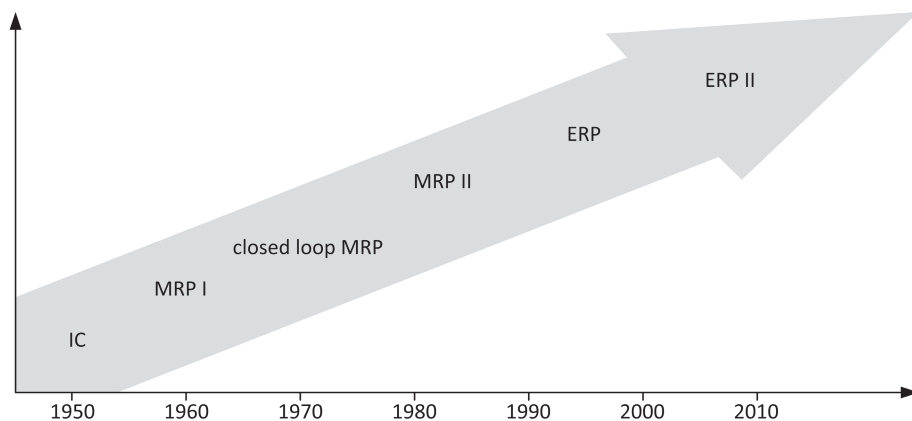
Z popytem wtórnym związane są informatyczne **systemy planowania potrzeb materiałowych**, nazywane w skrócie systemami klasy MRP. Ich historia sięga lat 50. XX wieku. Od tego czasu ewoluowały wraz z rozwojem zastosowań koncepcji logistycznych w przedsiębiorstwach oraz rozwojem praktycznych zastosowań informatyki (rys. 1.4).

Początki rozwoju opisywanych systemów należy wiązać z pojawieniem się systemów **kontroli zapasów IC** (ang. *inventory control*), których jedynym celem było zarządzanie zapasami. Obejmowały zatem tylko jeden obszar działalności przedsiębiorstwa – magazyn. Nie były to więc jeszcze systemy zintegrowane, ponieważ dotyczyły tylko jednego obszaru działalności przedsiębiorstwa. Nie uwzględniały one także informacji o powstającym na rynku popycie pierwotnym²¹.

¹⁹ Z. Sarjusz-Wolski, *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2000, s. 94.

²⁰ *Ibidem*.

²¹ J. Długosz, *Nowoczesne technologie w logistyce*, PWE, Warszawa 2009, s. 56.



Rysunek 1.4. Ewolucja systemów planowania potrzeb materiałowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 66.

Przełomowe w tym względzie było wprowadzenie w latach 60. ubiegłego wieku systemu **MRP I** (ang. *material requirements planning*), który posiadał narzędzia planistyczne wyznaczające zapotrzebowanie na materiały, uwzględniając zmieniający się popyt pierwotny. Do podstawowych funkcji systemu MRP I zaliczano: obliczanie kosztów produkcji, wyznaczanie czasów dostaw oraz optymalizację zapasów i wykorzystania zasobów infrastrukturalnych, a także elastyczne dostosowywanie się do zmian w popycie pierwotnym²².

Kolejnym etapem rozwoju systemów MRP było dodanie opcji kontroli procesów wytwarzania procesu produkcji, realizacji zamówień zakupowych, wpływu materiałów, półfabrykatów i wyrobów gotowych. Powstał w ten sposób system **MRP o zamkniętej pętli** (ang. *closed loop MRP*), który pozwalał przedsiębiorstwu jeszcze lepiej dostosować się do zmian popytu pierwotnego, jak również na bieżąco monitorować ewentualne różnice między planem a jego realizacją²³.

Dalsze doskonalenie systemów klasy MRP polegało na rozszerzeniu zakresu planowanych zasobów z wyłącznie materiałowych na wszelkie zasoby produkcyjne, w tym: materiały pomocnicze, zasoby ludzkie, środki pieniężne, czas, środki trwałe i inne. Dlatego też system ten nazwano planowaniem zasobów produkcyjnych **MRP II** (ang. *manufacturing resources planning*). Opisuje on cały cykl produkcyjny od zamówień na materiały, przez produkcję, do sprzedaży wyrobów gotowych.

²² A. Kawa, W. Wieczerzycki, *Zintegrowane systemy informatyczne [w:] Instrumenty zarządzania logistycznego*, pod red. M. Ciesielskiego, PWE, Warszawa 2006, s. 56–57.

²³ M. Chaberek, *Makro- i mikroekonomiczne aspekty...*, s. 64.

W kolejnych latach opracowano szereg narzędzi poszerzających przydatność praktyczną systemów MRP II, wśród których wymienić można przed wszystkim:

- dostawy dokładnie na czas (ang. *just-in-time* – JiT),
- technologia optymalizacji produkcji (ang. *optimized production timetable* – OPT),
- planowanie zasobów dystrybucyjnych (ang. *distribution resource planning* – DRP),
- kompleksowe zarządzanie jakością (ang. *total quality management* – TQM),
- przepływ prac (ang. *workflow*).

W wyniku dalszej ewolucji, polegającej na wzbogaceniu systemu MRP II o moduł finansowy wykorzystujący rachunkowość zarządczą, rachunek kosztów działań (ang. *activity based costing* – ABC) oraz przepływ środków pieniężnych (ang. *cashflow*), powstał system planowania zasobów na potrzeby korporacji **ERP** (ang. *enterprise resources planning*). Umożliwia on zarządzanie przedsiębiorstwem w taki sposób, by uwzględniać zmiany popytu pierwotnego oraz występujące na rynku warunki i ograniczenia. Jako rok wprowadzenia na rynek pierwszego systemu klasy ERP (nazywanego też MRP III) przyjmuje się rok 1996²⁴.

Współcześnie coraz częściej spotykać można kolejną odmianę systemu pod nazwą **ERP II** lub **eERP** (ang. *extended enterprise resources planning*), który wzbogacono o aplikacje związane z wykorzystaniem internetu w działalności gospodarczej. Oprócz tradycyjnych funkcji związanych z planowaniem zasobów umożliwia on także elektroniczną wymianę ofert, zamówień i faktur, a także płatności elektroniczne oraz zakupy drogą elektroniczną (ang. *e-procurement*)²⁵.

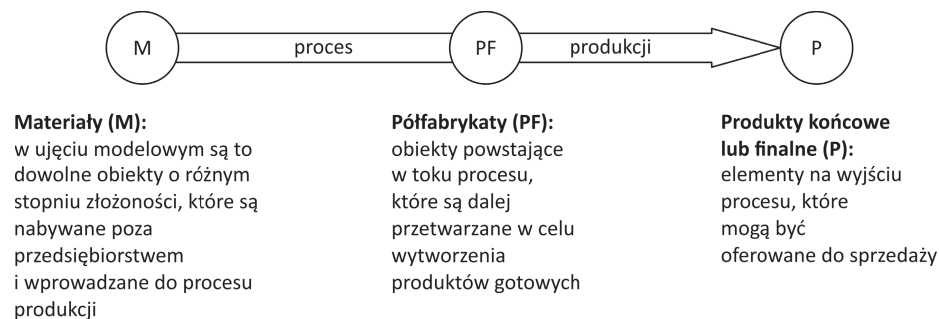
Ewolucja systemów klasy MRP, ich ciągłe doskonalenie i poszerzanie o nowe moduły potwierdza ich dużą użyteczność w funkcjonowaniu przedsiębiorstw. Do ich niewątpliwych atutów zaliczyć z pewnością można możliwość szybkiego dostosowywania się do zmian popytu pierwotnego. Wbudowane w systemy MRP moduły pozwalają na dobre dopasowanie potrzeb w zakresie zasobów produkcyjnych (czyli popytu wtórnego) do popytu występującego na rynku zapotrzebowania na produkty lub usługi przedsiębiorstwa.

²⁴ K. Chwesiuk, *Analiza zastosowań systemów informatycznych klasy ERP w logistyce*, „Logistyka” 2011, nr 4, s. 163.

²⁵ C. Möller, *ERP II extended enterprise resource planning* [w:] *Proceedings of the 7th world multi-conference on systemics World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, FL, VII/VIII 2003.

1.2.3. Graf Zeparde Gozinto

Kolejną kwestią związaną z planowaniem popytu wtórnego jest struktura materiałowa produktu, zwana **grafem Zeparde Gozinto** (z ang. *the part that goes into...*)²⁶. Ma on strukturę sieciową, w której węzłami są części (ang. *parts*), np. materiały transformowane w procesie produkcyjnym poprzez półfabrykaty w wyroby gotowe (rys. 1.5). Istota grafu Gozinto wiąże się zatem z procesem produkcyjnym definiowanym jako: częściowo uporządkowany zbiór czynności lub operacji, w wyniku których określony zbiór materiałów (obiektów wejściowych procesu) zostaje doprowadzony do pewnego zbioru produktów finalnych lub końcowych (obiektów wyjściowych procesu).



Rysunek 1.5. Proces produkcji

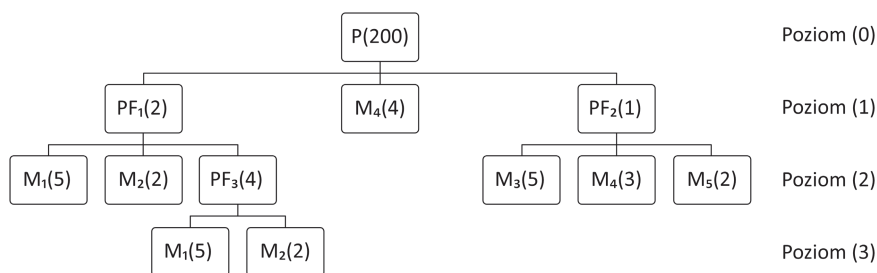
Źródło: opracowanie własne.

Mając tak zdefiniowany proces produkcyjny, każdy produkt można rozpisać na składające się nań półprodukty oraz materiały (por. rys. 1.6 i 1.7).

Zadanie 1.3

Pewne przedsiębiorstwo wytwarza produkt P, którego graf Gozinto przedstawia schemat na rysunku 1.6. Zgodnie z planem produkcji (na podstawie prognoz popytu pierwotnego) ustalono, że należy wyprodukować 200 szt. wyrobu P. Proszę wyznaczyć potrzeby materiałowe niezbędne do zaspokojenia popytu.

²⁶ M. Piłacińska, K. Leśniak, A. Kujawińska, K. Żywicki, *Model danych systemu sterowania przepływem i jakością produkcji*, „Studia Informatica” 2009, Vol. 30, No. 2B(84), s. 118.



Rysunek 1.6. Graf Gozinto – zadanie 1.3.

Źródło: opracowanie własne.

Wyznaczone w zadaniu 1.3 wielkości zapotrzebowania określa się zapotrzebowaniem brutto. Odejmując od niego istniejące stany magazynowe oraz złożone wcześniej zamówienie, oblicza się zapotrzebowanie netto, co można zapisać wzorem²⁷:

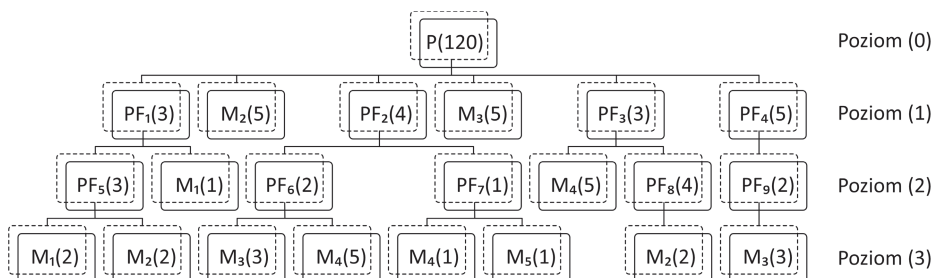
$$ZN = ZB - (SM + ZZ) \quad (1.1)$$

gdzie:

 ZN – zapotrzebowanie netto, ZB – zapotrzebowanie brutto, SM – istniejące stany magazynowe, ZZ – złożone wcześniej zamówienia (w drodze).

Zadanie 1.4

Pewne przedsiębiorstwo wytwarza produkt P złożony z komponentów przedstawionych na rysunku 1.7. Zgodnie z prognozami popytu pierwotnego ustalono, że należy wyprodukować 120 szt. wyrobu P.



Rysunek 1.7. Graf Gozinto – zadanie 1.4

Źródło: opracowanie własne.

²⁷ R. Barcik, M. Jakubiec, *Analiza rynku i prognozowanie popytu jako niezbędne działania dla prawidłowego funkcjonowania logistyki*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 389.

Tabela 1.1. przedstawia natomiast istniejące stany magazynowe (SM) oraz złożone wcześniej zamówienia (ZZ) na poszczególne materiały.

Tabela 1.1. Istniejące stany magazynowe oraz złożone wcześniej zamówienia

Materiały (M)	M1	M2	M3	M4
Stany magazynowe (SM)	1400	2000	380	2680
Złożone wcześniej zamówienia (ZZ)	1800	3000	5000	5000

Źródło: opracowanie własne.

Proszę obliczyć:

- ile jednostek poszczególnych materiałów przedsiębiorstwo potrzebuje do produkcji?
- ile jednostek poszczególnych materiałów przedsiębiorstwo powinno zamówić?

Zadanie 1.5

Pracując w grupach, biorąc pod uwagę wybrany rzeczywisty produkt (np. krzesło, ławka, łóżko, okno, drzwi, garnitur itp.), proszę:

- narysować graf Gozinto dla tego produktu,
- obliczyć potrzeby materiałowe niezbędne do produkcji 10 jednostek produktu.

1.3. Optymalizacja decyzji związanych z zapasami

1.3.1. Optymalizacja a suboptymalizacja

Kolejnym etapem procesu logistycznego w przedsiębiorstwie (po wyznaczeniu planu popytu wtórnego) jest wyznaczenie optymalnej wielkości pojedynczej dostawy.

Aby właściwie przeanalizować problem wyznaczania optymalnej wielkości dostawy czy – szerzej – optymalizacji decyzji związanych z zapasami, należy najpierw określić pojęcie **optymalizacji**, która definiowana jest jako: „wyznaczanie przy użyciu metod matematycznych optymalnego (najlepszego, najkorzystniejszego), ze względu na wybrane kryteria, rozwiązania danego problemu”²⁸. W definicji warto zwrócić uwagę na kilka aspektów. Po pierwsze, znajdowane rozwiązanie powinno być zawsze najlepsze pod kątem jakiegoś konkretnego kryterium (np. nie można jednocześnie obniżyć kosztów i podwyższać poziomu obsługi klienta). Po drugie,

²⁸ W. Kopaliński, *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych z almanachem*, Bertelsmann Media, Warszawa 2000, s. 363, s. v. „optymalizacja”.

rozwiązanie to powinno być najlepszym spośród dopuszczalnych, czyli inaczej, możliwych do osiągnięcia (np. optymalizacja parametrów nabywanego sprzętu komputerowego za określoną kwotę będzie wyglądała zupełnie inaczej w dniu dzisiejszym niż przed rokiem czy za rok).

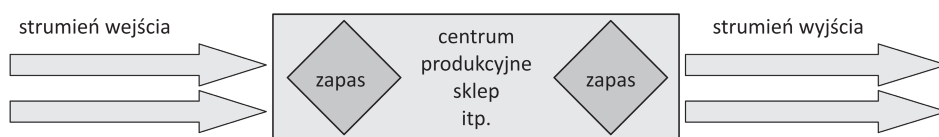
Z optymalizacją związane jest również pojęcie **suboptymalizacji**, definiowanej jako: wyznaczenie najlepszego rozwiązania w jednym obszarze działań bez uwzględniania skutków tego rozwiązania dla całego systemu. Jest to zjawisko zdecydowanie niekorzystne i wynika z braku podejścia systemowego przy rozwiązywaniu problemów decyzyjnych. Jak wspomniano wcześniej, jednym z zadań logistyki jest unikanie rozwiązań suboptymalnych na rzecz rozwiązań optymalnych (por. integracyjne funkcje logistyki)²⁹.

1.3.2. Istota, funkcje i czynniki kształtowania zapasów

Podstawową funkcją zapasów materiałowych i celem ich tworzenia jest zapewnienie nieprzerwanego toku produkcji. Zapasy materiałowe kształtowane są przez działanie dwóch strumieni:

- dostaw materiałowych (strumień dopływu),
- zużycia (strumień odpływu).

Strumienie te nie są z sobą w pełni zsynchronizowane, stąd pojawia się konieczność utrzymywania pewnej wielkości zapasów (por. rys. 1.8)³⁰.



Rysunek 1.8. Zapasy jako efekt braku synchronizacji strumieni wejścia i wyjścia

Źródło: opracowanie własne.

²⁹ M. Chaberek, *Makro- i mikroekonomiczne aspekty...*, s. 33.

³⁰ C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2003, s. 273.

Zapasy w przedsiębiorstwie utrzymywane są z wielu różnych powodów. Niemniej jednak wśród najważniejszych przyczyn ich utrzymywania, zwanych **funkcjami zapasów**, można wymienić następujące³¹:

- poprawa obsługi klienta,
- wspieranie ekonomiki produkcji,
- umożliwienie osiągnięcia korzyści skali w sferze zaopatrzenia,
- zabezpieczenie przed zmianami cen,
- zabezpieczenie przed niespodziewanymi zmianami popytu,
- zabezpieczenie przed niespodziewanymi zmianami podaży.

Na wielkość, a także strukturę zapasów w przedsiębiorstwie mogą mieć wpływ takie czynniki, jak³²:

- skala i rytmiczność produkcji,
- częstotliwość i wielkość dostaw,
- wpływ wielkości dostawy na koszty transportu,
- czas przygotowania materiałów do produkcji,
- szerokość oferty asortymentowej,
- rozwój rynku usług transportowych,
- stosowane metody sterowania zapasami.

1.3.3. Optymalizacja wielkości dostawy (model Wilsona)

Podstawowym problemem gospodarki zapasami jest optymalizacja decyzji związanych z utrzymywaniem zapasów, tzn. znalezienie wielkości zamówienia, dla której całkowity koszt związany z zapasami jest możliwie najmniejszy. W tym celu został stworzony specjalny model, zwany **modelem Wilsona**. Model ten opiera się na dwóch podstawowych założeniach³³:

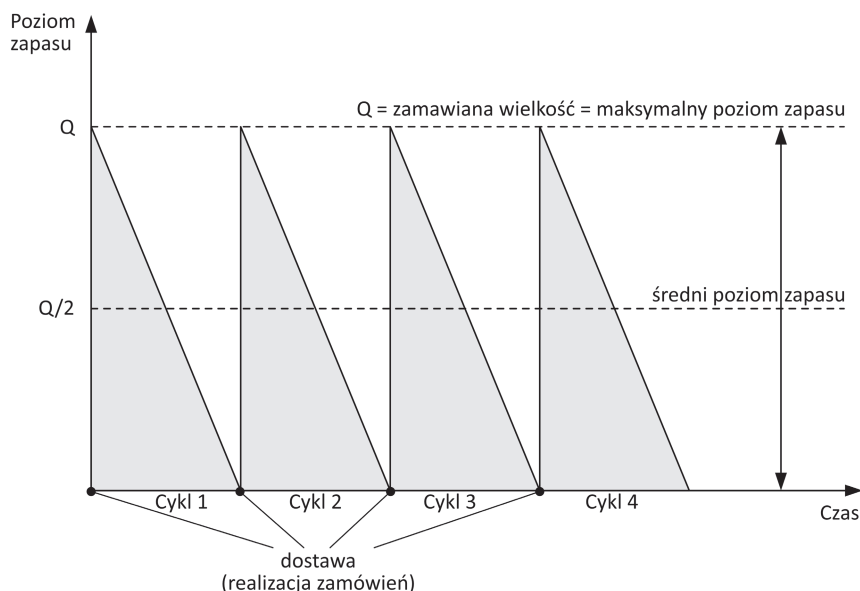
- 1) popyt na nabywane dobro jest stały w czasie (szereg czasowy ściśle stacjonarny),
- 2) dostawy następują dokładnie w momencie, gdy zapas w magazynie osiągnie poziom zerowy.

Przy tych założeniach zmiany stanów magazynowych można przedstawić graficznie za pomocą wykresu (rys. 1.9).

³¹ W. Sokołowski, *Podstawowe metody sterowania zapasami w przedsiębiorstwie*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Administracji i Biznesu im. E. Kwiatkowskiego w Gdyni”, pod red. M. Chrabkowskiego, Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu im. E. Kwiatkowskiego w Gdyni, Gdynia 2016, s. 136.

³² J. Bril, Z. Łukasik, *Metody zarządzania zapasami*, „Autobusy Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 3, s. 61.

³³ *Rachunek decyzyjny w logistyce zaopatrzenia*, pod red. M. Chaberka, Wydawnictwo Gdańskie Wyższej Szkoły Humanistycznej, Gdańsk 2002, s. 61.



Rysunek 1.9. Zmiana stanu zapasów w czasie zgodnie z założeniami modelu Wilsona
 Źródło: opracowanie własne na podstawie *Rachunek decyzyjny w logistyce zaopatrzenia...*, s. 62.

W modelu Wilsona uwzględniane są zarówno koszty utrzymania zapasów, jak i koszty ich odnawiania³⁴:

- 1) koszty utrzymywania zapasów w danym okresie,
- 2) koszty składania i realizacji zamówień w danym okresie,
- 3) koszty związane z wartością nabywanego dobra (warto je uwzględnić, jeśli cena jest zależna od wielkości zamówienia, np. w związku z uzyskanym rabatem).

Koszty te można zapisać wzorem:

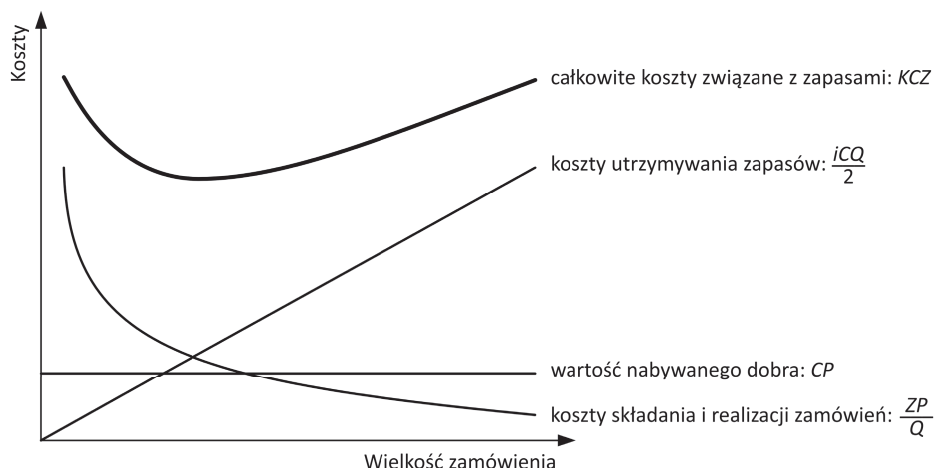
$$KCZ = \frac{iCQ}{2} + \frac{ZP}{Q} + CP \quad (1.2)$$

gdzie:

- KCZ – całkowite koszty związane z zapasami w danym okresie,
 i – procentowy wskaźnik kosztów utrzymania zapasów w danym okresie,
 C – cena jednostki produktu,
 Q – wielkość zamawianej partii,
 Z – koszt złożenia i realizacji zamówienia (w zł/zam.),
 P – wielkość popytu w danym okresie (całkowity wolumen zamawianych dóbr).

³⁴ *Ibidem*, s. 62.

Graficznie koszty te można przedstawić tak, jak na rysunku 1.10.



Rysunek 1.10. Koszty związane z zapasami

Źródło: opracowanie własne.

Korzystając z rachunku różniczkowego, można wyznaczyć wielkość dostawy Q^* , dla której całkowite koszty związane z zapasami KCZ są najmniejsze:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2ZP}{iC}} \quad (1.3)$$

gdzie:
oznaczenia jak wyżej.

Otrzymany wzór nazywany jest wzorem Wilsona lub wzorem na optymalną (ekonomiczną) wielkość zamówienia (EWZ). Z uwagi na to, że zawarty w mianowniku iloczyn wskaźnika kosztów utrzymania zapasów i jednostkowej ceny produktu jest *de facto* jednostkowym kosztem utrzymania zapasów, wzór (1.3) można zapisać również w nieco innej postaci:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2ZP}{h}} \quad (1.4)$$

gdzie:
 h – jednostkowe koszty utrzymywania zapasów w danym okresie,
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Zadanie 1.6

Pewne przedsiębiorstwo potrzebuje do produkcji swojego wyrobu 14 szt. materiału tygodniowo. Cena tego materiału wynosi 200 zł/szt. Miesięczne koszty magazynowania stanowią 3% ceny. Koszt zamówienia wynosi 5 zł na partię niezależnie od jej wielkości. Ile sztuk materiału przedsiębiorstwo powinno jednorazowo zamawiać, aby zminimalizować całkowite koszty związane z zapasami? Ile będą wynosiły całkowite koszty związane z zapasami dla obliczonej wielkości zamówienia? Wyniki przedstawić graficznie.

1.3.4. Modele sterowania zapasami (*re-order point*, *re-order cycle*)

Z uwagi na to, że założenia modelu Wilsona w praktyce są bardzo rzadko spełnione, stosuje się również inne **modele sterowania zapasami**. Pierwszym z nich jest model poziomu zapasu wyznaczającego moment zamawiania (ang. *re-order point*), w którym należy obliczyć³⁵:

- poziom zapasu alarmowego (poziom A), informujący o konieczności niezwłocznego opracowania zamówienia i przekazania go dostawcy:

$$A = \hat{y}\bar{L} + ks\sqrt{\bar{L}} \quad (1.5)$$

gdzie:

A – poziom zapasu alarmowego,

$\hat{y}$ – prognoza popytu w okresie przyjętym za jednostkowy (np. tydzień),

$\bar{L}$ – średni zaobserwowany czas realizacji zamówienia,

k – wielkość wynikająca z przyjętego współczynnika ryzyka p (wyczerpania zapasu), odczytywanego z tablic dystrybucyj rozkładu normalnego (np. dla $k = 3$ prawdopodobieństwo, że utworzony zapas pokryje ewentualny popyt, wynosi 99,85%),

s – standardowy błąd prognozy popytu;

- optymalną wielkość zamawianej partii (Q^*) wyznaczaną ze wzoru Wilsona (1.3) lub (1.4).

Drugim modelem sterowania zapasami jest **model stałego cyklu zamawiania** (ang. *re-order cycle*), w którym obliczane są³⁶:

- poziom zapasu maksymalnego (S):

$$S = \hat{y}(\bar{L} + R^*) + ks\sqrt{\bar{L} + R^*} \quad (1.6)$$

gdzie:

R^* – optymalny cykl zamawiania obliczany ze wzoru (1.7),

pozostałe oznaczenia jak wyżej;

³⁵ C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie...*, s. 280–282.

³⁶ *Ibidem*, s. 283–285.

- optymalny cykl zamawiania (R^*):

$$R^* = \frac{TQ^*}{P} \quad (1.7)$$

gdzie:

T – długość okresu przyjętego do obliczeń,

Q^* – optymalna wielkość zamówienia,

P – wielkość popytu w przyjętym horyzoncie planowania.

Zadanie 1.7³⁷

Pewne przedsiębiorstwo prowadzi sprzedaż listew aluminiowych o cenie jednostkowej 10,60 zł/kg. Otrzymano prognozę średniej miesięcznej wielkości popytu równą 505 kg, przy błędzie standardowym 57 kg. Koszt złożenia i realizacji pojedynczego zamówienia oszacowano na 69,23 zł, natomiast wskaźnik kosztów utrzymania zapasu na 20% rocznie. Okres realizacji zamówienia jest równy jednemu miesiącowi. Godząc się na 16% ryzyko braku zapasu, przyjęto współczynnik $k = 1$. Zakładając stosowanie odpowiednich modeli sterowania zapasami, obliczyć i zinterpretować:

- optymalną wielkość zamówienia,
- alarmowy poziom zapasu,
- optymalny cykl zamówienia,
- poziom zapasu maksymalnego.

1.3.5. Analiza ABC

Istotną kwestią związaną z gospodarowaniem zapasami jest umiejętne szacowanie ich cenności, określanej na przykład udziałem w wartości łącznego ich zużycia. W tym celu można wykorzystać **analizę ABC**. Przeprowadzana jest ona w celu uzyskania tzw. klasyfikacji ABC³⁸.

Analiza ABC polega na przyporządkowaniu wyrobów lub materiałów z pewnego ich zbioru do jednej z trzech grup wyróżnionych dla potrzeb planowania zakupów, produkcji lub gospodarki magazynowej³⁹:

- grupa A – zapasy cenne, stanowiące niewielki odsetek liczebności (zwykle od 5% do 20%), ale mające znaczący udział w wartości (zwykle od 75% do 80%). Grupę tę należy traktować ze szczególną uwagą w zakresie: analizy rynkowej, cenowej i struktury kosztów, szczegółowego przygotowywania zamówień handlowych, precyzyjnych procedur dysponowania w przedsiębiorstwie,

³⁷ Przykład pochodzi z: C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie...*, s. 285–287.

³⁸ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2002, s. 20.

³⁹ J. Bril, Z. Łukasik, *Metody zarządzania zapasami...*, s. 64.

właściwego zarządzania poziomami zapasów, precyzyjnego ustalania poziomów zapasów bezpieczeństwa;

- grupa B – zapasy mające średni (zwykle ok. 15–20%) udział zarówno w liczbie asortymentowej, jak i w ich wartości;
- grupa C – zapasy o charakterze masowym mające największy udział w liczbie asortymentowej (60–80%) i bardzo niski udział w wartości (ok. 5%).

Analiza ABC ma szerokie zastosowanie w wielu obszarach funkcjonowania przedsiębiorstwa. Umożliwia bowiem m.in.⁴⁰:

- analizę zużycia materiałów,
- analizę realizowanych zleceń,
- usprawnienie zarządzania jakością poprzez przyporządkowanie przyczyn wadliwości,
- planowanie programu obsługi eksploatacyjnej poprzez obliczenie czasu straconego z powodu awarii maszyn i urządzeń wskutek określonych przyczyn,
- redukcję różnorodności.

Kryterium przyporządkowania może być wielkość zapotrzebowania, produkcji lub sprzedaży w danym okresie. Podział na grupy wyznaczany jest na ogół proporcjami udziału. Jako proporcje dla poszczególnych grup można wykorzystać np.: **podział klasyczny**, w którym grupa A stanowi 80% sumarycznej wielkości kryterialnej, grupa B – 15%; natomiast grupa C – 5%. Innym podziałem jest klasyfikacja wg tzw. **zasady Pareto**, wówczas grupa A stanowi 20% liczby, grupa B – ok. 30%, a grupa C – 50%⁴¹.

Procedura postępowania w analizie ABC składa się z następujących etapów⁴²:

- 1) obliczenie wartości obrotu dla każdej pozycji asortymentowej (obrotu),
- 2) uporządkowanie tabeli malejąco wg obrotu,
- 3) obliczenie obrotu całkowitego,
- 4) obliczenie udziału sprzedaży każdej pozycji asortymentowej w sprzedaży ogółem,
- 5) wprowadzenie kolumny „skumulowana wartość udziału w sprzedaży”,
- 6) wydzielenie grup A, B i C zgodnie z przyjętym kryterium podziału.

⁴⁰ H. Wyrębek, *Znaczenie metody ABC w doskonaleniu jakości zarządzania*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Seria: Administracja i Zarządzanie” 2011, nr 88, s. 177–178.

⁴¹ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 20.

⁴² *Ibidem*, s. 22.

Zadanie 1.8⁴³

Tabela 1.2 przedstawia uszeregowany alfabetyczny wykaz towarów sprzedawanych przez sklep z zabawkami. Wyznaczyć grupy A, B i C, przyjmując jako kryterium podziału:

- 80% obrotu dla grupy A,
- 15% dla grupy B,
- 5% dla grupy C.

Tabela 1.2. Wykaz towarów sprzedawanych przez sklep z zabawkami

Lp.	Towar	Cena jednostkowa	Sprzedaż ilościowo
1	Klocki drewniane A	20	166
2	Klocki drewniane B	10	32
3	Klocki drewniane C	55	3015
4	Klocki drewniane D	70	169
5	Klocki Lego A	100	13
6	Klocki Lego B	200	32
7	Klocki Lego C	300	13
8	Klocki Lego D	130	911
9	Klocki Lego E	50	22
10	Klocki Lego F	50	332
11	Klocki Lego G	400	9
12	Klocki Lego H	80	178
13	Kolejka elektryczna A	1000	1
14	Kolejka elektryczna B	290	22
15	Lalka A	5	521
16	Lalka B	10	79
17	Lalka C	90	790
18	Lalka D	120	461
19	Luneta astronomiczna	950	67
20	Mikroskop	230	137
21	Piłka koszykowa	15	1632

⁴³ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 20–21.

Lp.	Towar	Cena jednostkowa	Sprzedaż ilościowo
22	Piłka nożna	28	3102
23	Piłka popularna	10	16
24	Szachy	20	237
25	Tor samochodowy A	100	9
26	Tor samochodowy B	400	14
27	Układanka 1	10	790
28	Układanka 2	10	363
29	Układanka 3	21	1880
30	Układanka 4	15	163
31	Układanka 5	15	142
32	Zestaw gier A	20	158
33	Zestaw gier B	30	21
34	Zwierzęta pluszowe A	10	301
35	Zwierzęta pluszowe B	15	121
36	Zwierzęta pluszowe C	20	142
37	Zwierzęta pluszowe D	25	139
38	Zwierzęta pluszowe E	30	53
39	Zwierzęta pluszowe F	35	203
40	Zwierzęta pluszowe G	55	172

Źródło: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 21.

1.3.6. Analiza XYZ

Analiza ABC nie dzieli materiałów na ważne i mniej ważne. Pomaga ona wyodrębnić pozycje asortymentowe o dużej wartości sprzedaży lub zużycia, co jest ważne z punktu widzenia zarządzania ich zapasami. Może ona okazać się niewystarczająca podczas rozpatrywania kluczowych elementów wpływających na ilość i jakość, decydujących o kosztach magazynowania. Dlatego analizę ABC przeprowadza się często łącznie z **analizą XYZ**, gdzie kryterium podziału może być na przykład regularność zapotrzebowania na produkty i związana z nią dokładność prognoz⁴⁴:

⁴⁴ J. Ziółkowski, J. Łada, *Analiza ABC i XYZ w gospodarowaniu zapasami* [w:] *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*, Wydawnictwo Społeczna Akademia Nauk, t. 15, z. 5, cz. 1, s. 87.

- grupa X (regularne zapotrzebowanie) – produkty charakteryzujące się regularnym zapotrzebowaniem o niewielkich wahaniami i wysokiej dokładności prognozowania,
- grupa Y (zmienne zapotrzebowanie) – produkty o sezonowych wahaniami zapotrzebowania lub wykazujące wyraźny trend popytu, dla których prognozy charakteryzują się średnią dokładnością,
- grupa Z (bardzo nieregularne i nieciągłe zapotrzebowanie) – produkty o nieregularnym zapotrzebowaniu i niskiej dokładności prognoz tego zapotrzebowania.

Po przeprowadzeniu analizy ABC i analizy XYZ opartej na kryterium dokładności prognoz wyniki przedstawić można w dwuwymiarowej **tabeli ABC/XYZ** (tab. 1.3).

Tabela 1.3. Tabela ABC/XYZ (wartość sprzedaży / dokładności prognoz)

Dokładność prognoz	Wartość sprzedaży		
	grupa A (wysoka wartość sprzedaży)	grupa B (średnia wartość sprzedaży)	grupa C (niska wartość sprzedaży)
grupa X (wysoka dokładność prognoz)	grupa AX (wysoka wartość i wysoka dokładność prognoz)	grupa BX (średnia wartość i dokładność prognoz)	grupa CX (niska wartość i dokładność prognoz)
grupa Y (średnia dokładność prognoz)	grupa AY (wysoka wartość i średnia dokładność prognoz)	grupa BY (średnia wartość i średnia dokładność prognoz)	grupa CY (niska wartość i średnia dokładność prognoz)
grupa Z (niska dokładność prognoz)	grupa AZ (wysoka wartość i niska dokładność prognoz)	grupa BZ (średnia wartość i niska dokładność prognoz)	grupa CZ (niska wartość i niska dokładność prognoz)

Źródło: opracowanie własne na podstawie J. Ziółkowski, J. Łada, *Analiza ABC i XYZ w gospodarowaniu zapasami...*, s. 88.

Innym kryterium klasyfikacji XYZ może być również charakter zużycia (sprzedaży) w ujęciu ilościowym, np.⁴⁵:

- grupa X – produkty wydawane w dużych ilościach, o masowym charakterze,
- grupa Y – produkty wydawane w średniej wielkości,
- grupa Z – produkty wydawane sporadycznie, jednostkowo.

⁴⁵ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 25.

Analogicznie do analizy XYZ opartej na kryterium dokładności prognoz również w przypadku analizy XYZ opartej na kryterium ilościowej wielkości sprzedaży wyniki przedstawić można w tabeli ABC/XYZ (tab. 1.4).

Tabela 1.4. Tabela ABC/XYZ (wartościowa i ilościowa wielkość sprzedaży)

Sprzedaż ilościowo	Sprzedaż wartościowo		
	grupa A (wysoka wartość sprzedaży)	grupa B (średnia wartość sprzedaży)	grupa C (niska wartość sprzedaży)
grupa X (wysoka ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa AX (wysoka wartościowa i ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa BX (średnia wartościowa i wysoka ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa CX (niska wartościowa i wysoka ilościowa wielkość sprzedaży)
grupa Y (średnia ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa AY (wysoka wartościowa i średnia ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa BY (średnia wartościowa i ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa CY (niska wartościowa i średnia ilościowa wielkość sprzedaży)
grupa Z (niska ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa AZ (wysoka wartościowa i niska ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa BZ (średnia wartościowa i niska ilościowa wielkość sprzedaży)	grupa CZ (niska wartościowa i ilościowa wielkość sprzedaży)

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie 1.9⁴⁶

Przeprowadzić klasyfikację XYZ dla artykułów przedstawionych w zadaniu 1.8, przyjmując następujące kryterium podziału:

- grupa X – wielkość sprzedaży w przedziale 1–100 szt.,
- grupa Y – wielkość sprzedaży w przedziale 101–500 szt.,
- grupa Z – wielkość sprzedaży powyżej 500 szt.

Zbudować tabelę ABC/XYZ dla tych produktów.

⁴⁶ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 20–21.

1.3.7. Koncepcja punktu rozdzielającego

Analizując decyzje związane z zapasami, warto również wspomnieć o tzw. **koncepcji punktu rozdzielającego**. Koncepcja ta polega na wyznaczeniu takiego punktu, w którym gromadzone są główne zapasy w łańcuchu dostaw. Punkt ten jednocześnie rozdziela strumień przepływu na obszar oddziaływania popytu niezależnego i zależnego, co przedstawia schemat na rysunku 1.11⁴⁷. Położenie punktu rozdzielającego zależy od charakteru wytwarzanego produktu. Na rysunku przedstawiono cztery typowe lokalizacje punktu rozdzielającego umożliwiające wyodrębnienie czterech poziomów indywidualizacji produktu.

Pierwszą grupę stanowią produkty wytwarzane do magazynu (ang. *make-to-stock*), które nie wymagają indywidualizacji. W skład tej grupy mogą wchodzić np. produkty spożywcze, ale także podstawowe narzędzia, typu młotki, śrubokręty itp. Punkt rozdzielający znajduje się bardzo blisko rynku zbytu (położenie pierwsze).

Druga grupa to produkty montowane lub wykańczane na zamówienie (ang. *assembly-to-order*). Są one indywidualizowane na końcu procesu produkcyjnego. Przykładem drugiej lokalizacji punktu rozdzielającego jest branża motoryzacyjnej, gdzie ostateczna wersja wyposażenia, np. rodzaj tapicerki, system GPS czy typ radia, jest możliwa do zamontowania na ostatnim poziomie procesu produkcyjnego po złożeniu zamówienia przez diler lub klienta.

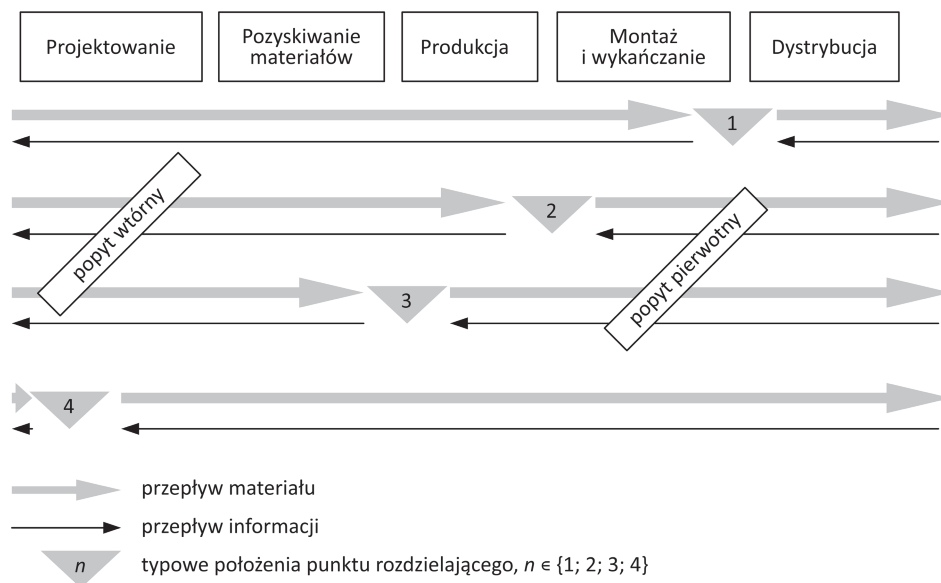
Produkty trzeciej grupy są wytwarzane na zamówienie (ang. *manufacture-to-order*). Indywidualizacja odbywa się tu we wcześniejszym etapie procesu produkcyjnego niż przy lokalizacji drugiej, co daje większe możliwości. Produkty tej grupy produkowane są ze standardowych komponentów, ale ostateczna konfiguracja tych komponentów jest dostosowana do potrzeb klienta.

Najbardziej zindywidualizowaną grupę stanowią produkty projektowane na zamówienie (ang. *engineer-to-order*), które od samego początku są projektowane i wytwarzane, tak aby zaspokoić unikalne potrzeby klienta.

Oddalanie punktu rozdzielającego od rynku zbytu powoduje obniżanie kosztów utrzymywania zapasów. Magazynowanie podzespołów (położenie drugie) lub materiałów (położenie trzecie i czwarte) jest zwykle tańsze niż magazynowanie wyrobów gotowych. Z drugiej jednak strony powoduje to wydłużanie czasu dostawy, co negatywnie wpływa na poziom obsługi klienta. Odpowiednie położenie punktu rozdzielającego pozwala też na dostosowywanie produktów do indywidualnych potrzeb klienta (np. położenie drugie, gdzie magazynowane są podzespoły tuż przed fazą montażu)⁴⁸.

⁴⁷ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 11.

⁴⁸ C. Bozarth, R.B. Handfield, *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*, Helion, Gliwice 2007, s. 242–243.



Rysunek 1.11. Typowe położenia punktu rozdzielającego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 11; C. Bozarth, R.B. Handfield, *Wprowadzenie do zarządzania...*, s. 243.

Charakterystykę czterech typowych lokalizacji punktu rozdzielającego przedstawia tabela 1.5.

Tabela 1.5. Charakterystyka typowych lokalizacji punktu rozdzielającego

Położenie	Cechy	Zalety	Wady
Położenie 1 (ang. <i>make-to-stock</i>) produkcja na zapas	– lokalizacja zapasów blisko konsumenta – posiadanie własnej sieci dystrybucji – w przypadku produktów standardowych o łatwym do prognozowania popycie (np. pieczywo)	– wysoka dostępność produktu – krótki czas oczekiwania na produkt	– wysokie koszty magazynowania i transportu

Tabela 1.5 cd.

Położenie	Cechy	Zalety	Wady
Położenie 2 (ang. <i>assembly-to-order</i>) montaż na zamówienie	– zapasy części i podzespołów przed fazą montażu – w przypadku produktów o modułowej strukturze, np. w branży motoryzacyjnej	– zmniejszenie zapasu ilościowo i wartościowo – możliwość indywidualizacji produktu	– wydłużenie czasu realizacji zamówienia
Położenie 3 (ang. <i>manufacturing-to-order</i>) wytwarzanie na zamówienie	– zapasy komponentów, z których mogą powstawać różne produkty – w przypadku posiadania zaawansowanego parku maszynowego i dostępu do wielu różnych procesów technologicznych	– dalsze zmniejszenie zapasu ilościowo i wartościowo – możliwość elastycznego reagowania na potrzeby klientów w fazie produkcji	– dalsze wydłużenie czasu realizacji zamówienia
Położenie 4 (ang. <i>engineer-to-order</i>) projektowanie na zamówienie	– skoncentrowanie zapasów u dostawcy – w przypadku produktów luksusowych, które zaspokajają specyficzne potrzeby klientów, szczególnie przez nich definiowane	– możliwość uczestniczenia przez klienta w procesie projektowania produktu	– znaczne wydłużenie czasu realizacji zamówienia

Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 11.

1.4. Ocena i wybór dostawcy lub wykonawcy

1.4.1. Przesłanki znaczenia procesu zakupów w logistyce przedsiębiorstwa

Zakupy zaopatrzeniowe odgrywają niezwykle istotną rolę w logistyce przedsiębiorstwa. Wynika to między innymi z następujących przesłanek⁴⁹:

- sprawne funkcjonowanie przedsiębiorstwa zależy od efektywnego zaspokojenia potrzeb materiałowych, energetycznych, a także w zakresie usług,

⁴⁹ C. Skowronek, Z. Sarjusz-Wolski, *Logistyka w przedsiębiorstwie...*, s. 165–166.

- wartość zużycia materiałów, paliw, energii i usług obcych stanowi podstawowy składnik kosztów działalności przedsiębiorstw (w przedsiębiorstwach produkcyjnych ok. 65%) i daje duże możliwości redukcji kosztów,
- znaczna część majątku obrotowego, zwłaszcza poziom i struktura zapasów materiałowych, a także produkcji niezakończonych, jest kształtowana pod wpływem funkcjonowania procesów zakupu,
- postępujące procesy specjalizacji zwiększają udział gotowych części, elementów i zespołów w strukturze zakupu,
- strategia w zakresie jakości produktów nie może być zrealizowana bez ścisłej współpracy z dostawcami.

1.4.2. Procedura wyboru dostawcy lub wykonawcy

Mając na uwadze wymienione przesłanki, problem oceny i wyboru dostawcy lub wykonawcy staje się jednym z najistotniejszych problemów decyzyjnych w zakresie wsparcia logistycznego przedsiębiorstwa. **Procedurę wyboru dostawcy lub wykonawcy** podzielić można na kilka następujących po sobie etapów postępowania⁵⁰.

Pierwszym etapem jest **identyfikacja potencjalnych dostawców lub wykonawców**. Wykorzystuje się w tym celu: katalogi, cenniki, reklamy, wystawy specjalistyczne, targi handlowe, a także (a w dzisiejszych czasach przede wszystkim) Internet.

Kolejnym etapem jest **określenie podstawowych kryteriów wyboru**. Lista kryteriów może być oczywiście różna w zależności od typu przedsiębiorstwa, jego obszaru działalności czy też preferencji. Dlatego też przedstawioną poniżej listę należy traktować jako przykładową⁵¹:

- jakość dostarczanych wyrobów,
- lokalizacja dostawcy,
- terminowość dostaw,
- czas realizacji zleceń,
- udzielane rabaty,
- warunki płatności,
- sposób opakowania,
- ocena dotychczasowej współpracy,
- komunikacja z dostawcą,
- sposób postępowania z reklamacjami,
- warunki dostawy,
- relacje z kadrą zarządzającą,

⁵⁰ *Ibidem*, s. 190.

⁵¹ T. Nowakowski, S. Werbińska-Wojciechowska, *Porównanie metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie – case study*, „Logistyka” 2012, nr 2, s. 938.

- innowacyjność,
- elastyczność dostawcy.

Mając określone kryteria oceny dostawcy, następuje **ustalenie zasad punktacji** w odniesieniu do poszczególnych kryteriów. Jest to jedno z trudniejszych zagadnień, ponieważ bardzo często wymaga kwantyfikacji cech mających charakter jakościowy. Na tym etapie należy określić zakres skali oraz jej kierunek (np. 5-punktowa, gdzie: 1 oznacza ocenę złą, 2 – dostateczną, 3 – wystarczającą, 4 – dobrą, 5 – bardzo dobrą). Przykładowo, dla kryterium „jakość” skala oceny może wyglądać następująco:

- 5 – dostawca materiałów o najwyższej jakości,
- 4 – jakość nieznacznie przewyższa wymagania minimalne,
- 3 – gdy jakość odpowiada wymaganiom minimalnym,
- 2 – gdy jakość znajduje się poniżej jakości minimalnej,
- 1 – gdy jakość nie odpowiada wymaganiom minimalnym.

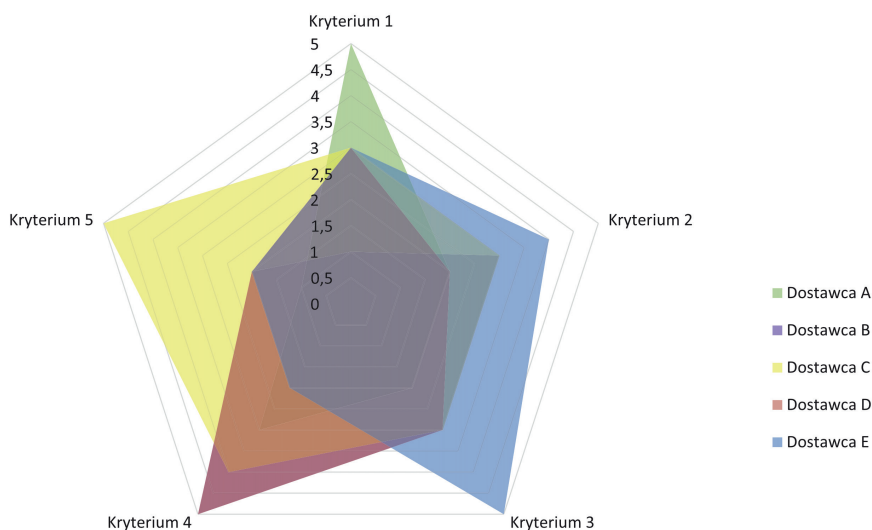
Nieco łatwiej oceny dokonuje się dla kryterium mającego charakter ilościowy, np. „poziom ceny”:

- 5 – cena niższa o więcej niż 5% od poziomu przeciętnego,
- 4 – cena w przedziale do 5% poniżej ceny przeciętnej,
- 3 – cena równa się cenie przeciętnej,
- 2 – cena w przedziale do 5% powyżej ceny przeciętnej,
- 1 – cena wyższa o więcej niż 5% od poziomu przeciętnego.

Kolejnym etapem postępowania może być **zróznicowanie kryteriów** z uwagi na to, że nie wszystkie kryteria mają jednakowe znaczenie dla przedsiębiorstwa dokonującego oceny i wyboru dostawcy. Różnicowanie to może odbywać się na dwa sposoby. Pierwszym z nich jest prezentacja graficzna z wykorzystaniem tzw. wykresu radarowego (rys. 1.12).

Analizując wykres na rysunku 1.12, można, w zależności od preferencji przedsiębiorstwa, dokonać wyboru dostawcy, który w większym stopniu spełnia kryteria istotne dla przedsiębiorstwa. Jeżeli, na przykład, ważniejsze dla przedsiębiorstwa będą kryteria 2 i 3, wówczas wybrany będzie dostawca E, jeśli zaś kryterium 5, wówczas lepszym okaże się dostawca C.

Innym sposobem zróznicowania kryteriów jest analiza algebraiczna przez wprowadzenie wag przypisanych każdemu kryterium. Istotniejsze kryteria otrzymują wyższe wagi, mniej ważne – mniejsze.



Rysunek 1.12. Graficzna prezentacja oceny dostawców

Źródło: L. Reszka, *The applicability of the Simos' method to determination of weights in optimal multicriteria decision making in logistics* [w:] *Modelling of logistics processes and systems, part XVII*, eds. M. Chaberek, L. Reszka, „Research Journal of the University of Gdańsk Transport Economics and Logistics”, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2017, s. 84.

Następnym krokiem w procedurze wyboru dostawcy lub wykonawcy jest **obliczenie oceny sumarycznej** poszczególnych dostawców. Najprostszym miernikiem jest zwykła suma ocen kryteriów:

$$G_j = \sum_{i=1}^m k_{ij} \quad (1.8)$$

gdzie:

G_j – ocena j -tego dostawcy lub wykonawcy ($j = 1, 2, \dots, n$),

k_{ij} – ocena i -tego kryterium ($i = 1, 2, \dots, m$) u j -tego dostawcy,

m – liczba rozpatrywanych kryteriów.

Jeżeli decydentowi zależy na tym, aby ocena sumaryczna była w takim samym przedziale jak oceny poszczególnych kryteriów, wówczas obliczana jest średnia arytmetyczna prosta:

$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^m k_{ij}}{m} \quad (1.9)$$

oznaczenia jak wyżej.

W przypadku różnicowania kryteriów za pomocą wag suma zastępowana jest sumą iloczynów (ocen kryteriów i odpowiadających im wag):

$$G_j = \sum_{i=1}^m w_i k_{ij} \quad (1.10)$$

gdzie:

w_i – waga i -tego kryterium ($i = 1, 2, \dots, m$)
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Natomiast średnia arytmetyczna prosta zastępowana jest arytmetyczną średnią ważoną:

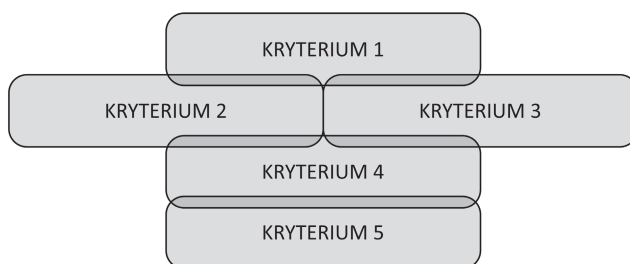
$$G_j = \frac{\sum_{i=1}^m w_i k_{ij}}{\sum_{i=1}^m w_i} \quad (1.11)$$

oznaczenia jak wyżej.

Niewątpliwym atutem przedstawionej procedury jest zróżnicowanie kryteriów uzyskane dzięki wagom, natomiast mankamentem jest brak sformalizowanej procedury ich przypisywania, co może powodować wprowadzenie elementu przypadkowości do otrzymanych wyników. Stąd też oprócz zastosowania opisanych powyżej klasycznych metod rozwiązywania wielokryterialnych problemów optymalizacyjnych (bo takim niewątpliwie jest problem oceny i wyboru dostawcy) zasadne wydaje się zastosowanie metody zaczerpniętej z zakresu badań operacyjnych, jaką jest tzw. **metoda Simosa**⁵².

Metoda Simosa polega na określaniu wag z wykorzystaniem dwóch zestawów kart, co umożliwia wizualizację i intuicyjne zrozumienie rozwiązywanego problemu decyzyjnego. Karty pierwszego zestawu zawierają informacje na temat kryteriów, takie jak przede wszystkim ich nazwy oraz, ewentualnie, inne dodatkowe informacje. Drugi typ to natomiast karty puste. Ich liczba, deklarowana przez uczestnika badania, zależy od postrzeganego przez niego zróżnicowania kryteriów. Po otrzymaniu kart uczestnik badania segreguje zapisane karty według istotności na nich kryteriów, od najmniej do najbardziej istotnego. Karty reprezentujące równie istotne kryteria spinane są zszywaczem lub związywane gumką. Przykład takiego uporządkowania przedstawia rysunek 1.13.

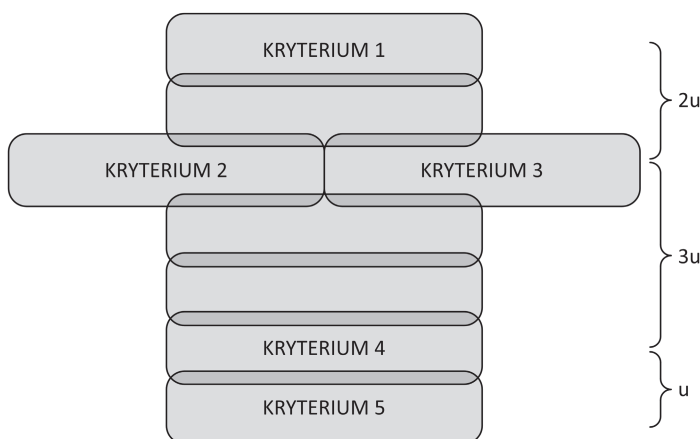
⁵² J. Simos, *Evaluer l'impact sur l'environnement: Une approche originale par l'analyse multicritere et la negociation*, „Presses Polytechniques et Universitaires Romandes”, Lausanne 1990 [za:] J. Figueira, B. Roy, *Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure*, „European Journal of Operational Research” 2002, No. 139, s. 317.



Rysunek 1.13. Wizualizacja hierarchii istotności kryteriów oceny dostawców

Źródło: L. Reszka, *The applicability of the Simos' method...*, s. 85.

Karty puste wykorzystywane są natomiast do różnicowania odległości pomiędzy kartami (lub ich spiętymi zestawami). W przypadku braku pustej karty między dwoma zapisanymi różnicą istotności tych kryteriów odpowiada wartość u stanowiącą jednostkę pomiaru. Jedna pusta karta oznacza odległość równą $2u$, dwie puste karty $3u$ itd., co zobrazowano na rysunku 1.14.



Rysunek 1.14. Określanie odległości pomiędzy istotnością poszczególnych kryteriów oceny dostawców

Źródło: L. Reszka, *The applicability of the Simos' method...*, s. 86.

Mając tak zwizualizowaną hierarchię kryteriów wraz z odległościami pomiędzy ich istotnością, można przedstawić dane w formie tabeli (pierwsze dwie kolumny tabeli 1.6), która posłuży również do zobrazowania następnych etapów procedury. Kolejnym krokiem jest wpisanie w trzecią kolumnę tabeli informacji dotyczących liczby kart dla danej pozycji w rankingu oraz łącznej liczby kart wykorzystanych przez decydenta. Następnie poszczególnym kartom nadawane są numery porządkowe

w postaci kolejnych liczb naturalnych (kolumna czwarta). Na ich podstawie, tylko dla zapisanych kart, obliczane są wagi nieznormalizowane, zwane przez Simosa przeciętnymi (ang. *average weights*⁵³), jako stosunek sumy numerów porządkowych przypisanych do danego miejsca w rankingu przez liczbę tych numerów (kolumna piąta). Dalej następuje normalizacja wag, by sumowały się one do jedynki (dwie ostatnie kolumny tabeli 1.6); uzyskane w ten sposób znormalizowane wagi Simosa określił mianem wag względnych (ang. *relative weights*⁵⁴).

Tabela 1.6. Określenie wag dla kryteriów za pomocą procedury Simosa

Pozycja w rankingu	Zestaw kart	Liczba kart	Numery kart	Waga nieznormalizowana	Waga znormalizowana	Suma wag znormalizowanych
1	K ₅	1	1	1	0,04	0,04
2	pusta	1	2	×	×	×
3	K ₃ , K ₄	2	3, 4	$(3 + 4) / 2 = 3,5$	0,15	0,30
4	pusta	1	5	×	×	×
4	pusta	1	6	×	×	×
6	K ₁	1	7	7	0,30	0,30
7	K ₂	1	8	8	0,35	0,35
Suma	×	8	×	×	×	1,00

Źródło: L. Reszka, *The applicability of the Simos' method...*, s. 86.

Po zakończeniu procedury przypisywania wag można obliczyć oceny sumaryczne poszczególnych dostawców, zgodnie z przedstawianym w literaturze logistycznej, podanym również we wcześniejszej części niniejszego rozdziału, wzorem na sumę iloczynów (1.10)⁵⁵.

Zaprezentowana metoda Simosa znalazła zastosowanie w rozwiązywaniu konkretnych problemów decyzyjnych, jednakże i ona nie jest pozbawiona wad, do których przede wszystkim zaliczyć należy fakt, że uwzględnia ona, co prawda, odległość pomiędzy istotnością poszczególnych kryteriów, nie uwzględnia jednak informacji o tym, ile razy najbardziej istotne kryterium jest ważniejsze dla decydenta od tego

⁵³ J. Figueira, B. Roy, *Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure*, „European Journal of Operational Research” 2002, No.139, s. 330.

⁵⁴ *Ibidem*.

⁵⁵ Z uwagi na fakt, że wagi sumują się do jedynki, sumy iloczynów są tożsame z arytmetycznymi średnimi ważonymi.

najmniej istotnego. Właśnie ten aspekt ważności kryteriów (stosunek najważniejszego do najmniej ważnego) został dodany do procedury **zmodyfikowanej metody Simosa**. Stosunek ten oznaczany jest symbolem s , a na jego podstawie obliczana jest odległość u :

$$u = \frac{s-1}{\text{całkowita liczba pozycji w rankingu} - 1} \quad (1.12)$$

Zakładając, że w omawianym przykładzie decydent stwierdził, iż kryterium 5 ma dziesięciokrotnie większe znaczenie niż kryterium 1, odległość u wyniosłaby 1,5. Również w tej odmianie procedury Simosa, z uwzględnieniem wyznaczonej odległości u , obliczane są wagi nieznormalizowane, a na ich podstawie, analogicznie do wersji podstawowej, wagi znormalizowane (tab. 1.7)⁵⁶.

Tabela 1.7. Określenie wag dla kryteriów za pomocą zmodyfikowanej procedury Simosa

Pozycja w rankingu	Karta	Waga nieznormalizowana	Waga znormalizowana w_j
1	K_5	1	0,04
2	pusta	2,5	
3	K_3	4	0,15
3	K_4	4	0,15
4	pusta	5,5	
5	pusta	7	
6	K_1	8,5	0,31
7	K_2	10	0,36
Suma	×	27,5	1,00

Źródło: L. Reszka, *The applicability of the Simos' method...*, s. 86.

Po obliczeniu odpowiedniej oceny sumarycznej następuje **podjęcie decyzji o wyborze dostawcy lub wykonawcy**. Przed podjęciem ostatecznej decyzji zwykle przeprowadza się końcowe negocjacje i ustala szczegółowe warunki współpracy.

⁵⁶ D. Górecka, *Wielokryterialne wspomaganie wyboru projektów europejskich*, Wydawnictwo „Dom Organizatora”, Toruń 2009, s. 192–197; A. Kobryń, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzenią*, Difin, Warszawa 2014, s. 50–52; J.J. Figueira, B. Roy, *Determining the weights of criteria...*, s. 318–319; L. Reszka, *The applicability of the Simos' method...*, s. 85–87.

Umowa powinna regulować w sposób możliwie precyzyjny wymagania dotyczące zarówno właściwości wyrobów, jak i zasad współpracy⁵⁷:

- czas dostawy,
- zapas magazynowy,
- sposób zamawiania i informowania dostawcy o planowanych potrzebach,
- w przypadku zakupu dóbr inwestycyjnych harmonogram realizacji poszczególnych etapów zadania inwestycyjnego oraz warunki odbioru technicznego,
- zapisy dotyczące sytuacji, w których jedna ze stron nie wywiązuje się ze swoich zobowiązań (opóźnienia w dostawach, reklamacje, nieterminowe płatności),
- warunki gwarancji,
- procedura reklamacyjna (w niej czas wymiany wyrobów lub usunięcia usterek),
- okres wypowiedzenia umowy i jego warunki.

1.4.3. Single sourcing, dual sourcing i multi sourcing

Z podjęciem decyzji o wyborze dostawcy związane jest jeszcze jedno istotne zagadnienie, a mianowicie decyzja o współpracy z jednym dostawcą (ang. *single sourcing*), z dwoma dostawcami (ang. *dual sourcing*), lub współpracy z większą liczbą dostawców (ang. *multi sourcing*). Tabela 1.8 przedstawia zestawienie zagrożeń i zalet korzystania z jednego źródła dostaw, które może być przydatne przy podejmowaniu takiej decyzji.

Tabela 1.8. Zagrożenia i zalety korzystania z jednego źródła dostaw

Zagrożenia	Zalety
– problemy dostawcy (zagrożona płynność finansowa, niedostateczne moce produkcyjne, awarie, strajki, pożary itp.) wywołują duże trudności u zamawiającego – zareklamowanie całej partii materiałów jest równoznaczne z zatrzymaniem produkcji u zamawiającego – zatrzymanie produkcji u dostawcy stwarza wysokie ryzyko przestoju u zamawiającego	– niższe koszty wykonania i utrzymania oprzyrządowania (przeglądy, naprawy, remonty) – niższe koszty utrzymania zapasów magazynowych w sieci logistycznej – niższe koszty transportu – niższe koszty kontroli ilościowej i jakościowej – niższe koszty audytów, negocjacji, uzgodnień, przygotowania, rejestrowania i rozliczania dokumentów (umowy, zamówienia, faktury, przelewy)

⁵⁷ T. Urbańczyk, *Logistyka zaopatrzenia* [w:] *Logistyka w biznesie*, pod red. M. Ciesielskiego, PWE, Warszawa 2006, s. 101.

Zagrożenia	Zalety
– zwiększony okresowy popyt na materiały (ponad zdolności produkcyjne dostawcy) nie daje możliwości zrealizowania w krótkim czasie zwiększonego planu u zamawiającego – dostawca może mieć skłonności do wykorzystywania pozycji jedyne go dostawcy	– większe serie produkcyjne – niższe koszty jednostkowe wytworzenia u dostawcy – niższe ceny – brak trudności z identyfikacją w przypadku powstania braków w procesie produkcyjnym lub reklamacji klienta

Źródło: T. Urbańczyk, *Logistyka zaopatrzenia...*, s. 105.

Zadanie 1.10⁵⁸

Pewne przedsiębiorstwo rozważa wybór jednego z dwóch dostawców. Dane na temat ocen poszczególnych kryteriów zawiera tabela 1.9.

1. Którego dostawcę wybierze przedsiębiorstwo, zakładając, że wszystkie kryteria są dla niego jednakowo istotne (bez wprowadzania wag)?
2. Którego dostawcę wybierze przedsiębiorstwo, zakładając, że różnicuje kryteria zgodnie z przedstawionymi w tabeli wagami?

Zaprezentować ocenę graficznie za pomocą wykresu radarowego.

Tabela 1.9. Kryteria oceny dostawcy A i dostawcy B

Kryterium oceny	Cecha	Waga	Dostawca A	Dostawca B
1. Jakość materiału	1.1. Poziom jakości	4	4	3
	1.2. Trwałość	3	3	3
	1.3. Czystość	3	5	4
2. Cena	2.1. Poziom w stosunku do konkurencji	5	2	4
	2.2. Warunki płatności	3	4	3
	2.3. Elastyczność	2	4	2
3. Terminowość dostaw	3.1. Długość terminów	4	4	4
	3.2. Solidność w dotrzymaniu terminów	3	5	4
	3.3. Zachowanie wielkości dostaw	2	4	3
4. Usługi dodatkowe	4.1. Własny transport	5	2	4
	4.2. Utrzymywanie zapasów	1	3	4

Źródło: S. Abt, *Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie...*, s. 74.

⁵⁸ Przykład pochodzi z: S. Abt, *Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 1998, s. 74.

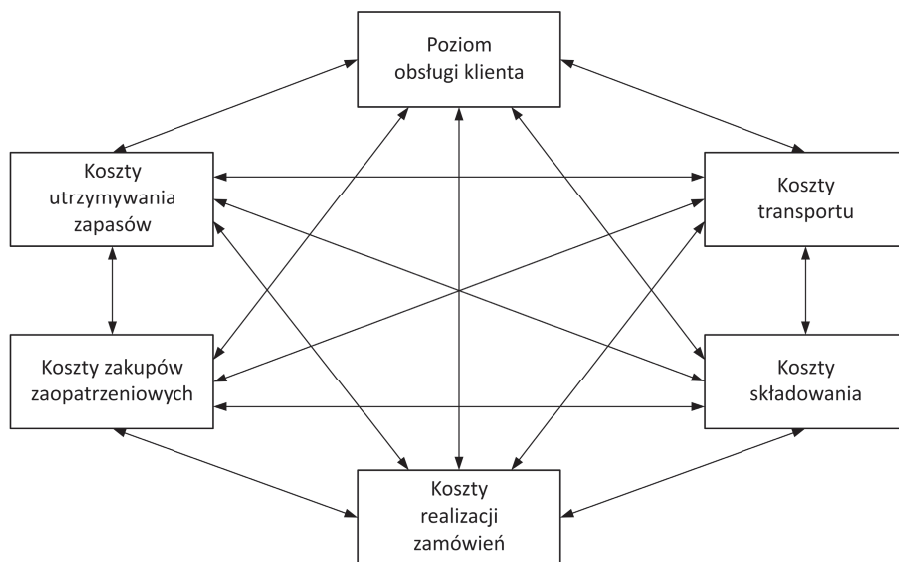
1.5. Logistyczny rachunek kosztów

1.5.1. Rachunek kosztów globalnych

Punktem wyjścia do polityki racjonalizacji i obniżki kosztów logistycznych jest zrozumienie ich kompleksowego charakteru. Pomagają to zrozumieć trzy koncepcje⁵⁹:

- koncepcja globalnych kosztów logistycznych,
- koncepcja współzależności kosztów,
- koncepcja unikania suboptymalizacji.

Pierwszą z nich jest **koncepcja globalnych kosztów logistycznych**, która opiera się na założeniu, że wszystkie działania przedsiębiorstwa związane z zapewnieniem zasobów, czyli z realizacją procesów logistycznych, powinny być traktowane jako całość, a nie indywidualnie. Jest ona w oczywisty sposób związana z **koncepcją współzależności kosztów**, w myśl której decyzje logistyczne mogą spowodować wzrost jednych kosztów i spadek innych, a dodatkowo każda z grup kosztów logistycznych związana jest z poziomem obsługi klienta, zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego. Zależności te schematycznie zostały przedstawione na rysunku 1.15.

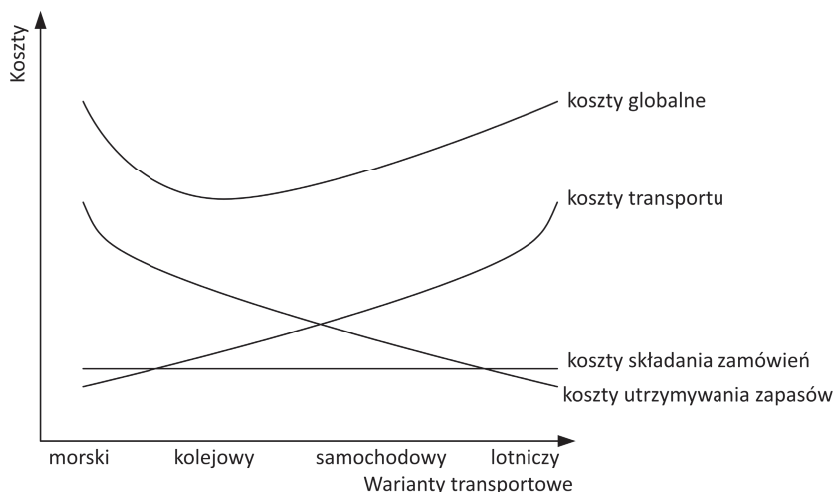


Rysunek 1.15. Współzależności kosztów logistycznych

Źródło: F.J. Beier, K. Rutkowski, *Logistyka...*, s. 25.

⁵⁹ F.J. Beier, K. Rutkowski, *Logistyka*, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1993, s. 23–24.

Jako przykład decyzji wpływającej na koszty logistyczne można wskazać decyzję dotyczącą wyboru gałęzi transportu, co modelowo zilustrowano na rysunku 1.16.



Rysunek 1.16. Model współzależności kosztów występujących przy wyborze gałęzi transportu

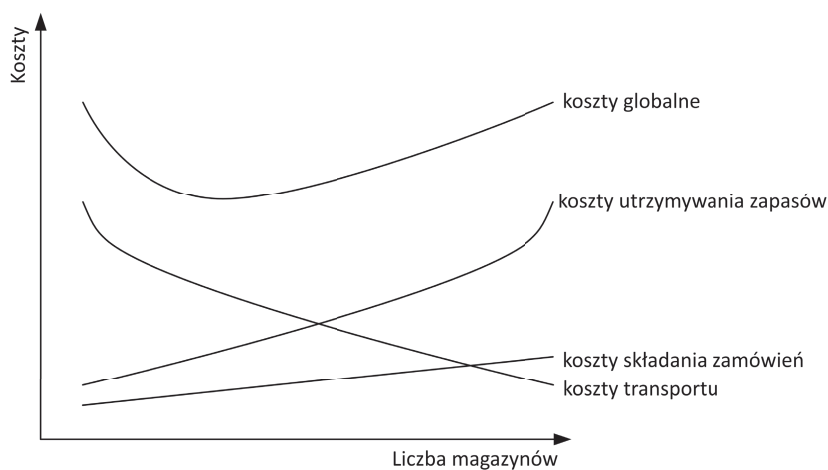
Źródło: F.J. Beier, K. Rutkowski, *Logistyka...*, s. 27.

Jak widać na rysunku, po zastąpieniu masowego, relatywnie wolnego transportu morskiego lub kolejowego bardziej zindywidualizowanym, szybszym transportem samochodowym lub lotniczym spadają koszty utrzymania zapasów, rosną natomiast koszty samego transportu. Koszty składania zamówień pozostają natomiast zwykle na niezmiennym poziomie.

Kolejnym przykładem współzależności kosztów może być decyzja dotycząca liczby magazynów w systemie dystrybucyjnym przedsiębiorstwa (rys. 1.17).

Jak widać na rysunku, po zwiększeniu liczby magazynów spadają koszty transportu, rosną natomiast koszty utrzymania zapasów, co jest związane ze zwiększeniem ilości magazynowanego zasobu w całym systemie dystrybucyjnym (por. koncepcję punktu rozdzielającego opisaną w punkcie 1.3.7). Koszty składania zamówień przedstawiono na rysunku 1.17 jako linię nieznacznie rosnącą, jednakże prawdopodobne jest również ich pozostanie na niezmiennym poziomie (z uzasadnieniem analogicznym do przykładu współzależności kosztów występujących przy wyborze gałęzi transportu).

Współzależność kosztów dotyczy również decyzji o wyborze wielkości zamawianej partii, co zostało omówione w punkcie 1.3.3 z prezentacją graficzną na rysunku 1.10.



Rysunek 1.17. Model współzależności kosztów występujących przy określaniu liczby magazynów w systemie dystrybucyjnym

Źródło: F.J. Beier, K. Rutkowski, *Logistyka...*, s. 28.

Zdając sobie sprawę ze współzależności kosztów oraz konieczności postrzegania kosztów logistycznych w sposób kompleksowy, możliwe jest uniknięcie decyzji suboptymalnych na rzecz optymalnych w skali całego przedsiębiorstwa. Jednym z zastosowań omawianej problematyki jest wzór na tzw. **globalne koszty logistyczne**:

$$GKL = s_x P + it_x CP + Z(P/Q) + iCQ/2 + it_{bx} CP \quad (1.13)$$

gdzie:

GKL – globalne koszty logistyczne,

s_x – stawka przewozowa w gałęzi x ,

P – roczny popyt (całkowity wolumen zamawianych dóbr),

i – procentowy roczny wskaźnik kosztów utrzymania zapasów,

tx – czas dostawy produktu gałęzią x (jako ułamek roku),

C – cena jednostki produktu,

Q – wielkości zamawianej partii dostawy,

Z – koszt złożenia zamówienia,

t_{bx} – czas utrzymywania zapasu bezpieczeństwa (jako ułamek roku).

Analizując prezentowany wzór, można zauważyć, że globalne koszty logistyczne wyrażone są w nim jako suma:

- kosztów transportu, obliczanych jako iloczyn stawki przewozowej (s_x) i wolumenu zamawianych dóbr w danym roku (P);
- kosztów utrzymywania zapasów w drodze (składowania in-transit), obliczanych jako iloczyn wskaźnika kosztów utrzymywania zapasów (i), czasu

realizacji zamówienia (t_x), jednostkowej ceny produktu (C) oraz wolumenu rocznych dostaw (P);

- kosztów składania zamówień, obliczanych, podobnie jak w modelu Wilsona, jako iloczyn kosztów składania pojedynczego zamówienia (Z) i liczby zamówień, które są natomiast ilorazem rocznego popytu (P) przez wielkość przesyłki (Q);
- kosztów zapasów utrzymywanych w magazynie przedsiębiorstwa, które składają się z zapasów wynikających z cyklu dostaw (ich koszty oblicza się analogicznie do modelu Wilsona jako iloczyn połowy wielkości przesyłki (Q), jednostkowej wartości produktu (C) i wskaźnika kosztów utrzymywania zapasów (i)) oraz zapasów bezpieczeństwa (koszty zapasów bezpieczeństwa obliczane są z kolei jako iloczyn rocznego popytu (P), jednostkowej wartości produktu (C), wskaźnika kosztów utrzymywania zapasów (i) oraz liczby dni objętych zapasem bezpieczeństwa (t_{bx})).

Zadanie 1.11⁶⁰

Pewne przedsiębiorstwo rozważa wybór jednego z dwu wariantów przewozu 2000 ton pewnego produktu – wariant kolejowy i transport samochodowy. Cena produktu wynosi 5 zł za kg, roczny wskaźnik rocznych kosztów utrzymywania zapasów 30%, koszty składania pojedynczego zamówienia wynoszą w transporcie samochodowym 100 zł, natomiast w kolejowym 200 zł, stawka przewozowa wynosi 5,5 zł za 100 kg w transporcie samochodowym i 2 zł za 100 kg w kolejowym. Pojedyncza przesyłka samochodowa to 24 tony, a kolejowa 40 ton. Czas dostawy samochodem wynosi 5 dni, w związku z czym przedsiębiorstwo utrzymuje zapas bezpieczeństwa przez 3 dni. Natomiast czas dostawy koleją wynosi 12 dni, co powoduje konieczność utrzymywania zapasu bezpieczeństwa przez 6 dni.

Który wariant wybierze przedsiębiorstwo, kierując się rachunkiem opartym o globalne koszty logistyczne?

1.5.2. ABC jako metoda zarządzania procesami logistycznymi

Metoda kalkulacji kosztów ABC zwana jest również koncepcją rachunku kosztów pełnych na bazie elementarnych procesów. Jej nazwa pochodzi od pierwszych liter słów angielskiej nazwy (ang. *activity based costing*), a twórcami są Robert Samuel Kaplan i Robin Cooper⁶¹. Zgodnie z tą koncepcją każda działalność gospodarcza składa się z wielu różnych rodzajów działań (procesów) niezbędnych do

⁶⁰ Przykład pochodzi z: F.J. Beier, K. Rutkowski, *Logistyka...*, s. 65.

⁶¹ R.S. Kaplan, R. Cooper, *Cost and effect. Using integrated costs systems to drive profitability and performance*, Harvard Business School Press, Boston 1998.

wytworzenia i sprzedaży produktów. Procedura rozliczania kosztów składa się natomiast z dwóch etapów. Pierwszy z nich polega na rozliczeniu kosztów zasobów na działania za pomocą nośników kosztów zasobów, drugi zaś – na rozliczeniu kosztów działań na obiekty kosztów (np. produkty) za pomocą nośników kosztów działań (rys. 1.18)⁶².



Rysunek 1.18. Sposób rozliczania kosztów w metodzie ABC

Źródło: A. Skarżyńska, *Rachunek kosztów działań – nowe spojrzenie...*, s. 51.

Zadanie 1.12⁶³

Pewne przedsiębiorstwo produkuje trzy produkty X, Y i Z w ilościach odpowiednio 30.000 szt., 20.000 szt. i 8.000 szt. Do produkcji tych wyrobów zużywane są różne liczby różnych komponentów, odpowiednio 5, 5 i 11. Koszty materiałów bezpośrednich wynoszą 25 zł na jednostkę produktu X, 20 zł na jednostkę Y oraz 11 zł na jednostkę produktu Z. By wyprodukować jednostkę produktu X, należy poświęcić 1 godz. 20 min robocizny bezpośredniej i tyle samo pracy maszyn. Na produkcję jednostki wyrobu Y natomiast 2 godz. robocizny bezpośredniej i 1 godz. pracy maszyn, zaś na jednostkę wyrobu Z 1 godz. robocizny bezpośredniej i 2 godz. pracy maszyn. Koszty robocizny bezpośredniej wynoszą odpowiednio 8 zł, 12 zł i 6 zł na jednostkę produktu. Wyrób X produkowany jest w wyniku 3 serii produkcyjnych, 9 dostaw, 15 zamówień na dostawy oraz 15 zamówień produkcyjnych, wyrób Y w wyniku 7 serii produkcyjnych, 3 dostaw, 10 zamówień na dostawy oraz 10 zamówień produkcyjnych, zaś wyrób Z w wyniku 20 serii produkcyjnych, 20 dostaw, 25 zamówień oraz 25 zamówień produkcyjnych.

⁶² A. Skarżyńska, *Rachunek kosztów działań – nowe spojrzenie*, „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej” 2012, nr 3(332), s. 51.

⁶³ Przykład pochodzi z: B. Kapcia, *Activity – Based Costing jako metoda zarządzania procesami logistycznymi*, Habex, Gliwice 1996.

Koszty ogólne składają się z:

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| – kosztów ustawienia maszyn: | 30.000 zł |
| – kosztów utrzymania maszyn: | 760.000 zł |
| – kosztów składania zamówień: | 435.000 zł |
| – kosztów realizacji zamówień: | 250.000 zł |
| – kosztów działu głównego technologa: | 373.000 zł |

Wyznaczyć koszty produkcji poszczególnych wyrobów, wykorzystując metodę ABC.

1.6. Projekt systemu wsparcia logistycznego przedsiębiorstwa

Zadanie 1.13

Praca w kilkusobowych grupach.

1. Wykorzystując opisane w niniejszym rozdziale metody, zaprojektować system wsparcia logistycznego dowolnego przedsiębiorstwa (może być fikcyjne).
2. Wyniki przedstawić w formie prezentacji multimedialnej.

2. Prognozowanie w logistyce

2.1. Pojęcie prognozowania

2.1.1. Definicja prognozowania i prognozy

Jak wspomniano, popyt jest zgłaszany przez konsumentów na rynku. Nie można go więc w pełni zaplanować, można go co najwyżej prognozować. Stąd też istotną kwestią, wartą przeanalizowania, jest **prognozowanie**.

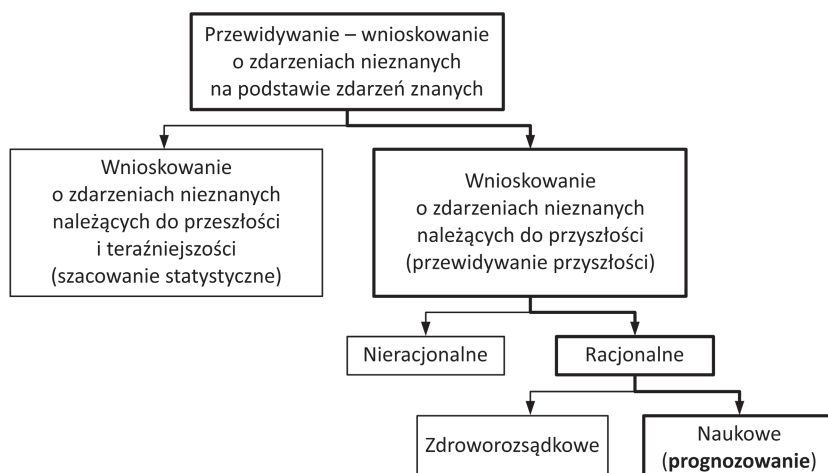
Według *Słownika języka polskiego* prognozowanie to rzeczownik pochodzący od czasownika prognozować, co oznacza: „opracowywać, zwykle metodami naukowymi, prognozy dotyczące przebiegu przewidywanych procesów i zjawisk”⁶⁴. Podobnie termin prognozowanie definiowany jest w literaturze przedmiotu. Aleksander Zeliaś określa prognozowanie jako „racjonalne, naukowe przewidywanie przyszłych zdarzeń”⁶⁵. Z kolei Maria Cieślak definiuje prognozowanie jako „naukowe, racjonalne wnioskowanie o zdarzeniach nieznanych należących do przyszłości na podstawie zdarzeń znanych”⁶⁶. Rozumowanie to bardzo dobrze oddaje rysunek 2.1. Zgodnie z tą koncepcją wszystkie zdarzenia podzielić można na znane i nieznanne. Sąd o zdarzeniach nieznanych na podstawie zdarzeń znanych nosi nazwę **wnioskowania**. Zdarzenia nieznanne podzielić można z kolei na należące do przeszłości i teraźniejszości oraz należące do przyszłości. Sąd o zdarzeniach nieznanych należących do przeszłości i teraźniejszości nosi nazwę **wnioskowania statystycznego**, zaś sąd o zdarzeniach nieznanych należących do przyszłości to **przewidywanie przyszłości**. Może mieć ono charakter racjonalny (gdy zachowany jest logiczny związek między przesłankami a konkluzją) albo nieracjonalny (kiedy nie są spełnione wszystkie warunki przewidywania racjonalnego)⁶⁷. Idąc dalej, racjonalne przewidywanie przyszłości może mieć charakter zdroworozsądkowy (oparty na intuicji czy doświadczeniu) albo naukowy (oparty na wypracowanych przez szeroko rozumianą naukę metodach naukowych).

⁶⁴ *Uniwersalny słownik języka polskiego*, pod red. S. Dubisza, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, t. 3, s. 568, s. v. „prognozowanie”.

⁶⁵ A. Zeliaś, *Teoria prognozy*, PWE, Warszawa 1997, s. 16.

⁶⁶ M. Cieślak, *Pojęcie prognozy [w:] Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 20.

⁶⁷ *Ibidem*, s. 18–20.



Rysunek 2.1. Prognozowanie jako naukowe, racjonalne wnioskowanie o zdarzeniach nieznanach należących do przyszłości na podstawie zdarzeń znanych

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 70.

Pojęciem bliskim znaczeniowo terminowi prognozowanie jest termin **predykcja** oznaczający: „przewidywanie przyszłych realizacji albo cech statystycznych procesu stochastycznego”⁶⁸. Stąd też autorzy podręczników z prognozowania stosują te określenia zamiennie⁶⁹. Inne znaczenie ma natomiast termin **prognoza**, która jest wynikiem procesu prognozowania, czyli „sądem dotyczącym przyszłości prognozowanego zjawiska”⁷⁰. Szczególnym przypadkiem prognozy jest **prognoza statystyczna**, którą jest „każdy sąd, którego prawdziwość jest zdarzeniem losowym, przy czym prawdopodobieństwo tego zdarzenia jest znane i wystarczająco duże dla celów praktycznych”⁷¹. Idąc dalej, przez **prognozę ekonometryczną**, rozumie się: „taką liczbową ocenę rozpatrywanego fragmentu rzeczywistości ekonomicznej, przy formułowaniu której korzysta się z wiedzy o prawidłowościach lub tendencjach zaobserwowanych w przeszłości”⁷².

⁶⁸ *Słownik wyrazów obcych*, pod red. E. Sobol, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996, s. 892, s. v „predykcja”.

⁶⁹ Por. np.: *Ekonometryczne metody predykcji dla danych sezonowych w warunkach braku pełnej informacji*, pod red. J. Zawadzkiego. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1999; Z. Pawłowski, *Zasady predykcji ekonometrycznej*, PWN, Warszawa 1982.

⁷⁰ P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2008, s. 20.

⁷¹ Z. Hellwig, *Prognozy statystyczne i ich znaczenie w przewidywaniu zjawisk i procesów gospodarczych* [w:] *Zarys ekonometrii*, pod red. Z. Hellwiga, PWE, Warszawa 1973, s. 143.

⁷² J.W. Wiśniewski, *Prognozowanie ekonometryczne* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996, s. 264.

Klasyfikacja prognoz może być dokonywana na wiele sposobów, w zależności od wyboru podstawy dla takiej klasyfikacji. Najczęściej spotykane klasyfikacje prognoz przedstawia tabela 2.1.

Tabela 2.1. Wybrane klasyfikacje prognoz

Kryterium klasyfikacji	Rodzaje prognoz
Wiarygodność prognozy	– realistyczne – nierealistyczne
Sposób wyrażania prognozowanej zmiennej	– jakościowe – ilościowe
Charakter zmian prognozowanej zmiennej	– krótkookresowe – średniookresowe – długookresowe

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 71.

Biorąc pod uwagę wiarygodność, wyróżnia się:

- prognozy realistyczne, czyli takie, do których stopień zaufania odbiorcy jest wysoki,
- prognozy nierealistyczne, czyli takie, do których stopień zaufania jest niski.

Innym kryterium jest sposób wyrażania zmiennej. Zgodnie z tym kryterium prognozy dzieli się na:

- jakościowe, gdy prognozowanym zdarzeniem jest stan zmiennej jakościowej lub słownie opisana sytuacja dotycząca zmiennej ilościowej,
- ilościowe, gdy stan zmiennej wyrażany jest wartościami liczbowymi.

Prognozy ilościowe mogą z kolei mieć charakter:

- punktowy, gdy podaje się, że zmienna przyjmie określoną wartość,
- przedziałowy, gdy podaje się przedział liczbowy, który obejmie przyszłą wartość zmiennej,
- wariantowy, gdy jest formułowana w postaci określonych wartości, które może przyjąć zmienna w okresie prognozy.

Kolejnym kryterium klasyfikacji prognoz jest charakter zmian prognozowanej zmiennej. Wyróżnia się tu prognozy:

- krótkookresowe – sformułowane na taki przedział czas, w którym zachodzą tylko zmiany ilościowe, czyli takie, które polegają na zwiększeniu lub zmniejszeniu wartości prognozowanej zmiennej zgodnie z wykrytą dotychczasową prawidłowością,
- średniookresowe – dotyczące takiego przedziału czasu, w którym oprócz zmian ilościowych znajdują również niewielkie zmiany jakościowe, czyli takie,

- które polegają na zwiększeniu lub zmniejszeniu wartości prognozowanej zmiennej wynikającym ze zmiany dotychczasowej prawidłowości,
- długookresowe, które dotyczą takiego przedziału czasu, w którym mogą wystąpić zarówno zmiany ilościowe, jak i poważne zmiany jakościowe.

W zależności od wielkości obiektu, w którym prognozowane są zmienne, oraz istoty zachodzących w nim zmian okres, do którego została zdefiniowana prognoza, czyli tzw. horyzont prognozy krótko-, średnio- i długookresowej, może być różny. W demografii krótkookresowe prognozy mogą dotyczyć przedziału do 5 lat, średniookresowe – przedziału 5–10 lat, natomiast długookresowe – przedziału powyżej 10 lat. Dla porównania w meteorologii przedziały te wynoszą odpowiednio 24 godziny, 1–7 dni, powyżej tygodnia. W przedsiębiorstwie prognozy krótkookresowe nie przekraczają roku, prognozy średniookresowe dotyczą 2–5 lat, zaś prognozy okresowe obejmują okres ponad 5 lat. Warto w tym miejscu wspomnieć, że w logistyce prognozy dotyczą najczęściej planowania operacyjnego w relatywnie nieodległych horyzontach planowania.

2.1.2. Parametry oceny jakości prognoz

Z ostatnią klasyfikacją prognoz ściśle związane jest pojęcie **jakości prognoz**. Zazwyczaj maleje ona wraz z wydłużaniem okresu prognozy. Do oceny jakości prognoz wykorzystuje się dwa rodzaje mierników⁷³:

- parametry oceny *ex ante*,
- parametry oceny *ex post*.

Parametry *ex ante*, wyznaczane w momencie budowy prognoz, informują o ich **dokładności**. W momencie budowy prognoz nieznane są wartości zmiennej w okresie prognozowanym, stąd też parametry *ex ante* są szacowane. Sposób ich szacowania uzależniony jest od metody prognozowania. Ponadto nie wszystkie metody prognozowania umożliwiają szacowanie parametrów *ex ante*.

Parametry *ex post* obliczane są natomiast dopiero w momencie, gdy znane są wartości rzeczywiste prognozowanej zmiennej. Służą one do oceny trafności prognoz. Najprostszym parametrem *ex post* jest **bezwzględny błąd prognozy w okresie t** , obliczany jako różnica pomiędzy rzeczywistą wartością zmiennej a jej prognozą, co można zapisać wzorem⁷⁴:

⁷³ M. Cieślak, *Organizacja procesu prognostycznego* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 49.

⁷⁴ *Ibidem*, s. 50.

$$E_t = y_t - y_t^* \quad (2.1)$$

gdzie:

y_t – wartość zmiennej prognozowanej Y w okresie t ,

y_t^* – prognoza zmiennej Y w okresie t .

Wartość błędu E_t informuje zarówno o wielkości, jak i o kierunku odchylenia prognozy od wartości rzeczywistej prognozowanej zmiennej w okresie t . Jest on liczony w tych samych jednostkach co zmienna prognozowana. Jego modyfikacją jest natomiast **procentowy błąd prognozy w okresie** (ang. *percentage error* – PE), obliczany ze wzoru⁷⁵:

$$PE_t = \frac{y_t - y_t^*}{y_t} \quad (2.2)$$

oznaczenia jak wyżej.

Dzięki zastosowaniu miernika procentowego możliwe jest porównywanie prognoz dla różnych zmiennych. Chodzi tu zarówno o zmienne wyrażane w różnych jednostkach (np. prognoza wielkości popytu przedsiębiorstwa A w sztukach z prognozą wartości popytu przedsiębiorstwa B w zł), jak i o zmienne wyrażane, co prawda, w tych samych jednostkach, ale przyjmujące nawet zdecydowanie odmienne wartości (np. prognoza dochodów państwa z prognozą dochodów pojedynczej osoby). Parametry (2.1) i (2.2), oprócz tego, że informują o bezwzględnych lub względnych (procentowych) odchyleniach liczonych dla pojedynczych okresów, mogą również służyć do wyznaczenia błędów średnich. Najprostszym błędem średnim jest **średni błąd prognozy** (ang. *mean error* – ME) liczony jako średnia arytmetyczna błędów E_t ⁷⁶:

$$ME = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - y_t^*)}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} E_t}{\tau} \quad (2.3)$$

gdzie:

$t_0 + \tau$ – horyzont prognozy

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Równa lub bliska zeru wartość parametru ME nie oznacza jednak, że otrzymane prognozy są trafne. Oznacza to, że prognozy nie są obciążone błędami systematycznymi.

⁷⁵ *Ibidem*, s. 49.

⁷⁶ M. Szmuksta-Zawadzka, J. Zawadzki, *O miernikach dokładności prognoz ex post w prognozowaniu zmiennych o silnym natężeniu sezonowości*, „Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych” 2012, t. 13, z. 1, s. 213.

Kolejnym błędem średnim jest **średni absolutny błąd prognozy** (ang. *mean absolute error* – MAE), liczony jako średnia arytmetyczna wartości bezwzględnych błędów e_t :

$$MAE = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} |y_t - y_t^*|}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} |E_t|}{\tau} \quad (2.4)$$

oznaczenia jak wyżej.

Jak wynika ze wzoru (2.4), parametr MAE ma tę przewagę nad parametrem ME , że w przypadku gdy w okresie prognozowanym występują zarówno prognozy przeszacowane, jak i niedoszacowane, nie będą znosiły się przeciwne znaki błędów E_t . Dlatego też błąd MAE jest zwykle wyższy niż wartość bezwzględna błędu ME . Wyjątek stanowi tu przypadek, gdy wszystkie prognozy są albo przeszacowane, albo niedoszacowane, wówczas błąd MAE jest oczywiście równy wartości bezwzględnej błędowi ME ($MAE \geq |ME|$).

Następnym parametrem oceny *ex post* jest **średniokwadratowy błąd prognozy** (ang. *mean square error* – MSE) obliczany jako średnia arytmetyczna kwadratów błędów E_t :

$$MSE = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - y_t^*)^2}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} e_t^2}{\tau} \quad (2.5)$$

oznaczenia jak wyżej.

Parametr jest również nazywany **wariancją predykcji**, a kolejny parametr – pierwiastek błędu średniokwadratowego (ang. *root mean square error* – RMSE) – **standardowym błędem prognozy**:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - y_t^*)^2}{\tau}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} e_t^2}{\tau}} = \sqrt{MSE} \quad (2.6)$$

oznaczenia jak wyżej.

Zastosowanie w standardowym błędzie prognozy formuły $(y_t - y_t^*)^2$ powoduje, że (podobnie jak w przypadku błędu MAE) nie znoszą się przeciwne znaki błędów E_t . Dodatkowo, w porównaniu z parametrem MAE , parametr $RMSE$ jest „bardziej czuły” na występowanie zróżnicowanych odchyłeń wartości prognozowanych od wartości empirycznych. Przekłada to się bezpośrednio na relację między wartościami tych parametrów ($RMSE \geq MAE$). W zdecydowanej większości $RMSE$ jest większy niż MAE . Wyjątek stanowi sytuacja, gdy wszystkie błędy e_t są sobie równe, wówczas $RMSE$ jest równy MAE .

Analogicznie jak w przypadku parametru E_p , tak i w przypadku błędów średnich liczone mogą być błędy procentowe. Są to⁷⁷:

- średni błąd procentowy (ang. *mean percentage error* – *MPE*) obliczany ze wzoru:

$$MPE = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} \left(\frac{y_t - y_t^*}{y_t} \right)}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} PE_t}{\tau} \quad (2.7)$$

oznaczenia jak wyżej;

- średni absolutny błąd procentowy (ang. *mean absolute percentage error* – *MAPE*) obliczany ze wzoru:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} \left| \frac{y_t - y_t^*}{y_t} \right|}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} |PE_t|}{\tau} \quad (2.8)$$

oznaczenia jak wyżej;

- średniokwadratowy błąd procentowy (ang. *mean square percentage error* – *MSPE*) obliczany ze wzoru:

$$MSPE = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} \left(\frac{y_t - y_t^*}{y_t} \right)^2}{\tau} = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (PE_t)^2}{\tau} \quad (2.9)$$

oznaczenia jak wyżej;

- standardowy błąd względny (ang. *root mean square percentage error* – *RMSPE*) obliczany ze wzoru:

$$RMSPE = \sqrt{\frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} \left(\frac{y_t - y_t^*}{y_t} \right)^2}{\tau}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (PE_t)^2}{\tau}} = \sqrt{MSPE} \quad (2.10)$$

oznaczenia jak wyżej.

Oprócz mierników wymienionych powyżej w literaturze przedmiotu spotkać można mierniki względne będące ilorazami mierników absolutnych *MAE* oraz *RMSE* oraz średniej wartości zmiennej prognozowanej⁷⁸:

⁷⁷ P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 33.

⁷⁸ M. Szmuksta-Zawadzka, J. Zawadzki, *O miernikach dokładności prognoz ex post...*, s. 215.

$$V_{MAE} = \frac{MAE}{\bar{y}} \quad (2.11)$$

$$V_{RMSE} = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (2.12)$$

oznaczenia jak wyżej.

Zadanie 2.1

Tabela 2.2 zawiera empiryczne i prognozowane wartości zmiennej Y uzyskane dwoma metodami w kolejnych dziesięciu okresach.

1. Porównać otrzymane prognozy graficznie.
2. Obliczyć i zinterpretować błędy *ex post* opisane wzorami: (2.1) – (2.12).

Tabela 2.2. Empiryczne i prognozowane wartości zmiennej Y

t	y_t	y_{1t}^*	y_{2t}^*
51	53	55,8	56,6
52	52	54,4	53,9
53	54	53,2	53,8
54	40	53,6	53,1
55	47	46,8	46,1
56	55	46,9	46,4
57	53	50,9	50,8
58	53	52	51,8
59	45	52,5	52,5
60	50	48,7	49

Źródło: dane fikcyjne.

Oprócz przedstawionych wyżej podstawowych parametrów oceny jakości prognoz stosowane są również niekiedy mierniki nieco bardziej skomplikowane. Jednym z nich jest **współczynnik Theila I^2** obliczany ze wzoru⁷⁹:

$$I^2 = \frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - y_t^*)^2}{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} y_t^2} \quad (2.13)$$

oznaczenia jak wyżej.

⁷⁹ M. Cieślak, *Organizacja procesu prognostycznego...*, s. 51.

Współczynnik Theila pozwala zidentyfikować przyczyny błędów prognozy. Osiąga się to dzięki dekompozycji współczynnika na trzy składniki⁸⁰:

1) miernik obciążoności prognozy I_1^2 , obliczany ze wzoru:

$$I_1^2 = \frac{(\bar{y} - \bar{y}^*)^2}{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} y_t^2} \quad (2.14)$$

gdzie:

$\bar{y}$ – średnia arytmetyczna rzeczywistych wartości zmiennej w przedziale weryfikacji,
 $\bar{y}^*$ – średnia arytmetyczna prognozowanych wartości zmiennej w przedziale weryfikacji,
 pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Wysoka wartość miernika I_1^2 oznacza, że w procesie prognozowania nie odgadnięto średniej wartości zmiennej prognozowanej.

2) miernik niedostatecznej elastyczności prognozy I_2^2 , obliczany ze wzoru:

$$I_2^2 = \frac{(s_r - s_p)^2}{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} y_t^2} \quad (2.15)$$

gdzie:

s_r – odchylenie standardowe rzeczywistych wartości zmiennej w przedziale weryfikacji
 obliczane ze wzoru:

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - \bar{y})^2} \quad (2.16)$$

s_p – odchylenie standardowe prognozowanych wartości zmiennej w przedziale weryfikacji,
 obliczane ze wzoru:

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t^* - \bar{y}^*)^2} \quad (2.17)$$

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Wysoka wartość miernika I_2^2 oznacza, że w procesie prognozowania nie odgadnięto wahań zmiennej prognozowanej.

⁸⁰ *Ibidem*, s. 52.

3) miernik niedostatecznej zgodności prognoz z rzeczywistym kierunkiem zmian zmiennej prognozowanej I_3^2 .

$$I_3^2 = \frac{2s_r s_p (1-r)}{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} y_t^2} \quad (2.18)$$

gdzie:

r – współczynnik korelacji liniowej między rzeczywistymi a prognozowanymi wartościami zmiennej w przedziale weryfikacji, obliczany ze wzoru:

$$r = \frac{\frac{1}{\tau} \sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - \bar{y})(y_t^* - \bar{y}^*)}{s_r s_p} \quad (2.19)$$

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Wysoka wartość miernika I_3^2 oznacza, że w procesie prognozowania nie odgadnięto kierunku tendencji rozwojowej zmiennej prognozowanej.

Następnym parametrem *ex post* jest **współczynnik janusowy** Gadda i Wolda J obliczany ze wzoru⁸¹:

$$J = \frac{\frac{\sum_{t=t_0+1}^{t_0+\tau} (y_t - y_t^*)^2}{\tau}}{\frac{\sum_{t=1}^{t_0} (y_t - \hat{y}_t)^2}{t_0}} \quad (2.20)$$

gdzie:

$\hat{y}_t$ – teoretyczna (wyznaczona z modelu) wartość zmiennej prognozowanej Y w okresie t
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Jak wynika ze wzoru (2.20), współczynnik janusowy jest ilorazem średniokwadratowego błędu prognozy (MSE) oraz średniej kwadratów odchyłeń w próbie. Wartość współczynnika J powinna być zatem równa lub nieznacznie większa niż jeden. Znacznie wyższa od jedności wartość współczynnika janusowego oznacza, że model prognostyczny powinien być ponownie oszacowany na podstawie nowych informacji statystycznych lub zastąpiony nowym.

⁸¹ J.W. Wiśniewski, *Prognozowanie ekonometryczne...*, s. 270.

Zadanie 2.2

Tabela 2.3 zawiera empiryczne oraz teoretyczne i prognozowane wartości zmiennej Y uzyskane dwoma metodami w kolejnych okresach.

Obliczyć i zinterpretować:

- współczynnik Theila oraz dokonać jego dekompozycji,
- współczynnik janusowy.

Tabela 2.3. Empiryczne i prognozowane wartości zmiennej Y

Numery okresów		Wartości empiryczne	Wartości teoretyczne i prognozowane	
t		y_t	y_{1t}^*	y_{2t}^*
1	okres budowy prognoz	31	26,6	20,8
2		22	15,3	43,3
3		29	24,1	15,5
4		31	31,1	32,6
5		28	28	39,2
6		28	30,3	22,3
7		23	21,3	14,3
8		34	32,1	30,4
9		33	37,1	30
10		31	20,2	22
11	okres weryfikacji prognoz	29	29,8	12,7
12		29	26,3	38,4
13		30	41	44,5
14		22	29,4	28,5
15		26	36,9	15,3
16		31	33,4	36
17		29	38,3	47,1
18		29	34,1	32,8
19		25	23,8	37,9
20		28	25,1	20,1

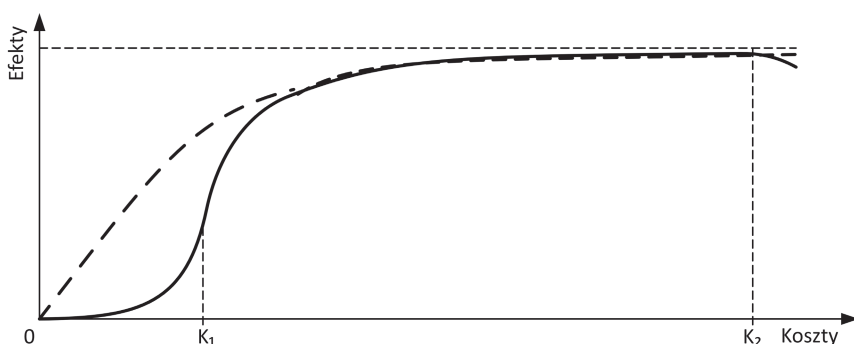
Źródło: dane fikcyjne.

2.1.3. Koszty prognozowania

Koszty prognozowania podzielić można na następujące grupy:

- koszty zbierania danych statystycznych,
- koszty ich przetwarzania,
- koszty budowy modelu prognostycznego.

Z kosztami w oczywisty sposób związane są efekty, wyrażone np. trafnością otrzymanych prognoz, co można odwzorować za pomocą tzw. **krzywej logistycznej** (rys. 2.2).



Rysunek 2.2. Zależność efektów prognozowania od kosztów prognozowania

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na rysunku, jej charakter nie jest jednorodny w całym przedziale określoności. Punkty K_1 (punkt przegięcia) oraz K_2 (maksimum) dzielą krzywą na następujące obszary:

- od punktu 0 do punktu K_1 – każda dodatkowa jednostka kosztów przynosi bardziej niż proporcjonalne efekty dodatnie (funkcja rosnąca wypukła),
- między punktami K_1 i K_2 – każda dodatkowa jednostka kosztów przynosi dodatnie efekty, ale są one niższe niż proporcjonalne (funkcja rosnąca wklęsła), ma więc zastosowanie powszechne w ekonomii prawa malejących efektów krańcowych,
- za punktem K_2 – dodatkowe koszty powodują obniżenie efektu łącznego (funkcja malejąca).

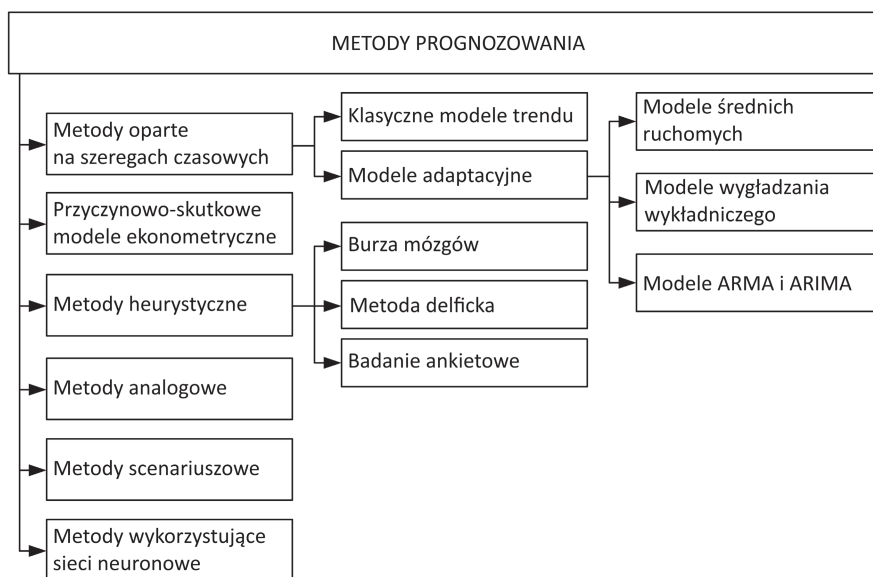
Występują również inne kształty krzywej zależności efektów od kosztów prognozowania. Na przykład można sobie wyobrazić krzywą, która charakteryzuje się brakiem fragmentu rosnącej funkcji wypukłej (od samego początku efekty rosną wolniej niż proporcjonalnie), jak również krzywą, która nie ma fragmentu malejącego (wówczas efekt dąży do pewnego poziomu nasycenia, np. dokładności

bliskiej 100%, przedstawianego jako asymptota pozioma). Opisane alternatywne kształty krzywej logistycznej przedstawiono na rysunku 2.2 linią przerywaną. Osoba odpowiedzialna za logistykę w przedsiębiorstwie, zdając sobie sprawę z kształtu krzywej obrazującej zależność efektów od kosztów prognozowania, przystępując do procesu prognostycznego, powinna osądzić, czy zależy jej na dokładnych prognozach, zwykle kosztownych, czy też chodzi jej o określenie tańszych, ale za to mniej precyzyjnych prognoz.

2.2. Metody prognozowania

2.2.1. Przegląd metod prognozowania

Z kosztami prognozowania związany jest w oczywisty sposób wybór metody prognozowania. Klasyfikację metod prognozowania przedstawiono na rysunku 2.3.



Rysunek 2.3. Metody prognozowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M. Cieślak, *Organizacja procesu prognostycznego...*, s. 37–46; L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 77.

2.2.2. Metody prognozowania oparte na szeregach czasowych

Istota szeregu czasowego

Pod pojęciem **szeregu czasowego** rozumie się zbiór obserwacji następujących po sobie, dokonywanych w równych odstępach czasu⁸². Wspólną cechą **metod opartych na szeregach czasowych** jest to, że prognozowana wartość zmiennej jest funkcją wcześniejszych wartości tej samej zmiennej. Przed przystąpieniem do prognozowania punktem wyjścia rozważań związanych z szeregiem czasowym jest jego dekompozycja, czyli wyodrębnienie tzw. **składowych szeregu czasowego**. W najbardziej ogólnej klasyfikacji wyróżnia się składową przypadkową, inaczej wahania przypadkowe, czyli oddziaływania przyczyn ubocznych, które nie są ujmowane w modelu, oraz to, co jest opisane w modelu, czyli tzw. składową systematyczną w postaci⁸³:

- stałego (przeciętnego) poziomu, przedstawianego w modelu za pomocą wyrazu wolnego,
- trendu (inaczej tendencji rozwojowej),
- wahań okresowych (inaczej czasowych lub periodycznych).

Wśród wahań okresowych wyróżnia się natomiast:

- wahania cykliczne, czyli powtarzające się długookresowe (występujące rzadziej niż co roku) wahania zmiennej poniżej lub powyżej linii trendu spowodowane np. cyklem koniunkturalnym, politycznym (wyborczym) lub cyklem życia produktu,
- wahania sezonowe, czyli powtarzające się każdego roku lub częściej wahania zmiennej poniżej lub powyżej linii trendu, wynikające np. ze zmian zachowań ludzi spowodowanych pogodą, przyjętą konwencją podziału roku na kwartały miesiące, tygodnie itp.

Biorąc pod uwagę sposób ujmowania w modelu poszczególnych jego składowych, wyróżnia się⁸⁴:

- modele addytywne, w których obserwowane wartości zmiennej prognozowanej są sumą składowych szeregu czasowego, co można zapisać:

$$y_t = \text{const} + f(t) + g(t) + h(t) + \varepsilon_t \quad (2.21)$$

gdzie:

const – stały (średni) poziom prognozowanej zmiennej,

f(t) – funkcja czasu charakteryzująca tendencję rozwojową (funkcja trendu),

⁸² S. Drapik, A. Kobielski, J. Prusak, *Fluktuacja obciążeń podstacji trakcyjnych w ujęciu teorii szeregów czasowych*, „TTS Technika Transportu Szynowego” 2010, s. 59.

⁸³ C. Haksever, B. Render, R.S. Russell, R.G. Murdick, *Service Management and Operations*, Prentice Hall, New Jersey 2000, s. 454.

⁸⁴ P. Dittmann, *Modele szeregów czasowych I [w:] Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 67.

$g(t)$ – funkcja czasu charakteryzująca wahania sezonowe,
 $h(t)$ – funkcja czasu charakteryzująca wahania cykliczne,
 ε_t – zmienna losowa (składnik losowy);

- modele multiplikatywne, w których obserwowane wartości zmiennej prognozowanej są iloczynem składowych szeregu czasowego, co można zapisać:

$$y_t = \text{const} \cdot f(t) \cdot g(t) \cdot h(t) \cdot \varepsilon_t \quad (2.22)$$

oznaczenia jak wyżej;

- modele mieszane, w których występuje zarówno dodawanie, jak i mnożenie składowych szeregu czasowego, np.:

$$y_t = \text{const} \cdot f(t) + g(t) \cdot h(t) \cdot \varepsilon_t \quad (2.23)$$

oznaczenia jak wyżej.

Metody prognozowania oparte na szeregach czasowych podzielić można na dwie zasadnicze grupy:

- 1) klasyczne modele tendencji rozwojowej (trendu),
- 2) modele adaptacyjne.

Klasyczne modele tendencji rozwojowej

Klasyczny model trendu, będący statystyczną formą opisu tendencji rozwojowej, zawiera tylko jedną zmienną objaśniającą, którą jest czas, co można zapisać⁸⁵:

$$y_t = f(t) + \varepsilon_t \quad (2.24)$$

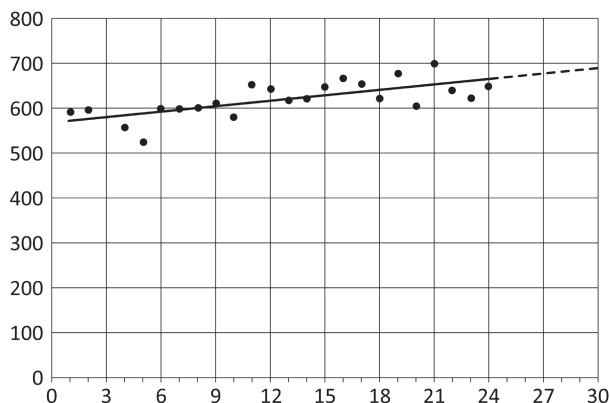
gdzie:

f – symbol dowolnej funkcji,
 y_t – wartość zmiennej prognozowanej Y w okresie t ,
 ε_t – składnik losowy,
 t – zmienna czasowa.

Procedura postępowania w przypadku modeli trendu jest stosunkowo prosta. Za pomocą analizy graficznej rzeczywistych wartości prognozowanej zmiennej w przeszłości znajduje się taką funkcję trendu, której przebieg najlepiej odpowiada wartościom rzeczywistym. Następnie zakłada się, że również w przyszłości

⁸⁵ D. Witkowska, *Podstawy ekonometrii i teorii prognozowania*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2006, s. 150.

rzeczywiste wartości prognozowanej zmiennej będą niewiele różnić się od wartości teoretycznych (wyznaczonych przez model). Prognozowanie polega zatem na ekstrapolacji funkcji trendu na okres objęty prognozą (rys. 2.4).



Rysunek 2.4. Aproxymacja i ekstrapolacja modelu trendu

Źródło: opracowanie własne.

Najczęściej funkcja trendu przyjmuje postać liniową⁸⁶:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \varepsilon_t \quad (2.25)$$

gdzie:

α_0, α_1 – parametry funkcji trendu

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Zadanie 2.3⁸⁷

W pewnym przedsiębiorstwie popyt w trzech kolejnych latach kształtował się na poziomie podanym w tabeli 2.4. Zbudować prognozę na kolejny rok.

Tabela 2.4. Dane dotyczące popytu

Lata	Kwartały	t	y_t
2017	I	1	30
	II	2	28
	III	3	35
	IV	4	35

⁸⁶ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 63.

⁸⁷ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 63.

Lata	Kwartały	t	y_t
2018	I	5	34
	II	6	36
	III	7	38
	IV	8	36
2019	I	9	40
	II	10	40
	III	11	44
	IV	12	45

Źródło: S. Krzyżaniak: *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 63.

Funkcja liniowa, mimo że często stosowana, nie zawsze jednak jest wystarczająca do odwzorowania kształtowania się opisywanej zmiennej. W wielu przypadkach mechanizm tendencji rozwojowej uzasadnia wprowadzenie funkcji nieliniowej. W przypadku gdy poziom badanego zjawiska przyrasta coraz szybciej, jako funkcje trendu stosowane są takie funkcje, jak np.⁸⁸:

– wykładnicza:

$$y_t = e^{\alpha_0 + \alpha_1 t} + \varepsilon_t \quad \alpha_1 > 0 \quad (2.26)$$

$$y_t = \alpha_0 \cdot \alpha_1^t + \varepsilon_t \quad \alpha_1 > 1 \quad (2.27)$$

– wielomianowa (najczęściej stopnia drugiego):

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \varepsilon_t \quad \alpha_2 > 0 \quad (2.28)$$

– potęgowa:

$$y_t = \alpha_0 \cdot t^{\alpha_1} + \varepsilon_t \quad \alpha_1 > 1 \quad (2.29)$$

gdzie:

α_0 , α_1 , α_2 – parametry funkcji trendu,
 e – podstawa logarytmu naturalnego,
 pozostałe oznaczenia jak wyżej.

⁸⁸ P. Dittmann, *Modele szeregów czasowych...*, s. 77.

W przypadku gdy poziom badanego zjawiska rośnie coraz wolniej, dążąc do pewnego poziomu nasycenia, zastosować można natomiast takie funkcje, jak⁸⁹:

- logarytmiczna:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln t + \varepsilon_t \quad \alpha_1 > 0 \quad (2.30)$$

- potęgowa:

$$y_t = \alpha_0 t^{\alpha_1} + \varepsilon_t \quad 0 < \alpha_1 < 1 \quad (2.31)$$

- wielomian stopnia drugiego:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \varepsilon_t \quad \alpha_2 < 0 \quad (2.32)$$

- wielomian odwrotnościowy:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t^{-1} + \alpha_2 t^{-2} + \varepsilon_t \quad \alpha_2 < 0 \quad (2.33)$$

- liniowo-odwrotnościowa:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 t^{-1} + \varepsilon_t \quad \alpha_1 < 0 \quad (2.34)$$

- ilorazowa:

$$y_t = \frac{\alpha_0 t}{\alpha_1 + t} + \varepsilon_t \quad \alpha_1 < 0 \quad (2.35)$$

oznaczenia jak wyżej.

Zadanie 2.4⁹⁰

W pewnym przedsiębiorstwie popyt w trzech kolejnych latach kształtował się na poziomie podanym w tabeli 2.5.

Zbudować prognozy na kolejny rok, przyjmując następujące postaci funkcji trendu:

- liniową,
- logarytmiczną,
- potęgową,
- wielomianową st. II,
- wykładniczą.

⁸⁹ *Ibidem*, s. 78.

⁹⁰ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 66.

Oceń otrzymane prognozy za pomocą parametrów *ex post* (na podstawie danych z 2019 roku).

Tabela 2.5. Dane dotyczące popytu

Lata	Kwartały	t	y_t
2017	I	1	8
	II	2	9
	III	3	10
	IV	4	11
2018	I	5	12
	II	6	13
	III	7	15
	IV	8	16
2019	I	9	18
	II	10	20
	III	11	22
	IV	12	25

Źródło: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 66.

W przypadku gdy przebieg badanego zjawiska zmienia się w czasie, wówczas do jego opisu można wykorzystać kilka z podanych wyżej funkcji lub też wykorzystać jedną, ale bardziej złożoną funkcję, np.⁹¹:

– logistyczną,

$$y_t = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t}} + \varepsilon_t \quad \alpha_0, \alpha_1 > 0; \alpha_2 > 1 \quad (2.36)$$

– loglogistyczną,

$$y_t = \frac{\alpha_0 \ln t}{1 + \alpha_1 e^{-\alpha_2 t}} + \varepsilon_t \quad \alpha_0, \alpha_1 > 0; \alpha_2 > 1 \quad (2.37)$$

oznaczenia jak wyżej.

Przedstawione modele regresji liniowej i nieliniowej znajdują zastosowanie, w przypadku gdy prognozowany popyt nie wykazuje wahań o charakterze sezonowym. W praktyce zjawisko sezonowości występuje jednak relatywnie często i powoduje konieczność zastosowania metod umożliwiających jego uwzględnienie. Można tu wymienić na przykład:

⁹¹ P. Dittmann, *Modele szeregów czasowych...*, s. 78–79.

- 1) metodę opartą na współczynnikach sezonowości odniesionych do średniego popytu w cyklu zmian sezonowych, w której wyznaczone są kolejno:
 - średnie kwartalne wielkości popytu dla każdego roku P_p ,
 - współczynniki sezonowości s_{ij} obliczane jako stosunek popytu w danym kwartale j przez popyt średni w roku i ,
 - średnie współczynniki sezonowości $\bar{s}_j$ dla każdego kwartału j ,
 - surowa prognoza (oczyszczona z sezonowości) na kolejny rok na podstawie średniej wartości popytu P_p ,
 - prognozy właściwe dla poszczególnych kwartałów roku objętego prognozą jako iloczyny surowej prognozy i średnich współczynników sezonowości;
- 2) metodę opartą na współczynnikach sezonowości odniesionych do średniego popytu wyrównanego modelem regresji, w której wyznaczone są kolejno:
 - równanie regresji na bazie wszystkich dostępnych okresów (pomijając zjawisko sezonowości),
 - wartości teoretyczne popytu dla każdego kwartału j w każdym roku i na bazie wyznaczonego wcześniej równania regresji (również dla roku, na który będzie tworzona prognoza),
 - współczynniki sezonowości jako stosunek rzeczywistej wartości popytu do jego wartości teoretycznej,
 - średnie współczynniki sezonowości dla każdego kwartału j ,
 - prognozy właściwe dla poszczególnych kwartałów roku objętego prognozą jako iloczyny wartości teoretycznych i średnich współczynników sezonowości;
- 3) metodę opartą na trendach jednoimiennych okresów, w której analiza regresji przeprowadzana jest odrębnie dla każdego jednoimiennego okresu (kwartału) w cyklu.

Zadanie 2.5⁹²

W pewnym przedsiębiorstwie popyt w trzech kolejnych latach kształtował się na poziomie podanym w tabeli 2.6. Zbudować prognozy na kolejny rok na podstawie opisanych wyżej metod. Ocenić otrzymane prognozy za pomocą parametrów *ex post* (na podstawie danych z 2019 roku)

Tabela 2.6. Dane dotyczące popytu

Lata	Kwartały	t	y_t
2016	I	1	280.897
	II	2	405.741
	III	3	514.979
	IV	4	358.925

⁹² Przykład pochodzi S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zapasami...*, s. 68.

Lata	Kwartały	t	y_t
2017	I	5	355.338
	II	6	422.071
	III	7	535.513
	IV	8	355.342
2018	I	9	365.811
	II	10	418.827
	III	11	593.781
	IV	12	388.786
2019	I	9	370.556
	II	10	470.014
	III	11	615.444
	IV	12	413.677

Źródło: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 68.

Podstawową zaletą metod prognozowania na podstawie modeli trendu jest to, że są one stosunkowo proste w estymacji (najczęściej wykorzystuje się modele liniowe lub linearyzowalne, tj. dające się sprowadzić do modeli liniowych). Ponadto zastosowanie modeli trendu pozwala ominąć dość kłopotliwy problem doboru zmiennych objaśniających (jak to ma miejsce w przypadku modelu przyczynowo-skutkowego), ponieważ jedyną zmienną objaśniającą jest zmienna czasowa.

Do ograniczeń stosowania modeli tendencji rozwojowej zaliczyć należy fakt, że może nastąpić zmiana przebiegu zjawiska w okresie prognozowanym, co spowoduje znaczne błędy prognoz.

Modele adaptacyjne

Kolejną grupę metod prognozowania opartych na szeregu czasowym stanowią metody oparte na **modelach adaptacyjnych**. Modele te są zbliżone do modeli trendu. Podstawową różnicą jest to, że opisują one realizację zmiennej prognozowanej, nie wnikając w mechanizm przyczynowo-skutkowy jej rozwoju. Są budowane w taki sposób, aby uwzględnić zmianę tego mechanizmu w czasie, przez co charakteryzują się większą elastycznością niż klasyczne modele tendencji rozwojowej opisane w poprzednim podrozdziale. Wśród modeli adaptacyjnych wyróżnia się⁹³:

- modele średnich ruchomych,
- modele wygładzania wykładniczego,
- modele ARMA i ARIMA.

⁹³ A. Zeliaś, *Teoria prognozy...*, s. 220–246.

Metoda oparta na **modelu średniej ruchomej** opiera się na założeniu, że wartość zmiennej w okresie prognozowanym będzie równa średniej arytmetycznej wartości rzeczywistych z kilku ostatnich okresów (liczbę tę określa się mianem **stałej wygładzania**), co opisuje wzór⁹⁴:

$$y_{t_0+1}^* = \frac{\sum_{t=t_0-k+1}^{t_0} y_t}{k} \quad (2.38)$$

gdzie:

$y_{t_0+1}^*$ – prognoza zmiennej Y na okres t_0+1 ,

y_t – rzeczywista wartość zmiennej prognozowanej Y w okresie t ,

k – stała wygładzania.

Stałą wygładzania wyznacza się na podstawie prognoz wygasłych (czyli takich, które są zbudowane na okres, który już minął), tak aby standardowy błąd prognozy (2.6) był możliwie najmniejszy. W skrajnym przypadku prognozę można wyznaczyć, biorąc pod uwagę dane z wszystkich okresów ($k = t_0$). Uzyskuje się wówczas tzw. **model średniej arytmetycznej prostej**⁹⁵:

$$y_{t_0+1}^* = \frac{\sum_{t=1}^{t_0} y_t}{t_0} \quad (2.39)$$

oznaczenia jak wyżej.

W drugim skrajnym przypadku prognozę przyjmuje się niekiedy na poziomie rzeczywistej wartości okresu bieżącego ($k = 1$). Taki model określa się mianem **modelu naiwnego**⁹⁶:

$$y_{t_0+1}^* = y_{t_0} \quad (2.40)$$

Oprócz opisanej metody opartej na modelu średniej ruchomej prostej, w której informacje na temat realizacji zmiennej prognozowanej z okresów tworzących prognozę mają ten sam udział w tworzeniu prognozy (rys. 2.5), występuje również tzw. **metoda oparta na modelu średniej arytmetycznej ruchomej o zróżnicowanych wagach** (inaczej średniej arytmetycznej ważonej), w której znaczenie informacji z różnych okresów różnicuje się, nadając im odpowiednie wagi, coraz mniejsze wraz z przesuwaniem do coraz starszych okresów (rys. 2.6), co można zapisać wzorem⁹⁷:

⁹⁴ S. Krawczyk, *Metody ilościowe w planowaniu (działalności przedsiębiorstwa)*, C.H. Beck, Warszawa 2001, s. 236–237.

⁹⁵ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 47.

⁹⁶ P. Dittmann, *Modele szeregów czasowych...*, s. 68.

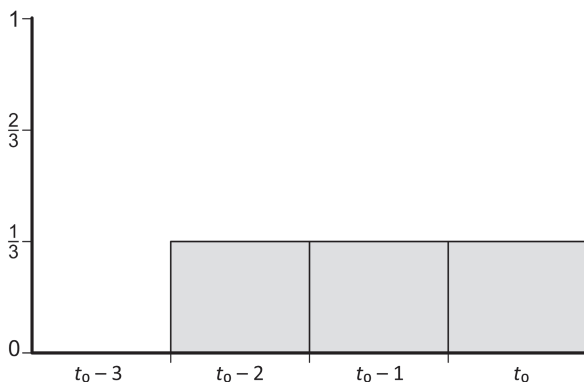
⁹⁷ S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 49.

$$y_{t_0+1} = \frac{\sum_{t=t_0-k+1}^{t_0} y_t w_{t-t_0+k}}{\sum_{t=t_0-k+1}^{t_0} w_{t-t_0+k}} \quad (2.41)$$

gdzie:

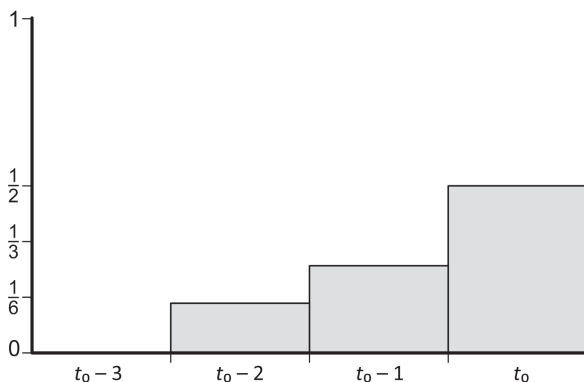
w_{t-t_0+k} – waga nadana rzeczywistej wartości zmiennej prognozowanej w okresie t , ($0 < w_1 < w_2 < \dots < w_k$)
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Wagi w metodzie opartej na modelu średniej ruchomej o zróżnicowanych wagach, podobnie jak wartość stałej wygładzania, wyznacza się na podstawie prognoz wygaśniętych przez minimalizację standardowego błędu prognozy (2.6).



Rysunek 2.5. Wartości wag w modelu opartym na 3-okresowej średniej ruchomej prostej

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 2.6. Wartości wag w modelu opartym na 3-okresowej średniej ruchomej o zróżnicowanych wagach

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie 2.6⁹⁸

Tabela 2.7 przedstawia szereg czasowy popytu na pewien produkt w ciągu kolejnych 30 tygodni. Obliczyć prognozę popytu na kolejny tydzień za pomocą średniej arytmetycznej, prostej ruchomej i ruchomej ważonej. Ocenić otrzymane prognozy graficznie oraz za pomocą średniego, absolutnego i standardowego błędu prognozy (na podstawie danych z tygodni 21–30).

Tabela 2.7. Szereg czasowy popytu

$t_{(1-10)}$	y_t	$t_{(11-20)}$	y_t	$t_{(21-30)}$	y_t
1	98	11	128	21	133
2	115	12	125	22	130
3	140	13	150	23	135
4	123	14	143	24	100
5	135	15	105	25	118
6	105	16	108	26	135
7	123	17	130	27	133
8	110	18	123	28	133
9	105	19	108	29	115
10	105	20	103	30	125

Źródło: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 47 (z niewielkimi zmianami).

Wadą metody opartej na modelu średniej ruchomej (zarówno prostej, jak i ważonej) jest fakt, że prognoza obliczana jest tylko z wykorzystaniem kilku ostatnich okresów, pomijane są natomiast wszystkie pozostałe (które również mogą w pewien sposób wpływać na wartość zmiennej w okresie prognozowanym). Tej wady nie posiadają metody należące do kolejnej grupy, a mianowicie **metody oparte na modelach wyrównywania** (wygładzania) **wykładniczego**.

W modelach wyrównywania wykładniczego prognoza obliczana jest z uwzględnieniem wszystkich dostępnych informacji, przy czym ich znaczenie spada w postępie geometrycznym wraz z przesuwaniem się do coraz starszych okresów.

Najbardziej znanym modelem wyrównywania wykładniczego jest stosowany dla szeregu czasowego quasi-stacjonarnego (czyli takiego, w którym średnia wartość nie ulega istotnym zmianom w czasie) **model Browna**⁹⁹ o postaci:

⁹⁸ Przykład pochodzi z: S. Krzyżaniak, *Podstawy zarządzania zasobami...*, s. 47 (z niewielkimi zmianami).

⁹⁹ R.G. Brown, R.F. Meyer, *The Fundamental Theorem of Exponential Smoothing*, „Operation Research” 1961, Vol. 9, Issue 5, s. 673–685.

$$y_{t_0+1}^* = \alpha y_{t_0} + (1 - \alpha)y_{t_0}^* \quad (2.42)$$

gdzie:

α – stała wygładzania, $\alpha \in \langle 0;1 \rangle$

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Stała wygładzania w modelu Browna wyznaczana jest, podobnie jak w przypadku modeli średniej, poprzez minimalizację standardowego błędu prognozy. W skrajnym przypadku α może być równa 0 lub 1. Dla $\alpha = 0$ model przyjmie postać:

$$y_{t_0+1}^* = y_{t_0}^* \quad (2.43)$$

czyli otrzymane prognozy na wszystkie okresy są na stałym poziomie równym pierwszej wartości rzeczywistej. Wynika to z faktu, iż budując prognozę za pomocą modelu Browna, przyjmuje się pierwszą wartość teoretyczną na poziomie pierwszej wartości rzeczywistej ($y_1^* = y_1$).

Dla $\alpha = 1$ model przyjmuje natomiast postać:

$$y_{t_0+1}^* = y_{t_0} \quad (2.44)$$

co oznacza, że prognozowana wartość na okres $t_0 + 1$ równa jest wartości rzeczywistej w okresie t_0 . Model staje się zatem modelem naiwnym. Najczęściej jednak stała wygładzania przyjmuje wartość z przedziału otwartego $(0;1)$. Wówczas mówi się o bliskiej zeru lub bliskiej jedności wartości stałej wygładzania. Wartość bliska zeru oznacza, że w procesie prognozowania w większym stopniu wykorzystuje się starsze dane historyczne niż dane młodsze. Wartość bliska jedności oznacza sytuację przeciwną.

W przypadku szeregu czasowego niestacjonarnego, w którym występuje zjawisko trendu liniowego, wykorzystuje się tzw. dwuparametryczny **model Holta**¹⁰⁰ postaci:

$$y_{t_0+\tau}^* = a_{t_0} + b_{t_0}\tau \quad (2.45)$$

gdzie:

a_t – ocena wartości zmiennej prognozowanej na okres t , która obliczana jest ze wzoru:

$$a_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.46)$$

¹⁰⁰ C.C. Holt, *Forecasting Seasonal and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages*, „O.N.R. Memorandum” No. 52 Carnenerge Institute of Technology 1957 [za:] J. Zawadzki, *Ekonometryczne metody prognozowania w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1989, s. 64.

b_t – ocena przyrostu trendu liniowego na okres t , która obliczana jest ze wzoru:

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.47)$$

α, β – parametry wyrównania wykładniczego, $\alpha, \beta \in (0;1)$,
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Podobnie jak w modelu Browna, tak i w modelu Holta występuje problem doboru optymalnych wartości parametrów α i β oraz początkowych wartości ocen a_t i b_t . W praktyce postępuje się analogicznie do modelu Browna. Parametry wyrównania wykładniczego optymalizuje się przez minimalizację standardowego błędu prognozy (2.6). Początkową wartość oceny średniej przyjmuje się najczęściej na poziomie równym pierwszej wartości rzeczywistej zmiennej Y ($a_1 = y_1$), natomiast początkową wartość oceny przyrostu trendu wyznacza się przez obliczenie przyrostu zmiennej między pierwszym a drugim okresem ($b_1 = y_2 - y_1$).

Jeśli w szeregu czasowym oprócz zjawiska trendu występują wahania sezonowe, wówczas stosuje się trzeci z modeli wyrównania wykładniczego – **model Wintersa**¹⁰¹, który występuje w dwóch wersjach:

- 1) model dla sezonowości addytywnej, w której amplituda wahań jest niezależna od wartości średniej:

$$y_{t_0+\tau}^* = a_{t_0} + b_{t_0}\tau + c_{t_0+\tau-K} \quad (2.48)$$

gdzie:

a_t – ocena wartości zmiennej prognozowanej na okres t obliczana ze wzoru:

$$a_t = \alpha(y_t - c_{t-K}) + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.49)$$

b_t – ocena przyrostu trendu na okres t obliczana ze wzoru:

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.50)$$

c_t – ocena wskaźnika sezonowości na okres t obliczana ze wzoru:

$$c_t = \gamma(y_t - a_t) + (1 - \gamma)c_{t-K} \quad (2.51)$$

K – liczba jednoimiennych okresów w cyklu (np. w przypadku cyklu rocznego: dla danych kwartalnych $K = 4$, dla danych miesięcznych $K = 12$),

α, β, γ – parametry wyrównania wykładniczego, $\alpha, \beta, \gamma \in (0;1)$,

pozostałe oznaczenia jak wyżej;

¹⁰¹ P.R. Winters, *Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages*, „Management Science” 1960, Vol. 6, Issue 3, s. 324–342.

2) model dla sezonowości multiplikatywnej, w której wahania są proporcjonalne do wartości średniej:

$$y_{t_0+\tau}^* = (a_{t_0} + b_{t_0}\tau)c_{t_0+\tau-K} \quad (2.52)$$

gdzie:

a_t – ocena wartości zmiennej prognozowanej na okres t obliczana ze wzoru:

$$a_t = \frac{\alpha y_t}{c_{t-K}} + (1 - \alpha)(a_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2.53)$$

b_t – ocena przyrostu trendu na okres t obliczana ze wzoru:

$$b_t = \beta(a_t - a_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (2.54)$$

c_t – ocena wskaźnika sezonowości na okres t obliczana ze wzoru:

$$c_t = \frac{\gamma y_t}{a_t} + (1 - \gamma)c_{t-K} \quad (2.55)$$

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Procedura doboru optymalnych wartości parametrów wygładzania wykładniczego w opisywanym modelu jest analogiczna do modeli Browna i Holta. Również tutaj wyznacza się je przez minimalizację standardowego błędu prognozy (2.6). Początkową ocenę wartości zmiennej (a_1) oraz przyrostu trendu (b_1) wyznacza się również analogicznie jak w modelu Holta (czyli odpowiednio: $a_1 = y_1$ oraz $b_1 = y_2 - y_1$). Ocenę wskaźników sezonowości ($c_1, \dots, c_K$) wyznacza się natomiast jako średnią różnic (dla modelu addytywnego) lub ilorazów (dla modelu multiplikatywnego) wartości zmiennej prognozowanej i wygładzonych wartości trendu.

Zadanie 2.7

Na podstawie danych z zadania 2.6:

- obliczyć prognozy za pomocą modelu Browna dla $\alpha = 0,1; 0,2; 0,5, 0,75$ i 1 ,
- ocenić otrzymane prognozy graficznie oraz za pomocą średniego, absolutnego i standardowego błędu prognozy (na podstawie danych z tygodni 21–30) i porównać z wynikami otrzymanymi w zadania 2.6,
- wyznaczyć optymalną wartość parametru α , minimalizując standardowy błąd prognozy.

Kolejną grupę adaptacyjnych metod prognozowania stanowią **modele ARMA**, które powstają z połączenia modelu autoregresji (ang. *autoregression* – AR) oraz modelu średniej ruchomej (ang. *moving average* – MA). W **modelu AR** zakłada się, że występuje autokorelacja zmiennej prognozowanej, co oznacza, że wartość

zmiennej w okresie prognozowanym zależy od jej wartości przeszłych, co można zapisać wzorem¹⁰²:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + e_t \quad (2.56)$$

gdzie:

$y_t, y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}$ – rzeczywiste wartości zmiennej prognozowanej w okresie $t, t-2, \dots, t-p$,

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p$ – parametry modelu,

e_t – błąd modelu w okresie t ,

p – wielkość opóźnienia.

Natomiast w **modelu MA** zakłada się, że wartość zmiennej w okresie prognozowanym zależy od reszt modelu w okresach przeszłych¹⁰³:

$$y_t = \beta_0 + e_t - \beta_1 e_{t-1} - \beta_2 e_{t-2} - \dots - \beta_q e_{t-q} \quad (2.57)$$

gdzie:

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q$ – parametry modelu,

q – wielkość opóźnienia,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Połączenie modeli (2.52) i (2.53) i zbudowanie w ten sposób modelu ARMA zwiększa elastyczność dopasowywania modelu do szeregu czasowego:

$$y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \dots + \alpha_p y_{t-p} + e_t + \beta_0 + e_t - \beta_1 e_{t-1} - \beta_2 e_{t-2} - \dots - \beta_q e_{t-q} \quad (2.58)$$

oznaczenia jak wyżej.

Modele ARMA stosowane mogą być tylko w przypadku szeregów stacjonarnych ze względu na odchylenie standardowe. W przypadku szeregów niestacjonarnych konieczna jest operacja różnicowania polegająca na obliczeniu różnic sąsiednich wyrazów szeregu. Operacja ta dokonywana jest dopóki, dopóty szereg różnic nie będzie szeregiem stacjonarnym. Model po operacji różnicowania nosi nazwę skalkowanego modelu autoregresji i średniej ruchomej (ang. *autoregressive integrated moving average model* – ARIMA). W literaturze przedmiotu spotykana jest notacja ARIMA(p, d, q), gdzie¹⁰⁴:

p – rząd autoregresji,

q – wielkość opóźnienia średniej ruchomej,

d – krotność różnicowania.

¹⁰² P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 98.

¹⁰³ *Ibidem*, s. 99.

¹⁰⁴ *Ibidem*, s. 100.

Zaletą modeli ARIMA jest to, że mogą być stosowane w wielu sytuacjach (również w przypadku szeregów niestacjonarnych ze względu na odchylenie standardowe). Do wad należy zaliczyć natomiast stosunkowo skomplikowane metody estymacji parametrów oraz fakt, że wymagają dysponowania odpowiednio długimi szeregami czasowymi.

2.2.3. Prognozowanie na podstawie przyczynowo-skutkowych modeli ekonometrycznych

Model ekonometryczny zdefiniować można jako „stochastyczne równanie (lub układ równań) opisujące świadomie wyodrębniony fragment rzeczywistości ekonomicznej”¹⁰⁵. Można go opisać wzorem:

$$Y = f(X, \alpha, \xi) \quad (2.59)$$

gdzie:

- Y** – wektor zmiennych objaśnianych,
- X** – wektor zmiennych objaśniających,
- α** – macierz parametrów strukturalnych,
- ξ** – wektor składników losowych.

W modelu ekonometrycznym można zatem wyróżnić następujące elementy:

- zmienne,
- parametry strukturalne,
- składnik losowy.

Zmienne występujące w modelu podzielić można na: zmienne objaśniane (czyli zmienne, które są opisywane przez równania modelu) oraz zmienne objaśniające (zmienne, które służą do opisu zmiennych objaśnianych). Zmienne objaśniane nazywane są inaczej zmiennymi zależnymi lub regresantami, natomiast zmienne objaśniające – zmiennymi niezależnymi lub regresorami¹⁰⁶.

Zmienne objaśniające jednego równania mogą być zmiennymi objaśnianymi w innych równaniach. Dlatego też wprowadzono inny podział zmiennych, mianowicie na zmienne egzogeniczne i endogeniczne. Do zbioru zmiennych egzogenicznych należą zmienne objaśniające, które nie są opisane przez żadne równanie modelu (nie występują w roli zmiennych objaśnianych). Pozostałe zmienne noszą nazwę zmiennych endogenicznych¹⁰⁷.

¹⁰⁵ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne przedsiębiorcy*, Instytut Wydawniczy GRAVIS, Toruń 2002, s. 102.

¹⁰⁶ W. Welfe, A. Welfe, *Ekonometria stosowana*, PWE, Warszawa 2004, s. 13.

¹⁰⁷ I. Kuropka, *Model ekonometryczny [w:] Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 139.

Inną klasyfikacją zmiennych występujących w modelach jest podział na: zmienne z góry ustalone (do których zalicza się zmienne egzogeniczne i opóźnione w czasie oraz zmienne endogeniczne) oraz zmienne łącznie współzależne (zmienne endogeniczne bez opóźnień czasowych)¹⁰⁸.

Kolejnym elementem modelu ekonometrycznego są parametry strukturalne. Informują one o sile i kierunku oddziaływań zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą. Składowik losowy natomiast jest zmienną losową o nadziei matematycznej równej zeru i rozkładzie normalnym. Jest on wprowadzany do modelu, ponieważ¹⁰⁹:

- nie wszystkie zmienne objaśniające wpływające na zmienną objaśnianą są ujmowane w modelu,
- zachowanie podmiotów podejmujących decyzje ekonomiczne cechuje tzw. indeterminizm, zgodnie z którym ten sam podmiot postawiony wobec tego samego dylematu wyboru i przy spełnieniu tych samych warunków zewnętrznych może podejmować różne decyzje,
- w pomiarach wartości zmiennych występują błędy i zaokrąglenia,
- przyjęta postać analityczna modelu może być niewłaściwa.

Tabela 2.8. zawiera podstawowe klasyfikacje modeli ekonometrycznych.

Tabela 2.8. Podstawowe klasyfikacje modeli ekonometrycznych

Kryterium klasyfikacji	Rodzaje modeli ekonometrycznych
liczba równań	– modele jednorównaniowe – modele wielorównaniowe
rola czasu	– modele statyczne – modele dynamiczne
postać analityczna równań	– modele liniowe – modele nieliniowe
walory poznawcze	– modele przyczynowo-skutkowe – modele symptomatyczne – modele tendencji rozwojowych
stabilność powiązań zmiennej objaśnianej ze zmiennymi objaśniającymi	– modele klasyczne – modele segmentowe – modele lokalne

Źródło: L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 91–92.

¹⁰⁸ J.W. Wiśniewski, *Ekonometryczny model małego przedsiębiorstwa*, Instytut Wydawniczy GRAVIS, Toruń 2002, s. 70–71.

¹⁰⁹ Z. Pawłowski, *Modele ekonometryczne równań opisowych*, PWN, Warszawa 1973, s. 20–21; J.W. Wiśniewski, *Mikroekonometria*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009, s. 182.

Biorąc pod uwagę liczbę równań w modelu ekonometrycznym, można zatem wyróżnić¹¹⁰:

- modele jednorównaniowe,
- modele wielorównaniowe.

Przy czym wśród modeli wielorównaniowych wyróżnić można¹¹¹:

- modele proste, w których nie ma powiązań między zmiennymi endogenicznymi nieopóźnionymi w czasie (każde równanie modelu można więc traktować niezależnie),
- modele rekurencyjne, gdzie występują jednokierunkowe powiązania pomiędzy zmiennymi endogenicznymi nieopóźnionymi w czasie (prognozowanie zmiennych z poszczególnych równań musi przebiegać w określonej kolejności, co określa się mianem predykcji łańcuchowej¹¹²),
- modele o równaniach łącznie współzależnych, charakteryzujące się występowaniem wielokierunkowych powiązań pomiędzy zmiennymi endogenicznymi nieopóźnionymi w czasie (predykcja dokonywana jest na podstawie postaci zredukowanej modelu).

Jeżeli za kryterium klasyfikacji przyjmie się rolę czasu w modelu, wówczas wyróżnić można¹¹³:

- modele statyczne,
- modele dynamiczne.

Wśród modeli dynamicznych wyróżnić można z kolei¹¹⁴:

- modele tendencji rozwojowej, gdzie jedyną zmienną objaśniającą jest zmienna czasowa,
- modele autoregresyjne, gdzie w roli zmiennej objaśniającej występuje zmienna objaśniana opóźniona w czasie,
- modele z opóźnionymi zmiennymi objaśniającymi.

Kolejnym kryterium klasyfikacji modeli może być również postać analityczna równań. Wyróżnia się wówczas¹¹⁵:

- modele liniowe,
- modele nieliniowe.

Również i w tym przypadku można dokonać bardziej szczegółowej klasyfikacji, dzieląc modele nieliniowe na: linearyzowalne, czyli takie, które można sprowadzić do postaci liniowej, oraz modele niesprowadzalne do liniowych (tzw. modele nielinearyzowalne).

¹¹⁰ I. Kuropka, *Model ekonometryczny...*, s. 139.

¹¹¹ D. Witkowska, *Podstawy ekonometrii...*, s. 222.

¹¹² J.W. Wiśniewski, *Prognozowanie ekonometryczne...*, s. 281.

¹¹³ I. Kuropka, *Model ekonometryczny...*, s. 139.

¹¹⁴ P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 117.

¹¹⁵ I. Kuropka, *Model ekonometryczny...*, s. 139.

Można również dokonać podziału modeli ekonometrycznych ze względu na walory poznawcze, wyróżniając¹¹⁶:

- modele przyczynowo-skutkowe, czyli takie, które odzwierciedlają przyczynowo-skutkowe powiązania między zmiennymi,
- modele symptomatyczne, czyli takie, w których, mimo występowania silnej korelacji między zmiennymi objaśnianymi a zmiennymi objaśniającymi, nie można dokonać interpretacji przyczynowo-skutkowej,
- modele tendencji rozwojowych, czyli takie, w których w roli zmiennej objaśniającej występuje zmienna czasowa.

Ze względu na stabilność powiązań zmiennej objaśnianej ze zmiennymi objaśniającymi wyróżnić można¹¹⁷:

- modele klasyczne, w którym dla wszystkich obserwacji występuje ta sama postać analityczna i lista zmiennych objaśniających, a także występują te same wartości parametrów,
- modele segmentowe, gdy zbiór obserwacji można podzielić na przynajmniej dwa niepuste i rozłączne podzbiory (segmenty), charakteryzujące się tym, że dla każdego z nich spełnione są cechy modelu klasycznego (ta sama postać analityczna, ta sama lista zmiennych objaśniających oraz te same wartości parametrów) oraz istnieje taka para podzbiorów, które różnią się postacią analityczną, listą zmiennych objaśniających lub wartościami parametrów,
- modele lokalne, gdy model różni się dla każdej obserwacji pod względem: postaci analitycznej, listy zmiennych objaśniających lub wartości parametrów.

Najprostszym i najczęściej wykorzystywanym modelem jest przyczynowo-skutkowy jednorównaniowy liniowy model ekonometryczny. W modelu tym prognozowana (objaśniana) zmienna jest sumą iloczynów zmiennych objaśniających i odpowiadających im parametrów strukturalnych oraz składnika losowego, co można zapisać wzorem¹¹⁸:

$$y_t = \sum_{j=0}^k \alpha_j x_{tj} + \xi_t \quad (2.60)$$

gdzie:

y_t – obserwacje na zmiennej objaśnianej Y w okresie t ,

x_{tj} – obserwacje na zmiennej objaśniającej X_j ,

α_j – parametr strukturalny stojący przy j -tej zmiennej objaśniającej,

ξ_t – składnik losowy.

¹¹⁶ A.S. Barczak, J. Biolik, *Podstawy ekonometrii*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice 1999, s. 21.

¹¹⁷ *Ekonometria i badania operacyjne. Zagadnienia podstawowe*, pod red. B. Guzika, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2000, s. 26–29.

¹¹⁸ J.W. Wiśniewski, *Mikroekonometria...*, s. 182.

Zmienne objaśniające zawierają informacje o czynnikach wpływających na zmienną prognozowaną (np. w przypadku popytu pierwotnego mogą to być: cena produktu, wydatki na promocję, cena produktu substytucyjnego).

Budowa modelu ekonometrycznego przebiega w następujących pięciu etapach¹¹⁹:

- 1) specyfikacja,
- 2) identyfikacja,
- 3) estymacja,
- 4) weryfikacja,
- 5) eksploatacja.

Specyfikacja modelu polega na doborze jego zmiennych. Wybór zmiennej objaśnianej wynika z celu badania. W przypadku modelu prognostycznego zmienna objaśniana jest jednocześnie zmienną prognozowaną, natomiast jeśli chodzi o zmienne objaśniające to w pierwszej kolejności dobiera się tzw. zbiór zmiennych potencjalnych, czyli takich, które mogą wejść do modelu. Dobór potencjalnych zmiennych objaśniających opiera się na znajomości badanych zjawisk. Dobiera się takie zmienne, które w możliwie największym stopniu wpływają na zmienną objaśnianą.

Warto w tym miejscu przytoczyć kilka wskazówek, które mogą ułatwić dobór zmiennych¹²⁰:

- zmienne objaśniające powinny być silnie skorelowane ze zmienną objaśnianą,
- zmienne objaśniające powinny być słabo skorelowane ze sobą nawzajem,
- dobór powinien wynikać z przesłanek merytorycznych, takich jak np.: teoria ekonomii, teoria funkcjonowania rynku, opinia ekspertów, wcześniej zdobyta wiedza na temat czynników wpływających na zmienną objaśnianą,
- w przypadku modelu prognostycznego należy zadbać o to, aby dało się ustalić wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowanym.

Po ustaleniu zbioru zmiennych potencjalnych dokonuje się ich redukcji, w celu wyróżnienia takiego zestawu zmiennych objaśniających, które najlepiej opiszą zmienną objaśnianą. Można wyróżnić dwie grupy metod redukcji zmiennych objaśniających¹²¹:

- 1) zastosowanie sformalizowanej metody selekcji zmiennych w fazie specyfikacji (tzw. selekcja przedestymacyjna),
- 2) odrzucenie zmiennych nieistotnych w fazie weryfikacji modelu (selekcja poestymacyjna).

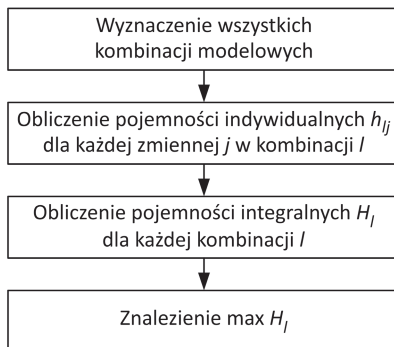
Najczęściej opisywaną w literaturze metodą selekcji przedestymacyjnej jest **metoda Zdzisława Hellwiga**, zwana inaczej metodą optymalnego wyboru predyktant lub

¹¹⁹ *Ibidem*, s. 183.

¹²⁰ P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 119–122.

¹²¹ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 105.

metodą pojemności integralnych¹²². Sposób postępowania według tej metody można przedstawić w postaci algorytmu (rys. 2.7).



Rysunek 2.7. Metoda Hellwiga selekcji zmiennych

Źródło: Z. Hellwig, *Problem optymalnego wyboru predyktant...*, s. 48–52.

W pierwszym etapie budowane są tzw. kombinacje modelowe, czyli wszystkie możliwe modele, które można utworzyć ze zbioru potencjalnych zmiennych objaśniających. Liczba możliwych kombinacji modelowych dla m potencjalnych zmiennych objaśniających wynosi 2^{m-1} . Następnie dla każdej kombinacji modelowej l oblicza się tzw. **pojemność integralną** ze wzoru¹²³:

$$H_l = \sum_j h_{lj} \quad (2.61)$$

gdzie:

h_{lj} – pojemność indywidualna j -tej zmiennej w l -tej kombinacji modelowej, obliczana ze wzoru¹²⁴:

$$h_{lj} = \frac{r_j^2}{1 + \sum_{i \neq j} |r_{ij}|} \quad (2.62)$$

gdzie:

r_j – współczynnik korelacji pomiędzy zmienną objaśnianą a j -tą zmienną objaśniającą,

r_{ij} – współczynnik korelacji wzajemnej pomiędzy każdą z par zmiennych objaśniających.

¹²² Z. Hellwig, *Problem optymalnego wyboru predyktant*, „Przegląd Statystyczny” 1969, nr 3–4 [za:] S. Bartosiewicz, *Ekometria. Technologia ekonometrycznego przetwarzania informacji*, PWE, Warszawa 1989, s. 48–52.

¹²³ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 107.

¹²⁴ *Ibidem*.

Metoda Hellwiga polega na wskazaniu takiego równania, które charakteryzuje się największą pojemnością integralną H_I .

Zadanie 2.8¹²⁵

Przedsiębiorca rozważa przyczyny zmian wielkości sprzedaży realizowanej przez przedsiębiorstwo w mln zł (Y). Potencjalne zmienne objaśniające to:

- dochody ludności w zł (X_1),
- wielkość wydatków na reklamę w tys. zł (X_2),
- stopa wzrostu PKB w % (X_3).

Wartości zmiennej objaśnianej oraz potencjalnych zmiennych objaśniających z 11 ostatnich okresów zawiera tabela 2.9.

Stosując metodę Hellwiga, dokonać selekcji zmiennych objaśniających.

Tabela 2.9. Informacje o zmiennej objaśnianej oraz potencjalnych zmiennych objaśniających

y_t	x_{t1}	x_{t2}	x_{t3}
1,8	850	2	1,6
1,8	870	2,1	1,5
2,1	880	1,9	2,0
2,9	890	1,5	2,8
3	910	2,3	3,0
4,1	950	2,7	3,6
4,4	980	2,6	4,0
4,6	1000	2,5	4,5
4,8	1020	2,8	4,6
5	1040	2	4,8
5,1	1060	1,8	5,0

Źródło: J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 108 (z niewielkimi zmianami).

Oprócz metody Hellwiga w literaturze przedmiotu opisywane są również inne metody doboru zmiennych. Wymienić tu można:

- prostą metodę grafową Stanisławy Bartosiewicz¹²⁶,

¹²⁵ Przykład pochodzi z: J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 106–110 (z niewielkimi zmianami).

¹²⁶ S. Bartosiewicz, *Ekonometria...*, s. 52–57.

- metodę wyboru zmiennych na podstawie błędu prognozy *ex ante* Diany M. Allen¹²⁷,
- metodę eliminowania zmiennych quasi-stałych¹²⁸.

Identyfikacja, czyli drugi etap budowy modelu, nie dotyczy opisywanego jednorównaniowego liniowego modelu ekonometrycznego. Polega bowiem na ustaleniu postaci analitycznej modelu (wyznaczenie funkcji obrazującej zależność pomiędzy zmienną objaśnianą a zmiennymi objaśniającymi), a w przypadku modeli wielorównaniowych również na ustaleniu charakteru powiązań pomiędzy równaniami.

Trzeci etap to **estymacja** (oszacowanie) parametrów modelu, zarówno parametrów strukturalnych, jak i parametrów struktury stochastycznej. Najbardziej rozpowszechnioną w literaturze i najczęściej stosowaną metodą szacowania parametrów strukturalnych modelu ekonometrycznego jest tzw. **klasyczna metoda najmniejszych kwadratów – KMNK**. Metoda ta polega na wyznaczeniu takiego zestawu parametrów strukturalnych, dla których suma kwadratów różnic między empirycznymi a teoretycznymi wartościami zmiennej objaśnianej jest najmniejsza, co można zapisać wzorem:

$$\sum_{t=1}^{t_0} (y_t - \hat{y}_t)^2 = \sum_{t=1}^{t_0} (e_t)^2 \rightarrow \min \quad (2.63)$$

gdzie:

y_t – empiryczna (rzeczywista) wartość zmiennej objaśnianej Y w okresie t ,

$\hat{y}_t$ – teoretyczna (wyznaczona z modelu) wartość zmiennej objaśnianej Y w okresie t ,

e_t – reszta modelu w okresie t .

Wektor ocen parametrów strukturalnych uzyskanych za pomocą KMNK oblicza się ze wzoru¹²⁹:

$$\hat{\alpha} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (2.64)$$

gdzie:

$\mathbf{X}$ – macierz obserwacji na zmiennych objaśniających,

$\mathbf{Y}$ – macierz obserwacji na zmiennej objaśnianej.

¹²⁷ D.M. Allen, *Mean Square Error of Prediction as Criterion for Selection Variables* „Technometrics” 1971, nr 13 [za:] I. Kuropka, *Model ekonometryczny...*, s. 142–143.

¹²⁸ A. Wojna, *Analiza statystyczna oraz prognozowanie w modelach ekonomicznych, część 2: Metody oraz narzędzia prognozowania zjawisk ekonomicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004, s. 103–104.

¹²⁹ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 110.

Stosowanie KMNK wymaga spełnienia następujących założeń¹³⁰:

- zmienna objaśniana powinna być liniową funkcją zmiennych objaśniających oraz składników losowych,
- zmienne objaśniające modelu powinny być nieelosowe o ustalonych wartościach,
- między zmiennymi objaśniającymi nie powinno być współliniowości,
- składnik losowy powinien mieć rozkład normalny z nadzieją matematyczną równą zero oraz ze stałą i skończoną wariancją,
- składniki losowe dla różnych okresów nie powinny być ze sobą skorelowane.

Dzięki spełnieniu powyższych założeń można za pomocą KMNK uzyskać pożądane właściwości statystyczne estymatora, takie jak¹³¹:

- nieobciążoność, która oznacza, że wartość oczekiwana estymatora jest równa szacowanemu parametrowi,
- zgodność, która oznacza, że wraz ze wzrostem próby wartość oczekiwana estymatora zmierza do wartości szacowanego parametru, a jego wariancja zmierza do zera,
- efektywność, która mierzona jest za pomocą wariancji estymatora, przy czym im mniejsza wariancja, tym większa jest efektywność estymatora.

Po oszacowaniu wartości parametrów strukturalnych modelu przystępuje się do estymacji parametrów struktury stochastycznej. Chodzi tu przede wszystkim o ocenę wariancji składnika losowego, którą jest tzw. wariancja resztowa wyznaczana ze wzoru¹³²:

$$s^2 = \frac{1}{n - m - 1} \sum_{t=1}^t (y_t - \hat{y}_t)^2 = \frac{1}{n - m - 1} \sum_{t=1}^n e_t^2 \quad (2.65)$$

gdzie:

m – liczba zmiennych objaśniających modelu (bez zmiennej stojącej przy wyrazie wolnym),

n – liczba obserwacji,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Mając wariancję resztową, można z kolei wyznaczyć macierz wariancji i kowariancji ocen parametrów strukturalnych¹³³:

$$\mathbf{D}^2(\hat{\boldsymbol{\alpha}}) = s^2(\mathbf{X}^T\mathbf{X})^{-1} \quad (2.66)$$

gdzie:

s^2 – wariancja resztowa,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

¹³⁰ P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 129.

¹³¹ J.W. Wiśniewski, *Ekonometryczne modele zależności ekonomicznych zmiennych losowych* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996, s. 110; A.S. Barczak, J. Biolik, *Podstawy ekonometrii...*, s. 58.

¹³² P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 129.

¹³³ *Ibidem*.

Na głównej przekątnej otrzymanej macierzy $D^2(\hat{\alpha})$ znajdują się oszacowania wariancji ocen parametrów strukturalnych $D^2(\hat{\alpha}_i)$, których pierwiastkami są standardowe błędy ocen parametrów strukturalnych $D(\hat{\alpha}_i)$. Poza główną przekątną natomiast znajdują się oszacowania kowariancji ocen parametrów $\text{cov}^2(\hat{\alpha}_p, \hat{\alpha}_j)$.

Zadanie 2.9

Oszacować parametry strukturalne oraz parametry struktury stochastycznej modelu:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_{t1} + \alpha_2 x_{t2} + \xi_t$$

gdzie:

y_t – wielkość sprzedaży realizowanej przez przedsiębiorstwo w okresie t (w tys. zł),

x_{t1} – dochody ludności w okresie t (w tys. zł),

x_{t2} – wielkość wydatków na reklamę w okresie t (w tys. zł).

Wartości zmiennej objaśnianej oraz zmiennych objaśniających z 10 ostatnich okresów zawiera tabela 2.10.

Tabela 2.10. Informacje o zmiennej objaśnianej oraz potencjalnych zmiennych objaśniających

t	y_t	x_{t1}	x_{t2}
1	34.911	2,9	60
2	35.132	3,3	72
3	35.642	3,3	83
4	35.015	2,7	85
5	36.395	3,6	91
6	36.521	3,3	102
7	36.314	3,6	111
8	37.692	3,9	123
9	37.612	4,2	125
10	37.158	3,9	127

Źródło: dane fikcyjne.

Po oszacowaniu modelu należy przystąpić do jego **weryfikacji**, zarówno merytorycznej, jak i statystycznej. **Weryfikacja merytoryczna** polega na sprawdzeniu, czy otrzymany model jest zgodny z założeniami teorii, która służyła do jego budowy. Chodzi tu przede wszystkim o sprawdzenie zgodności znaków ocen parametrów strukturalnych z rzeczywistymi kierunkami powiązań zmiennych objaśniających

ze zmienną objaśnianą. Najczęściej otrzymane w procesie estymacji znaki ocen parametrów strukturalnych porównuje się¹³⁴:

- ze znakami odpowiednich współczynników korelacji,
- z wynikami innych badań,
- z twierdzeniami teorii ekonomii.

Weryfikacji merytorycznej powinna towarzyszyć **weryfikacja statystyczna**, która polega na sprawdzeniu¹³⁵:

- stopnia zgodności modelu z danymi empirycznymi,
- rozkładu składnika losowego,
- istotności zmiennych objaśniających modelu (selekcja poestymacyjna).

Najczęściej wykorzystywanymi miarami stopnia zgodności modelu z danymi empirycznymi są¹³⁶:

- współczynnik determinacji R^2 ,
- współczynnik korelacji wielorakiej R ,
- skorygowany współczynnik determinacji $\tilde{R}^2$,
- współczynnik zbieżności Φ^2 .

Współczynnik determinacji R^2 obliczany jest ze wzoru:

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^{t_0} (\hat{y}_t - \bar{y})^2}{\sum_{t=1}^{t_0} (y_t - \bar{y})^2} \quad (2.67)$$

gdzie:

$\bar{y}$ – średnia arytmetyczna rzeczywistych wartości zmiennej objaśnianej Y ,
pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Współczynnik R^2 przyjmuje wartości z przedziału $\langle 0;1 \rangle$ i informuje o tym, jaka część zmienności zmiennej objaśnianej wyjaśniana jest przez zmienność zmiennych objaśniających. Aby ocenić istotność współczynnika determinacji, weryfikuje się hipotezę zerową:

$$H_0 : R^2 = 0 \quad (2.68)$$

¹³⁴ R. Czyżyki, M. Hundert, R. Klóska, *Wybrane zagadnienia z ekonometrii*, Economicus, Szczecin 2004, s. 61.

¹³⁵ P. Dittmann, *Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1997, s. 120–121.

¹³⁶ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 113–117.

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : R^2 \neq 0 \quad (2.69)$$

Jej sprawdzianem jest statystyka:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{n - m - 1}{m} \quad (2.70)$$

oznaczenia jak wyżej.

Statystyka F ma rozkład F-Fishera-Snedecora o $m_1 = m$ i $m_2 = n - m - 1$ stopniach swobody. Obliczoną statystykę porównuje się z wartością F_α , odczytaną z tablic rozkładu F-Fishera-Snedecora o $m_1 = m$ i $m_2 = n - m - 1$ stopniach swobody i przyjętego poziomu istotności α . Jeśli $F < F_\alpha$, wówczas nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej, natomiast dla $F \geq F_\alpha$ odrzuca się hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej (co oznacza, że współczynnik determinacji różni się istotnie od zera, a to z kolei oznacza dobre dopasowanie modelu).

Współczynnik korelacji wielorakiej R , będący kwadratowym pierwiastkiem współczynnika determinacji, informuje o sile związku liniowego między zmienną objaśnianą a zmiennymi objaśniającymi.

W celu porównania stopnia dopasowania modeli o różnej liczbie zmiennych objaśniających oblicza się niekiedy tzw. **skorygowany współczynnik determinacji $\tilde{R}^2$** :

$$\tilde{R}^2 = 1 - \frac{n - 1}{n - m - 1} (1 - R^2) \quad (2.71)$$

oznaczenia jak wyżej.

Ze współczynnikiem determinacji związany jest **współczynnik zbieżności Φ^2** , obliczany ze wzoru:

$$\Phi^2 = 1 - R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{t_0} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{t_0} (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.72)$$

oznaczenia jak wyżej.

Współczynnik zbieżności informuje o tym, jaki jest udział wahań przypadkowych w całkowitej zmienności zmiennej objaśnianej.

Kolejną kwestią związaną z weryfikacją modelu jest zbadanie rozkładu składnika losowego, która najczęściej sprowadza się do oceny jego autokorelacji¹³⁷. Autokorelacja rozkładu składnika losowego oznacza, że tworzy on tzw. proces autoregresyjny. Wynika to najczęściej z błędów popełnionych we wcześniejszych etapach budowy modelu, takich jak np.¹³⁸:

- pominięcie istotnej statystycznie zmiennej objaśniającej,
- wybór wadliwej postaci analitycznej modelu,
- nadmiar zmiennych statycznie nieistotnych.

W tej sytuacji konieczna jest respecyfikacja modelu aż do momentu, w którym uzyska się tzw. czysty składnik losowy, czyli charakteryzujący się brakiem autokorelacji. Dla zbadania wspomnianej autokorelacji stawia się hipotezę zerową¹³⁹:

$$H_0 : \rho_1 = 0 \quad (2.78)$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : \rho_1 > 0 \quad (2.79)$$

gdzie:

ρ_1 – współczynnik autokorelacji składnika losowego rzędu I.

Dla weryfikacji postawionej hipotezy oblicza się statystykę DW ze wzoru:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^{t_0} (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{t_0} e_t^2} \quad (0 \leq DW \leq 4) \quad (2.80)$$

gdzie:

e_t – reszta modelu w okresie t .

Jeśli obliczana statystyka DW jest większa niż 2, wówczas należy zmienić hipotezę alternatywną na:

$$H_1 : \rho_1 < 0 \quad (2.81)$$

¹³⁷ W literaturze przedmiotu znaleźć można zalecenia oceny również innych cech rozkładu składnika losowego, takich jak np. jego symetrii, losowości, nieobciążoności oraz normalności; por np. P. Dittmann, *Prognozowanie w przedsiębiorstwie...*, s. 132–135.

¹³⁸ J.W. Wiśniewski, *Mikroekonometria...*, s. 194.

¹³⁹ *Ibidem*, s. 194–195.

Sprawdzianem w takiej sytuacji będzie statystyka DW^* obliczona ze wzoru:

$$DW^* = 4 - DW \quad (2.82)$$

Obliczoną statystykę DW (lub DW^*) porównuje się z wartościami krytycznymi d_L i d_U odczytanymi z tablic testu Durбина-Watsona dla przyjętego poziomu istotności α , liczby obserwacji n oraz liczby zmiennych objaśniających k . Jeśli zachodzi relacja $DW < d_L$ (lub $DW^* < d_L$), to odrzuca się hipotezę zerową H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 (co oznacza, że występuje autokorelacja składnika losowego). W przypadku gdy $DW > d_U$ (lub $DW^* > d_U$), nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej. Może zdarzyć się sytuacja, że zajdzie relacja $d_L \leq DW \leq d_U$ (lub $d_L \leq DW^* \leq d_U$). Wówczas należy zastosować inny test statystyczny (np. test t -Studenta).

Po ocenie rozkładu składnika losowego można przystąpić do zbadania istotności wpływu zmiennych objaśniających modelu na zmienną objaśnianą¹⁴⁰. W tym celu weryfikuje się hipotezę zerową:

$$H_0 : \alpha_j = 0 \quad (2.87)$$

wobec hipotezy alternatywnej:

$$H_1 : \alpha_j \neq 0 \quad (2.88)$$

Jej sprawdzianem jest statystyka t_j obliczana dla każdej zmiennej objaśniającej ze wzoru:

$$t_j = \frac{|\hat{\alpha}_j|}{s_{\hat{\alpha}_j}} \quad (2.89)$$

gdzie:

$\hat{\alpha}_j$ – ocena parametru strukturalnego stojącego przy zmiennej objaśniającej X_j ,

$s_{\hat{\alpha}_j}$ – średni błąd szacunku parametru strukturalnego stojącego przy zmiennej X_j .

Obliczane statystyki porównywane są z wartościami krytycznymi $t_{\gamma, n-k-1}$ odczytanymi z tablic rozkładu t -Studenta dla przyjętego poziomu istotności γ i $n-k-1$ stopni swobody. Jeśli zachodzi relacja $t_j > t_{\gamma, n-k-1}$, odrzucana jest hipoteza zerowa H_0 na rzecz hipotezy alternatywnej H_1 (co oznacza istotny wpływ zmiennej objaśniającej X_j na zmienną objaśnianą Y). W przeciwnym przypadku nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 .

¹⁴⁰ J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 115.

Zadanie 2.10

Dokonać statystycznej weryfikacji modelu oszacowanego w zadaniu 2.9.

Mając poprawnie zweryfikowany model, można przystąpić do jego eksploatacji. Podstawowym sposobem wykorzystania modelu ekonometrycznego jest prognozowanie. Aby jednak można było stworzyć prognozy, muszą być spełnione tzw. **podstawowe założenia predykcji**¹⁴¹:

- znajomość modelu ekonometrycznego opisującego kształtowanie się prognozowanej zmiennej,
- stabilność mechanizmu powiązań zmiennej prognozowanej ze zmiennymi objaśniającymi zarówno w okresie, z którego pochodzi próba, jak i w okresie prognozowanym (jeżeli struktura się zmienia, to zmiany te powinny być powolne i regularne, aby możliwe było ich uchwycenie w modelu przez uzmiennienie parametrów strukturalnych),
- stacjonarność rozkładu składnika losowego w całym okresie (jeżeli rozkład się zmienia, to zmiany powinny być na tyle regularne, by można było je wykryć i ekstrapolować na okres prognozowany),
- znajomość wartości zmiennych objaśniających w okresie prognozowanym,
- merytoryczna dopuszczalność ekstrapolacji modelu poza obszar zmienności zmiennych zaobserwowany w próbie, która posłużyła do estymacji modelu.

Powyższe założenia uzupełnia się o dwa **postulaty prakseologiczne**¹⁴²:

- efektem prognozy powinna być zarówno odpowiednia prognoza, jak i ocena rzędu jej dokładności podana w formie odpowiedniego miernika,
- jeżeli możliwe jest zbudowanie prognozy kilkoma sposobami, to należy wybrać najlepszy ze względu na wybrane kryterium.

Tworzenie prognozy polega na podstawieniu w miejsce zmiennych objaśniających odpowiednich danych liczbowych i obliczeniu wartości zmiennej objaśnianej zgodnie z postacią analityczną modelu. W momencie prognozowania nieznane są wartości zmiennych objaśniających dotyczące okresu prognozowanego. W zależności od sytuacji problem ten można rozwiązać w trojaki sposób¹⁴³:

- 1) korzystając z wiarygodnych źródeł prognoz, które zostały już wyznaczone (dotyczy to głównie wskaźników makroekonomicznych, typu wskaźnik inflacji, bezrobocia, wzrostu PKB itp.),
- 2) samodzielnie budując prognozę,
- 3) dokonując symulacji typu *what if*, jeśli zmienna ma charakter tzw. zmiennej decyzyjnej, co oznacza, że przedsiębiorstwo ma na nią wpływ (np. poziom

¹⁴¹ J.W. Wiśniewski, *Prognozowanie ekonometryczne...*, s. 265–267.

¹⁴² *Ibidem*, s. 267.

¹⁴³ A. Zeliaś, *Estymacja parametrów równania regresji liniowej w warunkach niepełnej informacji*, „Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie”, Kraków 1997, s. 175–177.

ceny sprzedawanego dobra czy poziom wydatków na jego reklamę), można ustalić poziom prognozowanej zmiennej objaśnianej przy różnych wariantach zmiennej objaśniającej (tzw. prognozy wariantowe).

Prognozowanie za pomocą przyczynowo-skutkowego liniowego modelu ekonometrycznego ma szereg zalet. Do najważniejszych zaliczyć można¹⁴⁴:

- prostotę budowy i interpretacji parametrów modelu,
- możliwość obliczeń błędów prognozy typu *ex ante*,
- możliwość oceny kierunku i siły wpływu zmiennych objaśniających na zmienną prognozowaną, co umożliwia uzyskiwanie prognoz wariantowych,
- możliwość uwzględnienia w prognozowanym zjawisku istotnych związków przyczynowo-skutkowych, co umożliwia budowę prognoz na średnie i długie okresy.

Wadą przyczynowo-skutkowego liniowego modelu ekonometrycznego jest to, że wymaga posiadania odpowiednio długich szeregów czasowych zmiennej prognozowanej i zmiennych objaśniających, jak również informacji na temat przyszłych wartości zmiennych objaśniających.

2.2.4. Metody heurystyczne

Kolejną grupę metod prognozowania stanowią tzw. **metody heurystyczne**. Nazwa tej grupy wywodzi się z greckiego terminu *heurisko* oznaczającego: umiejętność wykrywania nowych faktów i związków między nimi, a także formułowania hipotez, dzięki którym dochodzi się do poznania nowych prawd¹⁴⁵. Stąd też wspólną cechą metod heurystycznych (inaczej zwanych intuicyjnymi) jest to, że bazują one w dużym stopniu na doświadczeniu (oraz intuicji) osób prognozujących dane zjawisko. Przykładami metod heurystycznych są¹⁴⁶:

- burza mózgów,
- metoda delficka,
- badanie ankietowe.

Burza mózgów została po raz pierwszy opisana przez Alexa F. Osborna. Metoda ta ma zastosowanie w różnych dziedzinach życia, jedną z nich jest również opracowywanie prognoz. W procedurze postępowania za pomocą burzy mózgów wyróżnia się trzy następujące po sobie fazy¹⁴⁷:

¹⁴⁴ A. Zeliaś, *Teoria prognozy...*, s. 125.

¹⁴⁵ *Słownik wyrazów obcych PWN*, pod red. L. Wiśniakowskiej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, s. 363, s. v „heurystyka”.

¹⁴⁶ L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 98.

¹⁴⁷ J. Krupowicz, *Metody heurystyczne [w:] Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 206.

- 1) przygotowanie,
- 2) tworzenie,
- 3) ocenianie.

Faza przygotowania rozpoczyna się od sprecyzowania problemu badawczego oraz zebrania niezbędnych informacji. Następnie odbywa się dobór ekspertów. Na tym etapie tworzone są dwa zespoły. Pierwszy zespół, zwany twórczym, który będzie poszukiwał pomysłów, tworzą specjaliści z różnych dziedzin wiedzy, co sprzyja różnorodności zgłaszanych pomysłów. Drugi zespół, tzw. zespół oceniający, którego celem będzie analiza pomysłów oraz opracowanie wariantu lub wariantów rozwiązania problemu, tworzą specjaliści w zakresie badanego problemu.

Kolejna faza, faza tworzenia, obejmuje z kolei: przedstawienie problemu, przypomnienie zasad burzy mózgów, zgłaszanie i notowanie pomysłów, przypisanie pomysłom numerów identyfikacyjnych.

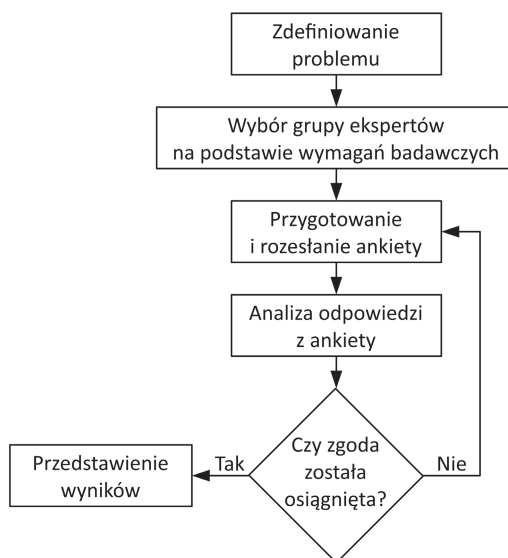
Ostatnią fazą jest faza oceniania polegająca na: ustaleniu kryterium oceny, analizie i ocenie pomysłów oraz na sformułowaniu i przedstawieniu ostatecznego sposobu rozwiązania problemu.

Największą zaletą burzy mózgów są: stosunkowo krótki czas trwania badania i niskie koszty jego realizacji. Natomiast jej wady wynikają z nieuchronnych następstw psychologicznych mechanizmów działających podczas pracy w grupie, takich jak: dominacja jednej lub kilku indywidualności, presja grupy na innych uczestników, niechęć uczestników do publicznej zmiany zajętego wcześniej stanowiska. Z uwagi na opisane wady metoda ta stosowana jest zazwyczaj tylko w przypadku problemów mało skomplikowanych.

Nazwa kolejnej z metod heurystycznych – **metody delfickiej** – pochodzi od starożytnego miasta Delfy, które zasłynęło w antycznej Grecji dzięki apollińskim wyroczniom przepowiadającym przyszłość. Istota tej, opisaney po raz pierwszy w 1963 roku przez Normana Dalkey'a i Olafa Helmera, metody podobna jest do burzy mózgów. Opiera się ona również na pracy grupy ekspertów, z taką jednak różnicą, że pracują oni indywidualnie, niezależnie od siebie. Procedurę metody delfickiej ilustruje algorytm na rysunku 2.8.

Pierwszym etapem postępowania, jak wynika z rysunku 2.8, jest zdefiniowanie problemu. Problem najczęściej jest definiowany przez organizatorów badania, ale może być również zasugerowany przez ekspertów. Czasami organizatorzy badania tworzą pewne hipotezy badawcze i poddają do dyskusji ekspertom, aby w ten sposób określić przedmiot badań.

Po zdefiniowaniu problemu badawczego i wyborze grupy ekspertów biorących udział w badaniu organizatorzy badania przystępują do opracowania kwestionariusza ankietowego. Pytań w kwestionariuszu nie powinno być zbyt dużo (nie więcej niż 25). Ponadto powinny być one jednoznaczne i niezależne od siebie.



Rysunek 2.8. Procedura badania według metody delfickiej

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Krupowicz, *Metody heurystyczne...*, s. 209.

Przygotowane kwestionariusze ankietowe są rozsyłane następnie do ekspertów. Otrzymane odpowiedzi są opracowywane za pomocą narzędzi statystycznych. Jeśli odpowiedzi są zbliżone, wówczas są przedstawiane wyniki badania. Jeśli natomiast zgoda nie jest osiągnięta, wówczas przygotowuje się kolejny kwestionariusz. Eksperci, którzy udzielili odpowiedzi różniących się znacznie od innych, proszeni są o uzasadnienie. Umożliwia to zawarcie w nowym kwestionariuszu dodatkowych czynników lub faktów nieuwzględnionych poprzednio przez większość ekspertów. Dodatkowo nowy kwestionariusz powinien zawierać zbiorcze wyniki z poprzedniego etapu badania. Tak opisana procedura jest powtarzana dopóty, dopóki zgoda nie zostanie osiągnięta.

Do zalet metody delfickiej można zaliczyć wyeliminowanie zagrożeń płynących ze społecznych interakcji pracy w grupie (jakie występowały w burzy mózgów), co korzystnie wpływa na niezależność sądów ekspertów, a przez to na obiektywizm badania. Metoda ta nie jest wolna od wad, do których można zaliczyć: konieczność angażowania dużego grona osób (opracowanie ankiet i analiza wyników) oraz stosunkowo długi czas trwania badania, dlatego też stosowana jest tylko w przypadku prognoz długookresowych.

Kolejną metodą heurystyczną jest **badanie ankietowe**. W odróżnieniu od burzy mózgów i metody delfickiej nie jest to jednak metoda ekspercka, gdyż kwestionariusze ankietowe rozsyłane są nie do ekspertów, lecz do losowo wybranych osób z danej grupy (np. klientów).

Kwestionariusz ankietowy powinien składać z trzech części:

- 1) części nagłówkowej (adresowej), zawierającej temat i cel badania oraz nazwę instytucji przeprowadzającej badanie,
- 2) części zasadniczej (tematycznej), zawierającej pytania,
- 3) części końcowej (metryczki), poświęconej ogólnej charakterystyce respondenta.

Pytania w kwestionariuszu ankietowym powinny być uporządkowane w taki sposób, aby: pytania ogólne poprzedzały pytania szczegółowe, wzbudzały zainteresowanie respondenta oraz stopniowo wyczerpywały temat¹⁴⁸.

Przygotowane kwestionariusze ankietowe rozsyłane są do respondentów. Ze względu na sposób dostarczania kwestionariuszy ankietowych klientom można wyróżnić następujące rodzaje ankiet:

- internetowa, w której kwestionariusze wysyłane są za pomocą poczty elektronicznej lub umieszczane na stronie internetowej,
- pocztowa, w której zarówno kwestionariusze, jak i odpowiedzi wysyłane są drogą pocztową,
- prasowa, w której kwestionariusze zamieszczane są w wybranych czasopiśmie, natomiast odpowiedzi wysyłane są na wskazany adres,
- telefoniczna, w której kwestionariusz dyktowany jest telefonicznie, a pisemne odpowiedzi odsyłane pocztą,
- radiowa i telewizyjna, w której kwestionariusze są ogłaszane w radiu i/lub telewizji, a pisemne odpowiedzi odsyłane pocztą,
- opakowaniowa, w której kwestionariusze drukowane są na opakowaniu lub też dołączane do towaru w inny sposób (np. na karcie gwarancyjnej), natomiast odpowiedzi odsyłane są pocztą,
- audytoryjna, w której wydrukowane kwestionariusze rozdawane są zgromadzonym, natomiast odpowiedzi są zbierane przez ankietów lub wrzucane przez respondentów do urn,
- ogólna, w której kwestionariusze rozmieszczane są w miejscach ogólnie dostępnych (np. targi, wystawy, hotele itp.), a odpowiedzi wysyłane na wskazany adres lub składane we wskazanym miejscu,
- bezpośrednia, w której kwestionariusze ankietowe rozdawane są przez ankietów bezpośrednio respondentom, natomiast odpowiedzi przesyłane są pod wskazany adres lub składane w wyznaczonych miejscach,
- faksowa, w której kwestionariusze przekazywane są faksem.

Współcześnie, wraz z rozwojem technologii informatycznych i wykorzystaniem Internetu, w oczywisty sposób coraz większego znaczenia nabierają ankiety internetowe. Po zebraniu wypełnionych kwestionariuszy ankietowych poddaje się je obróbce statystycznej.

¹⁴⁸ S. Kaczmarczyk, *Badania marketingowe. Metody i techniki*, PWE, Warszawa 2002, s. 107.

2.2.5. Metody analogowe

Kolejną grupę niematematycznych metod prognozowania stanowią **metody analogowe**, które polegają na analizie podobieństw (analogii) w mechanizmach charakteryzujących dane zjawisko z mechanizmami innych podobnych zjawisk (których przebieg jest znany). Analogie te mogą mieć charakter¹⁴⁹:

- biologiczny (np. budowa samolotu z wykorzystaniem informacji na temat anatomii ptaków),
- przestrzenny (np. prognozowanie popytu na dany produkt na jednym rynku lokalnym na podstawie informacji o popycie na podobny produkt w innych lokalizacjach),
- historyczny (np. prognozowanie popytu na telefony komórkowe na podstawie informacji o popycie na telefony stacjonarne we wcześniejszych okresach),
- przestrzenno-czasowy (np. prognozowanie popytu na nowy produkt w krajach opóźnionych gospodarczo na podstawie informacji na temat popytu na ten sam produkt w krajach rozwiniętych).

Pośród wymienionych powyżej analogii do prognozowania wykorzystywane są te związane z czasem, czyli analogie o charakterze historycznym i przestrzenno-czasowym.

2.2.6. Metody scenariuszowe

Czasami do prognozowania stosuje się tzw. **scenariusze prognostyczne**. Metody scenariuszowe wykorzystuje się zwykle do budowania prognoz długookresowych, gdy nie ma odpowiednich informacji do skonstruowania modelu ekonometrycznego (np. gdy nie ma informacji o wartościach zmiennych objaśniających). Pisanie scenariusza polega na opisie zdarzeń, a następnie wskazaniu, w jaki sposób rozwijać się będzie dany system. Jest tu więc pewna analogia do scenariusza literackiego.

Aby scenariusz można było wykorzystać do prognozowania, powinien on:

- zawierać wszystkie istotne elementy wpływające na prognozowany system,
- być wiarygodny,
- być akceptowalny,
- być wewnętrznie zgodny.

W literaturze przedmiotu wyróżnia się cztery podstawowe typy scenariuszy (tab. 2.11).

¹⁴⁹ M. Cieślak, *Prognozowanie analogowe* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 180–181.

Tabela 2.11. Cztery podstawowe typy scenariuszy

Scenariusz	Badawczy	Antycypacyjny
Opisowy	jakie będą efekty danych przyczyn	jakie są przyczyny danych efektów
Normatywny	jakie cele będą osiągnięte z danych środków	jakie środki powinny być użyte, aby osiągnąć dane cele

Źródło: C. Ducot, G.J. Lubben, *A Typology for Scenarios*, „Futures” 1980, No 1, s. 53 [za:] B. Radzikowska, *Scenariusze* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005, s. 224.

Scenariusz badawczy ma charakter wyjaśniający. Określa on, jakie będą efekty danych przyczyn. Przeciwnieństwem scenariusza badawczego jest scenariusz antycypacyjny, który określa, jakie są przyczyny danych skutków. Punktem wyjścia jest więc określenie pożądanych stanów przyszłości. Podział scenariuszy na opisowe i normatywne zależy z kolei od postawy osoby piszącej. Jeśli jest ona neutralna, wówczas scenariusz jest opisowy. Scenariusz normatywny uwzględnia natomiast różnego rodzaju intencje osoby piszącej.

2.2.7. Metody wykorzystujące sieci neuronowe

Ostatnio coraz większego znaczenia w prognozowaniu nabiera stosowanie **sieci neuronowych**¹⁵⁰. Powstały one w wyniku badań prowadzonych w dziedzinie sztucznej inteligencji, które prowadzone były już od roku 1943, kiedy powstał pierwszy formalny opis komórki nerwowej i powiązanie go z problemem przetwarzania danych. Główne badania prowadzone były natomiast w latach 1960–1980, doprowadzając do powstania tzw. systemów ekspertowych opierających się głównie na koncepcji, że procesy wnioskowania u człowieka oparte są na manipulowaniu symbolami. Bardzo szybko okazało się jednak, że systemy te nie są w stanie wyjaśnić inteligencji ludzkiej. Narodziła się wówczas koncepcja skonstruowania systemu sztucznej inteligencji jako odwzorowania struktury mózgu.

Zakres zastosowania sieci neuronowych jest stosunkowo szeroki. Oprócz prognozowania wykorzystuje się je również, m.in., do¹⁵¹:

- tworzenia diagnoz medycznych,
- diagnozowania błędów,

¹⁵⁰ R. Tadeusiewicz, *Wstęp do sieci neuronowych* [w:] *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna 2000, t. VI. Sieci neuronowe*, pod red. M. Nałęcz, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2000, s. 3–28.

¹⁵¹ V. Palade, L. Jain, *Practical applications of neural networks*, „Neural Computing & Applications” 2005, Vol. 14, Issue 2, s. 95–96.

- rozpoznawania obrazów i wzorów.

Wykorzystując sieci neuronowe do prognozowania, najczęściej zakłada się, że przyszłe wartości prognozowanej zmiennej zależą od wcześniejszych wartości tej samej zmiennej, podobnie jak ma to miejsce w przypadku metod prognozowania opartych na szeregach czasowych (czasami uwzględnia się również inne zmienne – tak jak w przypadku prognozowania na podstawie modelu ekonometrycznego). Dane zewnętrzne wprowadza się do symulatora sieci neuronowych, który po przeprowadzeniu obliczeń daje odpowiednie wyniki.

Niewątpliwą zaletą sieci neuronowych jest to, że mogą one służyć do odwzorowywania funkcji nieliniowych, co nie zawsze jest możliwe w przypadku innych modeli. Ponadto umożliwiają one kontrolę nad problemami wielowymiarowymi. Ponadto ich stosowanie nie wymaga znajomości algorytmów ich funkcjonowania. W praktyce rola użytkownika sprowadza się do:

- wyboru i przygotowania danych stanowiących przykłady,
- wyboru właściwego rodzaju sieci neuronowej,
- interpretacji wyników.

2.3. Prognozowanie w logistyce polskich przedsiębiorstw

Spośród przedstawionych w rozdziale 2.2 metod w praktyce najczęściej wykorzystywane są metody heurystyczne. Wśród nich dominuje metoda prognozowania oparta na opinii osób zajmujących się sprzedażą. W badaniu przeprowadzonym wśród małych i średnich przedsiębiorstw¹⁵² aż 30% respondentów przyznało, że regularnie stosuje tę metodę, a 17%, że stosuje ją sporadycznie. Istotnym źródłem informacji o przyszłym popycie okazała się również opinia kierownictwa. Do regularnego stosowania tej metody przyznało się 26%, a do sporadycznego 4% badanej grupy podmiotów. Inne metody heurystyczne również cieszą się stosunkowo dużą popularnością. Burza mózgów stosowana jest regularnie przez 13%, a sporadycznie przez 9% przedsiębiorców stosujących metody prognozowania. Badanie ankietowe jako metoda prognozowania wykorzystywane jest natomiast regularnie przez 9%, a sporadycznie przez 6% badanych jednostek. Wśród metod heurystycznych najrzadziej stosuje się metodę delficką, która stanowi regularne źródło informacji o przyszłym popycie dla zaledwie 4% respondentów, sporadycznie zaś wykorzystuje tę metodę tylko 2% badanych.

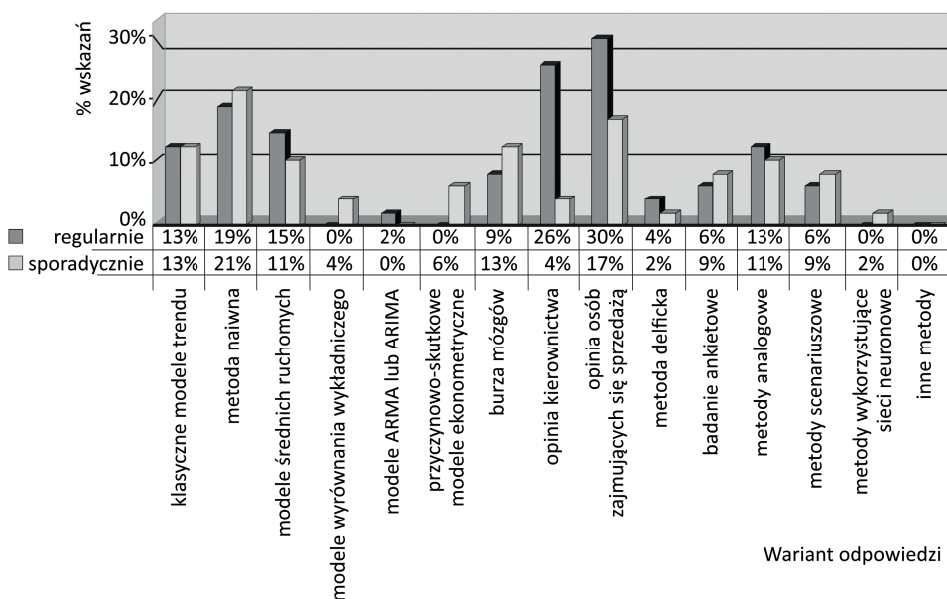
Drugą co do popularności w badanych przedsiębiorstwach grupą metod prognozowania są metody oparte na szeregach czasowych. Wśród nich najczęściej stosowana jest metoda naiwna (regularnie przez 21%, a sporadycznie przez 19% badanej grupy przedsiębiorstw). Stosunkowo często stosowane są również klasyczne

¹⁵² L. Reszka, *Prognozowanie popytu...*, s. 119.

modele trendu i modele średnich ruchomych. Regularne stosowanie modeli trendu potwierdza 13% omawianych przedsiębiorców. Taki sam odsetek respondentów stosuje je sporadycznie. Modele średnich ruchomych natomiast są w regularnym użyciu przez 15%, a w sporadycznym przez 11% omawianej grupy respondentów. Inne metody oparte na szeregach, takie jak modele wyrównania wykładniczego, modele ARMA czy ARIMA, stosowane są zdecydowanie rzadziej.

Na uwagę zasługuje bardzo małe wykorzystanie przyczynowo-skutkowych modeli ekonometrycznych. W żadnym z badanych przedsiębiorstw nie buduje się ich regularnie. Jedynie w 6% przedsiębiorstw wykorzystuje się je sporadycznie.

Analizując pozostałe metody prognozowania, warto wspomnieć o metodach analogowych, które regularnie stosowane są przez 13% respondentów, a sporadycznie przez 11%, jak również o metodach scenariuszowych, do których regularnego stosowania przyznaje się 9%, zaś do sporadycznego 6% badanych.



Rysunek 2.9. Metody prognozowania wykorzystywane przez przedsiębiorstwa

Źródło: L. Reszka: *Prognozowanie popytu...*, s. 119.

2.4. Projekt na temat wykorzystania metod prognozowania w logistyce przedsiębiorstwa

Zadanie 2.11

Pracując w kilkusobowych grupach, stworzyć prezentację multimedialną na temat możliwości wykorzystania opisanych w niniejszym rozdziale metod prognozowania w praktyce logistycznej dowolnego przedsiębiorstwa (może być fikcyjne).

3. Narzędzia optymalizacji procesów logistycznych

3.1. Istota optymalizacji w logistyce

Jak wspomniano w rozdziale 1.3, **optymalizacja** definiowana jest jako wyznaczenie spośród dopuszczalnych rozwiązań danego problemu rozwiązania najlepszego ze względu na przyjęte kryterium (np. koszt, zysk, niezawodność). Na plan pierwszy wysuwają się trzy określenia: najlepszy, kryterium i ograniczenie.

Z kolei definiując logistykę, nie sposób nie wspomnieć o jej celach określanych skrótem 5W (por. rozdział 1.1), zgodnie z którą celem logistyki jest zapewnienie właściwych zasobów, we właściwej ilości, we właściwym miejscu, we właściwym czasie i po właściwym koszcie.

Mówiąc zatem o optymalizacji procesów logistycznych, warto zastanowić się nad znaczeniem słowa właściwy przytaczanym przy określaniu celów logistyki w kontekście definicyjnym optymalizacji. Czy właściwe zasoby są tymi najlepszymi z możliwych? Czy właściwe koszty są tymi najniższymi? W jakim sensie czas, miejsce czy ilość są najlepsze? Czy też może określenie „właściwy” traktować należy jako konkretne kryterium optymalizacji? Wówczas optymalna, najlepsza logistyka byłaby taką, która zapewnia zasoby w najwyższym stopniu spełniające każde z pięciu kryteriów. Odnośnie do ograniczenia, czyli trzeciego z kluczowych określeń z definicji optymalizacji, można stwierdzić, że oznaczałoby ono pewną narzuconą z góry wartość progową, której logistyk nie powinien przekroczyć, czyli właśnie ograniczenie. Działanie optymalizacyjne mogłoby wówczas polegać na osiągnięciu założonego celu w sposób jak najbardziej korzystny dla osoby odpowiedzialnej za realizację procesu logistycznego w przedsiębiorstwie lub przedsiębiorstwa realizującego usługę logistyczną w przypadku outsourcingu tych procesów.

Zgodnie ze *Słownikiem języka polskiego* słowo „właściwy”, w podstawowym jego znaczeniu, to: „taki, jaki powinien być; odpowiedni (do wykonywania określonych funkcji), stosowny, zdatny; należyty”¹⁵³. Okazuje się więc, że optymalna logistyka to taka, która spełnia narzucone wymogi i ograniczenia. Natomiast optymalizacji należy szukać w sposobie realizacji procesów logistycznych, takim, który będzie najbardziej korzystny dla działu logistyki czy przedsiębiorstwa logistycznego,

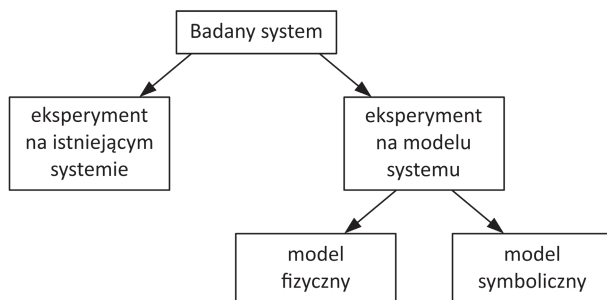
¹⁵³ *Słownik języka polskiego*, pod red. W. Doroszewskiego, t. 9, PWN, Warszawa 1967, s. v. „właściwy”.

a więc zapewni właściwe (zgodne z zamówieniem) zasoby jak najkorzystniej, czyli jak najkrótszą trasą, w jak największym stopniu wykorzystując środki transportu (minimalizując puste przebiegi), minimalizując niezbędne nakłady zasobów itp.

Mało tego, odnosząc się do definiowanych wcześniej pojęć optymalizacji i suboptymalizacji, należy wyraźnie stwierdzić, że optymalny, właściwy koszt wcale nie musi oznaczać kosztu najniższego. Wynika to z obsługowej funkcji logistyki, wspierającej proces podstawowy wytwarzający produkt. Może się zatem zdarzyć sytuacja, że minimalizacja kosztu procesu logistycznego spowoduje znaczący wzrost kosztu realizacji procesu podstawowego lub inne niekorzystne skutki, np. utratę klienta niezadowolonego z poziomu obsługi logistycznej. Warto więc każdy przypadek traktować oddzielnie, rozpatrując go systemowo, uwzględniając możliwie wszystkie istotne uwarunkowania, co oczywiście nie wyklucza stosowania opisanych w dalszej części rozdziału modeli, które z definicji wiążą się z uproszczonym opisem rzeczywistości.

3.2. Optymalizacyjne modele decyzyjne

Do rozwiązywania problemów decyzyjnych zasadne jest wykorzystanie tzw. **optymalizacyjnych modeli decyzyjnych**, przy czym podkreślić tu należy, że nie każda sytuacja decyzyjna wymaga zastosowania modelu (por. rys. 3.1).



Rysunek 3.1. Metody analizy systemów

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Wrona, *Modelowanie i symulacja procesów transportowych za pomocą pakietu symulacyjnego SLAM II*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2000, s. 6.

Przedstawiony w górnej części rysunku 3.1 system zdefiniować można jako: „skoordynowany wewnętrznie zbiór elementów powiązanych wzajemnymi zależnościami zachodzącymi pomiędzy tymi elementami lub ich właściwościami”¹⁵⁴. Takim

¹⁵⁴ S. Mynarski, *Elementy teorii systemów i cybernetyki*, PWN, Warszawa 1979 [za:] J. Gierszewski, *Model bezpieczeństwa społecznego na tle teorii systemów*, „Colloquium Wydziału Nauk Humanistycznych i Społecznych” 2013, nr 2, s. 65.

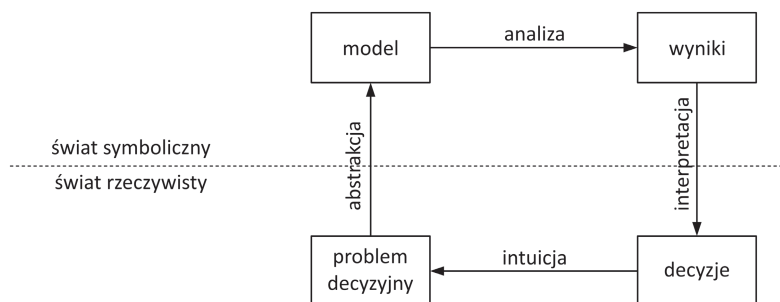
systemem może być np. system gospodarczy, zarówno w skali makroekonomicznej, jakim jest gospodarka narodowa, jak i w skali mikroekonomicznej, jakim jest przedsiębiorstwo, a także jego system wsparcia logistycznego lub system logistyczny. Przystępując do wprowadzenia zmian w systemie, można postąpić w dwojaki sposób. Jednym z nich jest wprowadzenie zmiany bezpośrednio na systemie, bez wcześniejszych analiz. Dotyczy to oczywiście głównie prostych sytuacji decyzyjnych, codziennych decyzji operacyjnych. Innym sposobem, zalecanym do istotniejszych decyzji, których skutki mogą mieć kosztowne znaczenie dla przedsiębiorstwa, jest poprzedzenie wprowadzenia zmian zbudowaniem **modelu**, czyli „systemu założeń, pojęć i zależności między nimi pozwalającego opisać (zamodelować) w przybliżony sposób jakiś aspekt rzeczywistości”¹⁵⁵.

Modele można natomiast podzielić na dwie zasadnicze grupy¹⁵⁶:

- modele fizyczne, które odwzorowują system w odpowiedniej skali z uwzględnieniem najważniejszych szczegółów,
- modele symboliczne, w których system reprezentowany jest za pomocą logicznych relacji pomiędzy zmiennymi.

Szczególnym przypadkiem modelu symbolicznego jest z kolei **model decyzyjny**, w którym pewne zmienne reprezentują decyzje, które mają być podjęte (tzw. zmienne decyzyjne). Występują w nim również pewne ograniczenia dotyczące tych zmiennych.

Nieco inne spojrzenie na kwestię stosowania modeli w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych zobrazowano na rysunku 3.2.



Rysunek 3.2. Schemat procedury rozwiązywania problemu decyzyjnego z wykorzystaniem modelu

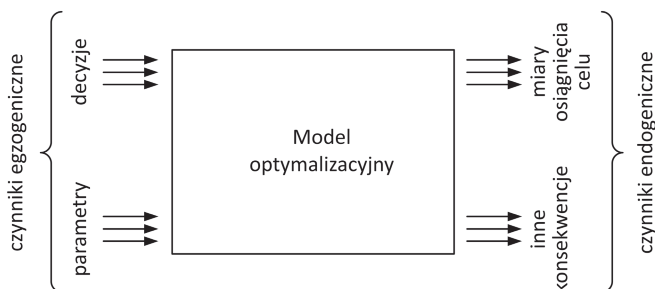
Źródło: G.D. Eppen i in., *Management science*, Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey 1998, s. 4.

¹⁵⁵ A. Kmiecik, *Filozoficzne aspekty komputerowych badań symulacyjnych w naukach społecznych „Filo-Sofija”* 2013, nr 20, s. 215.

¹⁵⁶ A. Wrona, *Modelowanie i symulacja procesów transportowych...*, s. 6.

Jak widać na przedstawionym schemacie, niektóre, proste problemy decyzyjne można rozwiązać intuicyjnie, inne natomiast wymagają skonstruowania modelu. Po zbudowaniu i uzyskaniu wyników modelu konieczna jest ich interpretacja (powrót ze świata symbolicznego do rzeczywistego), aby podjąć właściwe decyzje.

Przystępując do budowy modelu optymalizacyjnego, niezbędne jest określenie zarówno czynników egzogenicznych, inaczej zewnętrznych, które stanowią wejścia do modelu i będą przezeń przetwarzane, jak również czynników endogenicznych, inaczej wewnętrznych, które są elementami wyjściowymi modelu (por. rys. 3.3).



Rysunek 3.3. Schemat procedury rozwiązywania problemu decyzyjnego z wykorzystaniem modelu

Źródło: L. Reszka, *Modelowanie procesu optymalizacyjnego w logistyce przedsiębiorstwa...*, s. 107.

Wśród czynników egzogenicznych wymienić można¹⁵⁷:

- decyzje, czyli elementy wejściowe, na które decydent ma wpływ, które są przez niego kontrolowane, np. ceny dóbr czy usług oferowanych przez przedsiębiorstwo,
- parametry, na które decydent nie ma wpływu i musi przyjąć jako zadane, np. ceny dóbr konkurencyjnych czy kupowanych materiałów do produkcji.

Natomiast na czynniki endogeniczne składają się¹⁵⁸:

- miary osiągnięcia celu, np. zysku czy kosztów całkowitych,
- inne konsekwencje, takie jak np. ilość odpadów produkcyjnych.

¹⁵⁷ L. Reszka, *Modelowanie procesu optymalizacyjnego w logistyce przedsiębiorstwa* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych*, cz. XII, pod red. M. Chaberką i L. Reszki, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka”, nr 46, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013, s. 107.

¹⁵⁸ *Ibidem*.

Poprawne zidentyfikowanie opisanych wyżej czynników ułatwi stworzenie modelu, na który składają się¹⁵⁹:

- zmienne decyzyjne i parametry tworzące funkcję celu,
- warunki ograniczające.

Funkcja celu wynika z określonej wcześniej miary osiągnięcia celu i stanowi cel zadania optymalizacyjnego, do rozwiązania którego tworzony jest model. W procesie rozwiązywania modelu będzie znajdowana jej najlepsza (czyli maksymalna albo minimalna) wartość.

Natomiast jeśli chodzi o warunki ograniczające, to można je podzielić w dwojaki sposób. Pierwszy z nich dzieli je na¹⁶⁰:

- limity, czyli pewne fizyczne ograniczenia, np. wynikające z dostępności materiałów czy ograniczonej powierzchni magazynowej,
- wymagania, np. wynikające z przepisów prawa.

Drugi natomiast pozwala wyróżnić¹⁶¹:

- warunki wewnętrznej zgodności (związane ze specyfiką danego modelu),
- warunki brzegowe (oznaczające konieczność występowania nieujemnych wartości zmiennych ekonomicznych, takich jak np. cena, wielkości produkcji czy przewozu).

Zbiór rozwiązań, które spełniają wszystkie warunki ograniczające, nosi nazwę zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Spośród rozwiązań tego zbioru znajdowane jest rozwiązanie optymalne, wyznaczone zgodnie z przyjętą funkcją celu.

3.3. Prezentacja narzędzia Solver

Przed opisaniem przykładowych optymalizacyjnych modeli decyzyjnych występujących w logistyce warto przeanalizować powszechnie wykorzystywane do ich rozwiązywania narzędzie, jakim jest **Solver**. Narzędzie to zostało zaimplementowane do różnych programów, np. Solver w Lotusie 1-2-3 czy Optimizer w Corel Quattro Pro. Najczęściej wykorzystywanym sposobem dostępu do Solvera jest użycie programu Microsoft Excel. Solver może być wykorzystywany do obliczeń optymalizacyjnych na trzy sposoby¹⁶²:

- znalezienie maksymalnej wartości funkcji (np. zysku) przy ograniczeniach nałożonych na jej argumenty (wielkości zasobów pozostającej do dyspozycji przedsiębiorstwa),

¹⁵⁹ *Ibidem*, s. 109.

¹⁶⁰ *Ibidem*.

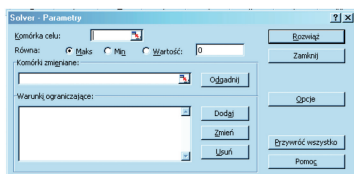
¹⁶¹ *Ibidem*.

¹⁶² L. Reszka, *Solver jako narzędzie rozwiązywania logistycznych problemów optymalizacyjnych*, „Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu” 2011, nr 10, s. 322.

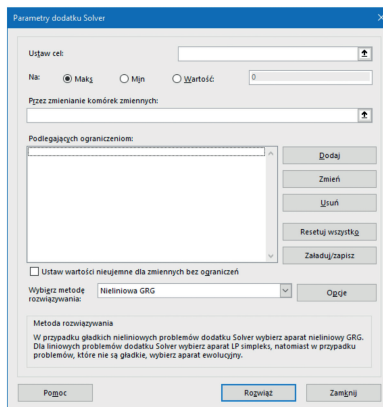
- znalezienie minimalnej wartości funkcji (np. kosztów) przy ograniczeniach nałożonych na jej argumenty (np. zachowanie odpowiedniego poziomu obsługi klienta),
- osiągnięcie konkretnej wartości funkcji.

Wraz z wprowadzeniem wersji 2010 pakietu MS Office szata graficzna uległa zmianie w porównaniu z poprzednimi wersjami. Zmieniła się także istotnie funkcjonalność Solvera. Na rysunku 3.4 przedstawiono okna parametrów Solvera będącego dodatkiem do programu MS Excel 2007 i starszych (rys. 3.4.A) oraz Solvera będącego dodatkiem do programu MS Excel, poczynając od wersji 2010 (rys. 3.4.B).

A. Solver występujący w starszych wersjach MS Excel (do wersji 2007)



B. Solver występujący w nowszych wersjach MS Excel (od wersji 2010)



Rysunek 3.4. Okna parametrów Solvera

Źródło: printscreen programu Microsoft Excel wersji 2007 i starszych (rys. A) oraz wersji 2010 i nowszych (rys. B).

W obydwu wersjach narzędzia Solver funkcja celu modelu rozwiązywanego problemu optymalizacyjnego przyjmuje postać formuły, której adres wskazywany jest w polu zwanym „komórka celu” (w nowszej wersji – „ustaw cel:”). W poniżej usytuowanym polu wyboru ustawiany jest natomiast kierunek optymalizacji, który przystaje do przedstawionych wcześniej trzech możliwości postępowania.

Argumenty funkcji nazywane są komórkami zmieniającymi i to właśnie na nie nakładane są ograniczenia. Oprócz znaku równości („=”) oraz nieostrych nierówności („≤” i „≥”), możliwe jest również dodanie ograniczenia „int”, które powoduje, że komórki nim objęte przyjmują wartości całkowite (ang. *integer*), jak również „bin”, dzięki któremu odpowiednie komórki przyjmują wartości binarne (ang. *binary*). W nowszej wersji jest również możliwość wprowadzenia kolejnego typu

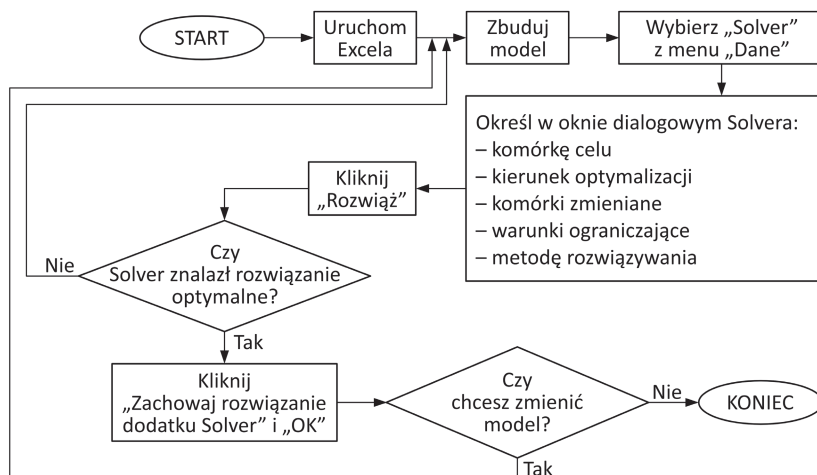
ograniczenia „dif”, powodującego, że każda komórka objęta tym ograniczeniem przyjmuje różną wartość (ang. *all different*).

Nową funkcjonalnością jest również możliwość wyboru jednej spośród trzech metod rozwiązywania modelu:

- „nieliniowa GRG” (ang. *generalized reduced gradient* – uogólniony, zredukowany gradient) – stosowana w przypadku problemów o charakterze gładkim i nieliniowym,
- „LP simpleks” – stosowana w przypadku problemów o charakterze liniowym,
- „ewolucyjna” – stosowana w przypadku problemów o charakterze nieregularnym.

Modele prezentowane w dalszej części niniejszego opracowania należą do tzw. modeli programowania liniowego, stąd też do ich rozwiązywania wykorzystywana może być metoda LP simpleks.

Algorytm wykorzystania narzędzia Solver zaprezentowany został na rysunku 3.5.



Rysunek 3.5. Algorytm wykorzystania narzędzia Solver

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem: G.D. Eppen i in., *Management science...*, s. 87.

Jak widać na rysunku, górna część arkusza zawiera zmienne decyzyjne (X_j), które w początkowej postaci arkusza przyjmują wartości zerowe. Wraz z parametrami (c_j) służą one do wyznaczenia funkcji celu (komórka „A8”). Dalsza część arkusza zawiera ograniczenia modelu w postaci warunków wewnętrznej zgodności oraz warunków brzegowych. Po uzupełnieniu całego arkusza można przystąpić do zdefiniowania parametrów Solvera (rys. 3.7).

Parametry dodatku Solver

Ustaw cel:

Na: ☒ Maks ☐ Min ☐ Wartość:

Przez zmienianie komórek zmiennych:

Podlegających ograniczeniom:

☐ Ustaw wartości nieujemne dla zmiennych bez ograniczeń

Wybierz metodę rozwiązywania:

Metoda rozwiązywania

W przypadku gładkich nieliniowych problemów dodatku Solver wybierz aparat nieliniowy GRG. Dla liniowych problemów dodatku Solver wybierz aparat LP simpleks, natomiast w przypadku problemów, które nie są gładkie, wybierz aparat ewolucyjny.

Rysunek 3.7. Parametry Solvera modelu optymalnego wyboru asortymentu produkcji

Źródło: opracowanie własne.

Komórką celu, wpisywaną w polu „Ustaw cel”, jest komórka funkcji celu („A8”), która zgodnie z założeniami opisywanego modelu jest maksymalizowana (poprzez wybranie opcji „Max”). W dalszej części okna Solvera wpisywane są komórki zmieniane przez Solvera, czyli komórki zmiennych decyzyjnych (X_j) oraz ograniczenia. Jak widać na rysunku, w przypadku występowania tych samych znaków we wszystkich warunkach wewnętrznej zgodności modelu możliwe jest zapisanie kilku nierówności jako jedno ograniczenie Solvera. Drugie ograniczenie związane jest z warunkami brzegowymi, które można zapisać również bezpośrednio z wektora zmiennych decyzyjnych (miałoby ono wówczas postać: „\$A\$2:\$A\$8>=0”) lub po prostu wybierając opcję: „Ustaw wartości nieujemne dla zmiennych bez ograniczeń”. Jeżeli ma to uzasadnienie ekonomiczne, można również dodać ograniczenie, aby zmienne decyzyjne w rozwiązaniu optymalnym przyjęły wartości całkowite, korzystając z opisanej wyżej opcji „int”.

Zadanie 3.1¹⁶⁹

Wydział obróbki mechanicznej pewnego przedsiębiorstwa może wytwarzać osiem asortymentów wyrobów ($P_1, \dots, P_8$), które obrabiane są na trzech typach obrabiarek półautomatycznych. Maszynochłonność obróbki poszczególnych wyrobów na odpowiednich typach obrabiarek i zyski jednostkowe przedstawia tabela 3.1.

Tabela 3.1. Maszynochłonność obróbki poszczególnych wyrobów oraz zyski jednostkowe

Wyrób	Czas obróbki na poszczególnych typach obrabiarek (w godzinach)			Zysk jednostkowy (w zł)
	I	II	III	
P_1	4	0	1	6
P_2	4	2	0	8
P_3	4	6	2	4
P_4	4	4	2	8
P_5	2	4	4	10
P_6	2	2	4	5
P_7	0	2	1	4
P_8	0	4	6	6

Źródło: J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 82.

Limity czasu pracy obrabiarek są następujące: I typ – 2210 godz., II typ – 1600 godz., III typ – 1100 godz. Opracować taki plan produkcji wyrobów, który zmaksymalizuje całkowity zysk z działalności.

Jak zmieni się rozwiązanie optymalne, jeśli dodane zostanie ograniczenie o całkowitoliczbowych wielkościach produkcji? Jak na rozwiązanie optymalne wpłynie decyzja o produkcji w pełnych dziesiątkach (np. wynikająca z produkcji w kartonach po 10 szt.)

3.6. Zagadnienie mieszanki (diety)

Model mieszanki jest przykładem modelu optymalizacyjnego, w którym funkcja celu jest minimalizowana. Służy on do ustalenia, jakie ilości zasobów należy zakupić (zmieszać), aby uzyskać produkt zawierający pożądaną ilość tych zasobów przy możliwie najniższym koszcie. Model ten może być wykorzystany do określania

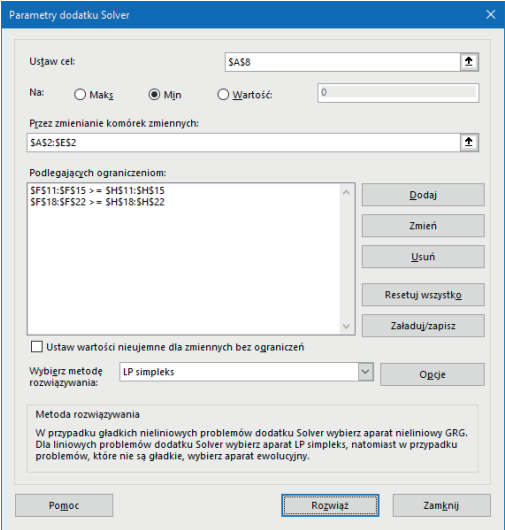
¹⁶⁹ Przykład pochodzi z: J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 81–82.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Zmienne decyzyjne							
2	X_1	...	X_j	...	X_n			
3								
4	Parametry funkcji celu							
5	k_1	...	k_j	...	k_n			
6								
7	Funkcja celu							
8	=SUMA.ILOCZYNÓW(A2:E2:A5:E5)							
9								
10	Warunki wewnętrznej zgodności							
11	a_{1j}	...	a_{ij}	...	a_{jn}	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A11:E11)	>=	b_1
12	...	...	...	...	...	...	...	...
13	a_{1j}	...	a_{ij}	...	a_{jn}	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A13:E13)	>=	b_i
14	...	...	...	...	...	...	...	...
15	a_{mj}	...	a_{nj}	...	a_{mn}	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A15:E15)	>=	b_m
16								
17	Warunki brzegowe							
18	1	...	0	...	0	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A18:E18)	>=	0
19	...	...	...	...	...	...	...	...
20	0	...	1	...	0	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A20:E20)	>=	0
21	...	...	...	...	...	...	...	...
22	0	...	0	...	1	=SUMA.ILOCZYNÓW(A\$2:E\$2:A22:E22)	>=	0

Rysunek 3.8. Arkusz modelu mieszanki (diety)

Źródło: opracowanie własne.

Różnica w przedstawionym na rysunku 3.8 arkuszu w porównaniu z arkuszem poprzedniego modelu (rys. 3.6) polega na zastosowaniu przeciwnych znaków w warunkach wewnętrznej zgodności. Ma to miejsce również w pierwszym warunku ograniczającym zaprezentowanym na rysunku 3.9. Inny jest także kierunek optymalizacji. Tym razem została wybrana opcja „Min”.



Rysunek 3.9. Parametry Solvera modelu mieszanki (diety)

Źródło: opracowanie własne.

Pozostałe komórki arkusza oraz parametry Solvera są analogiczne do tych z modelu optymalnego wyboru asortymentu produkcji. Również w modelu mieszanki (diety), jeśli jest to uzasadnione, można również dodać ograniczenie, aby zmienne decyzyjne w rozwiązaniu optymalnym przyjęły wartości całkowite.

Zadanie 3.2¹⁷¹

Z badań naukowych wynika, że karma kur jest odpowiednia tylko wówczas, gdy każda kura otrzymuje dziennie:

- nie mniej niż 6 jednostek składnika odżywczego A,
- co najmniej 12 jednostek składnika B,
- nie mniej niż 5 jednostek składnika C.

W fermie drobiu znajdują się dwa rodzaje pasz. Jedna jednostka wagowa karmy pierwszego rodzaju zawiera:

- 2 jednostki składnika A,
- 2 jednostki składnika B,

natomiast jedna jednostka drugiej paszy zawiera:

- 1 jednostkę składnika A,
- 3 jednostki składnika B,
- 5 jednostek składnika C.

Ceny jednostki wagowej karmy pierwszego i drugiego rodzaju wynoszą odpowiednio:

- 0,70 zł,
- 1,00 zł.

Jak karmić kury, aby zminimalizować koszty żywienia, zapewniając im jednocześnie niezbędną ilość każdego ze składników pokarmowych?

Jak zmieni się rozwiązanie optymalne, jeśli zostanie dołożone kolejne ograniczenie polegające na tym, że maksymalna ilość każdego ze składników pokarmowych nie będzie większa niż dwukrotność dawki minimalnej?

Sytuacje przedstawione w zadaniach 3.1 i 3.2 są klasycznymi przykładami obrazującymi opisane wcześniej modele. Oczywiście aplikacyjność opisanych metod jest znacznie szersza. Oprócz klasycznych ograniczeń związanych z dostępnością zasobów czy pożądaną zawartością zasobów w produkcie można też uwzględnić inne, np. związane ze strukturą produkcji czy podpisanymi wcześniej umowami. Taką sytuację obrazuje zadanie 3.3.

¹⁷¹ Przykład pochodzi z: J.W. Wiśniewski, *Instrumenty decyzyjne...*, s. 89.

Zadanie 3.3¹⁷²

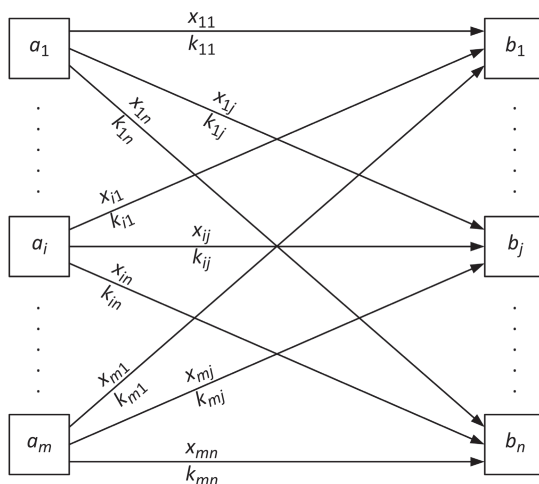
Pewne przedsiębiorstwo ma dwie linie produkcyjne, jedna z nich produkuje maszyny do obróbki ziemi (sprzęt rolniczy – E9), druga sprzęt leśny (F9). Największa część linii produkcyjnych sprzętu rolniczego (E9) i leśnego (F9) znajduje się w tym samym dziale i wykorzystuje te same urządzenia. Zbudowano prognozę na następny miesiąc, na podstawie której stwierdzić można, że będzie można sprzedąć cały wyprodukowany sprzęt E9 i F9. Ceny sprzedawanych wyrobów wynoszą odpowiednio: 5000 USD dla E9 i 4000 USD dla F9. Każdy produkt jest wytwarzany w dwóch działach A i B. Maksymalny czas pracy tych działów w przyszłym miesiącu wynosi 150 i 160 godz. Każdy E9 jest produkowany przez 10 godz. w dziale A i 20 godz. w dziale B, produkt F9 15 godz. w dziale A i 10 godz. w dziale B. Istnieje jeszcze trzeci dział, w którym maszyny będą testowane. Na podstawie porozumienia ze związkami zawodowymi całkowita liczba godzin w tym dziale nie może spaść bardziej niż o 10% z 150 godz., czyli poniżej 135 godz. E9 jest testowany przez 30 godz., a F9 10 godz. Żeby utrzymać dotychczasową pozycję na rynku, trzeba produkować co najmniej 1 F9 na każde 3 E9. Największy odbiorca zamówił łącznie co najmniej 5 sztuk produkowanych wyrobów (w dowolnej kombinacji) i co najmniej tyle musi być wyprodukowane.

Opracować plan produkcji wyrobów E9 i F9 maksymalizujący całkowite przychody ze sprzedaży.

3.7. Klasyczne zagadnienie transportowe

Dotychczas prezentowane modele programowania liniowego charakteryzowały się tym, że ich zmienne decyzyjne oraz parametry funkcji celu miały pojedyncze indeksy. Zmienne decyzyjne oraz parametry funkcji celu można zatem było przedstawić w postaci wektorów. Inaczej wygląda to w kolejnym modelu, jakim jest **klasyczne zagadnienie transportowe**, w którym zarówno zmienne decyzyjne, jak i parametry funkcji celu będą miały podwójne indeksy, w związku z czym tworzyć będą one odpowiednie macierze. Zagadnienie to (rys. 3.10) polega na opracowaniu optymalnego planu przewozu jednorodnego dobra z m miejsc pochodzenia (których podaż oznaczono symbolem a_i) do n miejsc przeznaczenia (których popyt oznaczono symbolem b_j), czyli takiego, który gwarantuje osiągnięcie minimum całkowitych kosztów przewozu, obliczonych jako suma iloczynów jednostkowych kosztów przewozu z miejsca i do miejsca j (oznaczonych symbolem k_{ij}) oraz wielkości przewozu na tych trasach (oznaczonych symbolem x_{ij}).

¹⁷² Przykład pochodzi z: G.D. Eppen i in., *Management science...*, s. 70–75.



Rysunek 3.10. Schemat ogólny klasycznego zagadnienia transportowego

Źródło: L. Reszka: *Solver jako narzędzie rozwiązywania logistycznych problemów optymalizacyjnych*, „Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu” 2011, nr 10, s. 324.

Funkcję celu modelu transportowego można więc zapisać¹⁷³:

$$\begin{aligned}
 K &= k_{11}x_{11} + \dots + k_{1j}x_{1j} + \dots + k_{1n}x_{1n} + \dots + \\
 &+ k_{i1}x_{i1} + \dots + k_{ij}x_{ij} + \dots + k_{in}x_{in} + \dots + \\
 &+ k_{m1}x_{m1} + \dots + k_{mj}x_{mj} + \dots + k_{mn}x_{mn} = \\
 &= \sum_{j=1}^n k_{1j}x_{1j} + \dots + \sum_{j=1}^n k_{ij}x_{ij} + \dots + \sum_{j=1}^n k_{mj}x_{mj} = \\
 &= \sum_{i=1}^m k_{i1}x_{i1} + \dots + \sum_{i=1}^m k_{ij}x_{ij} + \dots + \sum_{i=1}^m k_{in}x_{in} = \\
 &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij}x_{ij} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

gdzie:

K – funkcja celu – wyrażająca postulat minimalizacji całkowitych kosztów transportu,

k_{ij} – parametr funkcji celu – jednostkowy koszt transportu z punktu i do punktu j ,

x_{ij} – zmienna decyzyjna – wielkość przewozu z punktu i do punktu j .

¹⁷³ J.W. Wiśniewski, *Zagadnienie transportowe* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii...*, s. 345.

Arkusz umożliwiający rozwiązanie modelu transportowego przedstawiony został na rysunku 3.11.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Tabela przewozów (zmiennych decyzyjnych)								
2	z/do	1	...	j	...	n	Razem	Znak	Podaż
3	1	X_{11}	...	X_{1j}	...	X_{1n}	=SUMA(B3:F3)	=	a_1
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	i	X_{i1}	...	X_{ij}	...	X_{in}	=SUMA(B5:F5)	=	a_i
6	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	m	X_{m1}	...	X_{mj}	...	X_{mn}	=SUMA(B7:F7)	=	a_m
8	Razem	=SUMA(B3:B7)	...	=SUMA(D3:D7)	...	=SUMA(F3:F7)			
9	Znak	=	...	=	...	=			
10	Popyt	b_1	...	b_j	...	b_n			
11									
12	Tabela kosztów jednostkowych (parametrów funkcji celu)								
13	z/do	1	...	j	...	n			
14	1	k_{11}	...	k_{1j}	...	k_{1n}			
15	...	...	...	...	...	...			
16	i	k_{i1}	...	k_{ij}	...	k_{in}			
17	...	...	...	...	...	...			
18	m	k_{m1}	...	k_{mj}	...	k_{mn}			
19									
20	Tabela kosztów całkowitych								
21	z/do	1	...	j	...	n	Razem		
22	1	=B3*B14	...	=D3*D14	...	=F3*F14	=SUMA(B22:F22)		
23	...	...	...	...	...	...	...		
24	i	=B5*B16	...	=D5*D16	...	=F5*F16	=SUMA(B24:F24)		
25	...	...	...	...	...	...	...		
26	m	=B7*B18	...	=D7*D18	...	=F7*F18	=SUMA(B26:F26)		
27	Razem	=SUMA(B22:B26)	...	=SUMA(D22:D26)	...	=SUMA(F22:F26)	=SUMA(B22:F26)		

Rysunek 3.11. Arkusz modelu transportowego

Źródło: opracowanie własne.

Podobnie do wcześniej opisywanych modeli, górna część arkusza zawiera zmienne decyzyjne (X_{ij}), które w początkowej postaci arkusza przyjmują wartości zerowe, z tą różnicą, że tym razem jest to dwuwymiarowa tabela, a nie pojedynczy wiersz. Wnętrze „Tabeli przewozów (zmiennych decyzyjnych)” (obszar „B3:F7” na rys. 3.11) stanowią komórki zmieniane (wyzerowane w wyjściowej postaci modelu). Po prawej stronie dodana została kolumna (kolumna „G”) podsumowująca poszczególne wiersze. Każdy z jej elementów zawiera więc łączną ilość zasobu, który wysyłany jest z poszczególnych punktów pochodzenia. Poszczególne elementy tej kolumny w rozwiązaniu optymalnym powinny być równe odpowiadającym im komórkom kolumny „I” (przedstawiających podaż w poszczególnych punktach pochodzenia). Analogicznie w komórkach wiersza „8” obliczone są sumy komórek odpowiednich kolumn, przedstawiają więc łączną ilość zasobu dowiezionego do poszczególnych punktów przeznaczenia. Komórki tego wiersza w rozwiązaniu optymalnym powinny

być równe odpowiadającym im komórkom wiersza „10” (przedstawiających popyt w poszczególnych miastach).

Druga tabela arkusza przedstawia jednostkowe koszty przewozu na poszczególnych trasach, trzecia zaś to całkowite koszty przewozu na poszczególnych trasach (obliczone jako iloczynny kosztów jednostkowych i wielkości odpowiadających im przewozów). Podobnie jak w tabeli przewozów, tak i w tabeli kosztów całkowitych zostały dodane:

- kolumna „G” podsumowująca poszczególne wiersze, w którym obliczone są koszty całkowite transportu z poszczególnych punktów pochodzenia,
- wiersz „27” podsumowujący poszczególne kolumny, w którym obliczone są koszty całkowite transportu do poszczególnych punktów przeznaczenia,

Komórka „G27” to natomiast komórka celu, której zawartość została wyliczona jako suma wszystkich elementów tabeli kosztów całkowitych. Alternatywnie ten sam wynik, oczywiście, dałoby również:

- zsumowanie wszystkich elementów podsumowującej kolumny „G”,
- zsumowanie wszystkich elementów podsumowującego wiersza „27”,
- obliczenie sumy iloczynów poszczególnych elementów tabeli przewozów i odpowiadających im elementów kosztów jednostkowych.

Parametry Solvera (rys. 3.12) ustawiono zgodnie z założeniami modelu opisanymi wcześniej, to znaczy:

- komórka celu („G27”) opisująca całkowite koszty przewozu na wszystkich trasach jest minimalizowana,
- komórki zmieniane to wnętrze „Tabeli przewozów (zmiennych decyzyjnych)”,
- pierwsze ograniczenie nawiązuje do warunków brzegowych modelu transportowego, zgodnie z którymi zmienne decyzyjne w rozwiązaniu optymalnym nie mogą być liczbami ujemnymi,
- drugie ograniczenie oznacza, że ilość zasobu przywieziona do poszczególnych punktów pochodzenia ma być równa popytowi w tych punktach,
- trzecie ograniczenie oznacza, że ilość zasobu wywieziona z poszczególnych punktów pochodzenia ma być równa podaży w tych punktach,
- można również dodać ograniczenie o całkowitoliczbowych wartościach zmiennych decyzyjnych, o ile ma to uzasadnienie.

Rysunek 3.12. Parametry Solvera modelu transportowego

Źródło: opracowanie własne.

Zadanie 3.4¹⁷⁴

Pewne przedsiębiorstwo ma cztery zakłady montażowe w Europie. Są one rozmieszczone w: Lipsku (Niemcy), Nancy (Francja), Liege (Belgia) i w Tilburgu (Holandia). Silniki używane w tych zakładach są produkowane w USA i są transportowane do portów w Amsterdamie, Antwerpii i Hawrze, a potem wysyłane do zakładów montażowych.

Został zatwierdzony plan produkcji na trzeci kwartał, zgodnie z którym zapotrzebowanie na silniki w poszczególnych zakładach wynosi odpowiednio:

- Lipsk: 400,
- Nancy: 900,
- Liege 200,
- Tilburg: 500.

Dostępna liczba silników E-4 w portach, która ma być użyta w trzecim kwartale, jest następująca:

- Amsterdam: 500,
- Antwerpia: 700,
- Hawr: 800.

¹⁷⁴ Przykład pochodzi z: G.D. Eppen i in., *Management science...*, s. 226–229.

Jednostkowe koszty transportu silnika z punktu pochodzenia do przeznaczenia zaprezentowane są w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Jednostkowe koszty przewozu silników

Z punktu pochodzenia	Do punktu przeznaczenia			
	Lipsk	Nancy	Liege	Tilburg
Amsterdam	120	130	41	62
Antwerpia	61	40	100	110
Hawr	102,5	90	122	42

Źródło: G.D. Eppen i in., *Management science...*, s. 228.

Ile silników powinno być przewożone na poszczególnych trasach, aby całkowite koszty transportu były najmniejsze?

3.8. Zbilansowane i niezbilansowane zagadnienie transportowe

Przedstawione w poprzednim punkcie zagadnienie transportowe, zarówno w części teoretycznej, jak i w zadaniu 3.4, charakteryzowało się tym, że łączna podaż wszystkich punktów pochodzenia była równa całkowitemu popytowi wszystkich punktów przeznaczenia, czyli:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.15)$$

oznaczenia jak wyżej.

Taki model nosi nazwę **zbilansowanego** lub inaczej **zamkniętego zagadnienia transportowego**. Jego przeciwieństwem jest **niezbilansowane** lub inaczej **otwarte zagadnienie transportowe**, w którym zachodzi nierówność¹⁷⁵:

$$\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.16)$$

oznaczenia jak wyżej.

Aby rozwiązać tego typu model, można wybrać jeden z dwóch dostępnych sposobów. Jednym z nich jest przekształcenie zagadnienia niezbilansowanego w zagadnienie zbilansowane przez wprowadzenie fikcyjnego odbiorcy lub fikcyjnego dostawcy.

¹⁷⁵ J. W. Wiśniewski, *Zagadnienie transportowe* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996, s. 345.

Fikcyjny odbiorca wprowadzany jest w przypadku przewagi podaży nad popytem, czyli jeśli:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.17)$$

oznaczenia jak wyżej.

Jego popyt stanowi różnicę między całkowitą podażą a całkowitym popytem, czyli:

$$b_f = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.18)$$

oznaczenia jak wyżej.

Natomiast fikcyjny dostawca wprowadzany jest w przypadku przewagi popytu nad podażą, czyli jeśli:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (3.19)$$

oznaczenia jak wyżej.

Jego podaż stanowi różnicę między całkowitym popytem a całkowitą podażą, czyli:

$$a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (3.20)$$

oznaczenia jak wyżej.

Drugim sposobem rozwiązania niezbilansowanego rozwiązania transportowego jest zmiana znaków w warunkach wewnętrznej zgodności budowanego modelu. Znaki równości występujące w zagadnieniu zbilansowanym zmieniane są na odpowiednie znaki nierówności w zależności od tego, czy występuje przewaga podaży czy popytu. W przypadku przewagi podaży nad popytem zmieniane są znaki w warunkach dotyczących realizacji podaży:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad (i = 1, \dots, m) \quad (3.21)$$

oznaczenia jak wyżej.

Warunki dotyczące zaspokojenia popytu zostają bez zmian.

W przypadku przewagi popytu nad podażą zmieniają się znaki w warunkach dotyczących zaspokojenia popytu:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j \quad (j = 1, \dots, n) \quad (3.22)$$

Warunki dotyczące realizacji podaży zostają bez zmian.

Zadanie 3.4¹⁷⁶

Trzy magazyny: M_1 , M_2 i M_3 zaopatrują w mąkę cztery piekarnie: P_1 , P_2 , P_3 , P_4 . Jednostkowe koszty transportu (w zł za tonę), oferowane miesięcznie wielkości dostaw (w tonach) oraz miesięczne zapotrzebowania piekarni (w tonach) podane są w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Jednostkowe koszty przewozu mąki (w zł za tonę), oferowane miesięcznie wielkości dostaw (w tonach) oraz miesięczne zapotrzebowania (w tonach)

Magazyny	Piekarnie				Podaż
	P_1	P_2	P_3	P_4	
M_1	50	40	50	20	100
M_2	40	80	70	30	50
M_3	60	40	70	80	80
Popyt	40	60	50	50	

Źródło: *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach...*, s. 108.

Opracować plan przewozu mąki z magazynów do piekarni minimalizujący całkowite koszty transportu.

3.9. Zagadnienie przydziału

Zagadnienie przydziału służy do wyznaczenia optymalnego przydzielenia n niepodzielnych obiektów (pracowników, maszyn, zdolności produkcyjnych) do n zamierzeń (szczególne rodzaje prac, zadań, czynności). Obiekty są niepodzielne w tym sensie, że żaden z nich nie może być podzielony między kilka zamierzeń. Bardzo ważnym warunkiem ograniczającym modelu przydziału jest to, że każdy obiekt może być przydzielony do jednego i tylko jednego zamierzenia.

¹⁷⁶ Przykład pochodzi z: *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, pod red. K. Kukuły, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, s. 103–110.

Z matematycznego punktu widzenia zagadnienie przydziału jest modyfikacją zagadnienia transportowego, w którym optymalne rozwiązanie jest macierzą zero-jedynkową, gdzie:

- $x_{ij} = 1$ mówi o tym, iż i -ty obiekt został przydzielony do j -tego zamierzenia,
- $x_{ij} = 0$ wskazuje na sytuację przeciwną.

Zapis matematyczny zagadnienia przydziału będzie więc następujący¹⁷⁷:

$$\begin{aligned}
 K &= k_{11}x_{11} + \dots + k_{1j}x_{1j} + \dots + k_{1n}x_{1n} + \dots + \\
 &+ k_{i1}x_{i1} + \dots + k_{ij}x_{ij} + \dots + k_{in}x_{in} + \dots + \\
 &+ k_{n1}x_{n1} + \dots + k_{nj}x_{nj} + \dots + k_{nn}x_{nn} = \\
 &= \sum_{j=1}^n k_{1j}x_{1j} + \dots + \sum_{j=1}^n k_{ij}x_{ij} + \dots + \sum_{j=1}^n k_{nj}x_{nj} = \\
 &= \sum_{i=1}^n k_{i1}x_{i1} + \dots + \sum_{i=1}^n k_{ij}x_{ij} + \dots + \sum_{i=1}^n k_{in}x_{in} = \\
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}x_{ij} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

gdzie:

K – funkcja celu – wyrażająca postulat minimalizacji całkowitych kosztów przydziału,

k_{ij} – parametr funkcji celu – jednostkowy koszt przydziału obiektu i do zadania j ,

x_{ij} – zmienna decyzyjna – decyzja odnośnie do przydzielenia obiektu i do zadania j .

Jak widać, funkcja celu modelu przydziału jest bardzo podobna do funkcji celu modelu transportowego. Z uwagi na specyfikę modelu (zero-jedynkowa macierz zmiennych decyzyjnych w rozwiązaniu optymalnym) suma iloczynów oznacza tu jednak *de facto* zliczanie kosztów, jeśli obiekt został przydzielony do danego zadania i pomijanie kosztów w pozostałych przypadkach.

Warunki wewnętrznej zgodności modelu przydziału dotyczą tego, aby każdy obiekt został przydzielony do jednego zadania:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i = 1, \dots, n) \tag{3.24}$$

oznaczenia jak wyżej,

a każde zadanie miało przydzielony jeden obiekt:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j = 1, \dots, n) \tag{3.25}$$

oznaczenia jak wyżej.

¹⁷⁷ L. Reszka, *Optymalizacja wykorzystania wykwalifikowanych zasobów kadrowych firm globalnych jako przykład funkcji wsparcia logistycznego* [w:] *Wymiary globalizacji. Aspekty społeczno-ekonomiczne*, pod red. M. Duczmala, Wydawnictwo WSiA w Opolu, Opole 2002, s. 283.

Warunki brzegowe modelu przydziału, podobnie jak w poprzednio prezentowanych modelach, dotyczą nieujemnych wartości zmiennych:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n) \quad (3.26)$$

oznaczenia jak wyżej.

Dodatkowo, jak wspomniano wcześniej, zmienne decyzyjne w rozwiązaniu optymalnym przyjmują tylko wartości równe zero albo jeden, co można zapisać:

$$x_{ij} \in \{0;1\} \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n) \quad (3.27)$$

oznaczenia jak wyżej.

Zadanie 3.4¹⁷⁸

Międzynarodowe przedsiębiorstwo z siedzibą zarządu w Brukseli posiada cztery zakłady produkcyjne rozmieszczone w: Londynie, Paryżu, Rzymie i Warszawie. Prezes przedsiębiorstwa zdecydował, że w najbliższym czasie czterech przedstawicieli centrali (A, B, C i D) mają dokonać wizytacji zakładów produkcyjnych. Cały proces wizytacji ma zająć nie więcej niż dwa tygodnie. Koszty jednostkowe związane z wizytacją zakładów produkcyjnych przez przedstawicieli centrali (w tys. USD) zawiera tabela 3.4.

Tabela 3.4. Koszty jednostkowe związane z wizytacją zakładów produkcyjnych przez przedstawicieli centrali firmy X (w tys. USD)

Przedstawiciel:	Zakład w:			
	Londynie	Paryżu	Rzymie	Warszawie
A	24	10	21	11
B	14	22	10	15
C	15	17	20	19
D	11	19	14	13

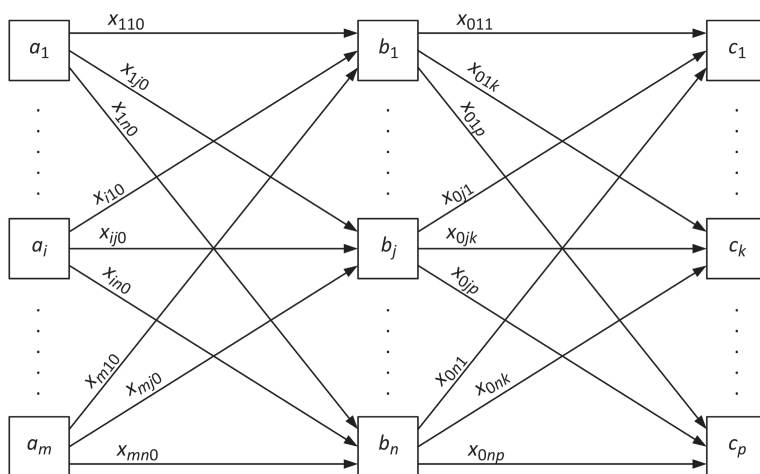
Źródło: L. Reszka, *Optymalizacja wykorzystania wykwalifikowanych zasobów kadrowych...*, s. 284.

Opracować plan wizytacji minimalizujący koszty całkowite.

¹⁷⁸ Przykład pochodzi z: L. Reszka, *Optymalizacja wykorzystania wykwalifikowanych zasobów kadrowych...*, s. 281–286.

3.10. Zagadnienie transportowe z przeładunkiem

Model transportowy opisany w punktach 3.7 i 3.8 charakteryzował się występowaniem dwóch rodzajów punktów: pochodzenia (z których zasoby były wywożone) oraz przeznaczenia (do których zasoby były transportowane). W opisywanym w niniejszym punkcie **modelu transportowym z przeładunkiem** występować będą jeszcze punkty trzeciego rodzaju, tzw. punkty przeładunkowe, które otrzymają zasoby z punktów pochodzenia i dalej je wysyłają do punktów przeznaczenia.



Rysunek 3.13. Schemat ogólny zagadnienia transportowego z przeładunkiem

Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem: W. Radzikowski, *Badania operacyjne z zarządzaniu przedsiębiorstwem...*, s. 153.

Funkcja celu modelu transportowego z przeładunkiem jest bardziej rozbudowana niż w klasycznym modelu transportowym. Zakłada bowiem konieczność minimalizacji całkowitych kosztów transportu w całej sieci wyrażonych jako suma kosztów transportu od punktów pochodzenia do punktów przeładunkowych oraz kosztów transportu od punktów przeładunkowych do punktów przeznaczenia:

$$\begin{aligned}
K = & k_{110}x_{110} + \dots + k_{1j0}x_{1j0} + \dots + k_{1n0}x_{1n0} + \dots + \\
& + k_{i10}x_{i10} + \dots + k_{ij0}x_{ij0} + \dots + k_{m0}x_{1n0} + \dots + \\
& + k_{m10}x_{m10} + \dots + k_{mj0}x_{mj0} + \dots + k_{mn0}x_{mn0} + \dots + \\
& + k_{011}x_{011} + \dots + k_{01k}x_{01k} + \dots + k_{01p}x_{01p} + \dots + \\
& + k_{0j1}x_{0j1} + \dots + k_{0ik}x_{0ik} + \dots + k_{0jp}x_{0jp} + \dots + \\
& + k_{0n1}x_{0n1} + \dots + k_{0nk}x_{0nk} + \dots + k_{0np}x_{0np} = \\
= & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij0}x_{ij0} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^p k_{0jk}x_{0jk} \rightarrow \min
\end{aligned} \tag{3.28}$$

oznaczenia jak wyżej.

Jeśli chodzi o warunki wewnętrznej zgodności modelu transportowego z przeładunkiem, to oprócz występujących w klasycznym modelu transportowym warunków dotyczących realizacji podaży (3.24) i zaspokojenia popytu (3.25) dochodzą jeszcze warunki związane z punktami przeładunkowymi, zgodnie z którymi suma elementów wpływających do punktu przeładunkowego równa się sumie elementów z niego wypływających (3.26).

$$\sum_{j=1}^n x_{ij0} = a_i \quad (i = 1, \dots, m) \tag{3.29}$$

gdzie:

a_i – podaż punktu i ,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

$$\sum_{j=1}^n x_{0ij} = c_k \quad (k = 1, \dots, p) \tag{3.30}$$

gdzie:

c_k – popyt punktu k ,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

$$\sum_{i=1}^m x_{ij0} = \sum_{k=1}^p x_{0jk} \quad (j = 1, \dots, n) \tag{3.31}$$

oznaczenia jak wyżej.

Warunki brzegowe modelu transportowego z przeładunkiem związane są, podobnie jak w klasycznym modelu transportowym, z wykluczeniem ujemnych przypływów na każdej z tras:

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (i = 0, \dots, m; j = 1, \dots, n; k = 0, \dots, p) \tag{3.32}$$

oznaczenia jak wyżej.

Arkusz umożliwiający rozwiązanie modelu transportowego z przeładunkiem przedstawiono na rysunku 3.14.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Tabela przewozów (zmienianych decyzyjnych)													
2	Punkty przeładunkowe	Punkty pochodzenia					Punkty przeznaczenia					Razem do punktu przeładunkowego	Znak	Razem z punktu przeładunkowego
3	l	X_{li0}	...	X_{lii}	...	X_{lim}	X_{li1}	...	X_{lik}	...	X_{lip}	=SUMA(B4:F4)	=	=SUMA(G4:K4)
4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	j	X_{lji}	...	X_{ljj}	...	X_{ljp}	X_{lj1}	...	$X_{lj k}$	...	$X_{lj p}$	=SUMA(B6:F6)	=	=SUMA(G6:K6)
7	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	n	X_{ln0}	...	X_{lni}	...	X_{lnm}	X_{ln1}	...	$X_{ln k}$	...	$X_{ln p}$	=SUMA(B8:F8)	=	=SUMA(G8:K8)
9	Razem	=SUMA(B4:B8)	...	=SUMA(D4:D8)	...	=SUMA(F4:F8)	=SUMA(G4:G8)	...	=SUMA(I4:I8)	...	=SUMA(K4:K8)			
10	Znak	=	...	=	...	=	=	...	=	...	=			
11	Podaż/popyt	a_l	...	a_i	...	a_m	c_1	...	c_k	...	c_p			
12	Tabela kosztów jednostkowych (parametrów funkcji celu)													
13	Punkty przeładunkowe	Punkty pochodzenia					Punkty przeznaczenia							
14	l	k_{li0}	...	k_{lii}	...	k_{lim}	k_{li1}	...	k_{lik}	...	k_{lip}			
15	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			
16	j	k_{lji}	...	k_{ljj}	...	k_{ljp}	k_{lj1}	...	$k_{lj k}$	...	$k_{lj p}$			
17	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...			
18	n	k_{ln0}	...	k_{lni}	...	k_{lnm}	k_{ln1}	...	$k_{ln k}$	...	$k_{ln p}$			
19														
20														
21														
22	Funkcja celu													
23		=SUMA.ILOCZYNÓW(B4:K8;B16:K20)												

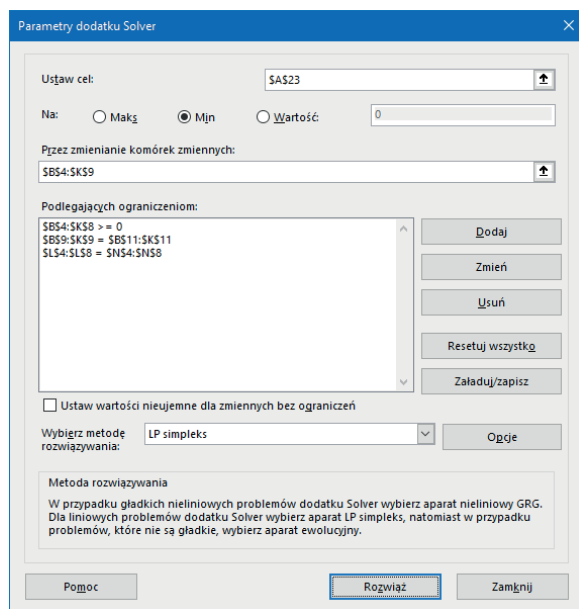
Rysunek 3.14. Arkusz modelu transportowego z przeładunkiem

Źródło: opracowanie własne.

Z lewej strony tabel przedstawionych na rysunku 3.14 (zarówno tabeli przewozów, jak i tabeli kosztów jednostkowych) zapisane są punkty przeładunkowe, jako elementy wspólne dla przedstawionych na górze punktów pochodzenia i punktów przeznaczenia. Tabele zawierają więc zarówno zmienne decyzyjne (i koszty jednostkowe) związane z transportem zasobów z punktów pochodzenia do punktów przeładunkowych, jak i zmienne decyzyjne (i koszty jednostkowe) związane z transportem zasobów z punktów przeładunkowych do punktów przeznaczenia.

U dołu tabeli przewozów wprowadzony został wiersz podsumowujący elementy poszczególnych kolumn umożliwiający zrównanie ilości zasobów wysyłanych z poszczególnych punktów pochodzenia z ich podażą oraz ilości zasobów transportowanych do poszczególnych punktów przeznaczenia z ich popytem. Po prawej stronie natomiast zsumowane zostały ilości zasobów transportowane do poszczególnych punktów przeładunkowych z ilościami z wysyłanymi z tych punktów. Umożliwia to zrównanie tych wielkości zgodnie z trzecią grupą warunków wewnętrznej zgodności modelu.

Funkcja celu, będąca sumą iloczynów przewozów i kosztów jednostkowych, zapisana jest w komórce „A23” i to jej wartość będzie minimalizowana przez Solver, którego parametry przedstawiono na rysunku 3.15.



Rysunek 3.15. Parametry Solwera modelu transportowego z przeładunkiem

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać na rysunku, oprócz ustawień typowych dla modelu transportowego, czyli:

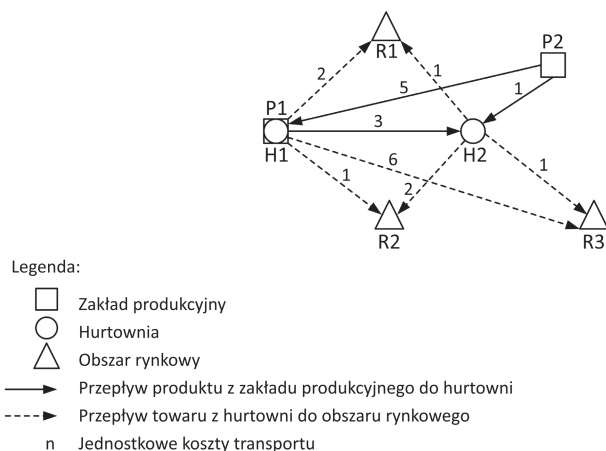
- wskazanie minimalizowanej komórki celu „A23”,
- ustawienie komórek zmienianych przez Solver (elementy tabeli przewozów),
- dodanie ograniczenia o nieujemnych wielkościach zmienianych komórek (zgodnie z warunkami brzegowymi modelu),
- dodanie ograniczenia o zrównaniu ilości zasobów wysyłanych z poszczególnych punktów pochodzenia z ich podażą oraz ilości zasobów transportowanych do poszczególnych punktów przeznaczenia z ich popytem,

dodane zostało również ograniczenie o równości ilości zasobów transportowanych do poszczególnych punktów przeładunkowych z ilościami wysyłanymi z tych punktów.

Oczywiście, podobnie jak w klasycznym modelu transportowym, możliwe jest również dodanie ograniczenia związanego z całkowitoliczbowymi wielkościami przewozów.

Zadanie 3.15¹⁷⁹

Opracować optymalną strategię dystrybucji systemu składającego się z dwóch zakładów produkcyjnych P_1 i P_2 , dwóch hurtowni H_1 i H_2 oraz z trzech obszarów rynkowych R_1 , R_2 i R_3 , przy czym hurtownia H_1 znajduje się bezpośrednio przy zakładzie P_1 (rys. 3.16).



Rysunek 3.16. Sieć dystrybucji

Źródło: L. Reszka, *Optymalizacja hurtowej sieci dystrybucyjnej...*, s. 220.

Wielkość produkcji zakładu P_1 nie może przekroczyć 40.000 szt. rocznie, zaś wielkość popytu w poszczególnych obszarach rynkowych wynosi również w stosunku rocznym odpowiednio:

- R_1 – 25.000 szt.
- R_2 – 50.000 szt.
- R_3 – 60.000 szt.

¹⁷⁹ Przykład pochodzi z: L. Reszka, *Optymalizacja hurtowej sieci dystrybucyjnej jako zadanie logistyczne* [w:] *Studia nad transportem i logistyką*, pod red. D. Rucińskiej, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 25, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2003, s. 220.

3.11. Projekt na temat wykorzystania prezentowanych metod optymalizacji w logistyce przedsiębiorstwa

Zadanie 3.16

Pracując w kilkusobowych grupach, stworzyć prezentację multimedialną na temat możliwości wykorzystania opisanych w niniejszym rozdziale metod optymalizacji w praktyce logistycznej dowolnego przedsiębiorstwa (może być fikcyjne).

Zakończenie

Zamysłem autora niniejszej książki było przedstawienie metod, które mogą służyć menedżerowi logistyki do skutecznego podejmowania decyzji. Logistyka odgrywa niezmiernie istotną rolę w funkcjonowaniu każdego przedsiębiorstwa, niezależnie od jego wielkości czy rodzaju działalności. Mało tego, jest ona istotnym elementem gospodarki kraju, regionu czy miasta, bo wszędzie tam właściwa realizacja procesów podstawowych, np. produkcyjnych, usługowych itp., wymaga zapewnienia zasobów, co nie byłoby możliwe bez właściwie zorganizowanych działań, zwanych procesami logistycznymi. Procesy te dla swojej realizacji wymagają z kolei odpowiedniej infrastruktury oraz innych elementów o charakterze technicznym, technologicznym, prawnym czy organizacyjnym, tworzących system logistyczny.

Punktem wyjścia wszelkich działań w gospodarce rynkowej jest określenie przyszłego popytu. Na podstawie informacji o przyszłym popycie można zaplanować wielkość i rodzaj produkcji, a co za tym idzie – ilość niezbędnych zasobów materiałowych, kadrowych, informacyjnych, finansowych i innych. To z kolei daje podstawę do zaplanowania procesów logistycznych. Dlatego też jednym z kluczowych komponentów systemu wsparcia logistycznego jest prognozowanie popytu, a metody temu służące mogą stanowić istotny atrybut menedżera logistyki.

Działania logistyczne, jak każde inne, podlegają procesom optymalizacyjnym, ich realizacja powinna być ekonomicznie racjonalna. By tak się stało, warto wyposażyć osoby podejmujące decyzje w logistyce w metody wspierające optymalizację procesów logistycznych. Metody te, tradycyjnie utożsamiane z badaniami operacyjnymi, z powodzeniem znajdują zastosowanie w planowaniu działań zapewniających zasoby dla realizacji procesów podstawowych każdej celowej działalności człowieka.

Opisane w niniejszej książce metody i narzędzia oczywiście nie są jedynymi, którymi może dysponować współczesny menedżer logistyki, jednak ich znajomość może przyczynić się do podniesienia kompetencji osób odpowiedzialnych za podejmowanie decyzji w logistyce.

Bibliografia

- Abt S., *Zarządzanie logistyczne w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 1998.
- Allen D.M., *Mean Square Error of Prediction as Criterion for Selection Variables*, „Technometrics” 1971, No. 13.
- Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, pod red. K. Kukuły, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- Barcik R., Jakubiec M., *Analiza rynku i prognozowanie popytu jako niezbędne działania dla prawidłowego funkcjonowania logistyki*, „Logistyka” 2012, nr 2.
- Barczak A.S., Biolik J., *Podstawy ekonometrii*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej im. Karola Adamieckiego w Katowicach, Katowice 1999.
- Bartosiewicz S., *Ekonometria. Technologia ekonometrycznego przetwarzania informacji*, PWE, Warszawa 1989.
- Begg D., Fisher S., Dornbusch R., *Mikroekonomia*, PWE, Warszawa 1996.
- Beier F.J., Rutkowski K., *Logistyka*, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa 1993.
- Bendkowski J., Wengerek M., *Logistyka odpadów*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- Blanchard B.S., *Logistics Engineering and Management*, Prentice Hall, New Jersey 1998.
- Bozarth C., Handfield R.B., *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*, Helion, Gliwice 2007.
- Bril J., Łukasik Z., *Metody zarządzania zapasami*, „Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2013, nr 3.
- Brown R.G., Meyer R.F., *The Fundamental Theorem of Exponential Smoothing*, „Operation Research” 1961, Vol. 9, Issue 5.
- Chaberek M., *Logistyczne aspekty bezpieczeństwa [w:] Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. XIV*, pod red. M. Chaberką i L. Reszki, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomia Transportu i Logistyka”, nr 56, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2015.
- Chaberek M., *Logistyka informacji zarządczej w kontrolingu przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001.
- Chaberek M., *Makro- i mikroekonomiczne aspekty wsparcia logistycznego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002.
- Chaberek M., *Model systemu wsparcia logistycznego organizacji [w:] Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. I*, pod red. M. Chaberką, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001.
- Chaberek M., *Pomiar i ocena efektywności systemów wsparcia logistycznego organizacji [w:] Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. II*, pod red. M. Chaberką, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomia Transportu Lądowego”, nr 24, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002.
- Chaberek M., *Praktyczny wymiar teorii logistyki*, „Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu” 2011, nr 10.
- Chwesiuk K., *Analiza zastosowań systemów informatycznych klasy ERP w logistyce*, „Logistyka” 2011, nr 4.
- Cieślak M., *Organizacja procesu prognostycznego [w:] Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.

- Cieślak M., *Pojęcie prognozy* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Cieślak M., *Prognozowanie analogowe* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Czyżyki R., Hundert M., Klóska R., *Wybrane zagadnienia z ekonometrii*, Economicus, Szczecin 2004.
- Dittmann P., *Metody prognozowania sprzedaży w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 1997.
- Dittmann P., *Modele szeregów czasowych I* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Dittmann P., *Prognozowanie w przedsiębiorstwie. Metody i ich zastosowanie*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2008.
- Długosz J., *Nowoczesne technologie w logistyce*, PWE, Warszawa 2009.
- Drapik S., Kobielski A., Prusak J., *Fluktuacja obciążeń podstacji trakcyjnych w ujęciu teorii szeregów czasowych*, „TTS Technika Transportu Szynowego” 2010.
- Ducot C., Lubien G.J., *A Typology for Scenarios „Futures”* 1980, No. 1.
- Ekonometria i badania operacyjne. Zagadnienia podstawowe*, pod red. B. Guzika, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 2000.
- Ekonometryczne metody predykcji dla danych sezonowych w warunkach braku pełnej informacji*, pod red. J. Zawadzkiego, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1999.
- Eppen G.D., Gould F.J., Schmidt C.P., Moore J.H., Weatherford L.R., *Management science*. Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey 1998.
- Ficoń K., *Zarys mikrologistyki*, BEL Studio Sp. z o.o., Warszawa 2004.
- Figueira J.J., Roy B., *Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure*, „European Journal of Operational Research” 2002, No. 139.
- Gierszewski J., *Model bezpieczeństwa społecznego na tle teorii systemów*, „Colloquium Wydziału Nauk Humanistycznych i Społecznych” 2013, nr 2.
- Górecka D., *Wielokryterialne wspomaganie wyboru projektów europejskich*, Wydawnictwo „Dom Organizatora”, Toruń 2009.
- Haksever C., Render B., Russell R.S., Murdick R.G., *Service Management and Operations*, Prentice Hall, New Jersey 2000.
- Hellwig Z., *Problem optymalnego wyboru predyktant*, „Przegląd Statystyczny” 1969, nr 3–4.
- Hellwig Z., *Prognozy statystyczne i ich znaczenie w przewidywaniu zjawisk i procesów gospodarczych* [w:] *Zarys ekonometrii*, pod red. Z. Hellwiga, PWE, Warszawa 1973.
- Holt C.C., *Forecasting Seasonal and Trends by Exponentially Weighted Moving Averages*, „O.N.R. Memorandum” No. 52 Carnenerge Institute of Technology 1957.
- Kaczmarczyk S., *Badania marketingowe. Metody i techniki*, PWE, Warszawa 2002.
- Kapcia B., *Activity – Based Costing jako metoda zarządzania procesami logistycznymi*, Habex, Gliwice 1996.
- Kaplan R.S., Cooper R., *Cost and effect. Using integrated costs systems to drive profitability and performance*, Harvard Business School Press, Boston 1998.
- Kawa A., Wiczerzycki W., *Zintegrowane systemy informatyczne* [w:] *Instrumenty zarządzania logistycznego*, pod red. M. Ciesielskiego, PWE, Warszawa 2006.
- Kmiecik A., *Filozoficzne aspekty komputerowych badań symulacyjnych w naukach społecznych*, „Filo-Sofija” 2013, nr 20 (1).
- Kobryń A., *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w gospodarowaniu przestrzeni*, Difin, Warszawa 2014.
- Kopaliński W., *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych z almanachem*, Bertelsmann Media, Warszawa 2000.
- Korzeniowski A., Skrzypek M., Szyszka G., *Opakowania w systemach logistycznych*, Instytut Logistyki i Magazynewania, Poznań 1996.

- Krawczyk S., *Metody ilościowe w planowaniu (działalności przedsiębiorstwa)*, C.H. Beck, Warszawa 2001.
- Krupowicz J., *Metody heurystyczne* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Krzyżaniak S., *Podstawy zarządzania zapasami w przykładach*, Biblioteka Logistyka, Poznań 2002.
- Kuropka I., *Model ekonometryczny* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Møller C., *ERP II extended enterprise resource planning* [w:] *Proceedings of the 7th world multi-conference on systemics World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*, Orlando, FL, VII/VIII 2003.
- Mynarski S., *Elementy teorii systemów i cybernetyki*, PWN, Warszawa 1979.
- Naim M., Lalwani C., Fortun L., Schmidt T., Taylor J., Aronson H., *A Model for Logistics Systems Engineering Management in Europe*, „European Journal of Engineering Education” 2000, Vol. 25, No. 1.
- Nowak B.M., *Kreowanie działań społecznych o charakterze resocjalizacyjno-readaptacyjnym Podejście sieciowo-systemowe* „Polish Journal of Social Rehabilitation” 2014, No. 7.
- Nowakowski T., Werbińska-Wojciechowska S., *Porównanie metod oceny i wyboru dostawców w przedsiębiorstwie – case study* „Logistyka” 2012, nr 2.
- Palade V., Jain L., *Practical applications of neural networks*, „Neural Computing & Applications” 2005, Vol. 14, Issue 2.
- Pawłowski Z., *Modele ekonometryczne równań opisowych*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1973.
- Pawłowski Z., *Zasady predykcji ekonometrycznej*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1982.
- Piłacińska M., Leśniak K., Kujawińska A., Żywicki K., *Model danych systemu sterowania przepływem i jakością produkcji* „Studia Informatica” 2009, No. 2B(84), Vol. 30.
- Rachunek decyzyjny w logistyce zaopatrzenia*, pod red. M. Chaberka, Wydawnictwo Gdańskiej Wyższej Szkoły Humanistycznej, Gdańsk 2002.
- Radzikowska B., *Scenariusze* [w:] *Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania*, pod red. M. Cieślak, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Radzikowski W., *Badania operacyjne z zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Toruńska Szkoła Zarządzania, Toruń 1997.
- Reszka L., *Koncepcja identyfikacji kosztów logistycznych z punktu widzenia pełnego cyklu życia systemu wsparcia logistycznego* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. III*, pod red. M. Chaberka i C. Mańkowskiego, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 28. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2004.
- Reszka L., *Modelowanie procesu optymalizacyjnego w logistyce przedsiębiorstwa* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. XII*, pod red. M. Chaberka i L. Reszki, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu i Logistyka”, nr 46 Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2013.
- Reszka L., *Optymalizacja hurtowej sieci dystrybucyjnej jako zadanie logistyczne* [w:] *Studia nad transportem i logistyką*, pod red. D. Rucińskiej, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 25, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2003.
- Reszka L., *Optymalizacja wykorzystania wykwalifikowanych zasobów kadrowych firm globalnych jako przykład funkcji wsparcia logistycznego* [w:] *Wymiary globalizacji. Aspekty społeczno-ekonomiczne*, pod red. M. Duczmała, Wydawnictwo WSZiA w Opolu, Opole 2002.
- Reszka L., *Pomiar i ocena niezawodności systemów wsparcia logistycznego organizacji* [w:] *Modelowanie procesów i systemów logistycznych, cz. II*, pod red. M. Chaberka, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Gdańskiego. Ekonomika Transportu Lądowego”, nr 26. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2002.
- Reszka L., *Prognozowanie popytu w logistyce małego przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2010.

- Reszka L., *Solver jako narzędzie rozwiązywania logistycznych problemów optymalizacyjnych*, „Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Toruniu” 2011, nr 10.
- Reszka L., *The applicability of the Simos' method to determination of weights in optimal multicriteria decision making in logistics* [w:] *Modelling of logistics processes and systems, part XVII*, pod red. M. Chaberka, L. Reszki, „Research Journal of the University of Gdańsk Transport Economics and Logistics”, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2017.
- Sarjusz-Wolski Z., *Sterowanie zapasami w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2000.
- Simos J., *Evaluer l'impact sur l'environnement, Une approche originale par l'analyse multicritere et la negociation*, „Presses Polytechniques et Universitaires Romandes”, Lausanne 1990.
- Skarżyńska A., *Rachunek kosztów działań – nowe spojrzenie*, „Zagadnienia Ekonomiki Rolnej” 2012, nr 3(332).
- Skowronek C., Sarjusz-Wolski Z., *Logistyka w przedsiębiorstwie*, PWE, Warszawa 2003.
- Słownik języka polskiego*, pod red. W. Doroszewskiego, t. 9, PWN, Warszawa 1967.
- Słownik wyrazów obcych*, pod red. E. Sobol, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
- Słownik wyrazów obcych PWN*, pod red. L. Wiśniakowskiej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- Sokołowski W., *Podstawowe metody sterowania zapasami w przedsiębiorstwie*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Administracji i Biznesu im. E. Kwiatkowskiego w Gdyni”, pod red. M. Chrabkowskiego, Wyższa Szkoła Administracji i Biznesu im. E. Kwiatkowskiego w Gdyni, Gdynia 2016.
- Szmuksta-Zawadzka M., Zawadzki J., *O miernikach dokładności prognoz ex post w prognozowaniu zmiennych o silnym natężeniu sezonowości*, „Metody Ilościowe w Badaniach Ekonomicznych” 2012, t. 13, nr 1.
- Tadeusiewicz R., *Wstęp do sieci neuronowych* [w:] *Biocybernetyka i inżynieria biomedyczna*, t. 6, *Sieci neuronowe*, pod red. M. Nałęcza, Akademicka Oficyna Wydawnicza Exit, Warszawa 2000.
- Uniwersalny słownik języka polskiego*, t. 3, pod red. S. Dubisza, PWN, Warszawa 2003.
- Urbańczyk T., *Logistyka zaopatrzenia* [w:] *Logistyka w biznesie*, pod red. M. Ciesielskiego, PWE, Warszawa 2006.
- Welfe W., *Welfe A., Ekonometria stosowana*, PWE, Warszawa 2004.
- Winters P.R., *Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages*, „Management Science” 1960, Vol. 6, Issue 3.
- Wiśniewski J.W., *Ekonometryczne modele zależności ekonomicznych zmiennych losowych* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996.
- Wiśniewski J.W., *Ekonometryczny model małego przedsiębiorstwa*, Instytut Wydawniczy GRAVIS, Toruń 2003.
- Wiśniewski J.W., *Instrumenty decyzyjne przedsiębiorcy*, Instytut Wydawniczy GRAVIS, Toruń 2002.
- Wiśniewski J.W., *Mikroekonometria*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
- Wiśniewski J.W., *Prognozowanie ekonometryczne* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996.
- Wiśniewski J.W., *Zagadnienie transportowe* [w:] J.W. Wiśniewski, Z. Zieliński, *Elementy ekonometrii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 1996.
- Witkowska D., *Podstawy ekonometrii i teorii prognozowania*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2006.
- Wojna A., *Analiza statystyczna oraz prognozowanie w modelach ekonomicznych. Część 2, Metody oraz narzędzia prognozowania zjawisk ekonomicznych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2004.
- Wrona A., *Modelowanie i symulacja procesów transportowych za pomocą pakietu symulacyjnego SLAM II*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2000.
- Wyřbek H., *Znaczenie metody ABC w doskonaleniu jakości zarządzania*, „Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, Seria: Administracja i Zarządzanie” 2011, nr 88.

- Zawadzki J., *Ekometryczne metody prognozowania w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1989.
- Zeliaś A., *Estymacja parametrów równania regresji liniowej w warunkach niepełnej informacji* „Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie”, Kraków 1997.
- Zeliaś A., *Teoria prognozy*, PWE, Warszawa 1997.
- Ziółkowski J., Łada J., *Analiza ABC i XYZ w gospodarowaniu zapasami [w:] Przedsiębiorczość i Zarządzanie* Wydawnictwo Społeczna Akademia Nauk, t. 15, z. 5, cz. 1.

Spis tabel

Tabela 1.1. Istniejące stany magazynowe oraz złożone wcześniej zamówienia	22
Tabela 1.2. Wykaz towarów sprzedawanych przez sklep z zabawkami	30
Tabela 1.3. Tabela ABC/XYZ (wartość sprzedaży / dokładności prognoz)	32
Tabela 1.4. Tabela ABC/XYZ (wartościowa i ilościowa wielkość sprzedaży)	33
Tabela 1.5. Charakterystyka typowych lokalizacji punktu rozdzielającego	35
Tabela 1.6. Określenie wag dla kryteriów za pomocą procedury Simosa	42
Tabela 1.7. Określenie wag dla kryteriów za pomocą zmodyfikowanej procedury Simosa	43
Tabela 1.8. Zagrożenia i zalety korzystania z jednego źródła dostaw	44
Tabela 1.9. Kryteria oceny dostawcy A i dostawcy B	45
Tabela 2.1. Wybrane klasyfikacje prognoz	55
Tabela 2.2. Empiryczne i prognozowane wartości zmiennej Y	60
Tabela 2.3. Empiryczne i prognozowane wartości zmiennej Y	63
Tabela 2.4. Dane dotyczące popytu	68
Tabela 2.5. Dane dotyczące popytu	71
Tabela 2.6. Dane dotyczące popytu	72
Tabela 2.7. Szereg czasowy popytu	76
Tabela 2.8. Podstawowe klasyfikacje modeli ekonometrycznych	82
Tabela 2.9. Informacje o zmiennej objaśnianej oraz potencjalnych zmiennych objaśniających	87
Tabela 2.10. Informacje o zmiennej objaśnianej oraz potencjalnych zmiennych objaśniających	90
Tabela 2.11. Cztery podstawowe typy scenariuszy	101
Tabela 3.1. Maszynochłonność obróbki poszczególnych wyrobów oraz zyski jednostkowe	116
Tabela 3.2. Jednostkowe koszty przewozu silników	126
Tabela 3.3. Jednostkowe koszty przewozu mąki (w zł za tonę), oferowane miesięcznie wielkości dostaw (w tonach) oraz miesięczne zapotrzebowania (w tonach)	128
Tabela 3.4. Koszty jednostkowe związane z wizytacją zakładów produkcyjnych przez przedstawicieli centrali firmy X (w tys. USD)	130

Spis rysunków

Rysunek 1.1. Współistnienie podstawowych i wspierających procesów w przedsiębiorstwie	10
Rysunek 1.2. Główne funkcje systemu wsparcia logistycznego (swl)	13
Rysunek 1.3. Popyt pierwotny i wtórny	17
Rysunek 1.4. Ewolucja systemów planowania potrzeb materiałowych	18
Rysunek 1.5. Proces produkcji	20
Rysunek 1.6. Graf Gozinto – zadanie 1.3.	21
Rysunek 1.7. Graf Gozinto – zadanie 1.4	21
Rysunek 1.8. Zapasy jako efekt braku synchronizacji strumieni wejścia i wyjścia . . .	23
Rysunek 1.9. Zmiana stanu zapasów w czasie zgodnie z założeniami modelu Wilsona	25
Rysunek 1.10. Koszty związane z zapasami	26
Rysunek 1.11. Typowe położenia punktu rozdzielającego	35
Rysunek 1.12. Graficzna prezentacja oceny dostawców	39
Rysunek 1.13. Wizualizacja hierarchii istotności kryteriów oceny dostawców	41
Rysunek 1.14. Określanie odległości pomiędzy istotnością poszczególnych kryteriów oceny dostawców	41
Rysunek 1.15. Współzależności kosztów logistycznych	46
Rysunek 1.16. Model współzależności kosztów występujących przy wyborze gałęzi transportu	47
Rysunek 1.17. Model współzależności kosztów występujących przy określaniu liczby magazynów w systemie dystrybucyjnym	48
Rysunek 1.18. Sposób rozliczania kosztów w metodzie ABC	50
Rysunek 2.1. Prognozowanie jako naukowe, racjonalne wnioskowanie o zdarzeniach nieznanach należących do przyszłości na podstawie zdarzeń znanych	54
Rysunek 2.2. Zależność efektów prognozowania od kosztów prognozowania	64
Rysunek 2.3. Metody prognozowania	65
Rysunek 2.4. Aproksymacja i ekstrapolacja modelu trendu	68
Rysunek 2.5. Wartości wag w modelu opartym na 3-okresowej średniej ruchomej prostej	75
Rysunek 2.6. Wartości wag w modelu opartym na 3-okresowej średniej ruchomej o zróżnicowanych wagach	75
Rysunek 2.7. Metoda Hellwiga selekcji zmiennych	86
Rysunek 2.8. Procedura badania według metody delfickiej	98
Rysunek 2.9. Metody prognozowania wykorzystywane przez przedsiębiorstwa . . .	103

Rysunek 3.1. Metody analizy systemów	106
Rysunek 3.2. Schemat procedury rozwiązywania problemu decyzyjnego z wykorzystaniem modelu	107
Rysunek 3.3. Schemat procedury rozwiązywania problemu decyzyjnego z wykorzystaniem modelu	108
Rysunek 3.4. Okna parametrów Solvera	110
Rysunek 3.5. Algorytm wykorzystania narzędzia Solver	111
Rysunek 3.6. Arkusz modelu optymalnego wyboru asortymentu produkcji	114
Rysunek 3.7. Parametry Solvera modelu optymalnego wyboru asortymentu produkcji	115
Rysunek 3.8. Arkusz modelu mieszanki (diety)	118
Rysunek 3.9. Parametry Solvera modelu mieszanki (diety)	118
Rysunek 3.10. Schemat ogólny klasycznego zagadnienia transportowego	121
Rysunek 3.11. Arkusz modelu transportowego	123
Rysunek 3.12. Parametry Solvera modelu transportowego	125
Rysunek 3.13. Schemat ogólny zagadnienia transportowego z przeładunkiem	131
Rysunek 3.14. Arkusz modelu transportowego z przeładunkiem	133
Rysunek 3.15. Parametry Solvera modelu transportowego z przeładunkiem	134
Rysunek 3.16. Sieć dystrybucji	135