



UNIWERSYTET EKONOMICZNY
W POZNANIU

Szymon Grabański

**WYZNACZANIE LOKALIZACJI CENTRUM DYSTRYBUCJI.
MODELOWANIE Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMÓW GEOINFORMACJI**

**SETTING THE LOCATION OF A DISTRIBUTION CENTER.
MODELING WITH THE USE OF GEOINFORMATION SYSTEMS**

Praca doktorska

Promotor:

dr hab. Maciej Szymczak, prof. nadzw. UEP

Promotor pomocniczy:

dr Hubert Igliński

Poznań 2015

Spis treści

Wstęp.....	3
1. Logistyka dystrybucji.....	9
1.1. Pojęcie dystrybucji	9
1.2. Koszty dystrybucji.....	19
1.3. Centrum dystrybucji	22
1.4. Klasyczne kryteria lokalizacji	30
1.5. Kryteria wyboru lokalizacji centrum dystrybucji.....	42
2. Systemy informacji geograficznej	48
2.1. Rozwój systemów informacji geograficznej	48
2.2. Lokalizacja, współrzędne geograficzne.....	57
2.3. Modelowanie z wykorzystaniem GIS	66
2.4. GIS w działalności gospodarczej.....	73
3. Teoria i metody lokalizacji obiektów	78
3.1. Klasyczne i behawioralne teorie lokalizacji obiektów	78
3.2. Wybrane modele matematyczne wspomagające lokalizację obiektów	94
3.3. Opis wybranych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji	105
3.3.1. Metoda AHP	112
3.3.2. Metoda <i>Electre Is</i>	115
3.3.3. Metoda LBS.....	120
4. Lokalizacja centrum dystrybucji	124
4.1. Zagadnienie podejmowania decyzji strategicznych w przedsiębiorstwie ..	124
4.2. Systemy wspomagania decyzji	130
4.3. Model wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji.....	134
4.4. Analiza wielokryterialna problemu lokalizacji – <i>Electre Is</i>	140
Zakończenie.....	149
Bibliografia	152
Spis tabel.....	162
Spis rysunków	163

Wstęp

Nieograniczoność potrzeb konsumenta, ograniczone zasoby, jakimi dysponujemy oraz silna konkurencja są przyczyną poszukiwania racjonalnych wyborów przez konsumenta i producenta. Podejmowanie decyzji przez decydenta występuje tak po stronie popytu, jak i podaży. Konsument podejmując decyzję dotyczącą zakupu oraz wydając limitowane zasoby, jakie posiada, pragnie uzyskać maksimum korzyści. Działanie dystrybutora, z jednej strony skierowane na zaspokajanie potrzeb konsumenta, z drugiej strony na przeciwdziałanie zagrożeniom ze strony konkurencji, wymaga podejmowania trafnych decyzji. Potrzeby konsumenta pozostają wyznacznikiem prowadzenia działalności produkcyjnej czy handlowej, z kolei konkurencja jest przyczyną doskonalenia procesów produkcyjnych i dystrybucyjnych w celu podnoszenia jakości obsługi klienta czy też obniżania kosztów prowadzonej działalności.

Jednym z obszarów zainteresowania analityków, o dużym potencjale ze względu na możliwość aplikacji metod matematycznych, jest logistyka. Stosowanie coraz bardziej wyrafinowanych metod analitycznych ma na celu osiągnięcie jak najlepszego wyniku ze względu na przyjęte kryterium optymalizacji. Pozwala to na podejmowanie lepszych jakościowo decyzji. Problematyka lokalizacji centrów dystrybucji w Polsce jest przykładem zmian, jakie nastąpiły na przestrzeni ostatnich dwudziestu pięciu lat w świadomości menadżerów, co jednoznacznie przełożyło się na strategie rozwoju realizowane przez przedsiębiorstwa. W literaturze światowej i krajowej już w latach osiemdziesiątych ubiegłego stulecia zauważono problem zbyt małego wykorzystania metod matematycznych przy organizacji transportu i budowie sieci logistycznych¹. „Nieracjonalną strukturę i wadliwą organizację określono mianem dysharmonii albo niedopasowania struktury oraz organizacji przestrzennej i funkcjonalnej gospodarki magazynowej” [Gołemska 1990, s. 10]. Problem ten dotyczy w dużej mierze państw byłego bloku wschodniego o centralnie sterowanym systemie gospodarczym. Podmioty gospodarcze państw Ameryki Północnej oraz Europy Zachodniej, działające w realiach gospodarki rynkowej, wcześniej zaczęły wykorzystywać narzędzia matematyczne w celu sprostania dużej konkurencji i osiągnięcia lepszych wyników finansowych. „W latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych wiele firm, zarówno w USA, jak i na

¹ Sieć logistyczna – infrastruktura przepływu materiałów, półproduktów i wyrobów gotowych. Składa się z obiektów punktowych oraz łączących je dróg różnych gałęzi transportu. [Baraniecka i in. 2005, s. 30]

całym świecie, koncentrowało swoją uwagę na tym, co definiowano jako dystrybucja fizyczna” [Bardi, Coyle i Langley 2007, s. 24].

Ewolucję logistyki można podzielić na trzy etapy. Etap pierwszy to duża fragmentacja – dystrybucja fizyczna (przypada na lata sześćdziesiąte XX wieku). Etap drugi – zintegrowane zarządzanie logistyczne (przypada na lata osiemdziesiąte) to stopniowa i postępująca integracja sfery dystrybucji fizycznej i sfery gospodarki materiałowej. Etap trzeci to całkowita integracja – zintegrowane zarządzanie logistyką w łańcuchu dostaw. Podejście to zauważalne jest od przełomu wieku XX i XXI. Według Emigha [za Yao i Dresner 2008, s. 361] w czasie ostatnich kilku lat wzrosła liczba tworzonych – bardzo wysublimowanych – modeli zarządzania łańcuchem dostaw. Było to możliwe tylko dzięki rozwojowi technologii informacyjnych. Należy zwrócić uwagę na fakt, że rozwój teorii zarządzania łańcuchem dostaw jest również zauważalny na poziomie definicji i modeli lokalizacji. W literaturze polskiej i światowej centra logistyczne, jako podstawowe elementy globalnego systemu przepływu towarów, są bardzo szeroko opisywane i definiowane. Mniej miejsca poświęca się definicji magazynów i centrów dystrybucji, których jest znacznie więcej. Z punktu widzenia osób zarządzających firmą, posiadającą takie centrum dystrybucji lub magazyn, może być ono najważniejszym punktem w łańcuchu dostaw.

Warto nadmienić, że pierwsze rozwiązania wykorzystujące powszechną informatyzację obejmowały głównie sferę operacyjną i taktyczną fizycznej dystrybucji dóbr. Dopiero osiągnięcie możliwie najwyższego poziomu optymalizacji z użyciem narzędzi informatycznych, dla niezmiennych warunków ograniczających², na poziomie operacyjnym i taktycznym pozwoliło spojrzeć kompleksowo na łańcuch dostaw. Rozwój modeli matematycznych wykorzystywanych przy lokalizacji obiektów, w tym centrów dystrybucji, był odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie podmiotów gospodarczych oraz rosnące możliwości obliczeniowe komputerów.

Celem pracy jest opracowanie modelu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, wspomagającego proces decyzyjny z wykorzystaniem najnowszych narzędzi informatycznych, geoinformacji oraz metod wielokryterialnego wspomagania decyzji, takich jak: metoda hierarchicznej analizy problemu (*AHP Analytic Hierarchy Process*)

² Autor, używając zwrotu „niezmiennie warunki ograniczające” ma na myśli takie parametry, jak ładowność pojazdu, pojemność pojazdu, wykorzystanie zunifikowanych jednostek ładunkowych, wielkość dostaw, topologia sieci transportowej i inne. Założenie o niezmiennych warunkach ograniczających dotyczy statycznych modeli analitycznych.

czy relacyjnego modelu wspomagania decyzji (*Electre Is*, *Electre III*). Dla realizacji celu głównego pracy postawiono dwa cele szczegółowe:

- omówienie teorii klasycznych i behawioralnych oraz modeli matematycznych lokalizacji oraz ocena ich użyteczności (C1),
- umiejscowienie pojęcia lokalizacji centrum dystrybucji w systemie celów strategicznych przedsiębiorstwa (C2).

Klasyczne i behawioralne teorie lokalizacji są próbą wyjaśnienia społeczno-ekonomicznych działań decydentów w odniesieniu do lokalizacji obiektów. Znajomość modeli matematycznych: optymalizacyjnych, heurystycznych i symulacyjnych [Bendkowski, Kramarz i Kramarz 2010, s. 224–225], stanowi punkt wyjścia do studiowania zagadnienia lokalizacji w kategoriach kwalitatywnych. Warto nadmienić, że wybór lokalizacji obiektu, bądź zespołu obiektów, to problem naukowy. Problem naukowy, który z uwagi na swoją złożoność, wymaga interdyscyplinarnej wiedzy oraz umiejętności analitycznych. Badacze z różnych stron świata zajmują się problemem lokalizacji już od XIX wieku. Prekursorem teorii lokalizacji był Thünen (układ stref rolniczych wokół miast), a jedną z najnowszych teorii lokalizacji odnajdziemy w dziełach Portera (teoria gron Portera).

Drugi cel szczegółowy został zdefiniowany dla podkreślenia rangi podejmowanej decyzji. Istotne jest, aby decydent był świadomy konsekwencji podejmowanych decyzji. Konieczne jest aby proces podjęcia decyzji odbywał się w warunkach pewności lub ograniczonego ryzyka.

Niniejsza praca składa się z czterech rozdziałów, trzy pierwsze to rozdziały teoretyczne. Czwarty rozdział to zwięźczone prace badawcze autora – model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji wspomagającego proces decyzyjny.

W pierwszym rozdziale autor wyjaśnia podstawowe pojęcia związane z centrum dystrybucji (CD), przedstawia definicje centrum logistycznego i magazynowego, omawia podstawowe typy struktur międzynarodowej dystrybucji towarów oraz podejmuje próbę budowy własnej definicji centrum dystrybucyjnego, które było pomijane do tej pory w literaturze krajowej na rzecz szeroko analizowanego pojęcia centrum logistycznego i magazynowego. Od kilku lat można zaobserwować wzrost zainteresowania tą tematyką, jednak nadal odczuwalny jest brak fachowej literatury. W praktyce pojęcie centrum dystrybucji używane jest bardzo często. Na ogół jednak błędnie lub zamiennie z centrum magazynowym. Taki stan rzeczy może prowadzić do niezrozumienia się przez kontrahentów. Pojęcia te należy rozróżnić mimo podobnych

funkcji realizowanych w tych obiektach. Istotnym elementem pracy jest klasyfikacja czynników lokalizacji. Autor zwraca uwagę na aspekty infrastrukturalne, ekonomiczne oraz prawne budowy centrum dystrybucyjnego.

Drugi rozdział dotyczy istoty geoinformacji oraz możliwości, jakie niesie ze sobą wykorzystanie systemów geoinformacyjnych do opisu, wyjaśnienia i przewidywania rozkładu przestrzennego zjawisk geograficznych. Mapy cyfrowe i satelitarne systemy nawigacyjne (GPS – *Global Positioning System*, GLONASS – *Globalnaja nawigacionnaja sputnikowaja sistiema*)³ stanowią podstawę nowoczesnego podejścia do zarządzania łańcuchem dostaw. Wymienione wyżej narzędzia umożliwiają między innymi: podejmowanie lepszych jakościowo decyzji dotyczących wykorzystania środków transportu poprzez optymalizację dziennych tras przejazdów, śledzenie przesyłek *on-line* czy dozоровanie pojazdów.

Trzeci rozdział to przegląd i ocena wybranych metod lokalizacji centrów dystrybucji, czyli teorii behawioralnych i modeli matematycznych. Warto nadmienić, że modele matematyczne, z uwagi na łatwość aplikacji, cieszą się dużym zainteresowaniem nie tylko osób związanych z biznesem, ale przede wszystkim naukowców [Liu 2009; Vygen 2004; Canel i in. 2001; Pirkul i Jayaraman 1998]. W rozdziale tym autor wskazuje również na możliwości wykorzystania metod wielokryterialnego wspomagania decyzji przy wyborze lokalizacji centrum dystrybucji. Rozwój metod wielokryterialnego wspomagania decyzji oraz możliwość wykonania wielokrotnych symulacji z użyciem komputerów i oprogramowania powodują, że możemy analizować coraz większą liczbę czynników ilościowych, wyniki są coraz dokładniejsze, a podejmowane decyzje są lepsze jakościowo. Podjęcie decyzji lokalizacyjnej centrum dystrybucji należy do zbioru decyzji strategicznych. Skutki dla organizacji mogą być pozytywne lub negatywne, a w długim okresie mogą stanowić o przewadze konkurencyjnej na rynku. Każdy wytworzony produkt należy dostarczyć na rynek z uwzględnieniem właściwej ilości, oraz właściwego: stanu, czasu, miejsca, kosztu i klienta [Kempny 2001, s. 15]. Mając na uwadze powyższe, należy stwierdzić, że wybór najlepszej lokalizacji będzie istotnie wpływał na spełnienie podstawowych kryteriów dystrybucji towarów.

W rozdziale czwartym autor zaprezentował wyniki swoich badań. Za punkt wyjścia do badań przyjęto system celów strategicznych przedsiębiorstwa [Banaszyk 1998].

³ W przyszłości uruchomiony zostanie europejski system nawigacji satelitarnej GALILEO, w przeciwieństwie do GPS i GLONASS będzie on kontrolowany przez instytucje cywilne.

Autor zaproponował własny algorytm postępowania przy wyborze lokalizacji centrum dystrybucji konfrontując system celów strategicznych przedsiębiorstwa z etapami projektowania sieci dystrybucji [Rushton, Croucher i Baker 2006]. Centralnym elementem procesu budowy lub rekonfiguracji sieci dystrybucji jest system wspomagania decyzji (DSS – *Decision Support Systems*). W zaproponowanym algorytmie pozwoliło to na uszczegółowienie procesu wyboru najlepszej lokalizacji. Krytyczna analiza literatury – modelu i struktury systemu wspomagania decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji [Kengpol 2004] – pozwoliła autorowi na przedstawienie konstrukcji własnego modelu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, w którym jednym z etapów jest system wspomagania decyzji uwzględniający wykorzystanie wielokryterialnej metody wspomagania decyzji.

Autor zaproponował wykorzystanie metody pozwalającej na określenie relacji przewyższania w analizowanym globalnym modelu preferencji decydenta. Relacja przewyższania S to ustrukturyzowany zbiór relacji nierozróżnialności oraz silnej i słabej preferencji, która pozwala na przeprowadzenie wnioskowania dla par wariantów. Komputerowa symulacja rozwiązania problemu decyzyjnego lokalizacji centrum dystrybucji pozwoliła na weryfikację poprawności metodologicznej zaproponowanego procesu.

Formułując cel pracy i przystępując do pracy badawczej autor postawił dwie tezy:

- rozwój metod wielokryterialnego wspomagania decyzji, jak również dostęp do gotowych narzędzi informatycznych, przyczynił się do istotnych zmian w procesie wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (T1),
- użycie optymalizacji wielokryterialnej, uwzględniającej czynniki jakościowe, przyczynia się do lepszych jakościowo decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji (T2).

Teza pierwsza wymaga wyjaśnienia, że za istotne zmiany w procesie wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji uważane są: możliwość analizowania większej liczby czynników ilościowych i jakościowych, użycie map cyfrowych – (geoinformacja), która pozwala na wykorzystanie odległości rzeczywistych, uwzględniających ograniczenia w postaci dostępnej infrastruktury, możliwość analizowania większej liczby danych oraz możliwość oprogramowania pewnych etapów procesu i jego automatyzację co w konsekwencji doprowadzi do skrócenia czasu potrzebnego na podjęcie ostatecznej decyzji.

Przedział czasowy badań określono bardzo szeroko. Badania literaturowe obejmują wydawnictwa z lat 1967 – 2015, w tym literaturę krajową i zagraniczną. Zakres przedmiotowy pracy to problem lokalizacji obiektów, ze szczególnym uwzględnieniem modeli matematycznych i możliwości wykorzystania systemów geoinformacji. Zakresu przestrzennego pracy nie można ograniczyć z uwagi na poruszany problem naukowy. Zakres podmiotowy to centra dystrybucji, w pracy opisane są jednak również inne obiekty infrastrukturalne wspomagające przepływ dóbr i materiałów.

Problem lokalizacji centrum dystrybucji jest złożonym problemem naukowym, który wymaga interdyscyplinarnego ujęcia, czyli konieczności wykorzystania wiedzy z dziedziny kartografii, informatyki oraz badań operacyjnych. Brak w Polsce innowacyjnych i kompleksowych opracowań naukowych z tego zakresu był przyczyną wyboru tematyki pracy. Zaproponowany model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji stanowi innowacyjne podejście do rozwiązywania problemu lokalizacji centrum dystrybucji. Innowacyjne z uwagi na fakt bezpośredniego odniesienia do systemu celów strategicznych przedsiębiorstwa oraz wykorzystania metody *Electre Is* do wskazania wariantu najlepszego lub zbioru wariantów porównywalnych ze zbioru wariantów dopuszczalnych.

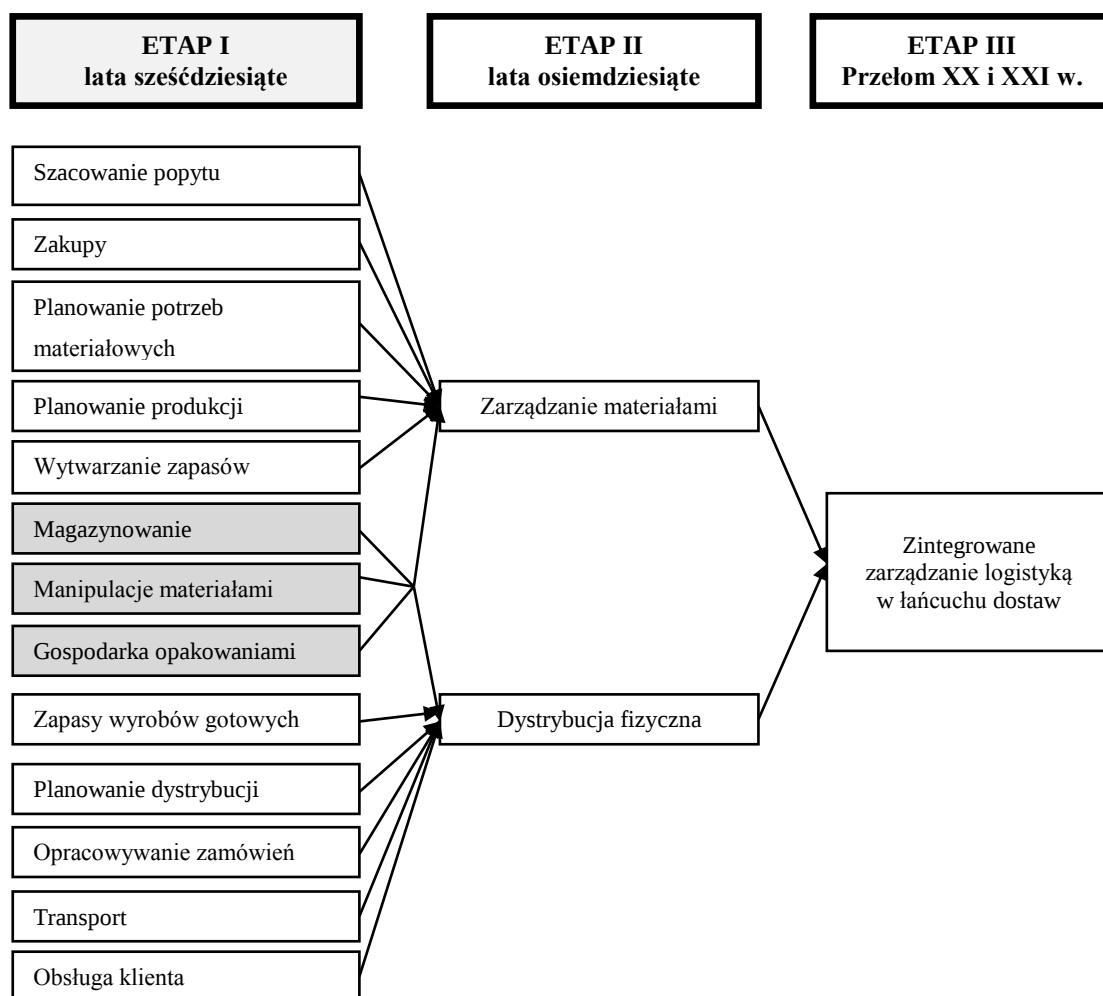
1. Logistyka dystrybucji

1.1. Pojęcie dystrybucji

Punktem wyjścia do rozważań nad zagadnieniem dystrybucji oraz związanych z nią centrów dystrybucji, będących przedmiotem niniejszej pracy, jest świadomość roli, jaką pełni ona w gospodarce. Kluczowym zagadnieniem jest znajomość etapów rozwoju logistyki w naukach o zarządzaniu. Ewolucję logistyki zazwyczaj dzieli się na trzy etapy. Pierwszy, to lata sześćdziesiąte ubiegłego stulecia i związana z nim duża fragmentacja oraz brak komunikacji pomiędzy działami przedsiębiorstwa. Stan taki, był również odzwierciedleniem możliwości teletechnicznych łączenia poszczególnych obszarów. Wzrastające potrzeby konsumentów, nowe produkty, wzrost stawek przewozowych spowodowany kryzysem paliwowym z roku 1973, powodowały, że w państwach o rynkowym systemie gospodarczym rozpoczęła się pierwsza „rewolucja logistyczna” (rys. 1.1). Jej efektem było przejście do drugiego etap rozwoju logistyki. Podstawowym zadaniem logistyki była ówczesnie integracja przepływu dóbr po stronie zaopatrzenia w środki produkcji, na które składała się integracja działów przedsiębiorstwa odpowiedzialnych za: zakupy materiałów, planowanie potrzeb materiałowych czy planowanie produkcji. Drugim elementem, na który zwrócono szczególną uwagę, była fizyczna dystrybucja wyrobów gotowych, rozpoczęto integrację takich działów w przedsiębiorstwie jak: planowanie dystrybucji, opracowywanie zamówień czy transport. Ewolucja ta była również odzwierciedleniem wzrastających możliwości teletechnicznych, rozbudową infrastruktury, wzmożoną aktywnością rynku transportowego, po jego deregulacji, oraz pojawieniem się realnego zagrożenia w postaci globalnej konkurencji. Zmiany w logistyce, które miały miejsce na przełomie wieku XX i XXI (trzeci etap zmian), to początek koncepcji „łańcucha dostaw”. Łańcuch dostaw to koncepcja ścisłej współpracy producenta z dostawcami i odbiorcami, w celu osiągnięcia przewagi konkurencyjnej na rynku. Łańcuchy dostaw zaczęły powstawać, dlatego, że przedsiębiorcy odkryli możliwość: szybszego reagowania na zmiany rynku, ograniczenia powielania działań oraz rozwiązywania problemów, a co jest z tym związane, wzrostem nakładów na logistykę. [Schary i Skjott-Larsen 2002, s. 11-29]. „Oznaczało to, połączenie sprzedawców i kanałów dystrybucji” [Bardi, Coyle i Langley 2007, s. 28].

Do najważniejszych koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw należy zaliczyć:

- w produkcji:
 - JIT (*Just in Time*),
 - JIS (*Just in Sequence*),
 - *Lean Production*,
 - TQM (*Total Quality Management*),
- w dystrybucji:
 - ECR (*Efficient Consumer Response*),
 - CRP (*Conitnuous Replenishment Program*),
 - VMI (*Vendor Managed Inventory*),
 - QR (*Quick Response*),
 - CPFR (*Collaborative Planing, Forecasting and Replenishment*), koncepcja CPFR często określana jest mianem „koncepcji ECR drugiej generacji”.



Rys. 1.1. Ewolucja logistyki

Źródło: [Coyle i in. 2009, s. 16].

Postęp był bezpośrednio związany z możliwościami, jakie przyniosła powszechna informatyzacja i automatyzacja. Związane z tym przyspieszenie procesów gospodarczych było odpowiedzią podmiotów gospodarczych na rosnące wymagania klientów. Wymagania klientów nie dotyczyły już tylko ceny i jakości danego produktu, dotyczyły również jego dostępności w czasie i przestrzeni.

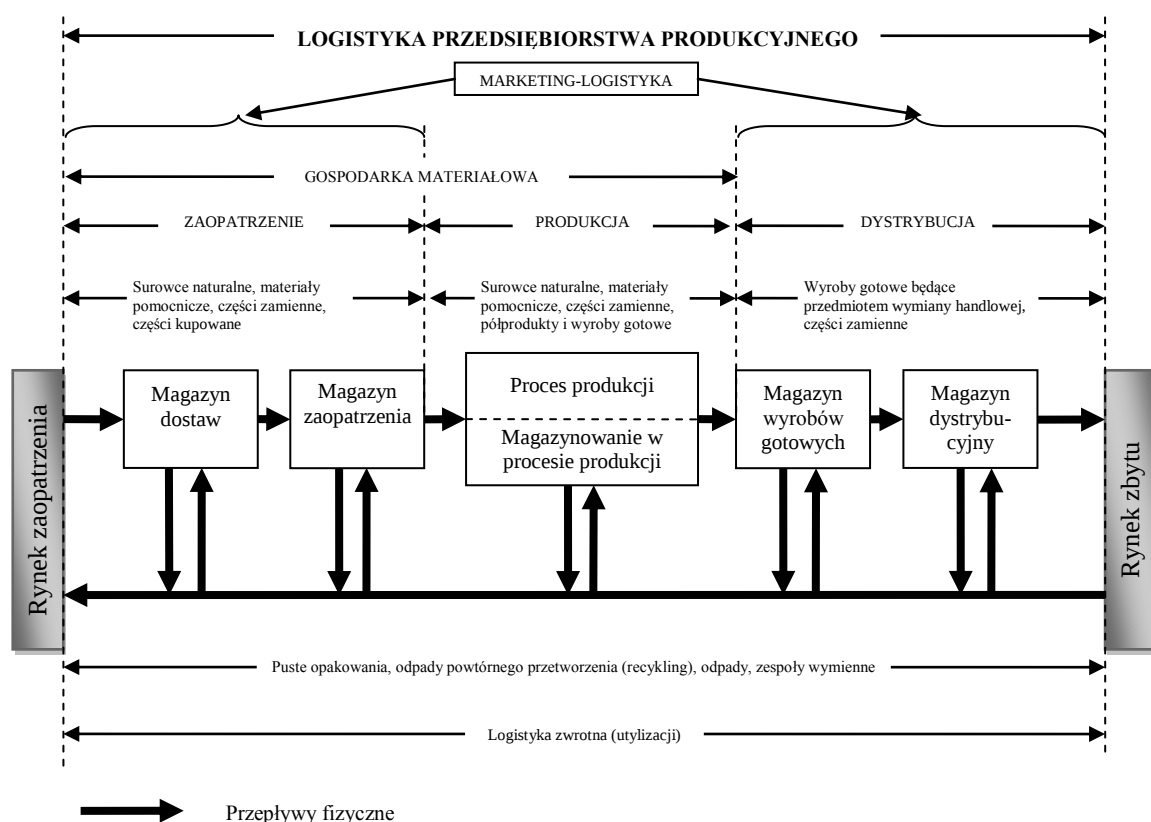
Na rysunku odzwierciedlona została jeszcze jedna ważna zależność. Magazynowanie, manipulacje materiałami i gospodarka opakowaniami zawsze były w sferze zainteresowań osób odpowiedzialnych za zarządzanie materiałami oraz fizyczną dystrybucję. Stanowi to podstawę do sformułowania przypuszczenia, że lokalizowanie obiektów, infrastruktury logistycznej, w tym magazynów i centrów logistycznych, miało duże znaczenie już w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego stulecia. Wyznaczając lokalizację tych obiektów brano pod uwagę, nie tylko dystrybucję wyrobów gotowych, ale również takie elementy jak szacowanie popytu czy zaopatrzenie.

Magazyn⁴ jest jednostką, której podstawowym zadaniem z punktu widzenia produkcji oraz sprzedaży i marketingu jest koordynacja zaopatrzenia. Jest jednostką odpowiedzialną za sprawną dystrybucję wyrobów gotowych, logistyczną obsługę klienta, a coraz częściej analizowanie danych sprzedażowych i przeciwdziałanie sytuacji, w której występują braki towaru w magazynie. Dystrybucja wyrobów gotowych jest, więc kluczowa dla powodzenia przedsięwzięcia gospodarczego. W literaturze przedmiotu dystrybucja definiowana jest między innymi, jako jeden z elementów marketingu firmy. Dystrybucja to proces magazynowania, manipulacji, załadunku i dostawy dóbr/produktów do sprzedaży detalicznej lub ostatecznego klienta. W praktyce, dystrybucja to również takie elementy jak: proces zamawiania, pakowanie, inwentaryzacja itp. [Lowe 2002, s. 147]. Przytoczona definicja odzwierciedla procesy związane z magazynowaniem, wyborem lokalizacji magazynu/punktu przeładunkowego, transportem oraz obsługą klienta.

Sprawne przemieszczanie towarów w czasie i przestrzeni jest jednym z najważniejszych elementów w walce o klienta. „Najczęściej spotykanym sposobem usprawnienia fizycznego transportu dóbr są zmiany organizacyjne mające na celu podniesienie jakości świadczonych usług – są one mniej kosztochłonne niż inwestycje

⁴ Wg Polskiej Normy, magazyn jest to jednostka funkcjonalno-organizacyjna przeznaczona do magazynowania dóbr materialnych (zapasów) w wyodrębnionej przestrzeni, budowli magazynowej, według ustalonej technologii, wyposażoną w odpowiednie urządzenia i środki techniczne, zarządzaną i obsługiwaną przez zespół ludzi, wyposażonych w odpowiednie umiejętności [PN-N-01800:1984P].

infrastrukturalne czy w nowe środki transportu. Oczywiście nie należy zapominać o tych ostatnich, gdyż one również stanowią istotny element konkurencyjności firmy, np. niezawodność środków transportu wpływa na podniesienie wskaźnika terminowości dostaw” [Anholcer, Grabański 2010, s. 78]. Dystrybucja jest zatem jednym z najważniejszych elementów łańcucha dostaw. Pfohl w podziale funkcjonalnym systemu logistycznego przedsiębiorstwa przemysłowego zaproponowanym już w 1990 roku. (rys. 1.2), wymienia dystrybucję jako jeden z najważniejszych elementów logistyki przedsiębiorstwa, bez której żaden podmiot gospodarczy o profilu produkcyjnym nie może istnieć.



Rys. 1.2. Logistyka przedsiębiorstwa produkcyjnego

Źródło: [Pfohl 1990, s. 16].

To właśnie dystrybucja odpowiedzialna jest za dostarczenie wyrobów gotowych na rynek. Przepływ produktów odbywa się tutaj z magazynów wyrobów gotowych znajdujących się przy miejscach produkcji poprzez regionalne magazyny wysyłkowe (centra dystrybucji) do klientów na rynku zbytu. Oczywiście bezpośrednie dostawy z magazynu wyrobów gotowych, a nawet z linii produkcyjnej, do klienta są również możliwe.

System logistyki przedsiębiorstwa produkcyjnego obrazuje mnogość obszarów, w których odbywają się operacje na zapasach, półfabrykatach, wyrobach gotowych. Obszary te to miejsca, w których są one składowane, komisjonowane, oraz z których są one wysyłane. Sugeruje to, podobnie jak w przypadku drugiego etapu ewolucji logistyki, że miejsca składowania nie mogą być przypadkowe. Odpowiednie zlokalizowanie obiektu, co jest tematem niniejszej pracy, będzie miało kluczowe znaczenie dla przedsiębiorstwa, będzie świadczyło o zdolności do kreowania przewagi konkurencyjnej.

Omawiając ewolucję logistyki oraz przytaczając koncepcję łańcucha dostaw warto omówić relacje występujące pomiędzy tymi dwoma pojęciami. Z punktu widzenia poziomów zarządzania, pojęcie logistyki, zespół elementów takich jak: przepływ materiałów czy składowanie, odnosi się najczęściej do poziomu operacyjnego i taktycznego, z kolei łańcuch dostaw to pojęcie, które można postrzegać, jako poziom strategiczny zarządzania przepływem dóbr i materiałów w procesach biznesowych. Istotnym elementem zarządzania łańcuchem dostaw w firmie jest funkcjonowanie zintegrowanego systemu informatycznego, który pozwoli na zarządzanie całym procesem biznesowym, a nie tylko np. zarządzanie magazynem. Istotną różnicą dla obu systemów jest podejście do tworzenia zapasów. Pojęcie logistyki wiąże się szczególnie z zapewnieniem płynności produkcji i utrzymywaniem odpowiedniego poziomu zapasu bezpieczeństwa [Brzozowska i Nowakowska 2013, s. 3]. W łańcuchu dostaw magazynowanie odbywa się na każdym etapie łańcucha dostaw, przez co można osiągnąć minimalny poziom zapasów przy zachowaniu wysokiej dostępności danego produktu.

Na wejściu i na wyjściu z systemu, w strefie zaopatrzenia i dystrybucji, następuje kontakt z dostawcą lub odbiorcą, pozostałymi podmiotami przestrzeni gospodarczej w łańcuchu dostaw. Związane jest to bezpośrednio z faktem, że dystrybucja zajmuje znaczące miejsce w koncepcji marketingu-mix. Warto odpowiedzieć na pytanie, dlaczego na wejściu do systemu również możemy mówić o związkach logistyki i marketingu. Związek logistyki i marketingu jest trafnie opisany poprzez uwarunkowania koncepcji marketingu zakupów (zaopatrzeniowego⁵). Każde przedsiębiorstwo, niezależnie od tego czy jest producentem, jednostką handlową czy

⁵ „Marketing zaopatrzeniowy” definiowany jest jako przemysłany zespół decyzji i działań przedsiębiorstwa produkcyjnego związanych z zaopatrzeniem w dobra produkcyjne i surowce potrzebne do produkcji [Wojciechowski 1999, s. 205].

usługową, występuje w podwójnej roli. Z jednej strony jest sprzedawcą swoich produktów lub usług, z drugiej strony jest nabywcą na rynku. Kupuje potrzebne w procesie produkcji surowce lub wyroby gotowe, opakowania, usług transportowe i inne [Waśkowski 2004, s. 63]. Dystrybucja jest spoiwem pomiędzy poszczególnymi uczestnikami rynku oraz elementem kluczowym koncepcji logistycznej obsługi klienta.

Podstawą dalszych rozważań jest świadomość zadań, jakie dystrybucja musi wypełnić. Jako ogniwo pośrednie pomiędzy produkcją i odbiorcą uzupełnia ona luki, będące naturalną niedoskonałością rynku. Do tych luk należą [Christopher 1996, s. 151-152]:

- luka czasowa – podmioty dokonują zakupów określonych pozycji w bardziej lub mniej dyskretnych (nieciągłych) odstępach czasu, podczas gdy większość firm prowadzi produkcję na zasadzie ciągłości aby osiągnąć oszczędności wytwórcze, szczególnie dotyczy to firm działających na rynkach szybko rotujących dóbr konsumpcyjnych;
- luka przestrzenna – podmioty są zazwyczaj rozproszone na rynku; producenci są zlokalizowani w kilku miejscach od klientów dzieli ich pewna odległość;
- luka ilościowa – w określonym czasie firmy produkują wielkie ilości, inne podmioty mogą w tym samym czasie zgłaszać inne zapotrzebowanie;
- luka w asortymencie – asortyment produktów wytwarzanych przez firmę jest ograniczony; podmioty zgłaszają różne potrzeby, do których zaspokojenia wymagane jest szerokie zróżnicowanie produktów końcowych;
- luka informacyjna – podmioty mogą nie być świadome dostępności produktów, których potrzebują. Producenci natomiast często mogą nie wiedzieć, gdzie się znajdują i kim są potencjalni nabywcy ich produktów.

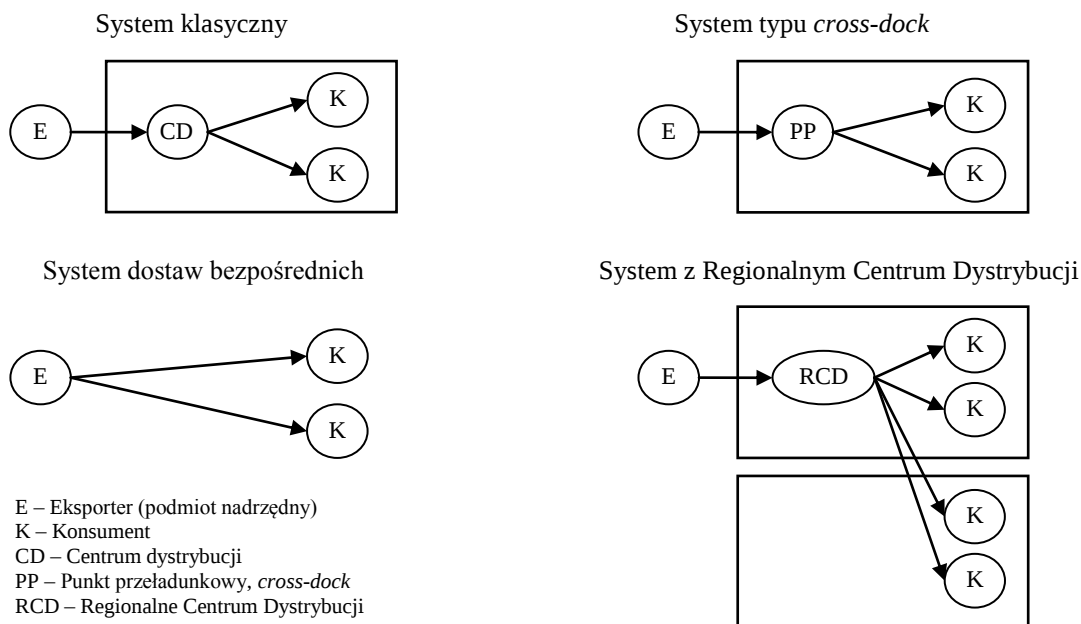
Zdolność umysłu ludzkiego do odzwierciedlania obiektywnej rzeczywistości pozwala stawiać odpowiednie pytania, bezpośrednio związane z wyżej wymienionymi lukami, oraz szukać odpowiedzi i rozwiązań. Odpowiedzią logistyki na niedoskonałości rynku, w odniesieniu do poszczególnych luk, są koncepcje zarządzania łańcuchem dostaw lub działania mające zapewnić uzyskanie odpowiedniego poziomu logistycznej obsługi klienta. W celu wyeliminowania luki czasowej na rynku występuje tendencja do skracania terminów dostaw czy stosowania koncepcji zarządzania łańcuchem dostaw typu JIT i JIS. Dla minimalizacji skutków luki ilościowej na rynku opracowano systemy VMI czy QR uwzględniające między innymi szacowanie popytu. Poprzez

dostosowywanie produktu do indywidualnych potrzeb uzupełniono lukę w asortymencie. Dopełnieniem luki informacyjnej jest gromadzenie i przetwarzanie informacji: o dostępności towaru, rozproszeniu klientów w przestrzeni czy innego rodzaju usługi na rzecz klienta jak usługi śledzenia przesyłek. Próbą eliminacji luki przestrzennej jest taka konfiguracja sieci dystrybucji, która zapewnia klientowi otrzymanie produktu w danym, założonym czasie, np. 24 godz., a dostawcy pozwala na budowanie przewagi konkurencyjnej na rynku.

Wypełnienie wyżej wymienionych luk wymaga doskonałej wiedzy o modelach dystrybucji dóbr oraz kanałach dystrybucji. Picard, już w 1983 roku [za Skjott-Larsen i in. 2007, s. 133], zaproponował cztery modele struktury dystrybucji. Uważał on, że podstawowym problemem dystrybucji jest to, czy powinna ona być bardziej scentralizowana, czy należy oddać ją podmiotom wyspecjalizowanym, na rynkach lokalnych. Wymienił, obok możliwości wykorzystania procesu *cross-docking* oraz dystrybucji bezpośredniej, centra dystrybucji i regionalne centra dystrybucji jako podstawowe elementy składowe modeli dystrybucji dóbr (rys. 1.3). Nie wyklucza to jednak występowania tendencji odwrotnej mającej na celu centralizację dystrybucji, np. poprzez tworzenie krajowych i międzynarodowych centrów dystrybucji. W wielu przypadkach taki kierunek zmian może być poparty relacjami *trade-off*.

System klasyczny zakładał, że lokalne przedstawicielstwo prowadzi samodzielną dystrybucję towarów do klientów. Możliwe jest wsparcie podmiotu nadrzędnego (np. przedstawicielstwa na Europę Wschodnią, Amerykę Południową) w działaniach marketingowych lub innych, jednak lokalny dystrybutor odpowiedzialny jest za utrzymywanie odpowiedniego poziomu zapasów oraz dostawy do klientów.

Założenia dla systemu typu *cross-dock* są inne. Lokalny przedstawiciel zostaje częściowo obciążony odpowiedzialnością za funkcjonowanie przedsiębiorstwa. Zapasy utrzymywane są w centralnym lub regionalnym centrum dystrybucji, z tych magazynów odbywa się wysyłka towaru. Wysłany towar może trafić do klienta z uwzględnieniem dystrybutora lokalnego lub też nie. Przeładunki nadanego towaru następują tylko w przystosowanych do tego punktach typu *cross-dock*, które mogą należeć do innych podmiotów, operatorów logistycznych.



Rys. 1.3. Podstawowe modele międzynarodowej struktury dystrybucji dóbr

Źródło: [Skjott-Larsen i in. 2007, s. 133].

Założeniem systemu z Regionalnym Centrum Dystrybucji jest istnienie jednego lub kilku magazynów dystrybucyjnych w danym regionie świata, z których odbywają się dostawy do odbiorców na podstawie zebranych zamówień. Ten system jest szczególnie efektywny w strefach wolnego handlu, np. Unii Europejskiej, NAFTA. System dostaw bezpośrednich to bezpośrednie dostawy towarów z miejsc ich produkcji do klienta bez użycia magazynów pośrednich. Klient w tym wypadku to podmiot gospodarczy lub osoba fizyczna zgłaszająca popyt na dobra lub usługi oferowane na rynku. Wiele międzynarodowych firm w Europie używa takiego modelu dystrybucji dóbr, jest to wynikiem taniego i efektywnego systemu transportu. Wzrost znaczenia handlu z wykorzystaniem Internetu (*e-commerce*), powoduje wzrost znaczenia dostaw bezpośrednich⁶ do ostatecznego klienta.

Przytoczone powyżej cztery modele dystrybucji dóbr są elementem nadrzędnym dla konstrukcji kanałów dystrybucji⁷. W literaturze przedmiotu znajdujemy wiele definicji kanałów dystrybucji. Część definicji podkreśla funkcjonalny charakter kanału, inne z kolei wskazują na podmiotowość struktury kanału [Spyra 2008, s. 14]. W pierwszym z nich przyjmuje się, że kanał dystrybucji to sposób połączeń i zakres funkcji

⁶ Używając określenia „dostawy bezpośrednie” należy rozumieć dostawy realizowane z centrum dystrybucji do ostatecznego klienta, a nie bezpośrednio od producenta.

⁷ Opis otoczenia kanału dystrybucji, można znaleźć w książce: „Kanały marketingowe” [Coughlan, El-Ansary i Stern 2002].

wykonywanych przez uczestników kanału związanych ze strumieniami rzeczowymi, informacyjnymi i finansowymi. Strumień rzeczowy to fizyczny przepływ towarów od producenta do nabywcy. Strumień informacyjny to komunikacja pomiędzy poszczególnymi uczestnikami, a strumień finansowy to przepływy pieniężne związane z zapłatą za dany towar. Współdziałanie wszystkich wymienionych elementów będzie bezpośrednio przekładało się na stopień zaspokojenia potrzeb nabywców. W ujęciu podmiotowym kanał dystrybucji oznacza zbiór wzajemnie zależnych organizacji współuczestniczących w procesie dostarczania produktu i usługi do nabywcy.

Do najważniejszych kryteriów podziału kanałów dystrybucji należy zaliczyć [Czubała 2001, s. 24]:

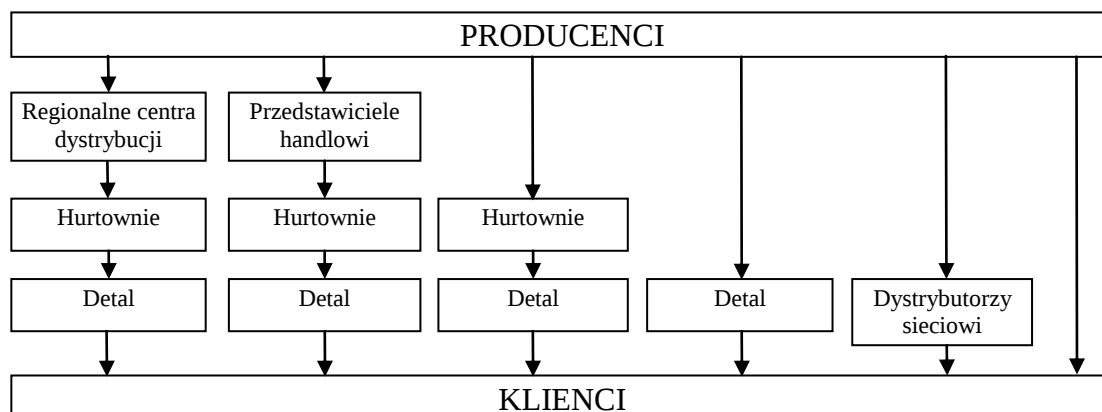
- rodzaj uczestników,
- liczbę poziomów pośrednich,
- liczbę pośredników na tym samym poziomie,
- rodzaj przepływających strumieni,
- zakres współdziałania uczestników kanału,
- sposób koordynacji działań uczestników kanału,
- prawo własności uczestników kanału do podmiotów tworzących dany kanał.

Podstawowym czynnikiem, który pozwala na analizowanie kanału dystrybucyjnego jest zmiana prawa własności produktu. W przypadku, gdy następuje tylko jedna operacja kupna-sprzedaży, czyli towar będący przedmiotem transakcji trafia bezpośrednio do nabywcy, taki kanał określany jest jako kanał dwupoziomowy (sprzedawca i nabywca ostateczny), a dodatkowo opisany jest mianem kanału bezpośredniego. Mając na uwadze powyższe kryteria bardzo łatwo sklasyfikować dowolny kanał dystrybucji. Wiedza o kanale dystrybucji pozwoli na efektywne zarządzanie łańcuchem dostaw.

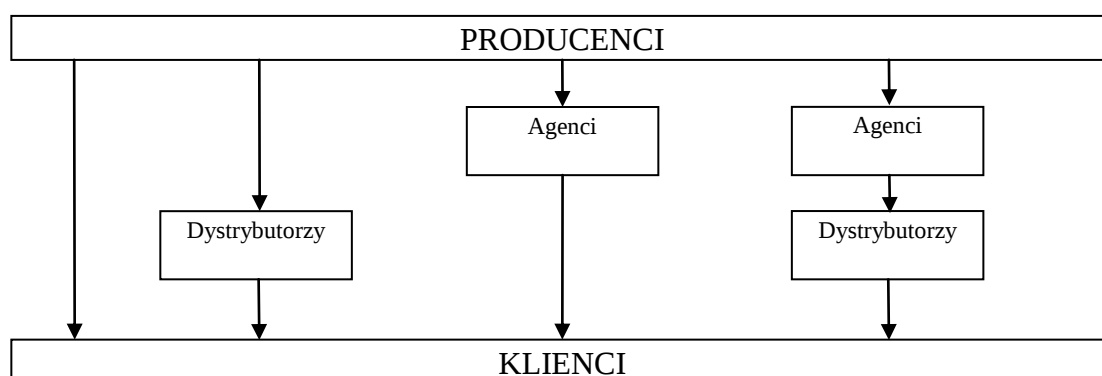
Różnorodność struktur instytucjonalnych i funkcjonalnych kanałów dystrybucji sprawia, że systemy dystrybucji mogą przybierać zróżnicowane formy, w zależności od rodzaju rynku (rys. 1.4). Na rynku dóbr konsumpcyjnych jako uczestnik wielu kanałów dystrybucji występuje detal, natomiast na rynku dóbr przemysłowych (czyli rynku instytucjonalnym) dominują bezpośrednie i krótkie kanały dystrybucji [Mruk, Pilarczyk i Sławińska 2012, s. 205]. Przedsiębiorstwa w celu zapewnienia jak największego dostępu do swoich produktów coraz częściej prowadzą sprzedaż wielokanałową,

szczególnie widoczne jest to na rynku dóbr konsumpcyjnych. W tym przypadku liczy się sprawna dystrybucja oraz dostępność produktu.

Kanały dystrybucji na rynku dóbr konsumpcyjnych



Kanały dystrybucji na rynku dóbr przemysłowych



Rys. 1.4. Kanały dystrybucji na rynku dóbr konsumpcyjnych i przemysłowych

Źródło: [Mruk, Pilarczyk i Sławińska 2012, s. 205].

Ważnym elementem jest kontrola kanału dystrybucji. W tym celu producent tworzy najczęściej zależny podmiot gospodarczy odpowiedzialny za dystrybucję produktów w danym regionie lub kraju. Przyjęcie takiej strategii rozwoju kanału dystrybucji wiąże się z podjęciem decyzji o lokalizacji centrum dystrybucji. Z punktu widzenia prowadzenia działalności gospodarczej powinna ona zapewniać osiąganie jak najwyższych zysków, będzie to tylko możliwe przy najniższych kosztach transportu⁸ z fabryki do centrum dystrybucji i centrum dystrybucji do klientów z uwzględnieniem wielu czynników np.: infrastrukturalnych i społecznych.

⁸ Z uwzględnieniem relacji *trade-off* np. utrzymanie sieci centrów dystrybucji (infrastruktury), a kosztami transportu.

1.2. Koszty dystrybucji

Konfiguracja systemów fizycznej dystrybucji jest uzależniona od kosztów dystrybucji. Koszty dystrybucji to suma kosztów od momentu rozpoczęcia transportu wyrobu gotowego z zakładu produkcyjnego, aż do momentu dostarczenia go do klienta. Koszty te można wyrazić prostym wzorem [Kotler 1994, s. 540-543]:

$$D = T + FW + VW + S,$$

gdzie:

D – całkowite koszty fizycznej dystrybucji (*total cost of physical distribution*),

T – koszt transportu (*transport cost*),

FW – koszty składowania (*inventory costs*),

VW – koszty utrzymania zapasów (*storage costs*),

S – koszty utraconej sprzedaży (*cost of lost sales*).

Zaproponowana przez Kotlera formuła nie odzwierciedlała wszystkich rzeczywistych kosztów dystrybucji towarów. W przeszłości uważano, że na koszty dystrybucji składają się tylko i wyłącznie koszty transportu i składowania. Christopher analizując koszty dystrybucji zapoczątkował nowy trend. Naukowcy zaczęli zastanawiać się nad możliwościami usprawnienia procesu dystrybucji, przybliżając funkcjonowanie systemu logistycznego do sytuacji, w której będzie on generował najniższe koszty. Osiągnięcie takiego stanu nie jest możliwe w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu, możliwe jest jednak osiągnięcie najlepszego wyniku przy założonych warunkach brzegowych. Konkurencja jest siłą motoryczną zmian, które następują nie tylko na rynku dóbr konsumpcyjnych i inwestycyjnych, ale również w sferze organizacji i funkcjonowania przedsiębiorstw. Jednym z efektów tego trendu jest abstrakcyjny model wyboru gałęzi transportu pozwalający uzasadnić wyższość jednej gałęzi transportu nad inną w systemie logistycznym przedsiębiorstwa [Beier i Rutkowski 1993, s. 63-67]. Model opiera się na czterech podstawowych zmiennych: koszcie transportu, wielkości przesyłki, średnim czasie przewozu oraz odchyleniu od niego. Decydenci powinni jednak pamiętać, że w przypadku różnych produktów różnie mogą kształtować się te wielkości. Całkowite koszty fizycznej dystrybucji towarów związane z obsługą określonego rynku w danej jednostce czasu są określane następująco [Rutkowski 2005, s. 66-67]:

$$GKL = s_x P + it_x CP + Z(P/Q) + iC(Q/2),$$

gdzie:

GKL – całkowite koszty fizycznej dystrybucji towarów,

s_x – stawka przewozowa w gałęzi x ,

P – popyt na dany produkt, wyrażony wagowo,

i – wskaźnik kosztów utrzymania zapasów,

t_x – czas dostawy produktu gałęzią x ,

C – wartość lub cena produktu,

Z – koszty składowania i realizacji zamówienia,

Q – średnia wielkość zamawianej przesyłki.

W powyższym modelu całkowitych kosztów fizycznej dystrybucji można wyróżnić cztery podstawowe składowe: koszty transportu, koszty składowania *in-transit*, koszty składowania i realizacji zamówień oraz koszty utrzymywania zapasów w przedsiębiorstwie. Element pierwszy: koszt transportu to iloczyn jednostkowego kosztu za przewóz obowiązujący dla danej gałęzi transportu (najczęściej za jeden kilometr przy przewozach typu FTL⁹ oraz przy przewozach LTL¹⁰ dla określonej jednostki ładunkowej lub paczki do określonej masy całkowitej) oraz generowanego rocznego popytu na dane towary w przeliczeniu na jednostkę lub liczbę paczek. Element drugi to koszt składowania *in-transit* obliczany jest, jako iloczyn wskaźnika rocznych kosztów utrzymania zapasów, czasu dostawy produktu gałęzią x , wartości produktu oraz wolumenu wagowego rocznych dostaw. Ten element wydaje się być najodleglejszy od rzeczywistości. Zakłada bowiem, że ten sam roczny wskaźnik kosztów utrzymania zapasów może być użyty dla obliczenia kosztów składowania *in-transit* oraz kosztów utrzymania zapasów w przedsiębiorstwie. Trzeci człon wzoru pozwala na obliczenie kosztów składowania i realizacji zamówień. Składowa wzoru została wyrażona, jako iloczyn kosztów jednostkowych składowania i realizacji zamówienia przypadających na jedną przesyłkę oraz ilorazu rocznego popytu generowanego na dany produkt przez wielkość zamawianej przesyłki. Analiza wzoru matematycznego pozwala na stwierdzenie, że wielkość kosztu składowania i realizacji zamówień zależą od rocznej liczby składanych zamówień w odniesieniu do jej wielkości.

⁹ FTL – *Full TruckLoad, full truckload freight* - ładunek całopojazdowy [Szymczak 2008, s. 57]

¹⁰ LTL – *Less than TruckLoad, less than truckload freight* - ładunek drobnicowy [Szymczak 2008, s. 80]

Taka definicja jest dużym uogólnieniem. Czwarty człon wzoru odzwierciedla koszty utrzymania zapasów w przedsiębiorstwie, zostały one zdefiniowane w tym modelu, jako iloczyn rocznego wskaźnika kosztów utrzymania zapasów, wartości produktu oraz średniej wielkości zapasów utrzymywanych w przedsiębiorstwie. Zapas bezpieczeństwa jest ustalony w tym modelu, jako subiektywne odczucie względem szacowanych odchyleń.

Ewolucja logistyki wymusiła zmianę sposobu myślenia z fragmentarycznego na kompleksowe. Podejście fragmentaryczne polegało na uproszczonym i jednostronnym kategoryzowaniu kosztów – stąd również modele były w dużej mierze uproszczone. Podejście kompleksowe spowodowało, że również koszty zaczęto traktować globalnie. Zwrócono uwagę na fakt, że działalność dystrybucyjna wpływa na koszty realizacji zamówień, zatem i one muszą być brane pod uwagę, należy np. uwzględnić koszty fakturowania. Część całkowitych kosztów dystrybucji stanowią zarówno koszty przepływu materiałów i opakowań, jak też koszty zarządzania systemem dystrybucji i administrowania nim. Całkowity łączny koszt dystrybucji można zapisać następująco [Christopher 1996, s. 15]:

$$TDC = TC + FC + CC + IC + HC + PC + MC,$$

gdzie:

TDC – całkowity koszt dystrybucji (*total distribution cost*),

TC – koszt transportu (*transport cost*),

FC – koszty stałe użytkowania magazynów, składów i in. (*facilities cost*),

CC – koszty przetwarzania informacji, procesów fakturowania zamówień itp. (*communication cost*),

IC – koszty składowania (*inventory cost*),

HC – koszty prac manipulacyjnych (*materials handling cost*),

PC – koszty opakowań ochronnych (*protectiv packing cost*),

MC – koszty zarządzania dystrybucją (*distribution management cost*).

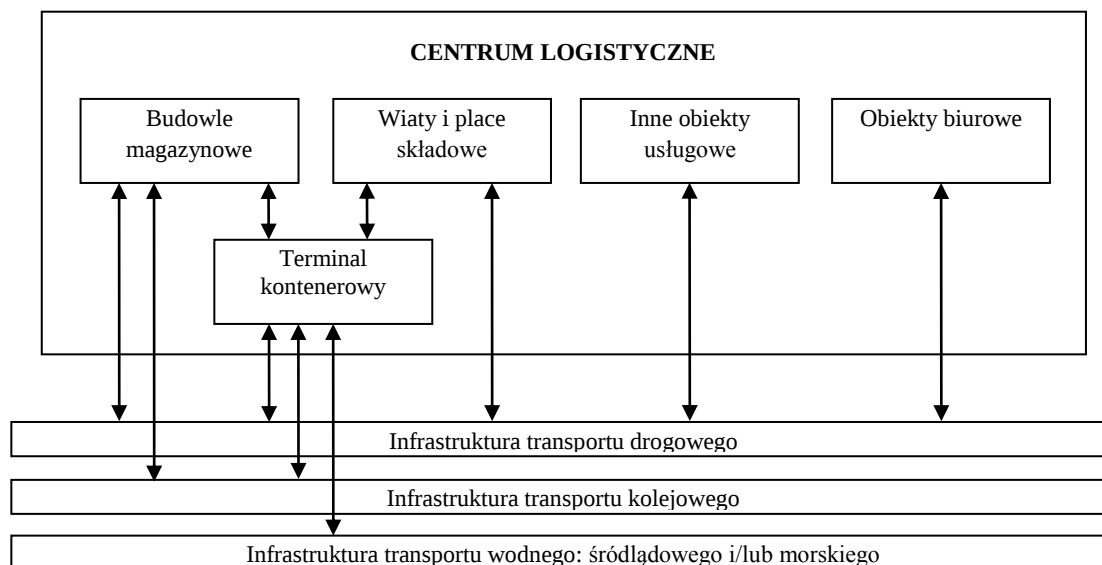
Przytoczone wyżej modele całkowitych kosztów dystrybucji stanowią podbudowę do dalszych rozważań nad lokalizacją centrum dystrybucji. Poszczególne składowe koszty dystrybucji mogą stanowić dodatkowy parametr oceny potencjalnej lokalizacji centrum dystrybucji. Rozwój technik komputerowych, systemów wspomagających zarządzanie przedsiębiorstwem oraz automatycznej identyfikacji obiektów spowodował,

że koszty obsługi są coraz niższe. Najwyższym kosztem fizycznej dystrybucji towarów pozostaje koszt transportu i to on w dużej mierze będzie warunkował lokalizację obiektu, centrum dystrybucji.

1.3. Centrum dystrybucji

Analiza dotychczasowego stanu wiedzy pozwoliła na wyodrębnienie kilku pojęć związanych z dystrybucją, a odnoszących się do obiektów infrastrukturalnych, będących buforami dla transportowanych towarów. Są to między innymi: logistyczne centrum dystrybucyjne, centrum logistyczne, centrum magazynowe, obiekt magazynowy, centrum obsługi logistycznej oraz centrum dystrybucyjne [Abt 1996; Fechner 2004, 2008, 2010; Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009; Fertsch 2006; Dudziński i Kizyn 2000].

Logistyczne centrum dystrybucyjne, zdefiniowane zostało w literaturze jako „ośrodek zajmujący się koordynacją logistycznych usług i transportu na krótkie i dalekie odległości, zapewniające zintegrowane połączenie transportowe wraz z przepływem informacji między producentami, dystrybutorami i konsumentami oraz systemem kontroli” [Abt 1996, s. 12]. Centrum logistyczne zostało zdefiniowane, jako „obiekt przestrzennie funkcjonalny wraz z infrastrukturą i organizacją, w którym realizowane są usługi logistyczne związane z przyjmowaniem, magazynowaniem, rozdziałem i wydawaniem towarów oraz usługi towarzyszące, świadczone przez niezależne w stosunku do nadawcy lub odbiorcy podmioty gospodarcze” [Fechner 2004, s. 14]. Na przestrzeni lat definicja ta uległa ewolucji i aktualnie, w najnowszych publikacjach, można znaleźć nowe objaśnienie. „Centrum logistyczne jest to obiekt przestrzenny z właściwą mu organizacją i infrastrukturą umożliwiającą różnym niezależnym przedsiębiorstwom wykonywanie czynności na towarach w związku z ich magazynowaniem i przemieszczaniem pomiędzy nadawcą i odbiorcą, w tym obsługę przewozów intermodalnych oraz wykonywanie czynności na używanych do tego celu zasobach” [Fechner 2010, s. 21]. Definicja dotycząca centrum logistycznego (rys. 1.5) zaproponowana przez Fechnera stała się powszechnie uznaną wśród polskich badaczy zajmujących się tematyką centrów logistycznych i jest najczęściej cytowana w różnych opracowaniach naukowych.

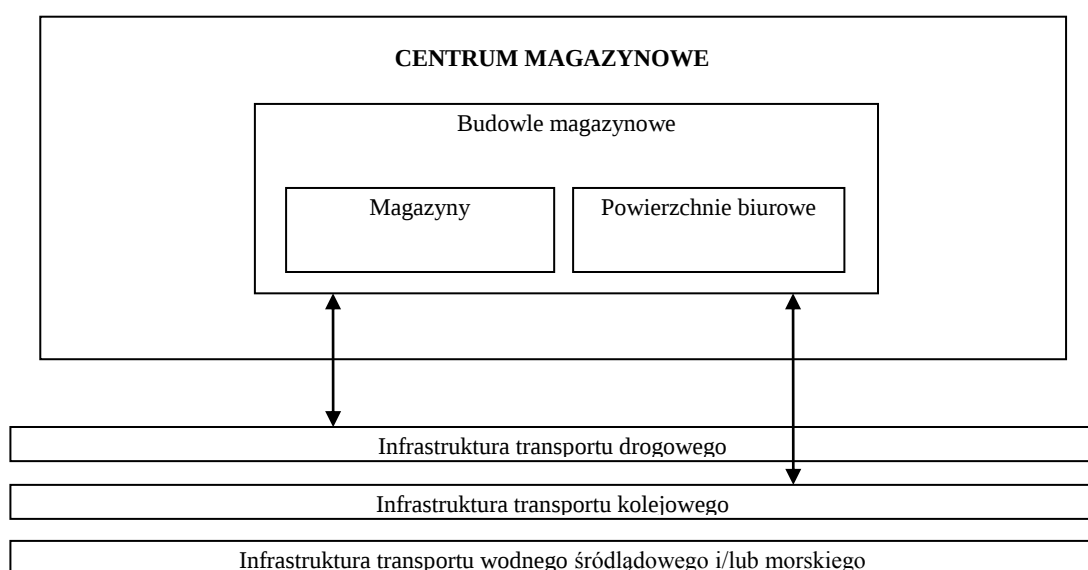


Rys. 1.5. Schemat centrum logistycznego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 288].

W centrum logistycznym można wyróżnić następujące obszary funkcjonalne: terminal kontenerowy, magazyny, wiaty i place składowe, inne obiekty usługowe (stacje paliw, obiekty technicznej obsługi pojazdów, obiekty gastronomiczne, hotele, itp.) oraz obszar usług wymagający powierzchni biurowych (usługi celne, finansowe, informatyczne itp.). Jednym z kryteriów klasyfikacji centrum logistycznego, jest zasięg jego oddziaływania. W ramach tego podziału można wyróżnić: międzynarodowe centrum logistyczne (promień oddziaływania ok. 500 km), regionalne centrum logistyczne (promień oddziaływania ok. 50-80 km) oraz lokalne centra logistyczne o promieniu oddziaływania ok. 5-8 km. Inne spotykane podziały centrum logistycznego to podział ze względu na zakres świadczonych usług, typ własności lub integralność przestrzenną. Ze względu na zakres świadczonych usług można wyróżnić centra logistyczne: uniwersalne, specjalistyczne lub branżowe. W ramach kryterium własności centra logistyczne dzielą się na publiczno-prywatne lub prywatne [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 293]. Ze względu na integralność przestrzenną centra logistyczne dzieli się na skupione, modułowe lub rozproszone. Fechner [2010, s. 24], zdefiniował rozproszone centrum logistyczne jako centrum organizacyjnie jednolite, lecz rozproszone obszarowo. Modułowe – zdefiniowane zostało jako centrum logistyczne jednolite obszarowo, w ramach którego mogą funkcjonować różne podmioty – moduły. Skupione centrum logistyczne operuje na zwartym obszarze oraz zarządzane jest przez jeden uprawniony do tego podmiot.

Centrum magazynowe to „obiekt przestrzenny z właściwą mu organizacją i infrastrukturą umożliwiający różnym niezależnym przedsiębiorstwom wykonywanie czynności na towarach w związku z ich magazynowaniem i przemieszczaniem pomiędzy nadawcą i odbiorcą” (rys. 1.6) [Fechner 2008, s. 33]. Analiza definicji centrum logistycznego i magazynowego pozwala wyróżnić elementy wspólne. Wspólnym elementem dla obu jest ściśle powiązanie z dostępnością do odpowiedniej infrastruktury liniowej i punktowej. Natomiast, w odróżnieniu od centrum logistycznego centrum magazynowe charakteryzuje mniejszy zakres funkcjonalny. Podstawą podziału jest obszar składowania oraz obszar powierzchni biurowych.



Rys. 1.6. Schemat centrum magazynowego

Źródło: [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 289].

Należy zaznaczyć, że wymienione obiekty lub kompleksy obiektów mogą poprzez połączenie różnych gałęzi transportu spełniać funkcję węzłów multimodalnych.

Centrum logistyczne nie może istnieć bez terminala kontenerowego, jest to element, dzięki, któremu może ono zostać włączone do międzynarodowego systemu logistycznego, jako punkt, węzeł multimodalny. Centrum logistyczne zapewniające dostęp do terminala kontenerowego spełniała wszystkie założenia komodalności¹¹

¹¹ W myśl zamierzeń Komisji Europejskiej, która skupia swoje działania na transporcie towarowym, poprzez ciągły proces harmonizacji i liberalizacji rynku usług transportowych w celu stworzenia jednolitego europejskiego systemu transportowego komodalność stanowi klucz, w ujęciu systemowym, do rozwiązania problemu nadmiernego wykorzystywania transportu drogowego. Według definicji zaproponowanej przez Komisję Europejską „komodalność” oznacza efektywne wykorzystanie wszystkich gałęzi transportu działających odrębnie lub zintegrowanych multimodalnie w ramach

transportu towarowego w Unii Europejskiej. Centrum magazynowe, może być wyposażone w bocznice kolejową – nie będzie ona jednak wpływała na włączenie takiego punktu do międzynarodowego systemu logistycznego. Podstawowym kryterium klasyfikacji, w takim przypadku, będzie swobodny dostęp do bocznic dla podmiotów zewnętrznych lub jego brak. Lokalizacja centrum magazynowego, które ma być wyposażone w bocznice kolejową nie może znajdować się zbyt daleko od istniejących szlaków kolejowych. Jest to jedno z kryteriów, jakie należy uwzględnić przy budowie ogólnego algorytmu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji.

Budowle magazynowe są szeroko omawiane w literaturze. Najczęściej definiowane są one jako konstrukcje inżynierskie przeznaczone do magazynowania zapasów. Budowle magazynowe cechuje duża różnorodność, związane jest to między innymi z:

- rodzajem składowanych towarów i ich cech fizyko-chemicznych,
- długością okresu magazynowania zapasów,
- rotacją zapasów w magazynie,
- stopniem ich przygotowania do zmechanizowanych prac manipulacyjno-transportowych,
- mechanizacją i automatyzacją procesów magazynowych.

Definicja budynku magazynowego zakłada, że „jest to budowla zamknięta, całkowicie osłonięta za pomocą przegród budowlanych (ściany zewnętrzne oraz dach), przeznaczona do magazynowania zapasów” [Fertsch 2006, s. 26]. Kolejna definicja określa budynki magazynowe jako „konstrukcje inżynierskie zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby w maksymalnym stopniu zabezpieczały składowane w nich wyroby przed ubytkami ilościowymi i stratami jakościowymi oraz zapewniały właściwe i bezpieczne warunki pracy obsługujących je osób” [Dudziński i Kizyn 2000, s. 193]. Na potrzeby dalszych rozważań autor przyjmuje, że budowla magazynowa to konstrukcja inżynierska zamknięta przeznaczona do magazynowania zapasów, maksymalnie zabezpieczająca składowane wyroby przed ubytkami ilościowymi i jakościowymi, oraz zapewniająca właściwe i bezpieczne warunki pracy obsługujących je osób.

Definicja obiektu magazynowego jest punktem wyjścia do dalszych rozważań dotyczących centrum dystrybucji. Polska literatura nie zawiera zbyt wielu definicji centrum dystrybucji. Autor uważa, że obszar ten będzie się rozwijał w najbliższych

europejskiego systemu transportowego w celu optymalnego i zrównoważonego wykorzystania zasobów [COM 2006].

latach wraz ze wzrostem wymiany handlowej oraz konsumpcji. Centra dystrybucji to ośrodki koncentracji i koordynacji usług logistycznych. Podstawowe zadania, jakie spełniają to: planowanie i realizacja transportu pomiędzy kontrahentami, zapewnienie właściwej techniki i technologii przeładunku, zagwarantowanie właściwego przechowywania składowanych towarów, formowanie jednostek ładunkowych, zapewnienie łączności i odpowiedniego przepływu informacji, oferowanie usług konsultacyjnych z wyżej wymienionych obszarów [Czubała 2001, s. 240]. Najnowsza literatura opisuje centrum dystrybucji jako „samodzielny podmiot gospodarczy, w którym gromadzone i przechowywane są produkty lub komponenty jednego lub kilku producentów, w celu ich dalszej redystrybucji do hurtowni, magazynów dealerskich, importerów, spółek partnerskich lub też innych podmiotów podległych” [Markusik 2010, s. 245].

W literaturze anglosaskiej pojęcie centrum dystrybucji (*distribution center*) definiowane jest jako obiekt, często mniejszy od magazynu centralnego firmy, wykorzystywany do czasowego składowania towarów i ich dystrybucji, często określany jako magazyn dystrybucyjny (*distribution warehouse*) [Businessdictionary 2013; Viale 1996]. Viale [1996, s. 79] sklasyfikował magazyny ze względu na położenie geograficzne względem fabryki i funkcje, jakie pełni w łańcuchu dostaw:

- magazyny zlokalizowane w pobliżu fabryki,
- magazyny terenowe.

Magazyny zlokalizowane w pobliżu fabryki służą do magazynowania surowców i półfabrykatów w celu zapewnienia ciągłości produkcji oraz do magazynowania wyrobów gotowych¹². Magazyny terenowe są tak rozmieszczone geograficznie, aby służyć klientowi poprzez szybszy dostęp do produktu i zwiększyć możliwości dostaw do klienta. Takie położenie może stanowić istotną przewagę konkurencyjną. Autor zaznacza równocześnie, że w grupie magazynów terenowych mogą występować magazyny hurtowników, detalistów, jak również dostawców. Magazyny terenowe mogą służyć jako miejsca do składowania towarów w długim okresie czasu, jako centra dystrybucji oraz jako magazyny przeładunkowe. Tworzenie magazynów terenowych, w tym centrów dystrybucji, ma na celu redukcję czasu realizacji zamówień.

Dla celów niniejszej pracy autor definiuje centrum dystrybucji jako obiekt przestrzenny z właściwą dla niego organizacją i infrastrukturą, zlokalizowany tak, że

¹² Viale omawia w swojej książce pięć typów zapasów: surowce, zapasy w cyklu produkcyjnym, wyroby gotowe, zapasy dystrybucyjne, zapasy obsługi posprzedażowej [1996, s. 7]

umożliwia podmiotowi gospodarczemu magazynowanie, dokonywanie operacji na towarach oraz koordynację transportu w celu zaspokajania potrzeb odbiorców, w możliwie najkrótszym czasie oraz po możliwie najniższym koszcie.

Nawiązując do systematyki centrów logistycznych można dokonać podobnego podziału centrów dystrybucji ze względu na wielkość obsługiwanego obszaru. Mając na względzie światowy trend do skracania czasu transportowanych towarów oraz coraz szersze wykorzystanie nowoczesnych technik telekomunikacyjnych można wyróżnić:

- międzynarodowe centrum dystrybucji,
- regionalne centrum dystrybucji,
- lokalne centrum dystrybucji (tab 1.1).

Zastosowanie analogicznej systematyki jest nie tylko poprawne metodologicznie, jest również poprawne metodycznie. Zastosowanie analogicznej systematyki nie jest jednak równoznaczne z zastosowaniem tych samych kryteriów podziału. Studia nad literaturą oraz własne obserwacje pozwoliły na wyróżnienie dwóch kryteriów podziału. Jednym z nich jest odległość do odbiorcy, a drugim czas, jaki potrzebny jest na pokonanie tej odległości.

Tabela 1.1. Systematyka centrum dystrybucji

Centrum dystrybucji	Promień działania [km]	Czas dostawy [godz.]
Międzynarodowe	500-2000	48-72
Regionalne	50-500	24-48
Lokalne	50	Dostawa < 24 godz. (bardzo często tego samego dnia) ¹³

Źródło: Opracowanie własne.

Zaproponowana definicja centrum dystrybucji nawiązuje do definicji centrum magazynowego. Spełnia ono tą samą funkcję w odniesieniu do składowanych towarów, tj. ochronę przed ubytkami ilościowymi i stratami jakościowymi, a dodatkowo może stanowić tymczasowe miejsce odkładcze dla towarów, które w danym czasie nie znajdują swojego nabywcy, a ze względu np. na wahania sezonowe popyt na te towary może czasowo wzrosnąć. Międzynarodowe centrum dystrybucji obejmuje swoim zasięgiem obszar jednego państwa lub obszar kilku państw, często należących do jednej

¹³ Przy zamówieniu np. do godz. 13.00 dostawa tego samego dnia. Po godz. 13.00 dostawa następnego dnia roboczego rano.

strefy wolnego handlu. Dostawy w zależności od odległości adresata od centrum dystrybucji odbywają się w czasie od 48 do 72 godzin. Regionalne centrum dystrybucji obejmuje swoim zasięgiem obszar o promieniu ok. 500 kilometrów. Gwarantuje to dostawy w czasie do 48 godzin. W zależności od gęstości zaludnienia i powierzchni danego kraju, takich centrów może być kilka¹⁴. Lokalne centrum dystrybucji obejmuje swoim działaniem obszar o znacznie mniejszym promieniu, jednak np. ze względu na specyfikę lub wartość danego towaru, nie jest wskazane utrzymywanie dużych zapasów w punkcie obsługi klienta ostatecznego. Takimi towarami są np. leki. Powszechne są dostawy lekarstw do aptek w godzinach porannych oraz w razie potrzeby (zamówienia) w godzinach popołudniowych. Ze względu na małą masę, wymiary przewożonych towarów oraz lokalne ograniczenia tonażowe są one dostarczane z użyciem odpowiednio przystosowanych samochodów osobowych lub małych samochodów dostawczych.

Niezbędnym elementem prowadzonych badań jest odniesienie definicji centrum dystrybucji do istniejących schematów i powiązań pomiędzy punktami węzłowymi sieci logistycznej. Dotychczas w literaturze przedmiotu można było wyróżnić takie powiązanie pomiędzy centrum logistycznym, centrum magazynowym oraz obiektem magazynowym (tab. 1.2). Innym spotykanym w literaturze przedmiotu podziałem, oprócz funkcjonalnego, jest podział, w którym wyróżnikiem jest infrastruktura. W związku z zaproponowaną definicją centrum dystrybucyjnego należy również dokonać próby identyfikacji funkcji, jakie spełnia centrum dystrybucji oraz odnieść je do istniejącego już w literaturze schematu powiązań pomiędzy punktami węzłowymi sieci logistycznej, a realizowanymi w nich funkcjami.

Elementem odróżniającym centrum magazynowe od centrum dystrybucji jest optymalizacja dystrybucji. Nie jest jednak wykluczone, że definicja obiektu magazynowego będzie nadrzędna względem definicji centrum dystrybucyjnego.

Elementy takie jak spedycja i obsługa celna są istotne, w przypadku, gdy ładunki przemieszczane są pomiędzy obszarami gospodarczymi nie należącymi do jednej strefy wolnego handlu oraz gdy firma korzysta z transportu zewnętrznego, oba te obszary będą kluczowe dla funkcjonowania międzynarodowego centrum dystrybucyjnego. Istotnym elementem jest optymalizacja dystrybucji. Planowanie transportu, codzienne

¹⁴ Stany Zjednoczone Ameryki oraz Chińska Republika Ludowa to przykłady państw, w których dystrybucja będzie wymagała wykorzystania nawet kilkunastu regionalnych centrów dystrybucji w celu zapewnienia odpowiednio wysokiej obsługi klienta.

analizowanie tras przejazdów pojazdów, którymi realizowane są dostawy jest kluczowe dla funkcjonowania centrum dystrybucji. Trasa powinna być zaplanowana najlepiej jak to możliwe uwzględniając takie parametry jak: ładowność pojazdu, stopień wypełnienia pojazdu, średnie zużycie paliwa przez dany pojazd czy czas pracy kierowcy, spełniając założone kryterium optymalizacji, jakim najczęściej jest minimalizacja kosztu transportu. W zależności od przygotowania kadry oraz możliwości optymalizacyjnych stosowanego systemu informatycznego poziom tych analiz będzie różny. Dział analiz może gromadzić oraz przetwarzać dane o aktualnym popycie oraz estymować wielkość popytu dla okresów przyszłych. Szacowanie popytu oraz realizacja automatycznych zamówień u dostawców są zgodne z założeniami koncepcji VMI. Dział analiz jest niezbędny do racjonalnego gospodarowania dostępnymi środkami transportu oraz koordynowania przewozów w danym centrum dystrybucji.

Tabela 1.2. Schemat powiązań pomiędzy punktami węzłowymi sieci logistycznej, a realizowanymi w nich funkcjami

REALIZOWANE FUNKCJE	CL	CM	CD	OM
Magazynowanie	X	X	X	X
Przeładunek kompletacyjny	X	X	X	X
Sortowanie paczek	X	X	X	X
<i>Co-packing</i>	X	X	X	X
Przeładunek intermodalny	X			
Spedycja	X	X	X	
Obsługa celna	X	X	X	
Usługi informatyczne	X	X	X	
Optymalizacja dystrybucji	X		X	
Usługi finansowe	X			
Wynajem opakowań transportowych	X			
Czyszczenie i naprawa opakowań transportowych	X			
Tankowanie pojazdów	X			
Serwisowanie pojazdów	X			
Usługi gastronomiczne	X			
Usługi hotelarskie	X			

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 291], CL – centrum logistyczne; CM – centrum magazynowe; CD – centrum dystrybucji, OM – obiekt magazynowy.

Wybór najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji nie jest dokonywany tylko w oparciu o kryterium najniższego, całkowitego kosztu funkcjonowania ośrodka dystrybucyjnego lub najniższego kosztu transportu. Oczywiście są to podstawowe kryteria brane pod uwagę, co znajduje swoje odzwierciedlenie w wadze danego

kryterium realizowanej analizy strategicznej. Abstrahując od powyższej konkluzji, decydent powinien znać i przeanalizować również inne aspekty funkcjonowania centrum dystrybucji. Znajomość funkcji realizowanych przez te ostatnie, pozwoli na, lepszy jakościowo, dobór czynników mających wpływ na lokalizację centrum dystrybucji, a ostatecznie na podjęcie lepszej jakościowo decyzji.

1.4. Klasyczne kryteria lokalizacji

W małym słowniku języka polskiego [1969] pojęcie „lokalizacja” definiowane jest jako: „umieszczenie, dane co do miejsca położenia czegoś, rozmieszczenie”. Słowo lokalizować oznacza: „określać wyznaczać miejsce czegoś, umiejscawiać”. Definicje jednoznacznie wskazują na podmiotowość i ujęcie procesowe pojęcia. Potwierdzenie tej tezy znajdujemy w literaturze przedmiotu, gdzie lokalizacja definiowana jest jako: „procedura podejmowania decyzji lokalizacyjnej lub jako rezultat tej czynności – czyli miejsce prowadzenia określonej działalności” [Stryjakiewicz 1988, s. 16]. Kryteria wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji łączą się bezpośrednio z umiejscowieniem obiektu w przestrzeni. Przestrzeń ta wyróżniana jest jako lokalizacja ogólna lub szczegółowa. W ramach lokalizacji ogólnej określany jest obszar, na którym dany obiekt powinien zostać zlokalizowany. Lokalizacja szczegółowa polega na wskazaniu nieruchomości, terenu, na którym obiekt powinien zostać usytuowany. [Dudziński 2011, s. 22]. Wybór lokalizacji ogólnej określa przyszłe powiązania przestrzenne organizacji z danym regionem, jednostką osadniczą, zasięgiem behawioralnym i perceptualnym przedsiębiorstwa.

Zasięg behawioralny oznacza środowisko, w którym przedsiębiorstwo rzeczywiście działa, i w którym tworzy określoną strukturę przestrzenną. W otoczeniu tym znajdują się rynki zbytu, podmioty dostarczające surowce, rynek pracy, obiekty usługowe itp. Otoczenie perceptualne to obszar, który bierze się pod uwagę w kreowaniu powiązań przestrzenno-ekonomicznych przedsiębiorstwa z innymi elementami środowiska geograficznego. Wybór lokalizacji szczegółowej związany jest z badaniem cech fizjograficznych danej działki, jej uzbrojeniem technicznym, dostępnością infrastruktury transportowej oraz miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego. Ważnym aspektem jest obecność konkurencji w sąsiedztwie oraz możliwość stworzenia rezerwy obszarowej, na wypadek rozbudowy obiektów przedsiębiorstwa [Godlewska 2005, s. 6].

„Teoria lokalizacji ma swój mikro- i makroekonomiczny aspekt. W pierwszym z nich rozważania dotyczą pojedynczego obiektu, zaś w drugim chodzi o poszukiwanie efektywnych struktur przestrzennych” [Godlewska 2001, s. 11]. W logistyce aspekt makro należy rozumieć jako efektywną strukturę przestrzenną oraz występujące powiązania pomiędzy poszczególnymi elementami łańcucha dostaw. Natomiast aspekt mikro dotyczy wybranego przedsiębiorstwa, obiektu lub procesu, w łańcuchu dostaw np. centrum dystrybucji czy składowania.

W celu dokonania wyboru najlepszej lokalizacji należy posłużyć się analizą czynników lokalizacji. W literaturze z zakresu lokalizacji działalności gospodarczej znanych jest kilka definicji czynników lokalizacji. Klasyczną definicją jest definicja zaproponowana przez Webera. Uważał on, że: „czynniki lokalizacji powinny być rozumiane jako ściśle określone korzyści występujące wówczas, gdy działalność gospodarcza zlokalizowana jest w danej miejscowości. Korzyść ta, to oszczędność na kosztach produkcji. Jej osiągnięcie łączy się z tym, że działalność zlokalizowana jest w danej miejscowości odbywa się przy mniejszym nakładzie kosztów niż gdyby odbywała się w innych miejscowościach” [za: Fierla 1987, s. 43]. Definicja, z uwagi na fakt, że powstała na przełomie wieku XIX i XX wieku, jednoznacznie wskazuje, iż lokalizowane jest przedsiębiorstwo produkcyjne – era industrialna. Weber uważał, że czynniki lokalizacyjne to korzyści (zysk) dla lokalizowanego przedsiębiorstwa np. tania siła robocza, bliskość surowców mineralnych to efekt wymierny w postaci niższych kosztów produkcji. Na ówczesne czasy definicja ta w prosty sposób określała przyczynę lokalizowania obiektów przemysłowych. Dziś oprócz efektów wymiernych dla przedsiębiorstwa w postaci zysku, obserwujemy wzrost świadomości decydentów, co skutkuje analizą takich czynników jak: ochrona środowiska naturalnego czy komfort życia mieszkańców obszaru, na którym przewidziana jest lokalizacja nowego obiektu produkcyjnego czy usługowego. Zagadnienie lokalizacji centrum dystrybucji, w odniesieniu do definicji Webera, nie spełniał podstawowego warunku, jakim jest produkcja dóbr. Podstawowym celem działalności centrum dystrybucji jest świadczenie usług dostarczenia wyrobów gotowych do odbiorcy, ewentualnie świadczenie usług: uszlachetniania, *co-packingu* itp., a jego położenie nie tylko powinno zapewniać oszczędności przedsiębiorstwu w postaci niskich kosztów transportu i składowania, powinno również zapewniać odpowiedni poziom obsługi klienta oraz wywierać jak najmniejszy negatywny wpływ na otoczenie.

Godlewska [2001, s. 14] określiła czynniki lokalizacji jako: „specyficzne cechy poszczególnych miejsc, mające bezpośredni wpływ na kształtowanie się nakładów inwestycyjnych w fazie budowy zakładu oraz rentowności netto działalności gospodarczej realizowanej w tych miejscach”. Jako realne korzyści wynikające z lokalizacji przedsiębiorstwa w danym punkcie przestrzeni można wymienić [Godlewska 2001]:

- nakłady inwestycyjne związane z wykupem ziemi oraz uzbrojeniem terenu,
- nakłady inwestycyjne związane z budowanym obiektem,
- koszty funkcjonowania obiektu,
- przychody realizowane przez daną jednostkę,
- zyski i straty, mające wpływ na rentowość netto, wynikające z prowadzenia działalności.

Duży stopień uogólnienia oraz odwołanie do specyficznych cech danej lokalizacji, kosztów inwestycji oraz przyszłych kosztów prowadzonej działalności w danej jednostce powoduje, że definicja ta ma charakter uniwersalny i zapewnia jej powszechność stosowania. Autor na potrzeby niniejszej pracy przyjmuje, tę definicję za obowiązującą. Każda potencjalna lokalizacja ma zestaw charakterystycznych cech, właściwy tylko dla niej. Cechy te mogą być kwalitatywne i kwantytatywne, a poszczególne kryteria lokalizacji mogą być ze sobą porównywane z wykorzystaniem np. wielokryterialnego wspomaganie decyzji.

Budner [2004, s. 27] dokonał podziału lokalizacji ze względu na swobodę wyboru, która określona jest stopniem powiązania z czynnikami lokalizacji. Wyróżnił: lokalizację zdeterminowaną (przymusową), lokalizację związaną (zależną) oraz lokalizację swobodną (niezależną). Lokalizacja przymusowa związana jest bezpośrednio z występowaniem surowców naturalnych. Kopalnia węgla kamiennego lub węgla brunatnego może być zlokalizowana tylko w miejscu występowania tego surowca. W przypadku lokalizacji zależnej położenie danej działalności gospodarczej jest zdeterminowane np. wielkością rynku zbytu, czy bazą surowcową. Jest to jednak warunek jedynie ograniczający, nieprzesądzający o wyborze danej lokalizacji. W przypadku lokalizacji niezależnej, wpływ czynników lokalizacyjnych jest niewielki. Centrum dystrybucji należy do grupy podmiotów gospodarczych, na które czynniki lokalizacyjne nie wywierają dużego wpływu. Nie można jednak jednoznacznie wykluczyć ich występowania.

Mnogość czynników lokalizacyjnych, branż przemysłu oraz duża liczba potencjalnych decydentów powoduje, że każdy projekt wyboru lokalizacji będzie unikatowy. Grupy analizowanych czynników mogą być dostosowane do indywidualnych potrzeb ostatecznego decydenta, zgodne ze wskazaniami konsultanta, sugestiami osób trzecich lub kombinacją powyższych. Chcąc uniknąć chaosu w literaturze przedmiotu wprowadza się różne, umowne podziały. Zazwyczaj mają one na celu uporządkowanie wiedzy w tym zakresie, nie stanowią podstawy do nadawania im rang. Najczęściej spotykanym w literaturze podziałem czynników lokalizacji jest podział na trzy następujące grupy [Kortus 1987, s. 36]:

- czynniki natury przyrodniczej (surowce, ukształtowanie terenu, bariery ekologiczne),
- czynniki ekonomiczno-techniczne (rynki zbytu, siła robocza, korzyści aglomeracji, infrastruktura transportu),
- czynniki społeczno-polityczne (społeczne, polityczne, strategiczno-wojskowe, behawioralne).

Ciągły rozwój badań, powoduje, że w literaturze można spotkać coraz to dokładniejsze podziały czynników lokalizacyjnych. Oprócz ogólnego podziału wymienionego powyżej, w literaturze przedmiotu spotykany jest inny syntetyczny podział czynników lokalizacji [Budner 2004, s. 29]:

- czynniki środowiskowe,
- czynniki przestrzenne,
- czynniki ekonomiczne,
- czynniki społeczno-kulturowe,
- czynniki polityczne,
- czynniki prawno-administracyjne,
- czynniki techniczno-technologiczne.

Budner zaznacza, że czynniki środowiskowe to nie tylko ogół warunków naturalnych, w tym występowanie surowców, jaki dany obszar stwarza działalności gospodarczej, kluczowe znaczenie ma tu koszt pozyskania i opłacalność wykorzystania tych zasobów. Czynniki przestrzenne to ukształtowanie terenu, odległość, dostępność i położenie względem innych obszarów. Czynniki ekonomiczne wynikają z sytuacji społeczno-gospodarczej danego obszaru. Tworzą je takie czynniki jak: inflacja, stopa bezrobocia, PKB per capita, wielkość i chłonność rynku zbytu, wielkość i struktura

kapitału. Klimat ekonomiczny jest szczególnie ważny dla lokowania fabryk, centrów dystrybucji, centrów finansowych korporacji globalnych. Czynniki społeczno-kulturowy związany jest bezpośrednio z poziomem wykształcenia, rozwojem kulturalnym danego społeczeństwa. Wpływa to na świadomość społeczeństwa, jego aspiracje i poziom przedsiębiorczości. Stanowi podstawę do określenia podaży pracy danego regionu na rzecz nowo lokowanej działalności. Jak podkreślają autorzy wielu opracowań, czynniki społeczno-kulturowe decydują w dużym stopniu o poziomie efektywności gospodarki.

Czynniki polityczne to działania organów administracji państwowej oraz samorządów terytorialnych. Władza centralna odpowiedzialna jest między innymi za kreowanie polityki zagranicznej państwa, kreowanie wizerunku i klimatu do przyciągania kapitału zagranicznego, polityki monetarnej i fiskalnej, natomiast kompetencje i uprawnienia lokalnej władzy samorządowej będą miały ostateczny wpływ na podjęcie decyzji o lokalizacji. W celu przyciągnięcia potencjalnego inwestora samorządy lokalne mogą wykorzystywać różne formy aktywności. „Do form aktywności władz lokalnych zalicza się: katalizację, stymulację, aktywizację oraz interwencję¹⁵” [Swianiewicz 1997, s. 4].

Czynniki prawno-administracyjne są następstwem czynników politycznych. „Inwestorzy oczekują stabilnej sytuacji politycznej, stabilnego wzrostu gospodarczego oraz stabilnych rozwiązań prawnych” [Olesiński 1998, s. 49]. Dobrym przykładem czynników prawnych są przepisy dotyczące zakładania działalności gospodarczej. Czynniki administracyjne to decyzje urzędowe, dotyczące np. możliwości prowadzenia działalności objętej specjalnymi pozwoleniami czy ograniczenia wynikające z miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Czynniki techniczno-technologicznymi przyjęto opisywać wszelkie działania mające na celu doskonalenie środków i przedmiotów pracy. Obejmują swoim zakresem zarówno zmiany w sferze produkcyjnej jak również sposobach organizacji zaopatrzenia, sprzedaży i dystrybucji. Zmiany te wynikają z postępu naukowo-technicznego, który

¹⁵ Samorządy lokalne mogą stanowić swoisty rodzaj katalizatora – budować ogólny program rozwoju ekonomicznego czy oferować grunty. Mogą również wpływać stymulująco, np. poprzez działania promujące region. Do takich działań można zaliczyć między innymi udział w targach oraz sympozjach gospodarczych jak również wydawanie broszur informacyjnych. Gminy mogą również być czynnikiem aktywizującym poprzez wspieranie inwestycji. Takie wsparcie może polegać np. na udzielaniu gwarancji kredytowych dla nowo powstających firm w regionie, organizacji szkoleń kwalifikacyjnych, czy doradztwa biznesowego. Ostatnia postawa, jaką może przyjąć władza lokalna wobec inwestorów oraz firm prowadzących już działalność to interwencja. Polega ona na próbie ingerencji samorządów lokalnych w przedsiębiorstwa lokalne poprzez sugerowanie zasad np. polityki zatrudnienia czy tworzenie akcjonariatu pracowniczego [Budner 2004, s. 226].

jest zjawiskiem wielostronnym obejmuje, bowiem zarówno rozwój nauki, jak i wykorzystanie nowej techniki w sferze materialnej oraz niematerialnej [Janasz i Leśkiewicz 1995, s. 15].

Można przypuszczać, że Budner w swoich rozważaniach nad czynnikami lokalizacji przedsiębiorstw przemysłowych, podczas tworzenia podziału czynników lokalizacyjnych kierował się ideą uniwersalności. Wskazał on jedynie na grupy czynników mających wpływ na lokalizowanie przedsiębiorstw, takie podejście gwarantuje aplikacyjność w wielu różnych projektach. Poszukując najlepszej lokalizacji czynniki powinny stanowić jedynie punkt wyjścia do dalszych rozważań ze względu na zbyt duży stopień uogólnienia. Godlewska [2001, s. 50] pisząc o czynnikach lokalizacji przedsiębiorstw za najważniejsze wymienia: transport, bazę surowcową, rynek zbytu, zagospodarowanie infrastrukturalne, zasoby pracy, bazę energetyczną, zasoby wody, korzyści skali i aglomeracji. Zasadności wyboru takiej właśnie grupy czynników znajdujemy również u Budnera [2004, s. 85-86], a wynikają one z powstałych w XX wieku teorii lokalizacji przemysłu.

Godlewska zaznacza, że położenie geograficzne było od zarania dziejów czynnikiem warunkującym działalność gospodarczą, zmieniało się natomiast znaczenie i możliwości transportu. Zaznacza, że rozwój techniki warunkował tworzenie pierwszych dużych ośrodków przemysłowych. W pierwszej fazie możliwość transportu dużych ładunków zapewniały rzeki i dostęp do portów. Wraz z pojawieniem się kolei zaczęto lokalizować obiekty przemysłowe wzdłuż szlaków kolejowych z uwzględnieniem koncentracji w miejscach krzyżowania się szlaków transportowych. Transport samochodowy zapewnił elastyczność przewozów oraz umożliwił świadczenie usług typu „od drzwi do drzwi” (*door to door*), co znacznie przyspieszyło procesy gospodarcze. Nie bez znaczenia pozostaje również transport przesyłowy. Duże zakłady produkcyjne wykorzystujące znaczne ilości surowców energetycznych również lokalizowane są w pobliżu przebiegu rurociągów, takich jak rurociąg „Przyjaźń”¹⁶. Obecnie największą dynamikę można zaobserwować w transporcie lotniczym, zarówno w przewozach osobowych jak i towarowych. Rozwój ten spowodowany jest obniżeniem poziomu kosztów w tej gałęzi transportu oraz zwiększonym dostępem do infrastruktury punktowej. Znaczny wzrost szybkości podróżowania przyczynia się w dużej mierze do rozwoju sektora usług, w szczególności finansowych oraz doradczych.

¹⁶ Przykładami takich lokalizacji są zakłady petrochemiczne w Płocku, Schwedt (Niemcy) czy Bratysławie (Słowacja) [Godlewska 2001, s. 51-52]

Baza surowcowa była i w dalszym ciągu jest ważnym kryterium wyboru lokalizacji przedsiębiorstw. Podmioty działające w branży wydobywczej są uzależnione od dostępu do pokładów surowców naturalnych. Duży wpływ na podjęcie decyzji o wydobyciu ma forma przestrzenna złoża (pokład, żyła, gniazdo). Inne elementy mające wpływ na opłacalność wydobycia to „miąższość, regularność i głębokość zalegania, stosunki hydrologiczne, na ogół bardzo złożone, kąt nachylenia złoża, skład chemiczny podstawowego składnika oraz obecność składników towarzyszących możliwych do odzyskania w procesie obróbki” [Fierla 2004, s. 97-112]. Występowanie złóż surowców naturalnych związane jest bezpośrednio z pojęciem indeksu materiałowego, czyli stosunku wagi zużytego surowca do wagi wyrobu gotowego¹⁷. Lokalizacja surowcochłonnych przedsiębiorstw, w przeszłości, wiązała się z regionem naturalnego występowania co najmniej jednego z surowców. Godlewska [2001, s. 53-57] wskazuje na fakt, iż coraz częściej odchodzi się od tego kryterium – związane jest to z możliwościami aktywnego kreowania bazy surowcowej: w przemyśle spożywczym z wykorzystaniem technik kontraktacyjnych, w przemyśle elektroenergetycznym możliwościami substytucji surowca podstawowego, w którym produkcja może być oparta na różnych nośnikach energetycznych. W swoich rozważaniach wymienia również możliwość wykorzystania półproduktów i materiałów wtórnych, np. w przemyśle hutniczym złomu czy w papierniczym makulatury. Ważnym czynnikiem jest również struktura przestrzenna wydobycia lub produkcji surowców np. w przemyśle mleczarskim struktura przestrzenna produkcji mleka. Godlewska [2001, s. 53-57] podkreśla, że również forma organizacyjno-własnościowa przedsiębiorstwa, to czy dany podmiot gospodarczy jest elementem wielozakładowej struktury, podmiotem zależnym holdingu czy grupy kapitałowej może wiązać się ze strategią rozwoju danego przedsiębiorstwa i może mieć wpływ na decyzję o lokalizacji.

Sąsiedztwo rynku zbytu, jako czynnik lokalizacji przedsiębiorstw, podobnie jak baza surowcowa traci na swoim znaczeniu. Bliskość rynku zbytu ma znaczenie w przypadku przedsiębiorstw, które [Godlewska 2001, s. 59]:

- wytwarzają lub dostarczają dobra powstałe w wyniku przetwórstwa surowców niewiele tracących na wadze w procesie obróbki, indeks materiałowy jest poniżej jedności lub nieznacznie większy,

¹⁷ Przykładem takiego przemysłu jest przemysł hutniczy, który do wyprodukowania jednej tony miedzi elektrolitycznej zużywa około 5-6 ton rudy miedzi. Analogiczną sytuację możemy zaobserwować przy wytopie stali. Na jedną tonę stali potrzeba ok. 2-2,5 tony rudy żelaza oraz jedną tonę węgla koksującego.

- produkują lub dostarczają nietrwałe dobra,
- charakteryzują się dużą elastycznością cenową podaży lub oferowanych usług,
- wytwarzają produkty, które cechuje duża zmienność popytu,
- wytwarzają lub przewożą dobra uciążliwe w transporcie.

Sąsiedztwo rynku zbytu w przeszłości było dużym atutem, zakłady produkcyjne lokalizowano wokół dużych ośrodków miejskich, które stanowiły rynek zbytu dla wytwarzanych produktów. Czynniki te traci jednak na znaczeniu, a spowodowane jest to pojawieniem się konfliktów przestrzennych. Wzrost ceny ziemi, wynajmu pomieszczeń spowodował, że przedsiębiorcy szukają lokalizacji na terenach podmiejskich, często obszarach wiejskich. Taka tendencja podyktowana jest dwoma innymi czynnikami: rozbudową systemu transportowego oraz poszukiwaniem tańszej siły roboczej. Rozbudowa systemu transportowego to rozwój infrastruktury liniowej i punktowej transportu, w szczególności transportu samochodowego oraz rozwój niezawodnych środków transportu. Jednoczesne pojawienie się na rynku wyspecjalizowanych podmiotów, operatorów logistycznych, świadczących usługi logistyczne¹⁸, oznaczało brak konieczności inwestowania w transport własny, przy małym wolumenie produkcji. Przeniesienie lokalizacji przedsiębiorstw na tereny wiejskie to również korzyść z siły roboczej, często o niższych aspiracjach finansowych. Jest to czynnik kluczowy dla utrzymania konkurencyjności przedsiębiorstwa wytwarzającego produkty wymagające dużych nakładów pracy ręcznej. Przykładem takiej gałęzi przemysłu jest branża meblarska, w szczególności produkcja mebli tapicerowanych. Nie należy jednak generalizować tego trendu, w systemach produkcyjnych opartych o zaawansowaną technikę wytwarzania (*high-technology*) wymagana jest wyspecjalizowana, dobrze wykształcona kadra, a często również dostęp do ośrodka naukowego. Postępujący rozwój gospodarczy oraz globalizacja powodują, że przedsiębiorstwa przemysłowe przekształcają się w wyspecjalizowane przedsiębiorstwa globalne, w których produkcja odbywa się na bardzo wysokim poziomie techniczno-technologicznym, co czyni produkcję silnie specjalistyczną¹⁹.

¹⁸ Usługa logistyczna – w szerokim ujęciu obok czynności transportowo-spedycyjnych obejmuje usługi terminalowe, począwszy od *cross-dockingu*, przez magazynowanie, po kompletację (w tym pobieranie i pakowanie) oraz czynności uszlachetniające: metkowanie, polonizację, *re-packing*, foliowanie, drobne naprawy, tworzenie zestawów promocyjnych (zwanymi czasami *co-packingiem*) i inne [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 216].

¹⁹ Przykładem takiej produkcji jest produkcja mikroprocesorów.

Ludzie i praca, którą świadczą na rzecz przedsiębiorstw, są jednymi z najważniejszych czynników, zaraz po bazie surowcowej, analizowanych przy wyborze lokalizacji działalności gospodarczej. Czynnik ten silnie koresponduje z wnioskami wskazanymi powyżej dotyczącymi bliskości rynku zbytu. Tylko w przypadku, gdy potrzebna jest wykwalifikowana kadra oraz bliskość ośrodka naukowego uzasadnione będzie lokalizowanie obiektu w pobliżu dużych ośrodków miejskich. W pozostałych przypadkach, w których produkcja jest pracochłonna, uzasadnione będzie lokalizowanie przedsiębiorstw produkcyjnych w miejscach, w których występuje nadwyżka siły roboczej lub blisko ośrodków miejskich zapewniających możliwość pozyskania siły roboczej.

Baza energetyczna odgrywa coraz mniejsze znaczenie w przypadku lokalizacji przedsiębiorstw przemysłowych. Energia elektryczna oraz paliwo gazowe mogą być dostarczone na duże odległości. W krajach wysoko rozwiniętych i rozwijających się sieć gazociągów, względnie ropociągów, oraz sieć energetyczna jest dość gęsta. Gwarantuje to uzyskanie dostępu do mediów, przy założeniu odpowiedniego poziomu zapotrzebowania, prawie bez ograniczeń.

W ujęciu klasycznym, przy lokalizacji przedsiębiorstw produkcyjnych, czynnik wody i dostęp do niej nie odgrywał większego znaczenia. Uważano, że woda i dostęp do jej ujęć jest nieograniczony, dlatego korzystanie z wody nie wymagało specjalnych regulacji. Ten brak regulacji spowodowany był faktem małej koncentracji przemysłu i często małą skalą produkcji w tych zakładach. Dopiero technologie oparte na reakcjach chemicznych, syntezy i elektrolizy oraz koncentracja produkcji w pojedynczych obiektach spowodowały, że w wielu gałęziach przemysłu²⁰ czynnik wody o odpowiednich parametrach fizyko-chemicznych, nabrał istotnego znaczenia. Jednocześnie dostęp do znacznych zasobów wody jest regulowany i wiąże się z dodatkowymi opłatami.

Korzyści skali i aglomeracji oraz rozbudowana infrastruktura transportowa mogą być dodatkowym atutem wybranej lokalizacji. W przemyśle możliwe jest wykorzystanie korzyści skali poprzez zapewnienie przedsiębiorstwom możliwości integracji pionowej lub poziomej²¹. Integracja wpływa również na obniżenie kosztów produkcji i sprzedaży.

²⁰ Do takich gałęzi należy zaliczyć przemysł energetyczny, celulozowo-papierniczy, hutnictwo żelaza, przemysł chemiczny oraz niektóre branże przemysłu spożywczego.

²¹ W przedsiębiorstwach zintegrowanych poziomo dodatkową korzyścią jest ograniczenie sezonowości produkcji oraz przyspieszenie wdrażania postępu technicznego i organizacyjnego, przejmowanego z różnych dziedzin (szersze spektrum działalności). Przedsiębiorstwa zintegrowane pionowo mają

Taką dodatkową korzyść może zapewnić zlokalizowanie obiektu w obrębie dużej aglomeracji, skupiska ludzi i budynków na niewielkim obszarze nadające mu charakter miejski [Słownik wyrazów obcych 1980].

Należy zauważyć, iż na przestrzeni czasu czynniki brane pod uwagę przy rozpatrywaniu najlepszej lokalizacji przedsiębiorstw ewoluowały. Dodatkowo Dziemianowicz [1997, s. 16] wskazuje na dwa istotne fakty:

- ocena czynników lokalizacji dokonywana przez decydujących o usytuowaniu jednostki gospodarczej zależy najczęściej od specyfiki przedsiębiorstwa i cech osoby decydującej o lokalizacji,
- czynniki lokalizacji nie są stałe i nie są zbiorem zamkniętym. Szczególnie w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat mamy do czynienia ze wzrastającą rolą nowych czynników, dotąd niedostrzeganych zarówno przez decydentów, jak i badaczy.

Na uwagę zasługuje również fakt, że coraz częściej brane pod uwagę są czynniki ilościowe niż jakościowe. Związane jest to z rozwojem metod matematycznych, w tym optymalizacyjnych i szerszym wykorzystaniem aplikacji informatycznych typu *Decision Support System* (DSS)²² czy *Buisness Intelligence* (BI)²³. Dziemianowicz [1997, s. 17] dokonał porównania czynników lokalizacji przedsiębiorstw przedstawionych przez Bergina i Eagana w 1964 roku oraz zaproponowanych przez Brankea w 1996 roku (tab. 1.3). Należy zauważyć, że na przestrzeni 30 lat, które dzielą oba badania, liczba analizowanych czynników lokalizacji zdecydowanie wzrosła. Nowe czynniki, jakie zostały wymienione, to przede wszystkim obecność instytucji wspierających przedsiębiorczość, takich jak banki i izby gospodarcze. Kolejne kwalitatywne czynniki, jakie się pojawiają to: obecność organizacji naukowo-badawczych, ośrodków kształcenia kadr, w tym instytutów badawczych i szkół wyższych [Dziemianowicz 1997, 1998; Grabow, Henckel i Hollbach-Grömig 1995]. Nowość wśród czynników lokalizacji to: jakość życia oferowana w danym regionie,

natomiast ograniczone możliwości elastycznego dostosowania się do zmian na rynku, gdyż ich poszczególne elementy muszą być sprzężone pod względem mocy produkcyjnych [Godlewska 2001, s. 71]

²² *Decision Support Systems* – kategoria systemów informatycznych wspomagających podejmowanie decyzji na bazie dużych kolekcji danych historycznych i szeregu parametrów sterujących [Majewski 2008, s. 22]

²³ *Buisness Intelligence* – aplikacje informatyczne umożliwiające przekształcenie dużych ilości danych w informacje, a następnie przekształcenie tych informacji w wiedzę, często wykorzystywane do planowania oraz badania rentowności produktów, usług, klientów [Kisperska-Moroń i Krzyżaniak 2009, s. 333]

jego wizerunek, propozycja kulturalna czy możliwości wypoczynkowe. Wymienione wyżej czynniki mają duże znaczenie przy lokalizacji nowych oddziałów korporacji transnarodowych. Bardzo często ma to zachęcić obecnych pracowników do czasowej emigracji w celu organizacji pracy nowego oddziału.

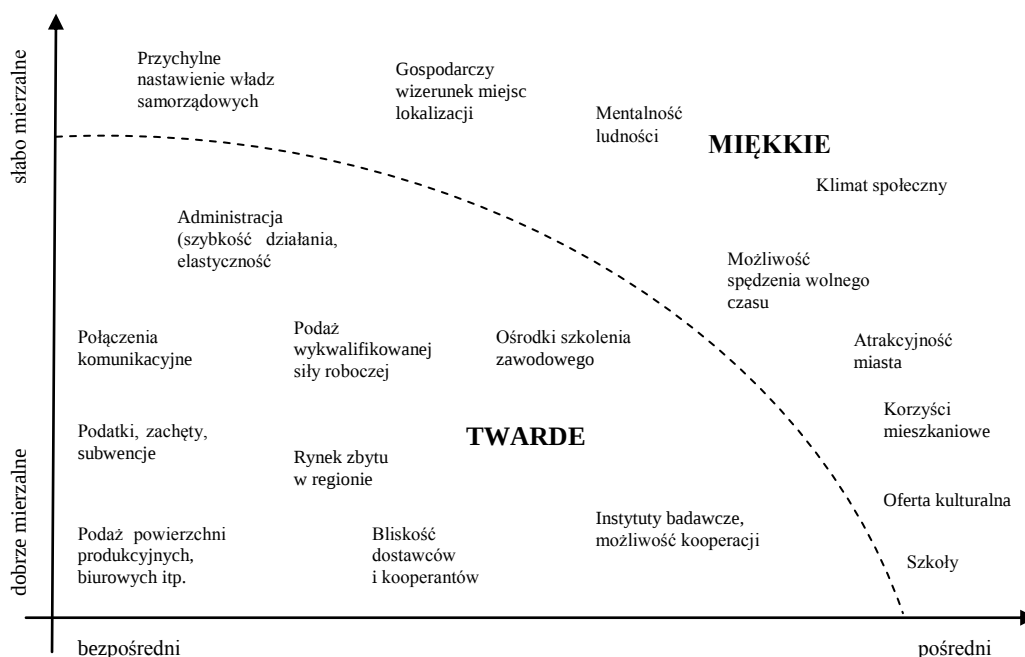
Tabela 1.3. Porównanie czynników lokalizacji przedsiębiorstw

Bergin, Eagan (1964)	Branke (1996)
– łatwość naboru siły roboczej, – dogodne powiązanie z rynkiem, – możliwości nabycia budynków lub innych nieruchomości, – koszty robocizny, – łatwość nabycia surowców, – słabszy wpływ związków zawodowych, – lokalne możliwości kooperacji, – siedziba dyrekcji, – klimat, – koszty transportu, – dostatek mocy, – centrum specjalnego przemysłu, – urządzenia transportowe, – decentralizacja działalności, – korzystna struktura podatków, – pomoc finansowa.	– bliskość rynku zbytu, – środki wspierające działalność gospodarczą, – koszty robocizny, – kwalifikacje siły roboczej, – bliskość autostrady, – bliskość dostawców, – koszty energii, – usługi miejscowych banków, – wspieranie przez izby gospodarcze, – dobry wizerunek miasta i regionu, – pomoc przedsiębiorstw wspierających przedsiębiorczość, – ceny ziemi, – opłaty lokalne, – koszty wynajęcia obiektów przemysłowych, – administracja komunalna, – bliskość szkół wyższych, – bliskość instytutów badawczych, – komunikacja miejska, – mieszkania, – zaplecze medyczne, – połączenia lotnicze, – ponadregionalne połączenia kolejowe, – propozycja kulturalna, – możliwości wypoczynkowe.

Źródło: [Dziemianowicz 1997, s. 17].

Najpełniejszy podział czynników lokalizacji (rys. 1.7), uwzględniający ich podział na twarde i miękkie zaprezentowali Grabow, Henckel i Hollbach-Grömig [1995]. W swojej klasyfikacji wyróżnili oni ponad osiemdziesiąt czynników. Analizowali je ze względu na dwa parametry: pod względem mierzalności oraz wpływu na działalność przedsiębiorstwa. Pierwszy z nich znajduje się na osi rzędnych, autorzy nie określili jednak liczbowych parametrów, dokonali jedynie podziału na słabo mierzalne i dobrze

mieralne. Na osi odciętych określono wpływ czynników na działalność przedsiębiorstwa, w tym przypadku również nie została określona żadna skala. Na wykresie podano jedynie informację, o tym, że pewne czynniki będą miały bezpośredni, duży wpływ na działalność przedsiębiorstwa, a inne mniejszy pośredni. Odzworowując parabolę na wykresie podzielili analizowane czynniki na dwie grupy: twarde i miękkie.



Rys. 1.7. Twarde i miękkie czynniki lokalizacji wg Grabowa, Henckela, i Grömiga
Źródło: [za Dziemianowicz 1998, s. 21].

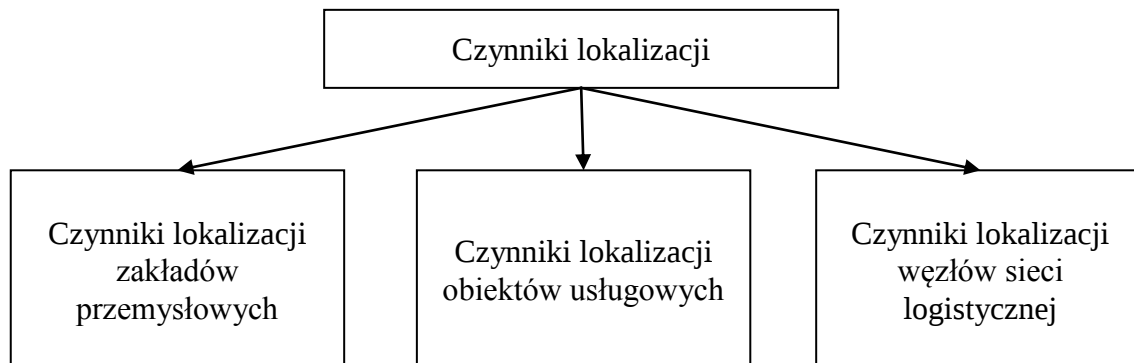
Twarde należą do grupy czynników mierzalnych, ekonomicznych, w literaturze przedmiotu często określanych mianem obiektywnych. Obiektywnych ze względu na ich niepodważalny charakter. Użycie takich danych wejściowych do analizy statystycznej lub modeli optymalizacyjnych gwarantuje uzyskanie jednoznacznego wyniku. Drugi rodzaj czynników to czynniki miękkie, niemierzalne, w literaturze przedmiotu określane również mianem pozaekonomicznych, subiektywnych. Są to elementy natury psychologicznej i socjologicznej. Odgrywają one duże znaczenie w końcowej fazie podejmowania decyzji lokalizacyjnej. Oprócz wymienionych aspektów natury psychologicznej i socjologicznej należy wymienić czynnik ochrony środowiska naturalnego. Rosnąca świadomość społeczeństwa oraz osób zaangażowanych w podejmowanie decyzji lokalizacyjnej dotycząca efektów oddziaływania na środowisko oraz ryzyka związanego w tym zakresie z prowadzoną działalnością może pozytywnie wpłynąć na postrzeganie danego przedsiębiorstwa na

rynku. Oznacza to budowanie pozytywnych relacji z otoczeniem w ramach społecznej odpowiedzialności biznesu (*Corporate Social Responsibility*). Ostatecznie takie działania mogą wzmocnić markę firmy na danym rynku.

Literatura przedmiotu jest bogata w różnego rodzaju klasyfikacje czynników lokalizacji przedsiębiorstw [Budner 2004; Godlewska 2001; Gługiewicz 1998; Dziemianowicz 1997; 1998]. Klasyfikacje te wskazują na fakt, że istotnym elementem całego procesu wyboru najlepszej lokalizacji jest analiza wstępna, której podstawowym celem będzie dobranie odpowiednich czynników lokalizacji centrum dystrybucji oraz każdego innego obiektu przemysłowego lub usługowego.

1.5. Kryteria wyboru lokalizacji centrum dystrybucji

Dotychczasowa analiza literatury pozwala na pewne usystematyzowanie czynników lokalizacji²⁴. W ujęciu holistycznym, czynniki lokalizacji możemy podzielić na trzy grupy: czynniki lokalizacji przemysłu, czynniki lokalizacji usług i czynniki lokalizacji węzłów sieci logistycznej²⁵ (rys. 1.8).



Rys. 1.8. Podział czynników lokalizacji

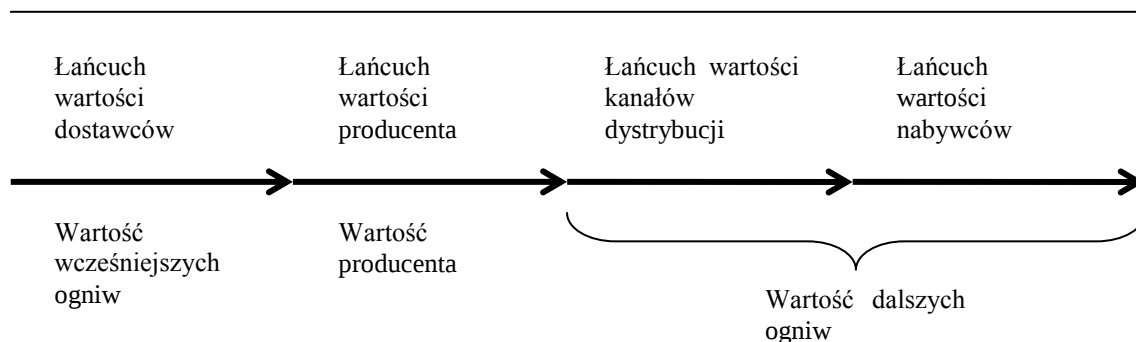
Źródło: Opracowanie własne.

Przyjęty podział znajduje swoje odzwierciedlenie w systemie wartości przedsiębiorstwa. Porter [2001 s. 95] wymienia następujące elementy jako składowe systemu wartości: łańcuch wartości dostawców, łańcuch wartości producentów, łańcuch wartości kanałów dystrybucji i łańcuch wartości nabywców (rys. 1.9).

²⁴ Ilećroć w dalszej części pracy zostanie użyte sformułowanie: „czynnik lokalizacji” jest ono traktowane jako kryterium oceny w procesie decyzyjnym.

²⁵ Węzły sieci logistycznej to: porty morskie, porty lotnicze, porty śródlądowe, centra logistyczne, centra magazynowe, terminale przeładunkowe, sortownie paczek, przystań wodna śródlądowa czy obiekty magazynowe itp. [Fechner 2010, s. 22-23].

System wartości zaproponowany przez Portera [2001] pozwala na sformułowanie tezy o słuszności przyjętego podziału. Z informacji zamieszczonych na rys. 1.9 wynika, że dostawcy, producenci oraz węzły sieci logistycznej odznaczają się inną wartością dla poszczególnych ogniw. W celu osiągnięcia zamierzonych wartości każdy z podmiotów łańcucha dostaw będzie kierował się innymi czynnikami wyboru lokalizacji.



Rys. 1.9. System wartości według Portera

Źródło: [Porter 2001, s. 95].

Grewal i Thai [2005, s. 9-11], wyróżnili kilka istotnych czynników mających wpływ na wybór najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji. Identyfikując wstępnie obszar geograficzny zwrócili uwagę na uzyskanie równowagi całego układu dystrybucji. W tym celu posłużyli się znaną metodą środka ciężkości (*Center of Gravity*)²⁶. Zdaniem Gerwal i Thai [2005, s. 10] największy wpływ na podjęcie decyzji lokalizacji centrum dystrybucji mają wpływ:

- odległość od odbiorców,
- dostępność i wykształcenie siły roboczej,
- dostępność usług komunalnych,
- podatki lokalne w szczególności od zapasów,
- drogowa infrastruktura transportowa,
- możliwości dalszej ekspansji,
- administracja celno-podatkowa i obowiązujące prawo w tym zakresie,
- standard życia w regionie.

²⁶ Metoda środka ciężkości pozwala na wyznaczenie równowagi układu przyjmując za kryterium optymalizacji wolumen przewożonego ładunku, odległość od odbiorcy czy jednostkowy koszt transportu. Patrz podrozdział 3.2.

Powyższe czynniki stanowią pierwszą grupę rozważanych kryteriów. Zastosowany algorytm matematyczny pozwolił na analizę drugiej grupy kryteriów. Jest ona bezpośrednio związana z dostępem, potencjalnego miejsca lokalizacji centrum dystrybucji, do portów morskich i lotniczych, które uczestniczą w międzynarodowej wymianie towarów. Analizując wtórne wyniki badań naukowych, Grewal i Thai [2005, s. 12] wyszczególnili osiem czynników, które ich zdaniem, mają największy wpływ na wybór portu morskiego lub lotniczego:

- wyposażenie w odpowiednie urządzenia obsługi,
- odsetek zaginionych lub uszkodzonych przesyłek,
- dogodność i niezawodność pobrań oraz dostaw,
- częstotliwość zawinięć lub odpowiednio lądowań do portu,
- sprawność działania portu morskiego lub lotniczego,
- położenie strategiczne²⁷,
- konkurencyjne opłaty i podatki,
- szybkość odpowiedzi na potrzeby i wymagania klientów.

Zaproponowany zestaw kryteriów jest jednym z przykładów kompleksowego ujęcia problematyki wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji. Dystrybucja produktów do klientów jest jedną z podstawowych działalności przedsiębiorstwa przemysłowego. W dzisiejszej dynamicznej i niestabilnej gospodarce, wielu badaczy nie docenia w pełni ważności analizowanych kryteriów najlepszej lokalizacji. Ko [2005, s.1-2] w celu wyznaczenia najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji wykorzystał metodę *Analytic Hierarchy Process* (AHP)²⁸. Wykorzystując badania ankietowe wyróżnił dwadzieścia najistotniejszych kryteriów ze względu na wymagania rynku (tab. 1.4). Badanie przeprowadzono na stu osiemdziesięciu osobach zajmujących stanowiska kierownicze. Ko podzielił czynniki lokalizacji na pięć podstawowych grup. Podkreśla jednocześnie, że najważniejszymi czynnikami są odległość do innych rynków zbytu (zapewnia to podmiotowi gospodarczemu większy obszar działania, w szczególności w początkowych fazach istnienia centrum dystrybucji) oraz liczba przedsiębiorstw prowadzących działalność konkurencyjną. Również poziom kongestii, sieć transportowa i dostępność transportu publicznego są ważnymi czynnikami z punktu widzenia wyboru najlepszej lokalizacji.

²⁷ Położenie strategiczne, na przykład w pobliżu skrzyżowania autostrad, centralne położenie w regionie.

²⁸ AHP – wielokryterialna metoda hierarchicznej analizy problemu. Patrz podrozdział 3.3.1

Tabela 1.4. Czynniki lokalizacji centrum dystrybucji wg Ko

Grupa czynników	Czynnik
Społeczeństwo	1. Gęstość zaludnienia i stopień urbanizacji 2. Dynamika dochodów ludności
Transport	3. Osiągnięcie korzystnej pozycji 4. Liczba publicznych środków transportu 5. Powierzchnia/liczba chodników 6. Sieć transportowa 7. Stopień zagęszczenia ruchu/kongestia 8. Dostępność transportu publicznego
Gospodarka	9. Liczba odbiorców/sklepów 10. Liczba przedsiębiorstw prowadzących działalność konkurencyjną 11. Odległość do innych rynków
Nieruchomości	12. Wielkość dostępnej powierzchni magazynowej 13. Dostęp/widzialność powierzchni magazynowej 14. Powierzchnia parkingu 15. Odległość do najbliższego parkingu 16. Łatwość dojazdu
Koszty	17. Koszt ziemi 18. Podatki 19. Koszty utrzymania budynków i usług komunalnych 20. Otoczenie prawne

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Ko 2005, s. 3].

Najnowsze badania w zakresie lokalizacji centrum dystrybucji dotyczą przypadków, w których nowe centrum dystrybucji ma powstać na terenie zurbanizowanym. Awasthi, Chauhan i Goyal [2011, s. 98] za najważniejsze czynniki wyboru lokalizacji centrum dystrybucji na terenach zurbanizowanych wymieniają:

- dostępność miejsca,
- bezpieczeństwo,
- multimodalność transportu,
- koszty lokalizacji,
- środowisko naturalne,
- odległość do odbiorców,

- odległość od dostawców,
- dostępność czynników produkcji,
- elastyczność względem miejskich regulacji,
- możliwość dalszej ekspansji²⁹,
- zapewnienie odpowiedniego poziomu obsługi posprzedażowej, serwis.

Czynnik te można podzielić na dwie zasadnicze grupy: tworzące zysk oraz kosztowe, związane jest to bezpośrednio z zastosowaną metodą rozwiązywania danego zagadnienia. Autorzy do wyznaczenia optymalnej lokalizacji wykorzystali teorię zbiorów rozmytych (*fuzzy sets theory*), co pozwoliło na analizę czynników kwantytatywnych i kwalitatywnych. Do czynników kosztowych należy zaliczyć koszty lokalizacji: koszt nabycia ziemi, zakupu i obsługi taboru do danych zadań transportowych ich leasing lub outsourcing, koszty kierowców oraz podatki. Środowisko – oddziaływanie przedsiębiorstwa na środowisko, do tych kosztów należy zaliczyć zanieczyszczenie powietrza czy hałas. Warto zaznaczyć, iż pod kategorią kosztową nie muszą koniecznie znajdować się czynniki policzalne, mogą to być również czynniki jakościowe.

Czynniki tworzące zysk, celem w ramach tych kryteriów jest maksymalizacja. Dostępność miejsca, czyli możliwość dojazdu do wybranej lokalizacji prywatnymi i publicznymi środkami transportu. Jest to związane z tendencją do ograniczania transportu prywatnego na rzecz publicznego na terenach silnie zurbanizowanych³⁰. Bezpieczeństwo związane jest z zapewnieniem należytej ochrony obiektu przed kradzieżami oraz aktami wandalizmu. Multimodalność dotyczy odległości potencjalnej lokalizacji do węzłów przeładunkowych różnych gałęzi transportu. Przepływ materiałów od dostawców do centrum dystrybucji może odbywać się z dowolnego punktu na świecie, zapewnienie dostępu do międzynarodowego portu morskiego lub lotniczego jest kluczowe. Odległość od dostawców i do odbiorców oznacza włączenie w nowo tworzony łańcuch dostaw możliwie największą liczbę dostawców i odbiorców oraz maksymalizowanie zysku wynikającego z integracji. Dostępność czynników produkcji, wiąże się bezpośrednio z możliwościami pozyskania odpowiedniej, wykwalifikowanej, kadry menadżerskiej, siły roboczej o umiarkowanych

²⁹ Możliwość dalszej ekspansji można rozumieć, jako możliwość rozbudowy centrum dystrybucyjnego lub możliwość ekspansji na nowe rynki. Oba elementy należy rozpatrzeć.

³⁰ Zagadnienie to dotyczy takich czynników jak kongestia, hałas, emisja CO₂, zapylenie. Tematyka szerzej opisana w rozprawie doktorskiej Iglińskiego [2009].

oczekiwaniach finansowych oraz surowców materialnych lub półfabrykatów. Elastyczność względem miejskich regulacji jest jednym z najważniejszych czynników.

Na terenach dużych aglomeracji miejskich wprowadza się regulacje dot. czasu dostaw do sklepów, ograniczeń wjazdu pojazdami o zbyt dużej dopuszczalnej masie całkowitej czy wysokiej emisji spalin. Nowo projektowane centrum dystrybucji na terenie zurbanizowanym musi szanować to prawo i elastycznie się do niego dostosowywać. Możliwość ekspansji, to stworzenie warunków do naturalnego wzrostu organizacji w przyszłości np. poprzez zakup gruntu pod rozbudowę. Cel takiego działania to strategiczne zabezpieczenie interesów spółki wynikające z możliwości wzrostu popytu. Zapewnienie odpowiedniego poziomu obsługi posprzedażowej, serwis, to czynnik mający wpływ na zapewnienie odpowiedniego poziomu obsługi klienta np. poprzez zagwarantowanie dostępu do części zamiennych. Czas reakcji jest w tym wypadku dodatkowym warunkiem ograniczającym, jaki należy analizować poszukując najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji.

Wybór najlepszej lokalizacji jest uzależniony od czynników, jakie zostaną poddane analizie. Ich dobór jest jednym z najważniejszych etapów analizy wstępnej. Czynniki te będą odzwierciedleniem preferencji decydenta, należy jednak podkreślić znaczenie roli analityka/konsultanta w całym procesie decyzyjnym. Doświadczenie analityka pozwoli na bieżącą weryfikację dobieranych czynników, możliwości pozyskania danych ilościowych lub odpowiednią klasyfikację danych jakościowych. Doświadczenie, znajomość zagadnienia oraz wyników badań naukowych, w szczególności dotyczących zastosowania najnowszych metod optymalizacji oraz badań dotyczących czynników mających wpływ na wybór lokalizacji pozwolą na podjęcie najlepszej decyzji oraz sprawne przeprowadzenie całego procesu decyzyjnego.

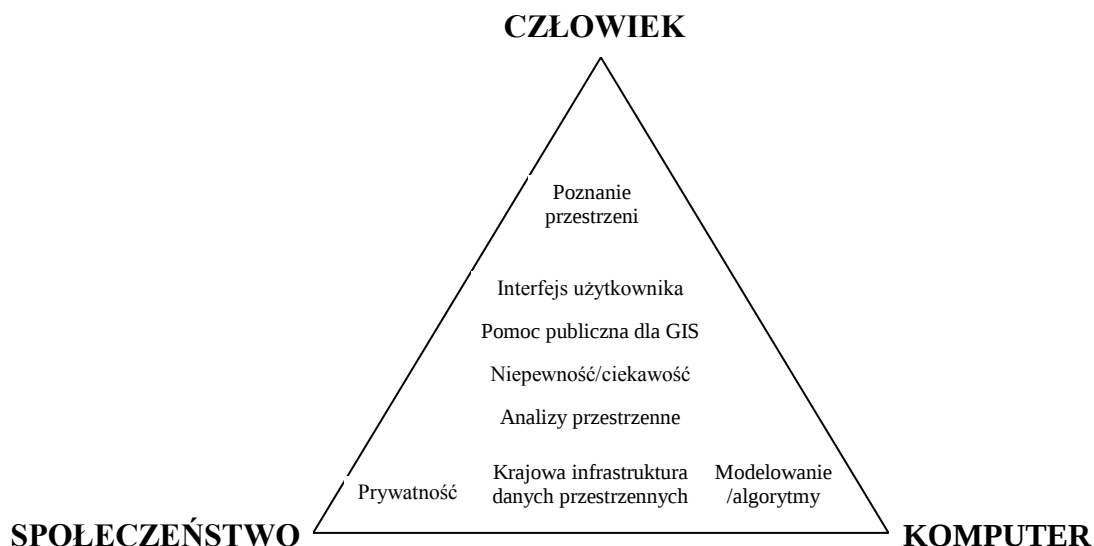
2. Systemy informacji geograficznej

2.1. Rozwój systemów informacji geograficznej

Podjmując dyskusję na temat systemów informacji geograficznej (systemów geoinformacyjnych) należy rozpocząć od etymologii związku frazeologicznego, jakim jest „system informacji geograficznej” (GIS – *Geographic Information Systems*). „Systemy informacji geograficznej to systemy komputerowe zdolne do gromadzenia, przechowywania, sortowania i wyświetlania geograficznych informacji przestrzennych, to znaczy danych identyfikowanych zgodnie z ich położeniem” [GSDI Assosiation 2009, s. 143]. Longley i in. [2008, s. 13] zdefiniowali GIS jako „systemy służące do opisu, wyjaśniania i przewidywania rozkładu przestrzennego zjawisk geograficznych”. W tym miejscu należy również zauważyć, że w literaturze przedmiotu pojęcia: system informacji geograficznej oraz system informacji przestrzennej uznawane są za synonimy. Rzadziej spotykane są określenia: systemy informacji o terenie lub systemy informacji o budynkach. „W takim ujęciu należy uznać, że pojęcia te wskazują na wybraną grupę systemów informacji przestrzennej odnoszącej się do map wielkoskalowych, ale także skupiają one ogół pojęć związanych z GIS” [Feltykowski 2013, s. 382]. Systemy wielkoskalowe, to systemy o dużym stopniu szczegółowości, wracając do przytoczonej wcześniej nomenklatury, będą to systemy o terenie lub budynkach, należy je zatem rozpatrywać jako podsystemy w systemach GIS. Jedną z cech charakterystycznych systemów informacji przestrzennej jest ich skalowanie. Skalowanie pozwala na przedstawienie danych dokładnych (wielkoskalowych), jako danych w mniejszych skalach, danych mniej dokładnych.

W literaturze przedmiotu skrót GIS jest interpretowany dwojako. Najczęściej jest rozumiany jako oprogramowanie z określonymi funkcjami oraz cyfrową prezentacją komponentów środowiska naturalnego. Rzadziej kojarzony jest z grupą użytkowników (społeczności) korzystających z systemów informacji geograficznej. Taka interpretacja skrótu GIS pojawiła się wraz rozwojem techniczno-technologicznym oraz ogólnie pojętym rozwojem społeczeństwa informacyjnego. W latach siedemdziesiątych XX wieku definicje systemów informacji geograficznej ograniczały się do specjalistycznego oprogramowania i komputerów do tego przeznaczonych. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku, wraz z rozwojem nauki pojawiły się głosy, aby zamiast jednego skrótu GIS używać kilku: GI – informacja geograficzna, *GISystems* – systemy geoinformacyjne,

GIScience – geoinformatyka oraz *GIStudy* – studiowanie GIS. Pojęciem, które trwale przyjęło się w literaturze to *GIScience*. Takie podejście pozwoliło na zdefiniowanie zakresu geoinformatyki, która jest połączeniem: podmiotu (człowieka), społeczeństwa oraz komputera (rys. 2.1). Badania z zakresu GIS dotyczą nie tylko specyfiki zjawisk przestrzennych ale również percepcji wyników przetworzonych danych przez użytkowników.



Rys. 2.1. Koncepcja pojęcia geoinformatyki (*GIScience*)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Goodchild 2010, s. 7].

Goodchild [2010, s. 13-16] ujął problem percepcji wyników w dwóch pojęciach: poznanie przestrzeni oraz interfejs użytkownika. Użytkownik, jako odbiorca przetworzonych danych przez aplikacje informatyczne powinien umiejętnie je interpretować, do czego konieczna jest wiedza i odpowiednie przeszkolenie. Jednocześnie, ze względu na dużą liczbę analizowanych i przedstawianych użytkownikowi danych powinien mieć on możliwość otrzymania informacji tylko potrzebnej i użytecznej na potrzeby podjęcia decyzji. Oprogramowanie wielkoskalowe pozwala otrzymać duży poziom szczegółowości, jednak w miarę analizowania większych struktur użytkownik powinien mieć możliwość sterowania poziomem agregacji danych. Decyzje makroekonomiczne wymagają ujęcia wysoce zgeneralizowanego, potrzeba zatem większej generalizacji danych, co ułatwi obliczenia oraz zapewni uzyskanie wyniku zbliżonego do najlepszego³¹. W przypadku tworzenia

³¹ Ze stwierdzeniem „uzyskanie wyniku zbliżonego do najlepszego” odnoszącego się do agregacji danych można polemizować. Wydawałoby się, że im więcej danych tym analiza dokładniejsza. Należy jednak

algorytmów matematycznych i modeli odwzorowania kartograficznego projektant powinien mieć na względzie relację *trade-off* uwzględniającą nakłady względem uzyskiwanych wyników.

Pierwszy system informacji geograficznej powstał w połowie lat sześćdziesiątych XX wieku i był to Kanadyjski System Informacji Przestrzennej – system pomiarów na mapach. Dalszy rozwój systemów geoinformacji zapewniły działania Amerykańskiego Urzędu Statystycznego – dla celów ewidencji i gromadzenia danych powstał pierwszy cyfrowy spis ulic. Duży wkład w rozwój systemów geoinformacji miała Brytyjska Eksperymentalna Jednostka Kartograficzna (*UK Experimental Cartography Unit*), która wraz z Brytyjską Służbą Geologiczną wydała pierwsze mapy komputerowe. Był to również czas, w którym nastąpił duży wzrost zainteresowania tego typu systemami, ze względu na możliwość gromadzenia danych i ich użyteczność przy podejmowaniu decyzji dotyczących np. obronności państwa.

Chęć uzyskania jak najlepszej informacji zapewniającej podjęcie dobrej decyzji, to poszukiwanie odpowiedzi. Poszukiwanie odpowiedzi to z kolei przyczyna działań człowieka. Systemy informacji geograficznej dostarczają wielu cennych informacji dla agend rządowych, podmiotów gospodarczych oraz, z czego niejednokrotnie nie zdajemy sobie sprawy, każdemu z nas³². Przykłady użyteczności systemów GIS zostaną omówione w podrozdziale 2.4.

Z punktu widzenia zarządzania państwem: redystrybucji środków finansowych, budowy infrastruktury komunikacyjnej aż po dopłaty bezpośrednie do produkcji rolnej dla rolników istotne jest posiadanie informacji, która pomoże w procesie podejmowania decyzji. Konieczne jest, aby odpowiednie agendy rządowe posiadały w swoich zasobach odpowiednie systemy informacji geograficznej. Modelowanie i algorytmy, między innymi metody analizy obrazów i rozpoznawania kształtów, mają swoje początki w służbach wojskowych rozpoznania i wywiadu. Praca pierwszych satelitów wojskowych i szpiegowskich z lat pięćdziesiątych XX wieku objęta była ścisłą

pamiętać o możliwościach konstruowania algorytmów obliczeniowych oraz mocy obliczeniowej wykorzystywanych maszyn. W wielu przypadkach konieczne jest budowanie uproszczonych modeli oraz wykorzystanie zagregowanych danych z uwagi na zbytnią złożoność analizowanego zjawiska.

³² Goodchild [2010, s. 13-16] porusza problematykę prywatności człowieka jako jednostki. Permanentna digitalizacja z jednej strony pomaga w zarządzaniu, z drugiej, pozwala poprzez agregowanie odpowiednich informacji, na inwigilację jednostki. Nie było to zamysłem tworzenia systemów geoinformacji, jednak wzrost zagrożenia terrorystycznego, występowanie sytuacji kryzysowych spowodowało, że znajdują się one w sferze zainteresowań rządów i jednostek odpowiedzialnych za bezpieczeństwo obywateli.

tajemnicą. Odtajnianie tych danych rzuca współcześnie światło na znaczenie służb szpiegowskich w rozwoju GIS [Longley i in. 2008, s. 17].

Pojęcie *GIScience* ma kluczowe znaczenie dla rozważań nad przydatnością systemów geoinformacji dla podejmowania decyzji. Mając na uwadze temat niniejszej dysertacji analiza systemów informacji geograficznej, przedstawiona w kolejnych podrozdziałach, poświęcona jest głównie ich użyteczności pod względem wykorzystania dla celów lokalizacji obiektów. Systemy informacji geograficznej pozwalają między innymi na analizę kosztów transportu z centrum dystrybucji do punktów dostaw.

Rozważania nad użytecznością systemów informacji geograficznej należy rozpocząć od ich cech charakterystycznych. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć [Longley i in. 2008, s. 12]:

- wielowymiarowość – aby określić położenie należy znać dwie współrzędne (x i y lub długość i szerokość geograficzną),
- wielkość – baza danych geograficznych może łatwo osiągnąć pojemność terabajta (tysiąc gigabajtów),
- możliwość prezentacji na różnych poziomach rozdzielczości – można użyć mapy o skali np. 1:1 000 000 lub 1:25 000,
- możliwość różnej prezentacji komputerowej danych, co ma wpływ na stopień skomplikowania analizy i późniejszą percepcję wyników,
- konieczność prezentacji na płaskiej powierzchni (patrz podrozdział 2.2),
- wymóg stosowania specjalnych metod analizy (patrz podrozdział 2.2),
- złożoność i duży koszt uaktualniania, mimo że wiele danych ma charakter statyczny,
- przedstawianie informacji geograficznej w formie mapy, co wymaga przetwarzania dużej ilości danych.

Analizując zjawiska przestrzenne można wyróżnić pięć obszarów, którym naukowcy zajmujący się systemami geoinformacyjnymi poświęcają najwięcej uwagi [Longley i in. 2008, s. 39]:

- racjonalne zarządzanie zasobami na podstawie przyjętych kryteriów, np. odpowiednia organizacja usług komunalnych lub dobranie właściwych dawek nawozów w rolnictwie,

- wykrycie przestrzennego rozkładu cech, np. zmienność koncentracji składników pokarmowych w glebie,
- rozpoznanie cech wspólnych i różnicujących poszczególne obszary oraz cech będących unikatowymi dla danego miejsca, np. regionalne i lokalne zróżnicowanie występowania nazwisk,
- zrozumienie procesów działających w środowisku przyrodniczym, np. erozja wybrzeży morskich, akumulacja w deltach rzek, zmiany w strukturze zamieszkania,
- wypracowanie strategii w zarządzaniu środowiskiem naturalnym, np. w parkach narodowych.

Obszary zainteresowań naukowców zajmujących się GIS wskazują na fakt, że systemy geoinformacji mają służyć analizie rzeczywistych danych przestrzennych, a powstające aplikacje mają być narzędziem dla osób zajmujących się problemami naukowymi i zagadnieniami natury praktycznej. Takie podejście podyktowane jest funkcjami GIS. W literaturze przedmiotu [Wolny i Sadecki 2011; Litwin i Myrda 2005; Longley i in. 2008], można znaleźć różne przykłady funkcji, jakie pełnią systemy geoinformacyjne. Do podstawowych funkcji systemów geoinformacji należy zaliczyć:

- wprowadzanie danych,
- generalizację danych,
- modelowanie,
- przetwarzanie danych, analizę i prezentację wyników,
- zarządzanie danymi, w tym ich przechowywanie i zasady udostępniania.

Wprowadzanie danych obejmuje swoim zakresem takie elementy jak:

- pozyskiwanie danych,
- wykrywanie błędów oraz redagowanie danych przestrzennych,
- kontrolowanie danych pod względem formalnym,
- interaktywna edycja obiektów,
- wykrywanie błędów danych opisowych i ich sprawdzenie pod względem formalnym,
- grupowanie i modyfikację grup danych.

Pozyskiwanie danych, jest jednym z najważniejszych procesów wprowadzania danych. Na ten proces mogą składać się między innymi:

- pomiary terenowe,

- trójwymiarowa digitalizacja fotogrametryczna,
- transfer danych z innych systemów,
- digitalizacja map,
- skanowanie i wektoryzacja map,
- wprowadzanie danych opisowych.

Longley i in. [2008, s. 41] wymieniają jako podstawowe funkcje: opracowywanie danych, pomiary kartometryczne oraz monitoring danych. Wolny i Sadecki [2011], w prezentowanym podziale funkcji systemów geoinformacji, zawarli te elementy w funkcji wprowadzania danych. Analogiczne podejście, do funkcji wprowadzania danych, prezentują Litwin i Myrda [2005, s. 35-38].

Generalizacja to skalowalność mapy, która pozwala na szczegółową analizę małych obszarów, jak również poprzez użycie algorytmów optymalizacyjnych na generalizację i agregację danych, co ostatecznie wpływa na możliwość ich przedstawienia na mapach wielkoskalowych.

Model jest najważniejszym elementem systemu geoinformacji. Jest to uporządkowany zbiór obiektów i procesów w cyfrowym środowisku komputera, czyli uporządkowany cyfrowy opis służący do reprezentacji wybranych cech świata rzeczywistego.

Przetwarzanie danych umożliwia konwersję i zmianę struktury danych, między innymi:

- automatyczne i interaktywne łączenie baz danych,
- generowanie warstw na podstawie siatek punktów terenowych,
- wygładzanie linii poprzez aproksymację funkcji,
- obliczanie współrzędnych w różnych odwzorowaniach kartograficznych,
- analizę przestrzenną,
- nakładanie kolejnych warstw,
- transformację danych wektorowych,
- agregację obiektów,
- wyznaczanie pola części wspólnej obiektów czy analizę sieciową.

Zarządzanie danymi to zespół procesów odnoszący się do systemu informatycznego. Obejmuje między innymi takie zadania jak:

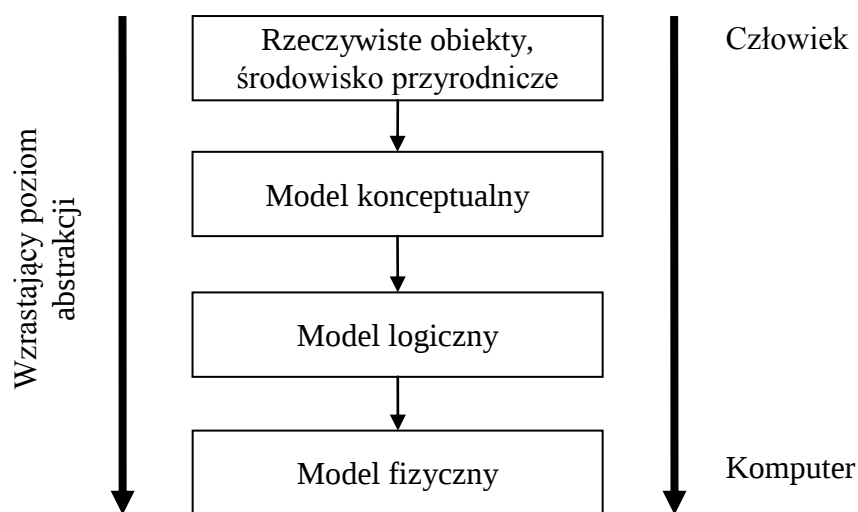
- zabezpieczenie danych przez dostępem osób nieuprawnionych oraz związanych z bezpieczeństwem ich przechowywania,

- sprawdzenie poprawności odtwarzanych zasobów
- archiwizację przetwarzanych danych.

Istotnym elementem zarządzania danymi jest również ich udostępnianie. To określenie sposobu:

- wyświetlania rysunków na monitorach graficznych,
- generowania wydruków na ploterach i drukarkach,
- generowania zestawień i wykresów,
- przekazywania danych w ustalonych formatach zapisu,
- udostępniania danych w Internecie,
- sporządzania map zgodnie z wymaganiami użytkownika.

Fundamentalnym zagadnieniem modelowania jest poziom abstrakcji. W *GIScience* rozróżnia się cztery poziomy abstrakcji (rys. 2.2). Pierwszy poziom to istniejąca rzeczywistość złożona z obiektów ją tworzących. Drugi poziom to model konceptualny, dotyczy najczęściej obiektów i procesów istotnych dla odzwierciedlenia badanego zjawiska – koncepcja.



Rys. 2.2. Poziomy abstrakcji związane z modelami danych GIS
Źródło: [Longley i in. 2008, s. 185].

Model logiczny to model służący do rozwiązania zdefiniowanego wcześniej problemu, najczęściej w łączności z odpowiednią prezentacją graficzną otrzymanych wyników. Model fizyczny to cyfrowy zapis wyników w plikach o odpowiednim, wcześniej zdefiniowanym formacie.

Na przestrzeni lat stworzono wiele modeli (tab. 2.1) danych przestrzennych GIS, bardzo często wykorzystując już istniejącą bazę, tworzone są modele szczegółowe do rozwiązywania specyficznych problemów, np. sieci wodociągowych, rozmieszczenia baz pogotowia ratunkowego, straży pożarnej, planowania przejazdów pojazdów transportujących pieniądze. Są one wszystkie oparte w pewien sposób na konceptualnych modelach dyskretnych obiektów i pól ciągłych oraz modelach logicznych wektorowym i rastrowym [Longley i in. 2008, s. 185].

Tabela 2.1. Modele danych przestrzennych stosowane w GIS

Model danych	Przykłady zastosowań
Rastrowa grafika/grid	Przetwarzanie obrazu i prosta analiza macierzy pikseli. Analiza przestrzenna i modelowanie w szczególności zasobów środowiska przyrodniczego
Wektorowy, topologiczny	Liczne operacje na geometrycznych elementach wektorowych w kartografii. Analiza zasobów środowiska przyrodniczego i społeczno-ekonomicznego oraz modelowanie.
Sieciowy	Analiza sieciowa w transporcie, hydrologii i zarządzaniu infrastrukturą
Nieregularna sieć trójkątów (TIN)	Obrazowanie, analiza i modelowanie powierzchni terenu
Obiektowy	Liczne operacje na wszystkich typach elementów (raster/wektor/TIN itp.) we wszystkich typach zastosowań

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Longley i in. 2008, s. 186].

Longley i inni [2008, s. 186] zdefiniowali, oprócz wymienionych modeli (tab. 2.1), projektowanie wspomagane komputerowo CAD oraz proste programy graficzne. Obecnie nie są już one używane z uwagi na liczne ograniczenia, m. in. problem zapisu współrzędnych. Programy graficzne i CAD korzystają z współrzędnych rysunku, a nie geograficznych.

Raster i wektor to najczęściej wykorzystywane metody pozwalające na reprezentację cyfrową danych przestrzennych. Obie metody dobrze nadają się do kodowania pól i obiektów dyskretnych. W przypadku danych rastrowych przestrzeń podzielona jest na prostokątne figury geometryczne (najczęściej kwadraty), którym przypisuje się cechy lub atrybuty. W ten sposób możemy odwzorowywać np. gęstość zaludnienia czy obszar

akwenu wodnego. Piksele, bo tak nazywane są pola podstawowe, wzięły swoją nazwę od angielskich słów: *picture elements*, co oznacza elementy obrazu.

Drugi sposób przestrzennej reprezentacji danych to wykorzystanie wektorów. W tej metodzie wykorzystuje się punkty, najczęściej współrzędne geograficzne, tworzą one łańcuch, który po połączeniu odcinkami (wektorami) ogranicza nam badane zjawisko lub obszar. Warto pamiętać, że im większa liczba punktów tym dokładniejsza reprezentacja badanego zjawiska. Ponadto wektor częściej wykorzystywany jest do kodowania wartości dyskretnych, które lepiej odzwierciedlają zagadnienia społeczno-gospodarcze.

Model sieciowy jest rozwinięciem metody wektorowej. Model ten wykorzystywany jest głównie do badania zjawisk gospodarczych o przepływowym charakterze. Modele sieciowe dzieli się na promieniowe, często spotykana nazwa: dendrytyczne, oraz pętlowe. Pierwsze wykorzystuje się do badania zjawisk, w których jednoznacznie został określony kierunek przepływu badanego zjawiska. Model pętlowy służy do badania przepływów o charakterze nieregularnym. Najczęściej z użyciem tych modeli odzwierciedlone są sieci: wodociągowe, energetyczne i sieć transportowa, czyli węzły i łuki.

Modele TIN (*Triangulated Irregular Network*) najczęściej wykorzystywane są do tworzenia i prezentacji danych przestrzennych z użyciem nieregularnej sieci trójkątów. Pozwalają one na uzyskanie trójwymiarowego modelu powierzchni ziemi. Ten model najczęściej wykorzystywany jest do odzwierciedlenia rzeźby terenu lub tworzenia map z warstwami geologicznymi.

Modele obiektowe łączą w sobie zarówno model rastrowy, wektorowy, sieciowy, jak również TIN. Wszystkie pozwalają na dokonywanie analiz na danych geometrycznych, w odróżnieniu do nich, modele obiektowe, skupiają się na zbiorach obiektów przestrzennych i ich wzajemnym oddziaływaniu. „Obiekt jest podstawową, najmniejszą jednostką obiektowego modelu danych i składa się ze wszystkich właściwości, które opisują jego stan oraz metod, które opisują jego zachowanie” [Longley i in. 2008, s. 199].

Interdyscyplinarność systemów informacji geograficznej powoduje, że wartość dodana jest istotna i pomocna do predykcji np. zjawisk przyrodniczych czy zachowań konsumentów. Możliwość szybkiego przetwarzania dużej ilości danych pozwala na uzyskanie lepszych rezultatów. Obecnie systemy informacji geograficznej są powszechnie używane w transporcie. Podejmowanie decyzji o przebiegu dziennych tras

pojazdów dystrybucyjnych odbywa się automatycznie z użyciem narzędzi informatycznych. Wynikiem analizy jest np. mapa dla kierowcy z zaznaczonym przebiegiem trasy oraz pełnym harmonogramem uwzględniającym przerwy w pracy wynikające z Ustawy o transporcie drogowym.

2.2. Lokalizacja, współrzędne geograficzne

Wyznaczenie właściwego położenia obiektu na powierzchni ziemi znajduje się od wieków w kręgu zainteresowań ludzkości. Już starożytni Egipcjanie, Grecy, Rzymianie i Majowie interesowali się astronomią i z zadziwiającą precyzją, dla naukowców naszych czasów, potrafili określać lokalizację budowli kultu religijnego. Rzymianie budowali akwedukty, drążyli kanały przez góry, które dostarczały wodę pitną do miast. Zadziwiające jest to, że dokonali tego wszystkiego bez użycia technologii GPS i metod lokalizacji obiektów powszechnie używanych w systemach informacji geograficznej.

Wraz z rozwojem ekonomiczno-społecznym ludzkości, a w szczególności rozwojem piśmiennictwa, wzrastała również konieczność lokalizowania obiektów. Posługiwanie się współrzędnymi geograficznymi, tj. długością i szerokością geograficzną, byłoby zbyt uporczywe w życiu codziennym. Niemniej, jak autor wykaże w dalszej części pracy, służą one do analiz strategicznych i wyznaczania lokalizacji obiektów. W celu usprawnienia np. dostarczania poczty, lokalizowania gruntów pojawiły się różnego rodzaju rejestry i sposoby lokalizowania obiektów (tab. 2.2). W większości państw na świecie rejestry różnią się między sobą, ich przeznaczenie jest również różne, mają jednak pomóc użytkownikom w wykonywaniu codziennych obowiązków.

Najczęściej używanymi rejestrami ułatwiającymi lokalizację obiektu jest kod pocztowy. Adresując listy czy kartki okolicznościowe odruchowo wpisujemy kod pocztowy, nie zastanawiamy się ani skąd się wzięły kody pocztowe, ani jak długo funkcjonują

W Polsce system kodów pocztowych, poprawna nazwa to Poczty Numer Adresowy³³ (PNA), wprowadzono 1 stycznia 1973 roku Zarządzeniem nr 89 Ministra

³³ W Polsce obowiązuje pięciocyfrowy PNA, oddzielony myślnikiem po pierwszych dwóch cyfrach. Zgodnie z ww. Zarządzeniem nr 89, jest to integralna część adresu. Pierwsza cyfra oznacza okręg, wyznaczono go zgodnie z ruchem wskazówek zegara, gdzie 0 oznacza okręg warszawski. Druga cyfra oznaczała wówczas miasto wojewódzkie lub strefę kodową wzdłuż głównego szlaku komunikacyjnego. Trzecia cyfra to przyporządkowanie do dawnej rozdzielnicy (obszar powiatu), a ostatnie dwie wskazują na placówkę pocztową i obszar jej działania. Mimo, że zmianie uległ podział administracyjny, zamykane są kolejne urzędy pocztowe, zmianom nie ulegają kody pocztowe – jest to zgodne z przyjętą zasadą

Tabela 2.2. Przykłady systemów lokalizacji

System lokalizacji	Zasięg	Metryczny	Przykład	Rozdzielczość przestrzenna
Nazwa geograficzna	zmienny	nie	Mielno; Warszawa	zależy od obszaru
Adres pocztowy	światowy	nie	ul. Wolna 31 UP Częstochowa	zależy od gęstości zaludnienia
Kod pocztowy	krajowy	nie	61-875 Poznań	dopasowany do liczby skrzynek pocztowych
Telefoniczny numer kierunkowy	krajowy	nie	61; 22	zmienna
System katastralny	administracja lokalna	nie	działka nr 102/2; obręb ewidencyjny Lisiec Mały	dopasowana do najmniejszej działki
National Grid of Great Britain	Anglia, Szkocja, Walia	nie	TL683365	do 100 m
Global Location Number (GLN)	światowy	nie	0614141000016	wskazanie bezpośredniej lokalizacji, miejsca przeznaczenia np. biurko (komercyjna baza ogólnoswiatowa GS1)
Universal Transverse Mercator	strefa południkowa do 6° długości geograficznej na półkuli N i S	tak	563146E, 4356732N	nieskończenie duża precyzja
Szerokość i długość geograficzna	światowy	tak	52°24'30,60"N 16°56'03,40"E	nieskończenie duża precyzja

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Longley i in. 2008, s. 118].

Łączności z 17 listopada 1972 roku w sprawie wprowadzenia pocztowych numerów adresowych i zmiany ordynacji pocztowej [Poczta Polska 2012].

maksymalnego ograniczania zmian kodów przez Poczta Polska S.A jako operatora systemu kodów pocztowych. Taka zasada pozwala na niwelowanie utrudnień dla klientów, mieszkańców, administracji oraz błędów doręczeń przesyłek i przekazów.

Ciekawym, ze względu na swoją niepowtarzalność w skali światowej jest Globalny Numer Lokalizacyjny (GLN – *Global Location Number*) zaproponowany przez organizację GS1 [ILiM 2008, s. 52; ILiM 2007]. Jest to trzynastocyfrowy numer pozwalający na identyfikację lokalizacji lub adresów firm. Numer ten powstał z myślą o międzynarodowych firmach produkcyjnych i handlowych, które współpracują z licznymi dostawcami i odbiorcami, a większość informacji wymieniają między sobą z użyciem systemów elektronicznej wymiany danych (EDI). System pozwala na kodowanie adresu partnerów handlowych, magazynów itp. z wykorzystaniem jednego, niepowtarzalnego numeru. Taki numer, umieszczony np. na opakowaniu zbiorczym pozwala jednoznacznie określić miejsce przeznaczenia danego towaru. Niepowtarzalność numeru w skali światowej to jednak za mało, aby wykorzystać taką informację do planowania lokalizacji. Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność uzyskania dostępu do baz danych organizacji GS1. Następnie adres zawierający np. ulicę, numer posesji, kod pocztowy, nazwę miasta i kraj należy poddać dalszym przekształceniom, między innymi geokodowaniu, w celu otrzymania danych umożliwiających dokonywanie obliczeń matematycznych. GLN w procesie wyznaczania lokalizacji obiektów jest numerem mało użytecznym.

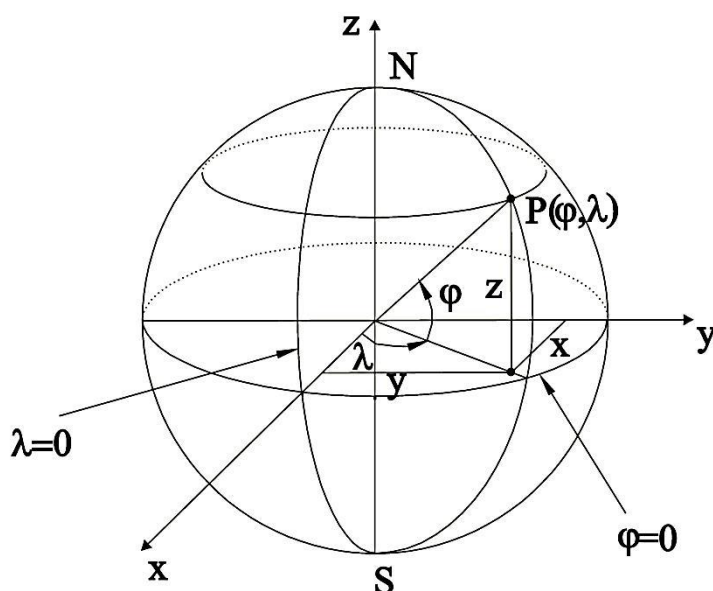
Najczęściej wykorzystywanym systemem lokalizacji na świecie jest układ współrzędnych geograficznych. Reprezentowany jest on przez dwie wielkości: długość i szerokość geograficzną. Podstawowymi elementami całego układu są południki i równoleżniki. Południki utworzone są przez płaszczyzny przechodzące przez oś obrotu (krótszą oś) Ziemi. „Za punkt odniesienia i jednocześnie południk zero wyznaczono południk przechodzący przez Królewskie Obserwatorium w Greenwich w Wielkiej Brytanii” [Longley i in. 2008, s. 122]³⁵.

Wyznaczenie południków polega na utworzeniu płaszczyzny, która musi przechodzić przez oś obrotu ziemi, trudniejsze jest wyznaczenie szerokości geograficznej czyli równika i równoleżników. Konieczna jest znajomość spłaszczenia ziemi, ponieważ ziemia nie jest kulą tylko elipsoidą obrotową. Różnica pomiędzy kulą, a elipsoidą jest wyznaczana przez spłaszczenie. Spłaszczenie to stosunek skrócenia krótszej z osi do dłuższej. $f = (a - b)/a$, gdzie: f – spłaszczenie, a – dłuższa oś, b – krótsza oś (w przypadku Ziemi, oś obrotu). Na potrzeby obliczeń kartometrycznych jest to

³⁵ Od tego południka, w kierunku wschodnim i zachodnim jest mierzona długość geograficzna w mierze kątovej. Każdy kolejny południk jest oddalony od poprzedniego o jeden stopień. Stopnie dzielą się na 60 minut, a minuta dzieli się na 60 sekund.

najlepsze możliwe odwzorowanie powierzchni. Geograf czy geolog powie, że Ziemia nie jest elipsoidą, a geoidą³⁶, związane jest to z występującą zmiennością rzeźby terenu na powierzchni. Dokładne, pełne odwzorowanie powierzchni nie jest możliwe do uzyskania.

„W pracach geodezyjnych i kartograficznych, w tym również w nawigacyjnych systemach satelitarnych, za model Ziemi przyjmuje się powierzchnię określoną matematycznie, zwaną elipsoidą odniesienia” [Januszewski 2007, s. 76]. Obecnie, przy obliczeniach kartometrycznych, powszechnie stosowanym standardem jest elipsoida WGS84 (World Geodetic System of 1984). Zgodnie z tym standardem elipsoida WGS84 ma dłuższą półoś równą 6 378 173 metrów, a jej spłaszczenie wynosi 1:298,257 [Longley i in. 2008, s. 122–123]. Tak wyznaczona elipsoida pozwala na wyznaczenie szerokości geograficznej. Wyznaczenie szerokości geograficznej na powierzchni elipsoidy odbywa się poprzez narysowanie płaszczyzny prostopadłej do elipsoidy oraz pomiar kąta pomiędzy tą płaszczyzną a płaszczyzną równika. Szerokość geograficzna przyjmuje wartości od 0° do 90° w kierunku północnym (międzynarodowe oznaczenie „N”) oraz od 0° do 90° w kierunku południowym (międzynarodowe oznaczenie „S”), (rys. 2.4).



Rys. 2.4. Pomiary współrzędnych geograficznych

Źródło: [The non-hub story 2014a].

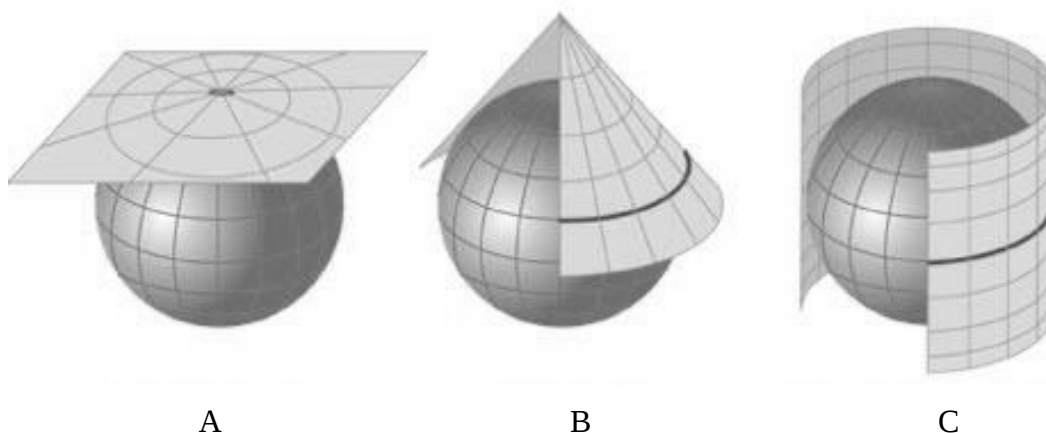
³⁶ Geoida – teoretyczna powierzchnia Ziemi. Odpowiada przedłużonej pod lądami powierzchni mórz i oceanów w stanie spoczynku [Encyklopedia Powszechna 2009, s. 316].

Przy wykorzystywaniu długości i szerokości geograficznej do obliczeń odległości należy pamiętać, o tym, że im bliżej biegunów tym odległości pomiędzy poszczególnymi równoleżnikami są mniejsze. Ta sama sytuacja dotyczy południków. Na równiku południki są oddalone od siebie o tę samą odległość, czyli o ok. 111 kilometrów, w kierunku biegunów zbiegają się, a odległość jest coraz mniejsza.

Nowoczesne techniki wizualizacji pozwalają na tworzenie dynamicznych odwzorowań przestrzennych – możliwe jest tworzenie odwzorowań elipsoidy, modelowanie zjawisk przyrodniczych, symulowanie sytuacji kryzysowych czy koordynowanie działań wojsk w czasie konfliktów zbrojnych [Knetki i Stempień 2010]. Wymagane jest jednak specjalistyczne oprogramowanie i dość zaawansowana wiedza umożliwiająca interpretację otrzymanych wyników. Dla wielu użytkowników mogłoby być to mało czytelne, gdyż wymaga umiejętności przestrzennego myślenia. Dodatkowym utrudnieniem byłaby konieczność prezentacji map z wykorzystaniem odwzorowania małoskalowego (map bardzo ogólnych w skali 1:500 000 lub kilku milionów), co znacznie utrudniałoby pracę. Odwzorowanie małych obszarów jako powierzchni geoidy nie jest konieczne, dlatego stosujemy wyżej wspomniane odwzorowanie na powierzchniach płaskich.

W praktyce najczęściej stosuje się trzy typy pomocniczej powierzchni rzutowania ułatwiające tworzenie odwzorowań kartograficznych [Longley i in. 2008, s. 125]:

- odwzorowanie azymutalne (*planar projections*), które powstaje przez rzutowanie powierzchni Ziemi na płaską powierzchnię,



Rys. 2.5. Odwzorowania kartograficzne. A – płaskie, B – stożkowe, C – walcowe

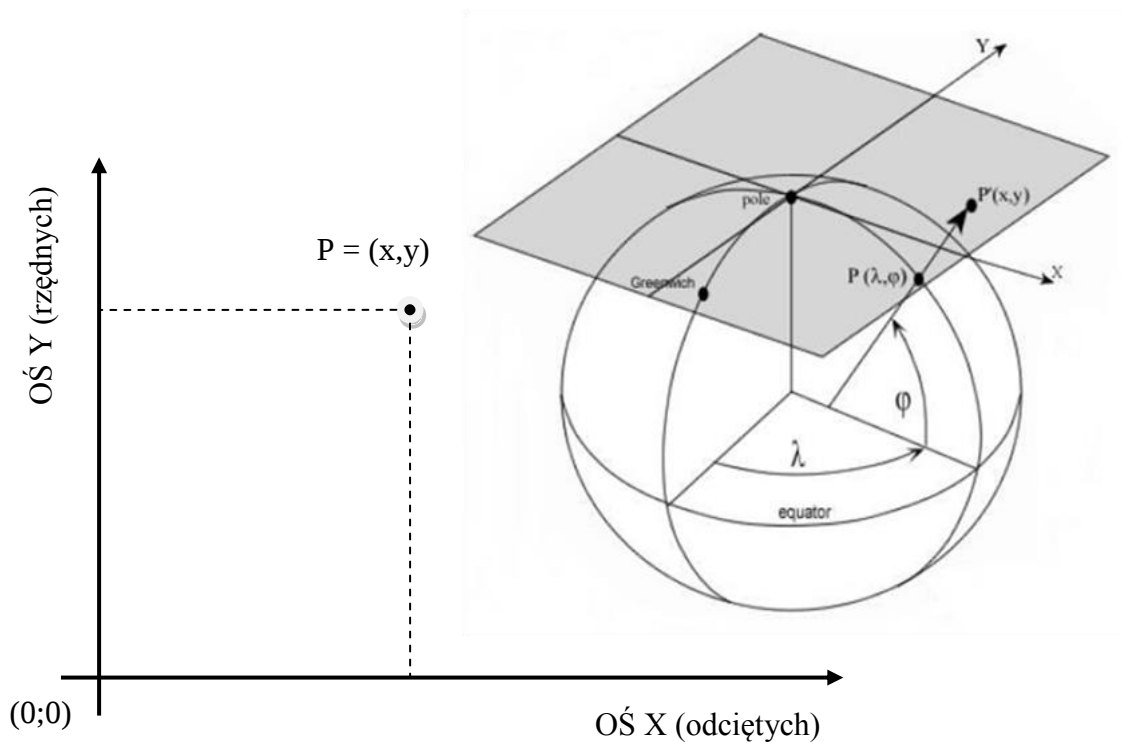
Źródło: [Wydawnictwo WIKING 2008].

- odwzorowanie stożkowe (*conic projections*), które powstaje przez rzutowanie powierzchni Ziemi na pobocznicę stożka,
- odwzorowanie walcowe (*cylindrical projections*), które powstaje w wyniku rzutowania powierzchni Ziemi na pobocznicę walca (rys. 2.5).

Układ południków i równoleżników umożliwia dokonywanie obliczeń kartometrycznych. Zastosowanie przekształceń matematycznych pozwala na odwzorowanie powierzchni geoidy w prostokątnym układzie współrzędnych (rys. 2.6). Odwzorowanie kartograficzne można przedstawić jako parę równań matematycznych, gdzie współrzędne x i y są funkcją miar kątowych:

$$x = f(\lambda, \varphi)$$

$$y = f(\lambda, \varphi)$$



Rys. 2.6. Kartezjański układ współrzędnych. Położenie punktu odniesione jest do początku układu współrzędnych

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Maciak 2006].

W celu zamiany współrzędnych geograficznych (λ – długości geograficznej, φ – szerokości geograficznej) na współrzędne prostokątne płaskie (x, y) wykorzystuje się odwzorowania Merkatora:

$$x = \lambda,$$

$$y = \ln \tan \left[\frac{\varphi}{2} + \frac{\pi}{4} \right].$$

Możliwa jest również zamiana w drugą stronę. Współrzędne płaskie możemy zamienić na współrzędne geograficzne, w tym celu korzystamy z następujących przekształceń:

$$\lambda = x,$$

$$\varphi = 2 \arctan e^y - \frac{\pi}{2}.$$

Powyższe przekształcenia stosuje się w systemach geoinformacyjnych, np. przy tworzeniu map małoskalowych dla danego, ograniczonego obszaru. Odwzorowania zniekształcają obraz Ziemi. Istotne jest, aby w zależności od potrzeby stosować mapy odzwierciedlające żadaną cechę. Mapy można podzielić na:

- wiernokątne (*conformal*). Odwzorowanie to pozwala na zachowanie kształtów nawet małych obiektów na powierzchni Ziemi. Skala zmienia się jednakowo dla współrzędnych x i y ,
- wiernopowierzchniowe (*equal area*), w tym odwzorowaniu powierzchnia zmierzona na mapie odpowiada wielkością rzeczywistej powierzchni Ziemi.

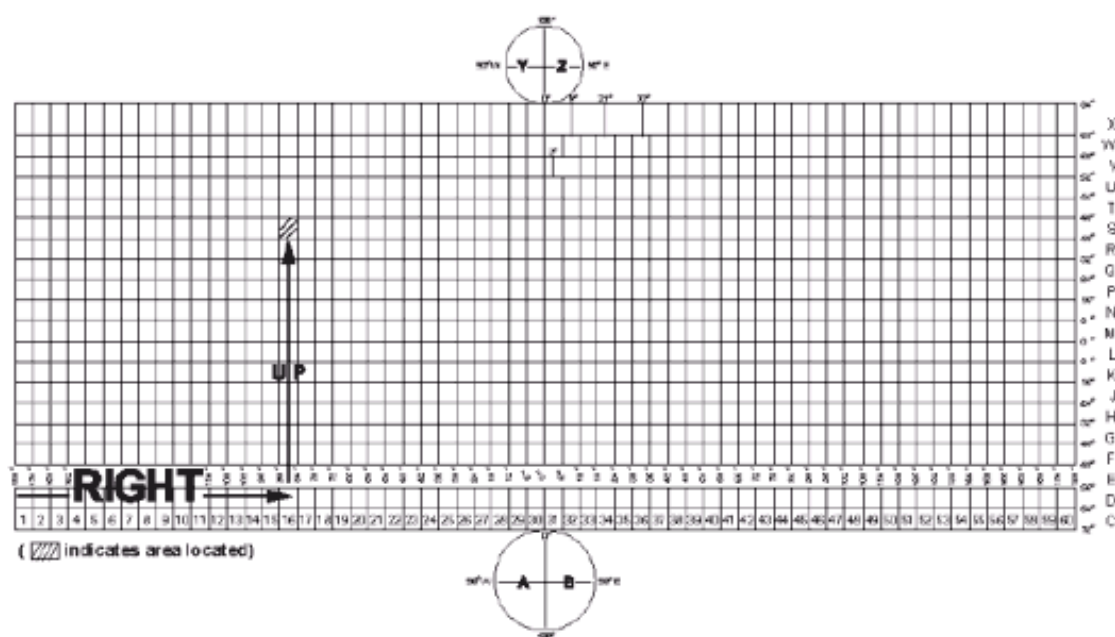
Poprawne odzwierciedlenie kątów ma duże znaczenie w nawigacji, natomiast poprawność odwzorowania powierzchni jest niezwykle istotna przy pomiarach powierzchni, np. areалу, powierzchni lasów itp.

Lokalizatory GPS lub mapy cyfrowe podają lokalizację w jednym z trzech najczęściej stosowanych formatów: WGS84, DMS lub GPS. WGS84 to zapis długości (*longitude*) i szerokości (*latitude*) geograficznej np. 52.2296756, 21.012228700000037. DMS składa się z stopni, minut i sekund np.: N: 52°13'46", E: 21°00'44". Na zapis geokoordynaty GPS, składają się stopnie i minuty np.: N: 52°13.767', E: 21°0.733'. W celu przeprowadzenia obliczeń matematycznych najlepszym formatem zapisu danych są geokoordynaty WGS84, ponieważ nie wymagają dodatkowych przekształceń w celu zmiany stopni i minut na wartości liczbowe.

Należy pamiętać, że wykonywana w systemie geoinformacyjnym analiza danych zapisanych w układzie współrzędnych geograficznych bez ich zmiany do

współrzędnych płaskich może prowadzić do dużych błędów w pomiarach odległości i powierzchni [Longley i in. 2008, s. 127].

W celu uzyskania interoperacyjności wojsk NATO, stworzono układ współrzędnych UTM (*Universal Transverse Mercator*), jest to zmodyfikowane odwzorowanie Gaussa-Krügera. System stosowany jest dla powierzchni kuli ziemskiej pomiędzy 84° szerokości geograficznej północnej i 80° szerokości geograficznej południowej. Takie ograniczenie podyktowane jest brakiem możliwości odwzorowania stref podbiegunowych bez ich dużego zniekształcenia, rozwinięciem UTM na strefy podbiegunowe jest UPS (*Universal Polar Stereographic*) (rys. 2.7). Układ współrzędnych umożliwia obliczenie położenia punktu w metrach, co znacznie ułatwia obliczanie odległości pomiędzy punktami położonymi w bardzo małej odległości. Geokoordynaty systemu UTM posiadają bardzo przystępny zapis. Pierwsza współrzędna jest sześciocyfrowa, a druga siedmiocyfrowa (tab. 2.2). Dodatkowo zapis wzbogacono o literę określającą półkulę, a często również numer strefy.



Rys. 2.7. Siatka UTM i UPS

Źródło: [GlobalSecurity 2001].

W rzeczywistości gospodarczej można spotkać wiele systemów lokalizacji miejsc i adresów. Systemy te najczęściej były i są tworzone z myślą o organizacji życia społecznego, często specyficzne, opracowane dla konkretnej grupy odbiorców lub w celu przyspieszenia procesów gospodarczych (GLN). Podjęcie decyzji o wyborze lokalizacji centrum dystrybucji musi zostać poparte obliczeniami, które będą

umożliwiały dokonywanie symulacji kosztów dystrybucji z danego punktu. Obliczenia takie, możliwe są tylko z wykorzystaniem współrzędnych geograficznych lub płaskiego układu współrzędnych UTM (*Universal Transverse Merkator*). Obliczenia pozwolą na wybór odpowiedniego obszaru lokalizacji centrum dystrybucji.

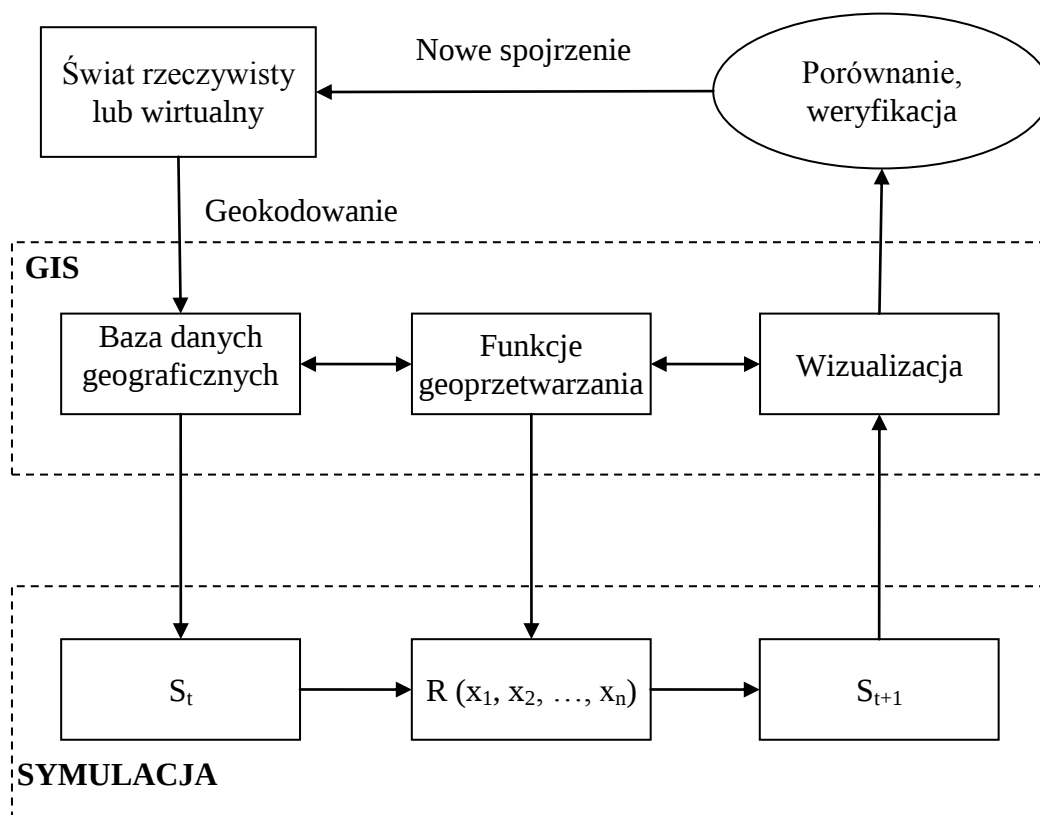
2.3. Modelowanie z wykorzystaniem GIS

Modelowanie kartograficzne jest metodą przetwarzania danych geograficznych za pomocą sekwencji funkcji analizy przestrzennej [Urbański 1997, s. 101]. Sekwencja funkcji pozwala na łączenie zbiorów danych i ich atrybutów. Wynikiem tych przekształceń jest model kartograficzny danego obszaru. Wykorzystanie systemów informacji geograficznej znajduje coraz większe zastosowanie, nie tylko przy reprodukcji kartograficznej, ale w szczególności do modelowania zjawisk geograficznych. Inną dziedziną modelowania kartograficznego jest przedstawienie symulacji zjawisk społeczno-gospodarczych [Werner 2004, s. 88]. W tym przypadku wykorzystuje się najczęściej mapy dwuwymiarowe. Modelowanie kartograficzne umożliwia wizualizację obiektów i badanych zjawisk np. przyrodniczych lub społecznych, z użyciem systemów informatycznych. Należy jednak pamiętać, że modelowanie to odzwierciedlenie procesu. Efektem końcowym będzie model, który będzie podstawą do przeprowadzenia eksperymentów i symulacji uwzględniających zmianę parametrów modelu.

Model to schemat lub opis (w przypadku analizy ilościowej model matematyczny) ukazujący budowę, cechy jakiegoś zjawiska lub obiektu [Słownik poprawnej polszczyzny 2007, s. 408]. Odzworowanie wyników obliczeń na mapie pozwala na łatwiejszą ich percepcję i ocenę, nie tylko przez analityka, ale również przez osobę mającą podjąć ostateczną decyzję. W przypadku lokalizacji obiektów, centrum dystrybucji, modelowanie i proces obliczeń można zautomatyzować. Jednak w większości przypadków model i symulacje będą niepowtarzalne dla rozpatrywanego zadania. Wu [1999, s. 203] zaproponował uogólniony schemat procedury przeprowadzania symulacji z wykorzystaniem systemów GIS (rys. 2.8).

Głównym elementem jest posiadanie odpowiedniej bazy danych geograficznych, które będą umożliwiały dokonanie dalszych obliczeń z użyciem odpowiednich funkcji geoprzetwarzania, zgodnych z celem, jaki pragnie osiągnąć użytkownik. W celu

stworzenia bazy danych, która będzie podstawą do dalszych obliczeń poszukiwania najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji, korzystamy z geokodowania.



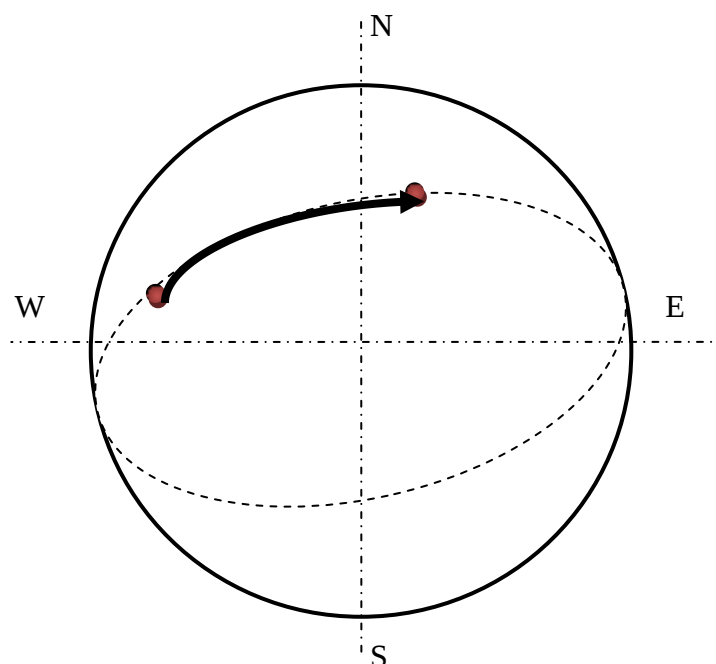
Rys. 2.8. Uogólniony schemat przeprowadzania symulacji z wykorzystaniem GIS

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [Wu 1999, s. 203].

Geokodowanie to przypisanie adresom pocztowym, bo takimi najczęściej dysponujemy w procesach gospodarczych, współrzędnych geograficznych lub współrzędnych prostokątnych z użyciem przekształceń UTM. W tym celu wykorzystujemy mapy cyfrowe zawierające informacje o przebiegu dróg lub ulic oraz znajdujących się przy nich obiektach, numerach budynków. Przypisanie współrzędnych geograficznych numerom adresowym budynków odbywa się na zasadzie liniowej interpolacji w graniach danego segmentu [Longley i in. 2008, s. 131]. Geokodowanie stanowi podstawę dalszych analiz przestrzennych. Funkcje geoprzetwarzania to zależności matematyczne, pozwalające na wykonanie obliczeń na współrzędnych geograficznych lub współrzędnych prostokątnych. Ostatnim etapem jest wizualizacja wyników symulacji, pozwalająca na szybką percepcję otrzymanych rezultatów.

Znajomość długości i szerokości geograficznej dowolnego punktu pozwala na wyznaczenie odległości na powierzchni sferycznej, np. w odniesieniu do punktu

przecięcia się południka zero i równika lub dowolnego innego wybranego punktu (rys. 2.9).



Rys. 2.9. Odzworowanie odległości między dwoma punktami na powierzchni ziemi

Źródło: Opracowanie własne.

Świadomie, dla potrzeb obliczeń matematycznych związanych z planowaniem transportu czy wyznaczaniem lokalizacji, przyjęto założenie, że Ziemia jest kulą. Pomijamy spłaszczenie elipsoidy³⁷, wyznaczanie odległości pomiędzy dwoma dowolnymi punktami na powierzchni kuli, długość łuku koła wielkiego, następuje z wykorzystaniem wzoru [Longley i in. 2008, s. 123]:

$$L = R \cdot \arccos[\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos(\lambda_1 - \lambda_2)]$$

gdzie:

L – długość łuku, odległość pomiędzy punktami,

R – promień Ziemi (6378 km),

φ_1, φ_2 – szerokość geograficzna, odpowiednio punktu pierwszego i drugiego,

λ_1, λ_2 – długość geograficzna, odpowiednio punktu pierwszego i drugiego.

³⁷ Margines błędu to ok. 0,3%; dla obliczonej odległości 100 [km], błąd może wynosić ok. 300 [m] – z racji dużej generalizacji zagadnienia jest to błąd nie mający znacznego wpływu na ostateczny wynik.

Wykorzystując powyższy wzór w obliczeniach, otrzymujemy każdorazowo odległość pomiędzy dwoma dowolnymi punktami. Korzystając np. z arkusza kalkulacyjnego Excel należy pamiętać, aby kąty zamienić na radiany. Dla wyznaczenia centrum dystrybucji nie wystarczy jednak sama znajomość odległości pomiędzy dwoma punktami na łuku koła wielkiego. Przeprowadzenie poprawnej analizy wymaga od analityka, odpowiedniej wiedzy również ze statystyki.

Wyznaczenie lokalizacji centrum dystrybucji wymaga umiejętności przypisywania punktów odbioru do danego centrum dystrybucji lub punktu *cross-dock*. Wyznaczenie miejsca najlepszej lokalizacji pod względem odległościowym nie nastręcza zbyt wielu problemów. Takie obliczenia można wykonać z użyciem metody środka ciężkości (patrz podrozdział 3.2). Wykorzystanie technik informatycznych i systemów informacji geograficznej pozwala na grupowanie obiektów, czyli tworzenie centroidów (przyporządkowywanie obiektów do punktu centralnego).

Wnioskowanie z użyciem metody k -skupień, inna spotykana nazwa to klasteryzacja, polega na znalezieniu w n -elementowym ($N=n$) zbiorze dowolnej liczby k centroidów. Liczba k centroidów musi być podana wcześniej. Wynik to przyporządkowanie punktów do dynamicznych lub statycznych centroidów zapewniające minimalną sumę wszystkich odległości pomiędzy punktami i centroidami [Bardsley i Luttmann 2009; Rajgopal i Soman 2010; Dhanabal i Chandramathi 2011].

Wyznaczenie centroidów, ogólnych obszarów pod lokalizację obiektów, z wykorzystaniem analizy skupień odbywa się dwuetapowo. W pierwszej kolejności należy określić liczbę centroidów oraz wskazać, te które są statyczne (np. posiadamy już magazyn/centrum dystrybucji) oraz punkty, które mogą zmieniać swoją pozycję.

Przystępując do obliczeń; etapu drugiego; istotne jest ograniczenie płaszczyzny, w której będziemy operowali. Konieczna jest analiza danych i określenie obszaru dla generowanych losowo centroidów. Operacja ta polega na wyznaczeniu minimalnej oraz maksymalnej szerokości i długości geograficznej, efektem jest ograniczona przestrzeń dwuwymiarowa. Nowe centroidy wyznacza się z użyciem odpowiedniej funkcji generującej wartości losowe dla współrzędnych punktu w ograniczonej wcześniej płaszczyźnie.

Obliczenia polegają na przyporządkowaniu punktów do podanych lub losowo wygenerowanych centroidów. Należy obliczyć odległość każdego z punktów do wszystkich centroidów. Poprzez wybór najmniejszej odległości każdego punktu do najbliższego skupienia następuje przyporządkowanie danego punktu do skupienia.

Wyniki przyporządkowania punktów należy każdorazowo zapisywać – będą one potrzebne przy kolejnych iteracjach. Dla wyznaczenia odległości można wykorzystać wzór na odległość euklidesową³⁸:

$$d(S, P) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{iS} - y_{iP})^2}$$

W celu obliczenia odległości pomiędzy dwoma punktami na płaszczyźnie należy zastosować poniższy wzór:

$$d(S, P) = \sqrt{(x_i - u_i)^2 + (y_j - v_j)^2}$$

gdzie:

$d(S, P)$ – odległość pomiędzy dwoma punktami,

(x_i, y_j) – współrzędne punktu P (centroid/skupienie),

(u_i, v_j) – współrzędne punktu S.

Wiedza o przyporządkowaniu punktu do danego centroidu umożliwia wykonanie kolejnych obliczeń. Przesunięcie centroidu następuje poprzez obliczenie średniej arytmetycznej współrzędnych x i y dla wszystkich punktów przyporządkowanych do danego centrum ciężenia. Nowe współrzędne x i y obliczamy zgodnie z wzorami:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^{P_n} x_i}{n};$$

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{j=1}^{P_n} y_i}{n}.$$

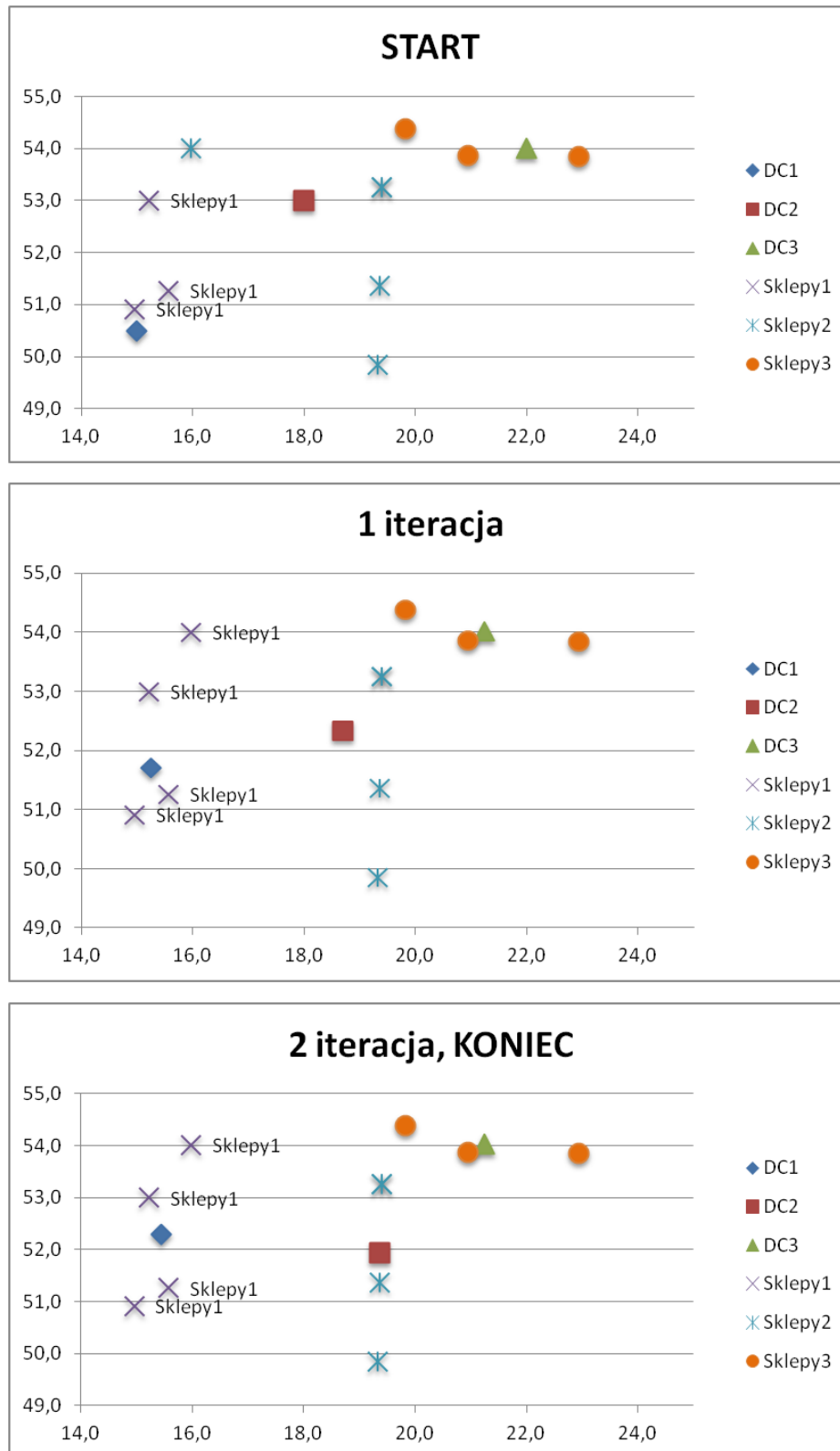
gdzie:

$\bar{x}_i, \bar{y}_j$ – nowe współrzędne centroidu, skupienia,

n – liczba elementów przyporządkowanych do danego skupienia.

³⁸ W obliczeniach można wykorzystać odległość euklidesową. W zależności od potrzeb obliczenia można wzbogacić o odległość miejską, ważoną odległość euklidesową, ważoną odległość miejską lub odległość pomiędzy punktami na powierzchni kuli, omówioną wcześniej. Podczas zmiany rodzaju wykorzystywanej odległości należy dla tych samych danych wykonać obliczenia kontrolne.

Po dokonaniu przesunięcia ponownie musimy dokonać przeliczenia odległości względem nowych centroidów. Powtarzamy operację przesunięć centroidów, aż do momentu, gdy kolejne iteracje nie przynoszą poprawy rozwiązania (rys. 2.10).



Rys. 2.10. Przykład zastosowania analizy skupień. Przyporządkowywanie obiektów do centrów dystrybucji

Źródło: Opracowanie własne.

Uzyskanie wyniku najlepszego w zaprezentowanej metodyce jest w dużej mierze uzależnione od jakości punktów początkowych (centroidów początkowych). Wyboru można dokonać z użyciem metody próbkowania całego obszaru i wyboru punktów o najwyższych oszczędnościach – pozwoli to w kilku krokach na uzyskanie wyniku najlepszego. Pominięcie pierwszego kroku jest możliwe tylko w przypadku wykorzystania metod optymalizacji nieliniowej np. metody gradientu sprzężonego lub metody Newtona do poszukiwania rozwiązania najlepszego [Amborski 2009, s. 70-75]. Wykorzystanie metod optymalizacji nieliniowej jest matematycznie bardziej skomplikowane, jednak zapewnia otrzymanie najlepszego rozwiązania w krótszym czasie.

Skowron-Grabowska [2010, s. 122] wskazuje, że metoda niehierarchicznej analizy skupień daje możliwość wyznaczenia optymalnej lokalizacji. Powyższa konstatacja jest nieprawdziwa. Spowodowane jest to brakiem informacji o odległościach rzeczywistych pomiędzy analizowanymi punktami i centroidami, takie można uzyskać jedynie z wykorzystaniem map cyfrowych. Samo wskazanie punktu najlepszego nie uwzględnia innych czynników np. dostępności gruntów. Należy jednak wskazać, na możliwość uzyskania lepszych jakościowo wyników z użyciem wzoru na obliczenie odległości pomiędzy punktami na łuku koła wielkiego. W obliczeniach z użyciem wzoru na odległość na łuku koła wielkiego wykorzystane są współrzędne geograficzne, pozwala to na uzyskanie wyniku zapewniającego minimalne odległości i pominięcie błędu wynikającego z zakrzywienia powierzchni ziemi. Wyniki powyższej analizy należy poddać dalszym obliczeniom – dokonać korekty wyznaczonych punktów z użyciem metody środka ciężkości (metoda ta została szczegółowo omówiona w podrozdziale 3.2).

Powyżej został zaprezentowany algorytm wyznaczania lokalizacji ogólnej, w obrębie której należy poszukiwać lokalizacji szczegółowej. W podjęciu decyzji może pomóc odpowiedni system informacji geograficznej. Taki system w połączeniu z aktualnymi bazami danych może dostarczyć informacji o ukształtowaniu terenu, zaludnieniu, bezrobociu, czy w końcu na temat istniejących warunków geodezyjnych dla inwestycji, w których przewiduje się budowę obiektu.

Ostatnim i najważniejszym elementem jest prezentacja danych. Modelowanie kartograficzne w systemach GIS rozwija się w kierunku uzyskania interaktywnych lub animowanych, wykorzystujących także znaki umowne, trójwymiarowych, wielozmiennych zobrazowań [Werner 2004, s. 88]. Specjalistyczne systemy informacji

przestrzennej pozwolą na tworzenie modeli symulacyjnych, które dadzą sposobność przeprowadzania wielokrotnych analiz, eksperymentów, z uwzględnieniem zmiany parametrów. Dodatkowe wykorzystanie wielokryterialnego wspomaganie decyzji pozwoli na wskazanie wariantu lokalizacji jakościowo najlepszego.

2.4. GIS w działalności gospodarczej

Aplikacje informatyczne umożliwiające dokonywanie analiz z użyciem informacji geograficznej zapisanej w postaci baz danych są tak projektowane, aby umożliwić pracę jak największej liczbie odbiorców. Systemy wyposażone są w uniwersalne pakiety narzędziowe, które nie zawsze sprawdzają się w analizie specyficznych problemów, jakim jest np. problem lokalizacji centrum dystrybucji. Aplikacje GIS to bardzo wszechstronne narzędzia, zdarzają się jednak sytuacje, gdy użytkownicy wykonujący wybrane analizy nie dysponują odpowiednimi funkcjami analitycznymi oprogramowania czy też w zakresie prezentacji wyników na mapach komputerowych [Werner 2004, s. 90]. Potrzeba coraz dokładniejszych analiz, zgłaszana przez użytkowników, skorelowana z koniecznością zachowania przejrzystości prezentacji uzyskanych wyników jest siłą napędową dla twórców aplikacji GIS, skutkuje to tym, że opisany powyżej problem będzie pojawiał się również w przyszłości.

Zatem producenci systemów GIS powinni zwrócić większą uwagę na pakiety narzędzi do analizy danych geograficznych. Taka aplikacja powinna być narzędziem w rękach analityka. W tworzenie architektury systemu GIS powinni być zaangażowani między innymi: geograf/kartograf, analityk, programista i użytkownik. Efektem pracy takiego zespołu mogą być [Werner 2004, s. 91]:

- interaktywna geograficzna baza danych i mapa cyfrowa, którą można wykorzystywać stale za pomocą danego systemu GIS;
- tradycyjny wydruk albo wyrys mapy papierowej;
- mapy cyfrowe, które można wyświetlić bez konieczności zakupu oprogramowania GIS, wykorzystując różnego rodzaju bezpłatne programy pozwalające wyświetlić je graficznie i wykonać pewną część analiz; stosowane są w tych przypadkach tzw. *run-time viewers*, np. ArcExplorer, MapInfo Pro Viewer, GeoMedia Viewer lub atlasy elektroniczne – oprogramowanie specjalnie skonstruowane dla tego celu, wykorzystujące ograniczoną funkcjonalność pełnego pakietu GIS;

- mapy cyfrowe, które można wyświetlić, wykorzystując oprogramowanie WEB GIS dla serwerów i przeglądarek WWW, pozwalające wyświetlić mapę i wykonać pewne operacje na geograficznej bazie danych za pomocą dokumentów HTML.

Problemy lokalizacyjne mają trzy główne cechy, które muszą znaleźć swoje odzwierciedlenie w projektowaniu narzędzi, pozwalających na obliczenia (geofunkcje) oraz modułów wizualizacji. Cechy lokalizacji to [Longley i in. 2008, s. 4-7]:

- poziom szczegółowości czyli zagadnienie skali,
- orientacja na rozwiązywanie zagadnień praktycznych lub teoretycznych,
- aktualność.

Wymienione powyżej cechy znajdują swoje odzwierciedlenie w systemach geoinformacyjnych. Poziom szczegółowości dla zagadnień lokalizacji będzie miał istotne znaczenie zarówno w przypadku wyznaczenia lokalizacji ogólnej, jak i szczegółowej. Przy wyborze lokalizacji ogólnej nie jest wymagana duża szczegółowość mapy – zbyt dużo informacji będzie zaciemniało obraz. Z kolei wybór lokalizacji szczegółowej wymaga informacji o wielkości działki, podłożu (gruncie) czy zapisach planu zagospodarowania przestrzennego. Orientacja na rozwiązania praktyczne lub teoretyczne będzie miała odzwierciedlenie w czasie obliczeń i ich szczegółowości. Rozwiązania praktyczne będą skupiały się na uzyskaniu jak najlepszego stosunku nakładów do wyników, a jednym z podstawowych kryteriów będzie uzyskanie możliwie najkrótszego czasu realizacji zadania. W przypadku prac badawczych nakłady są często niewspółmiernie duże w stosunku do uzyskanych wyników, ponieważ w nauce liczy się uzyskanie możliwie najlepszego jakościowo wyniku.

Użyteczność systemów GIS potwierdza ich szerokie zastosowanie w transporcie, na wszystkich poziomach zarządzania – strategicznym, taktycznym i operacyjnym. Najczęściej podejmowane działania strategiczne w transporcie z wykorzystaniem pakietów GIS to: planowanie przebiegu obiektów infrastruktury liniowej i usytuowanie obiektów infrastruktury punktowej, w tym centrów dystrybucji. Za najważniejsze działania taktyczne z wykorzystaniem GIS można uznać: projektowanie i harmonogramowanie tras w transporcie publicznym, dowozów dzieci do szkół czy przewozów pocztowych oraz monitorowanie i inwentaryzacja stanu nawierzchni dróg lub trakcji kolejowej. Do najważniejszych działań operacyjnych z wykorzystaniem

systemów GIS należy zaliczyć: monitorowanie ruchu pojazdów w połączeniu z techniką GPS oraz wyznaczenie i planowanie tras przejazdu pojazdów zaopatrzeniowych i usługowych. Celem takiego planowania jest zwiększenie efektywności, a w konsekwencji obniżenie kosztów.

Wykorzystanie GIS, od momentu powstania tego typu aplikacji, ograniczone było swoim zakresem do nauk o Ziemi, geodezji (wyznaczanie i podział działek), katastru (naliczanie podatku od nieruchomości), planowania przestrzennego (analiza dotychczasowej powierzchni zabudowy dla danego terenu), transportu (komercyjne wyznaczanie tras) i marketingu (wyznaczanie lokalizacji reklam). Rozwój technik informatycznych oraz przyspieszenie procesów gospodarczych, spowodowały dalszy rozwój GIS. Pojawiły się dedykowane aplikacje GIS dla:

- rynku nieruchomości (wycena nieruchomości),
- telekomunikacji (planowanie rozmieszczenia nadajników sieci bezprzewodowej),
- planowania rozmieszczenia usług (planowanie rozmieszczenia serwisantów, przyporządkowanie obszarów działania),
- planowania systemów ratunkowych (rozmieszczenie stacji pogotowia ratunkowego, straży pożarnej),
- oceny zagrożenia epidemiologicznego i zarządzania kryzysowego (ewakuacja ludności cywilnej w związku z zagrożeniem wystąpienia ataku terrorystycznego czy katastrofy naturalnej).

Najnowsze zastosowania GIS związane są z bieżącym monitorowaniem zmian klimatycznych poprzez radary meteorologiczne. Dostarczone dane w czasie rzeczywistym, wymagają ciągłej analizy poprzez zautomatyzowane systemy komputerowe oraz prostą informację dla użytkownika o możliwości wystąpienia zagrożenia na danym terenie. Rozbudowany katalog możliwości zastosowania GIS stworzył Gaździcki [2003, s. 38]. Wymienia on możliwości wykorzystania danych z systemów geoinformacyjnych w różnych dziedzinach życia i działach gospodarki.

Na rynku występuje wiele różnych systemów geoinformacyjnych, zazwyczaj są one tworzone jako oprogramowanie celowe (oprogramowanie po stworzeniu nie jest dalej rozwijane) lub jako projekt permanentny (ciągłe rozwijany i unowocześniany). Werner [2004, s. 93] dokonał klasyfikacji różnych typów aplikacji geoinformatycznych (tab. 2.3).

Tabela 2.3. Przykłady różnych typów systemów geograficznych

Projekty GIS		Docelowy			Permanentny		
		Naukowy	Wdrożeniowy	Komercyjny	Naukowy	Wdrożeniowy	Komercyjny
Standardowy	Interaktywna geograficzna baza danych, mapa cyfrowa (<i>softcopy</i>)	DTM – model rzeźby terenu					
	wydruk (<i>hardcopy</i>)		Koncepcja mapy dziedzictwa przyrodniczego i kulturowego	Mapy turystyczne			
	Mapy obrazowe (przeglądarki, Internet)		Mapy podziału administracyjnego		Mapy demograficzne		
Rozszerzony	Interaktywna geograficzna baza danych, mapa cyfrowa (<i>softcopy</i>)					System ochrony i ratownictwa	Aplikacja transportowa w celu optymalizacji tras przewozów
	wydruk (<i>hardcopy</i>)						
	Mapy obrazowe (przeglądarki, Internet)		Interaktywna mapa internetowa				System informacji turystycznej w Internecie

Źródło: [Werner 2004, s. 93].

Zaprezentowana koncepcja klasyfikacji różnych projektów związanych z oprogramowaniem GIS pozwala na przyporządkowanie projektu systemu do odpowiedniej grupy. Możliwości zastosowania systemów GIS są praktycznie nieograniczone. Ograniczeniem jest ludzki umysł – zdolność do percepcji informacji, oprogramowanie (poprawność modelowania zjawisk gospodarczych czy demograficznych), jakość baz danych, z których korzysta system oraz moc obliczeniowa komputerów wymagana przy obliczeniach i tworzeniu wizualizacji.

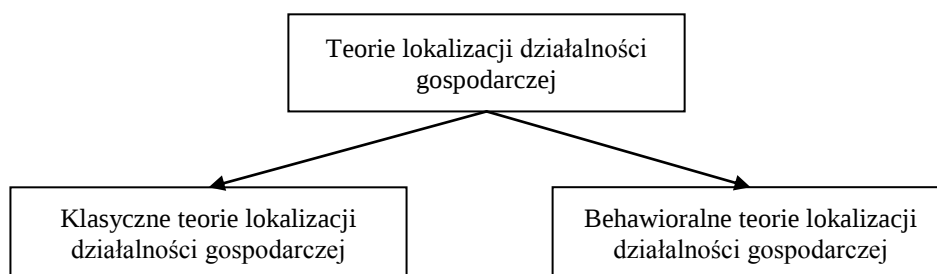
Proces lokalizacji obiektów jest bardzo złożony i wymaga dużej ilości informacji na etapie obliczeń matematycznych jak również na etapie ostatecznego podjęcia decyzji – wyborze lokalizacji szczegółowej. Wymagane dane mogą zostać wygenerowane przez odpowiednio przygotowany system GIS, wyposażony w odpowiednie funkcje do generowania danych i ich wizualizację. Jakość ostatecznej decyzji będzie w dużej mierze uzależniona od wiedzy analityka, jakości baz danych oraz funkcji oferowanych przez oprogramowanie GIS. Niejednokrotnie konieczne może okazać się każdorazowe

tworzenie modelu i jego oprogramowania dla badanego przypadku. Oprogramowanie modelu może wynikać z konieczności wykonania wielu symulacji, z użyciem różnych danych wejściowych.

3. Teoria i metody lokalizacji obiektów

3.1. Klasyczne i behawioralne teorie lokalizacji obiektów

Pierwsze teorie lokalizacji obiektów zostały opisane w literaturze już w XIX wieku³⁹ i były tworzone zgodnie z ówczesnie obowiązującymi zasadami ekonomii. Bazowały one na przeświadczeniu, że jedynym celem funkcjonowania przedsiębiorstwa jest osiągnięcie zysku, a decyzje podejmowane przez człowieka są racjonalne. Jest on w pełni poinformowany o możliwych problemach i konsekwencjach działań – *homo oeconomicus*. Grupę teorii, których celem jest wyznaczenie najlepszej lokalizacji, uwzględniającą jedynie takie czynniki jak: ceny surowców, energii, koszty transportu, czynnik pracy itp. nazywa się teoriami klasycznymi. W literaturze przedmiotu, w ostatnich dziesięcioleciach, można zaobserwować inne, behawioralne podejście do teorii lokalizacji obiektów. Grupa teorii behawioralnych (rys. 3.1) odrzuca założenie racjonalności ekonomicznej, pozwala uwzględnić zachowania zadowalające – *satisficing behaviour* i kwestie pozaekonomiczne. Tego typu postawa reprezentowana przez podmioty gospodarcze jest zgodna z koncepcją – *homo satisfaciendus* [Budner 2004, s. 69]. Domański [1989, s. 58] w swoich rozważaniach na temat teorii behawioralnych podkreśla „rezygnację z założeń teorii klasycznej, maksymalizacji zysku, na rzecz indywidualnych odczuć i zachowań decydentów” – decyzji podejmowanych w warunkach niepełnej informacji oraz ograniczonej racjonalności ekonomicznej.



Rys. 3.1. Podział teorii lokalizacji działalności gospodarczej

Źródło: Opracowanie własne.

³⁹ Johann H. von Thünen, dzieło: „*Der isolierte Staat*”, 1826 r.

Teoria lokalizacji ma swój mikro- i makroekonomiczny wymiar. W sensie mikroekonomicznym dotyczy pojedynczego zakładu produkcyjnego lub usługowego, który – biorąc pod uwagę ceny rynkowe i pewien stan równowagi na rynku – poszukuje dla siebie najlepszego, z punktu widzenia kosztów i korzyści, miejsca działalności gospodarczej. W sensie makroekonomicznym teoria lokalizacji wchodzi w skład szeroko rozumianej teorii gospodarki przestrzennej, której zadaniem jest tworzenie efektywnych struktur przestrzennych dla obszaru gospodarczego, jako całości (regionu) [Parysek 1997, s. 58]. Aspekt mikroekonomiczny będzie dotyczył decyzji lokalizacyjnych podejmowanych w jednym przedsiębiorstwie, uwzględniający w dużej mierze interesy przedsiębiorstwa i możliwe do osiągnięcia oszczędności w wyniku podjęcia konkretnej decyzji lokalizacyjnej. Aspekt mikroekonomiczny jest uzależniony od aspektu makroekonomicznego – gospodarki przestrzennej⁴⁰, gdyż ona warunkuje profil zabudowy na danym terenie.

Zasadne byłoby podjęcie polemiki z podziałem na wymiar mikro- i makroekonomiczny teorii lokalizacji, oraz realnych możliwości kształtowania efektywnych struktur przestrzennych również przez przedsiębiorców, o ile nie godzą one w interesy społeczności lokalnych. Powyższa konkluzja pozwala na wprowadzenie jeszcze jednego pojęcia odnoszącego się do lokalizacji obiektów – aspektu mezoekonomicznego. Przyjęcie takiego podziału pozwala na większą elastyczność w odniesieniu do lokalizacji obiektów. Trafniej będzie można zdefiniować czynniki lokalizacji mające wpływ, np. na społeczność lokalną czy rozwój infrastruktury w regionie. Na potrzeby niniejszej pracy przyjmuje się, że ilekroć wystąpi w tekście stwierdzenie „wymiar mezoekonomiczny” będzie on dotyczył lokalizacji ogólnej – obszaru, w którym należy poszukiwać ostatecznej lokalizacji.

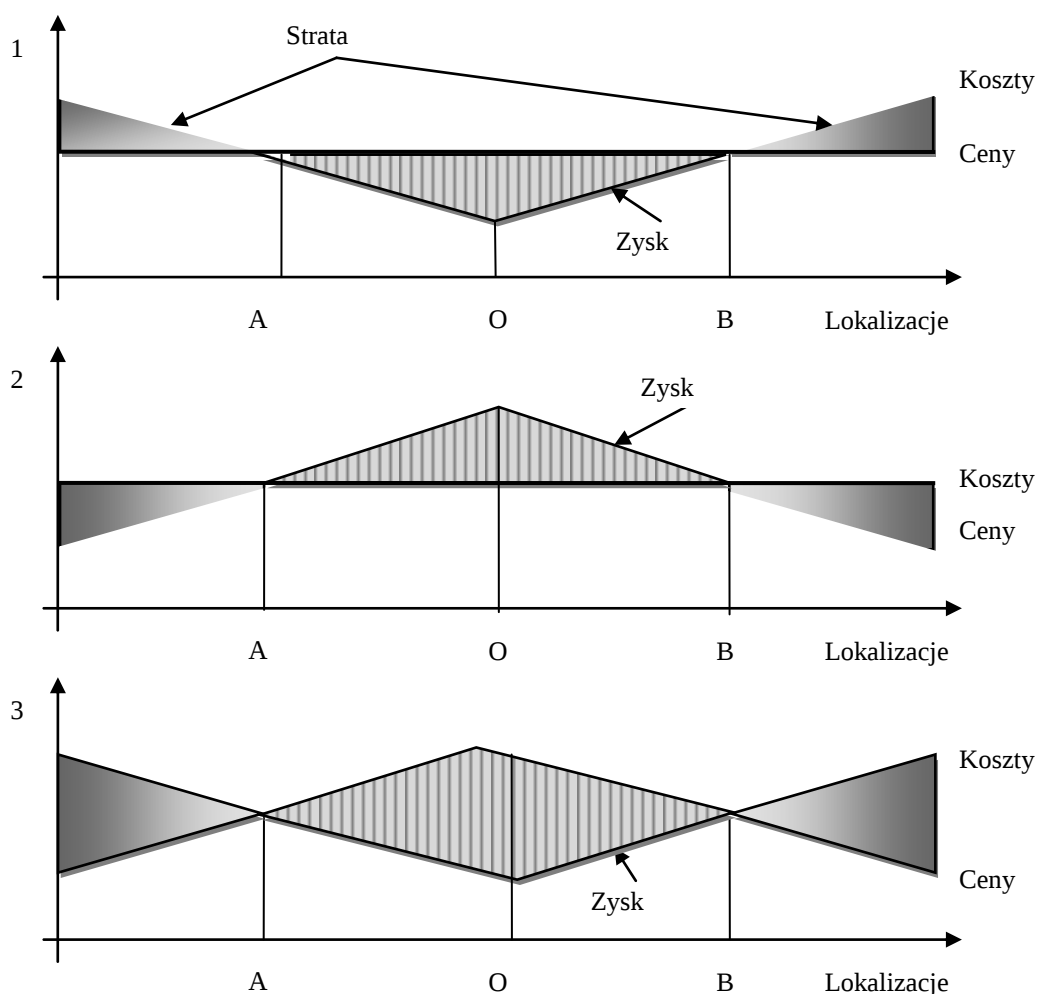
Podstawą klasycznej teorii lokalizacji jest przekonanie, że koszty produkcji i zyski przedsiębiorstwa zależą od jego położenia. Zachodzą tu trzy podstawowe przypadki (rys. 3.2) [Godlewska 2001, s. 29]:

- 1) ceny zbytu są stałe, a koszty produkcji są zróżnicowane przestrzennie; dlatego w myśl tego typu założeń, przedsiębiorca dąży do minimalizacji kosztów,
- 2) koszty produkcji są niezależne od położenia geograficznego, natomiast w zależności od lokalizacji kształtują się ceny zbytu; w takim razie wybór lokalizacji polega na wyborze miejsca zapewniającego maksymalne ceny,

⁴⁰ Należy uwzględnić miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, uwzględniający profil i warunki zabudowy.

3) koszty produkcji jak i ceny zależą od położenia geograficznego, wówczas wybór lokalizacji wiąże się z dążeniem do maksymalizacji zysku.

W pierwszym przypadku rozpatrujemy teorie klasyczne – kosztowe, drugi przypadek odpowiada podejściu, w którym przedsiębiorstwo maksymalizuje zysk, a trzeci przypadek, to sytuacja najbardziej zbliżona do otaczającej nas rzeczywistości gospodarczej. Teorie zajmujące się wyjaśnieniem/wyznaczeniem lokalizacji w tym przypadku muszą uwzględniać interesy przedsiębiorstwa i otoczenia.



O – lokalizacja optymalna
(A;B) – obszar lokalizacji korzystnych

Rys. 3.2. Modele teoretyczne poszukiwania optymalnej lokalizacji

1. Koszty zależne od lokalizacji; 2. Ceny zależne od lokalizacji; 3. Koszty i ceny zależne od lokalizacji

Źródło: [Regulski 1985, s. 26].

Prekursorem i ojcem klasycznej teorii lokalizacji działalności gospodarczej jest Johann H. von Thünen (koszty zależne od lokalizacji). W książce „*Der isolierte Staat*”,

poszukiwał racjonalnego pod względem ekonomicznym układu stref rolniczych wokół miasta. Uwzględniając warunki ograniczające: wszystkie grunty na badanym obszarze są jednakowo urodzajne, liniowe (najkrótsze) połączenia gospodarstw rolnych z rynkiem zbytu, istnienie wolnej konkurencji oraz koszt transportu (jego wysokość jest wprost proporcjonalna do odległości, wagi produktu i jego nietrwałości), Thünen stwierdził, że najcięższe i najmniej trwałe produkty powinny być produkowane najbliżej miasta, wokół rynku zbytu. Zauważył, że zysk z produkcji danego typu produktów kształtuje się odwrotnie proporcjonalnie do wagi i nietrwałości. W wyniku takiego rozumowania uzyskał on koncentryczny układ stref, z ośrodkiem miejskim w środku. Teoria Thünera jest wysoce zgeneralizowana, dlatego trudno oczekiwać, aby w sposób bezpośredni wyjaśniała skomplikowane układy przestrzenne rolnictwa w rzeczywistości [Domański 1998, s. 106].

Dopiero w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX wieku, teoria Thünera doczekała się odzwierciedlenia w formule matematycznej [Budner 2004, s. 53]:

$$R = E (P - a) - Efd;$$

gdzie:

R – wielkość zmienna renty ekonomicznej na jednostkę powierzchni, jest to ekwiwalent dochodu netto bez uwzględnienia kosztu ziemi,

d – odległość od rynku (zmienna),

E , P , a , f – wielkości stałe dla poszczególnych produktów: E – zbiory z jednostki powierzchni; P – ceny rynkowe; a – koszty produkcji; f – stawki przewozowe.

Mimo iż agrarna teoria lokalizacji Thünera bazuje na wielu uproszczeniach i uogólnieniach, to zwróciła uwagę kolejnych badaczy na bardzo istotny problem. Problem ulokowania działalności w przestrzeni tak, aby uzyskać maksymalny zysk z jej prowadzenia. Model Thünera nigdy nie przestał fascynować nie tylko ekonomistów zajmujących się rolnictwem, lecz także współczesnych specjalistów z zakresu gospodarki miejskiej. Można więc zaobserwować wykorzystanie modelu Thünera do wyjaśnienia lokalizacji wewnątrzmijskich i do analizowania podmiejskich stref o charakterze przejściowym pomiędzy miejskim wykorzystaniem ziemi, a jej wykorzystaniem na cele rolnicze [Ponsard 1992, s. 13].

Najważniejszym przedstawicielem klasycznej teorii lokalizacji obiektów jest Alfred Weber. W swoim dziele z 1909 roku „*Über den Standort der Industrien*” porusza takie kwestie jak: czynniki lokalizacji czy klasyfikację surowców zużywanych do produkcji, wprowadza pojęcie izodapan⁴¹. Weber przyjął następujące założenia: wybór lokalizacji optymalnej podyktowany jest najniższymi kosztami transportu, techniczne współczynniki produkcji są stałe, znana jest lokalizacja źródeł surowców i rynku zbytu, koszty transportu są proporcjonalne do masy towaru i odległości, na jaką są przewożone. Weber wymienił trzy czynniki mające fundamentalne znaczenie dla lokalizacji zakładów przemysłowych: czynnik transportu, pracy (związane z siłą roboczą) i aglomeracji (skupienie producentów i konsumentów). W myśl przyjętych założeń optymalną lokalizację wyznaczy najniższa wartość sumy iloczynów wagi i odległości transportu wszystkich surowców i półfabrykatów do zakładu oraz finalnego wyrobu do miejsca zbytu [Budner 2004, s. 57].

Weber analizując zagadnienie optymalnej lokalizacji zwrócił szczególną uwagę na stosunek wagi produktu gotowego do wagi wszystkich surowców wykorzystanych do jego produkcji. Później w literaturze przedmiotu stosunek ten nazwano indeksem materiałowym⁴². Klasyfikując gałęzie przemysłu wyróżnił przedsiębiorstwa wykazujące orientację [Godlewska 2001, s. 31]:

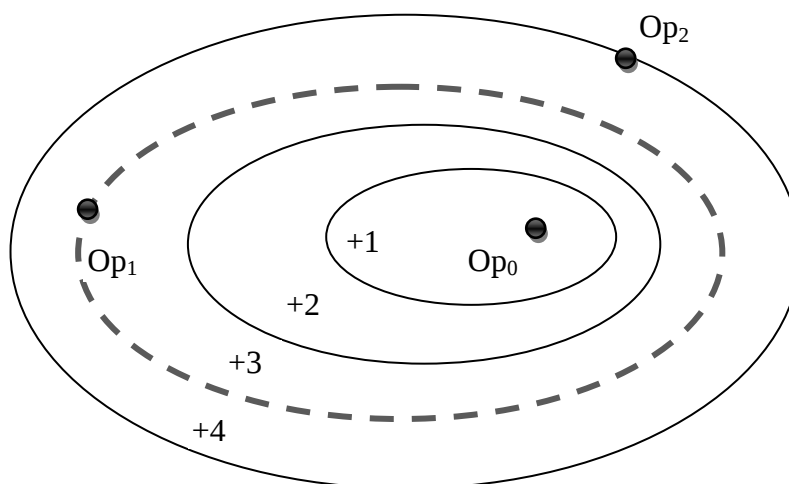
- surowcową (indeks materiałowy jest znacznie większy niż 1, co z ekonomicznego punktu widzenia wpływa na lokalizację zakładu w pobliżu punktów zaopatrzenia),
- rynkową (indeks materiałowy jest znacznie mniejszy niż 1, co oznacza, że ekonomicznie uzasadnione jest lokalizowanie zakładu produkcyjnego w pobliżu rynku zbytu),
- obojętną (indeks materiałowy oscyluje wokół jedności, miejsce lokalizacji zakładu przemysłowego nie wpływa na zwiększenie kosztów transportu).

Odzwierciedlenie kosztów transportu techniką izodapan, pozwoliło Weberowi na dostrzeżenie jeszcze jednego ważnego problemu. Weber zwrócił uwagę na możliwość modyfikacji optymalnego miejsca lokalizacji zakładu produkcyjnego wyznaczonego przez czynniki transportu za pomocą czynnika pracy lub czynnika aglomeracji. Stwierdził, że oddalenie od optimum transportowego (wzrost kosztów transportu) może być kompensowane obniżeniem kosztów pracy lub korzyściami bliskości aglomeracji.

⁴¹ Izodapana – linia jednakowych całkowitych kosztów transportu na jednostkę produkcji.

⁴² Patrz podrozdział 1.4.

Linia oznaczająca nowe, możliwe do uzyskania optimum nazywane jest w literaturze przedmiotu izodapaną krytyczną (rys. 3.3).



Op_0 – optimum ze względu na transport; Op_1 wyższe koszty transportu są równoważone przez niższe koszty pracy Op_2 – optimum ze względu na koszty pracy

Rys. 3.3. Izodapany – linie jednakowych całkowitych kosztów transportu na jednostkę produkcji

Źródło: [Domański 1990, s. 37].

Kolejnym wybitnym przedstawicielem niemieckiej klasycznej szkoły teorii lokalizacji był August Lösch. Rozwinął on teorię Webera. Za główne kryterium optymalizacji przyjął w swoich rozważaniach maksymalizację zysku z prowadzonej działalności przedsiębiorstwa (rys. 3.4). Wg teorii Löschego przedsiębiorstwo będzie poszukiwało lokalizacji zakładu produkcyjnego możliwie blisko rynku zbytu.

W książce „*Die räumliche Ordnung der Wirtschaft*” do rozważań nad lokalizacją wprowadził czynnik popytu, zakładając, że reszta czynników (ziemia, praca, zasoby itd.) jest równomiernie rozłożona w przestrzeni i ogólnie dostępna. Rozważając przebieg krzywej reprezentującej zależność pomiędzy popytem i ceną oraz nakładając na nią krzywą odległości badał wpływ kosztów dystrybucji na zyski firmy oraz zależność pomiędzy obszarem rynku, a wielkością popytu. Przedstawił również pogląd, iż działalność przedsiębiorstw konkurujących jest współzależna. Tworząc teoretyczny układ krajobrazu gospodarczego⁴³ stwierdził, że lokalizacja przedsiębiorstw powinna być ustalona jako wypadkowa dwóch przeciwstawnych sił. Z jednej strony powinna być brana pod uwagę maksymalizacja indywidualnych zysków przedsiębiorstwa, a z drugiej strony maksymalizacja liczby podmiotów gospodarczych. Głosząc tezę, zgodnie z którą

⁴³ Według Löschego idealnym ekonomicznie kształtem rynku jest sześciokąt foremny (heksagon).

w wyniku walki konkurencyjnej każde przedsiębiorstwo będzie zmniejszało obszar swojego działania stwierdził, że decyzje motywowane tymi dążeniami prowadzą do przestrzennej równowagi działalności gospodarczej [Domański 1990, s. 42].

Lösch wykazał, że nawet, gdyby świat był gładką kulą, różne rodzaje działalności ekonomicznej nie byłyby rozmieszczone równomiernie. Korzyści ekonomiczne specjalizacji i produkcji masowej prowadzą w efekcie do lokalnych koncentracji, ich liczba jest ograniczona, wynika to głównie z możliwości obniżenia kosztów transportu [Ponsard 1992, s. 14].

Niemiecki dorobek naukowy w zakresie lokalizacji działalności gospodarczej jest jednym z najobszerniejszych na świecie. Wymienieni powyżej przedstawiciele wyznaczyli podstawowe kierunki dalszych badań. Zaprocentowało to powstaniem szkoły amerykańskiej, jej głównym przedstawicielem był Walter Isard.

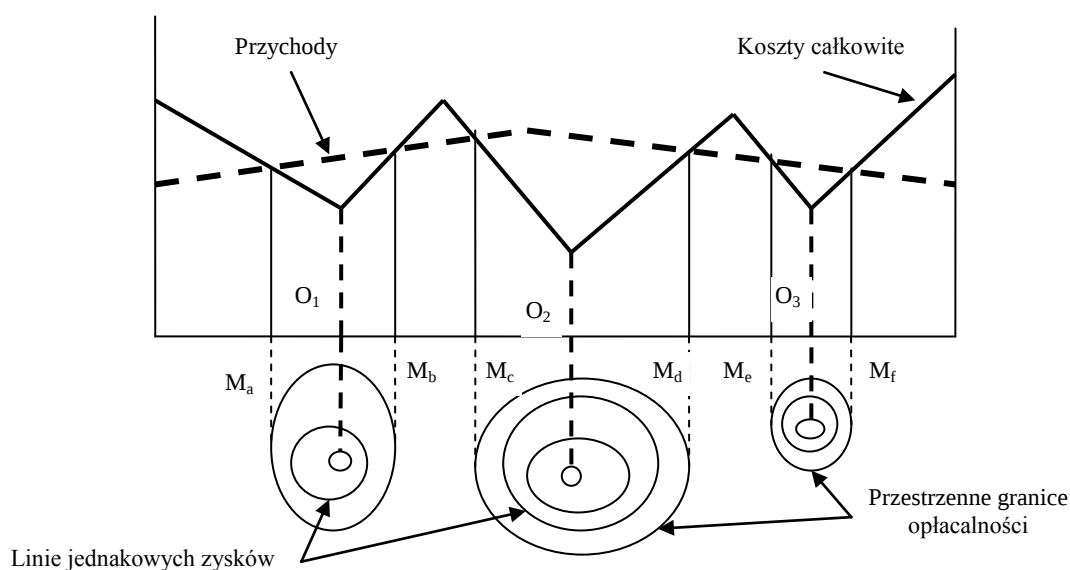
Isard, w książce *Location and Space-Economy* skrytykował teorię Löschą, głównie ze względu na jej ograniczenia. Wprowadził on pojęcie nakładów transportowych. Nakłady transportowe zdefiniował jako jednostkę masy przemieszoną na jednostkę odległości (np. tonokilometr). Wyraził w ten sposób pracę, jaka jest niezbędna do pokonania przestrzeni, zaznaczył jednocześnie, że czynnik ten jest na równi wymienny z pracą, kapitałem, ziemią czy surowcami niezbędnymi do produkcji. Model Isarda zakłada substytucyjność pomiędzy nakładami na transport, a wydatkami i przychodami z produkcji, możliwość pozyskiwania surowca z różnych źródeł oraz możliwość substytucji pomiędzy miejscami zbytu.

Substytucyjność dóbr jest istotą modelu, ponieważ nakład każdego z czynników produkcji można wyrazić w jednostkach pieniężnych, istnieje możliwość zastąpienia nakładów jednego czynnika produkcji nakładami innego czynnika. Wykorzystanie czynników produkcji nie jest stałe, co gwarantuje możliwość zamiany jednego czynnika na inny, tańszy, biorąc pod uwagę wzrost nakładów transportowych. Jest to również związane z ruchliwością czynników produkcji. Czynnik pracy jest stosunkowo mało ruchliwy. Podmiot gospodarczy, wykorzystujący w dużym stopniu czynnik pracy będzie zainteresowany użyciem taniej siły roboczej nawet kosztem wzrostu cen innych czynników produkcyjnych.

Dzięki substytucji różnych czynników produkcji (nakładów przedsiębiorstwa), w tym również nakładów transportowych, możliwa jest substytucja obszarów jako miejsc produkcji. W ten sposób Isard próbuje przedstawić model równowagi ogólnej,

którego rozwiązanie zawiera jednocześnie optymalną lokalizację firmy oraz optymalną kombinację ilości użytych nakładów do uzyskanych wyników [Budner 2004, s. 65].

Najbliższym naszym czasom przedstawicielem klasycznej teorii szkoły amerykańskiej jest Smith [1981]. W swoich rozważaniach założył zmienność kosztów i zysków w zależności od położenia/zlokalizowania zakładu produkcyjnego. Pozwoliło to mu na wyznaczenie lokalnych optimów lokalizacji przedsiębiorstwa. W oparciu o koszty całkowite prowadzonej działalności i wysokość przychodów wyznaczył linie jednakowych zysków oraz przestrzenne granice opłacalności (rys 3.4).



Rys. 3.4. Lokalne optima lokalizacji przedsiębiorstwa

Źródło: [Smith 1981, s. 116].

Zgodnie z zaprezentowanym rysunkiem punkty O_1 , O_2 , O_3 oznaczają odpowiednio optymalne lokalizacje lokalne, a punkty M_a , M_b , M_c , M_d , M_e , M_f oznaczają przestrzenne granice opłacalności dla danego optimum lokalnego. Lokalizacja poza liniami przestrzennej opłacalności przynosiłaby przedsiębiorstwu straty, co wynika z wyższych kosztów prowadzenia działalności niż możliwych do uzyskania przychodów. Smith doskonale zaprezentował fakt, że najniższy koszt transportu niekoniecznie będzie oznaczał przewagę konkurencyjną. Na wybór lokalizacji należy spojrzeć globalnie włączając do analizy koszty zewnętrzne – związane z opłacalnością funkcjonowania w danej branży, tak aby uzyskać jak najkorzystniejszy rachunek ekonomiczny.

Wymiana informacji (konferencje, sympozja, a później także Internet) pomiędzy badaczami przyczyniła się do wzrostu zainteresowania problemem lokalizacji, tym

bardziej, iż efekty prac przyczyniają się do obniżenia kosztów, zdobycia większego udziału w rynku, czy większego zadowolenia klientów. Coraz częściej w literaturze można spotkać wyniki badań naukowców z Japonii, Chin i Wielkiej Brytanii. Również polska nauka ma swój wkład w rozwój teorii lokalizacji obiektów. Włodzimierz Kamiński zaproponował bardzo uproszczoną formułę wspomagającą wybór najlepszej lokalizacji. W celu wyznaczenia najlepszej lokalizacji postulował wyznaczenie współczynnika transportowego (całkowitego kosztu transportu $W_{(opt)}$), który jest iloczynem współczynnika materiałowego $W_{(m)}$ (indeksu materiałowego) i współczynnika taryfowego $W_{(t)}$ [Kamiński 1969, s. 20-21]:

$$W_{(opt)} = W_{(m)} * W_{(t)};$$

$$W_{(m)} = C_s / C_n;$$

$$W_{(t)} = t_s / t_w;$$

gdzie:

C_s – ciężar surowca,

C_n – ciężar wyrobu gotowego,

t_s – stawka taryfowa za przewóz surowca,

t_w – stawka taryfowa za przewóz wyrobu gotowego.

W zależności od uzyskanego wyniku Kamiński sugerował następujące decyzje: $W_{(opt)} = 1$ lokalizacja zakładu jest obojętna, działalność mogła być zlokalizowana w dowolnym punkcie pomiędzy źródłem pozyskiwania surowca, a rynkiem zbytu; $W_{(opt)} > 1$ zakład produkcyjny należy zlokalizować możliwie blisko źródła pozyskiwania surowca; $W_{(opt)} < 1$ zakład produkcyjny powinien być zlokalizowany w rejonie rynku zbytu. Model Kamińskiego stanowi jedynie punkt wyjścia do rozważań nad wyborem lokalizacji. Pozwala określić, które z analizowanych czynników powinny być istotniejsze dla podjęcia ostatecznej decyzji.

Bardziej użyteczny może być wskaźnik E_d , zaproponowany przez Piotra Chechelskiego, stanowiący sumę czterech składników, z których każdy oceniany jest w skali 0 do 10 punktów [Godlewska 2001, s. 33]. Oceniane wskaźniki to: stosunek kosztów transportu surowca do kosztów transportu produktu, stosunek ciężaru opakowania do masy wyrobu z opakowaniem, strat surowca w transporcie i okresu przydatności do spożycia lub przetwórstwa spożywczego (wyrażony w dniach). Chechelski sugeruje aby wskaźnik ten stosować do określenia lokalizacji ogólnej

zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego. Wyznaczenie wskaźnika następuje poprzez subiektywną ocenę każdego z kryteriów i zsumowaniu wyników (tab. 3.1).

Tabela 3.1. Orientacja lokalizacyjna w metodzie wskaźnika E_d Chechelskiego

Punkty	Postulowana orientacja
0-15	Zakład powinien mieć orientację konsumpcyjną
16-25	Zakład może być zlokalizowany swobodnie
26-40	Zakład powinien mieć orientację surowcową

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: [Godlewska 2001, s. 33].

Adaptacja powyższego modelu do lokalizacji centrum dystrybucji jest możliwa jedynie, w uzasadnionych przypadkach np. rozproszeni dostawcy i rozproszone rynki zbytu. W takim przypadku, uzyskamy odpowiedź co do orientacji lokalizacyjnej, nie będzie to jednak wskazanie lokalizacji ogólnej, a tym bardziej szczegółowej.

W przeszłości, z racji braku możliwości ujęcia jakościowych czynników lokalizacji obiektów w przestrzeni, a obserwacje rzeczywistości gospodarczej wskazywały na ich występowanie, powstał behawioralny nurt lokalizacji działalności gospodarczej. Skupiał się on w dużej mierze na aspektach psychologicznych i socjologicznych podejmowanych decyzji. Przedstawiciele tego nurtu uważali, że duży wpływ na wybór lokalizacji ma czynnik ludzki. Przedsiębiorcy rozpoczynający działalność gospodarczą najczęściej podejmują decyzję o lokalizacji zakładu produkcyjnego w miejscu zamieszkania, gdyż ten region najlepiej znają, średnie przedsiębiorstwa, nieposiadające odpowiedniej wiedzy ani środków, wykorzystują efekt naśladownictwa (imitacji) konkurencji w swoich decyzjach. Duże przedsiębiorstwa posiadające odpowiednie zasoby skłonne są do poszukiwania rozwiązań najlepszych jakościowo korzystając z zaawansowanych analiz.

Pierwszą, najczęściej analizowaną teorią behawioralną w lokalizacji działalności gospodarczej jest cykl życia produkcji. Wymagania konsumentów oraz konkurencja są siłą napędową ciągłych zmian w asortymencie produktów oraz generowanym zapotrzebowaniu, również w ujęciu przestrzennym. Ma to wpływ na wielkość produkcji, a co jest z tym związane również lokalizację zakładów produkcyjnych. Zmiany te wyjaśnia teoria cyklu życia produkcji, a konsekwencją są relokacje

i filtrowanie (technologiczne) produkcji⁴⁴. Pierwotnie cykl życia produkcji składał się z trzech faz: fazy wzrostu, fazy dojrzałości oraz fazy standaryzacji⁴⁵. W poszczególnych fazach różne są wymagane nakłady na produkcję i różna jest jej skala, co wpływa na system produkcyjny.

Jak zauważa Benko [1993, s. 21-24] cykl produkcji zależy od poziomu wyrafinowania przemysłu, który wytwarza dany produkt. Przemysł, który wykorzystuje technologię o poziomie przeciętnym, ma cykl trzydziestoletni, natomiast dla przemysłu wykorzystującego zaawansowaną technologię produkcji cykl życia produkcji wynosi od pięciu do siedmiu lat. Budner [2004, s. 72] porównał charakterystyki przedsiębiorstw przemysłowych wykorzystujących technologię na poziomie przeciętnym i zaawansowanym (tab. 3.2).

Tabela 3.2. Porównanie cyklu życia produkcji wykorzystującego technologię na poziomie przeciętnym i zaawansowanym

Fazy cyklu życia produkcji Porównywane determinanty	Przemysł oparty o technologię na poziomie przeciętnym			Przemysł oparty o technologię na poziomie zaawansowanym	
	wzrost (innowacja)	dojrzałość	standaryzacja	wzrost	dojrzałość
Nakłady niewykwalifikowanej siły roboczej	niewielka liczba	przeciętna liczba	duża liczba	niewielka liczba	niewielka liczba
Nakłady pracowników technicznych i sektora R&D	duża liczba	dość liczni	mała liczba	duża liczba	duża liczba
Lokalizacja	aglomeracja (koncentracja)	możliwe przeniesienie produkcji w ramach aglomeracji	strefa peryferyjna, rozszerzanie	koncentracja w aglomeracji	koncentracja w aglomeracji
Korzyści zewnętrzne	zasadniczo duże	bardzo użyteczne	mało znaczące	zasadniczo duże	bardzo użyteczne
Sprzedaż	wzrost	stabilizacja	spadek	wzrost	stabilizacja i spadek

Źródło: [Budner 2004, s. 72].

Analiza danych zawartych w tabeli pozwala na stwierdzenie, że dla przedsiębiorstwa wykorzystującego tradycyjną technologię produkcji relokacja jest jednym z elementów

⁴⁴ Filtrowanie technologiczne produkcji oznacza hierarchiczny proces przepływu technologii pomiędzy ośrodkami gospodarczymi, od większych do mniejszych – w dół hierarchicznego systemu miast. Dziś coraz rzadziej obserwowany regionalnie czy lokalnie, nadal jednak dostrzegany globalnie. Związana jest z tym teoria międzynarodowego cyklu życia produktu Vernona.

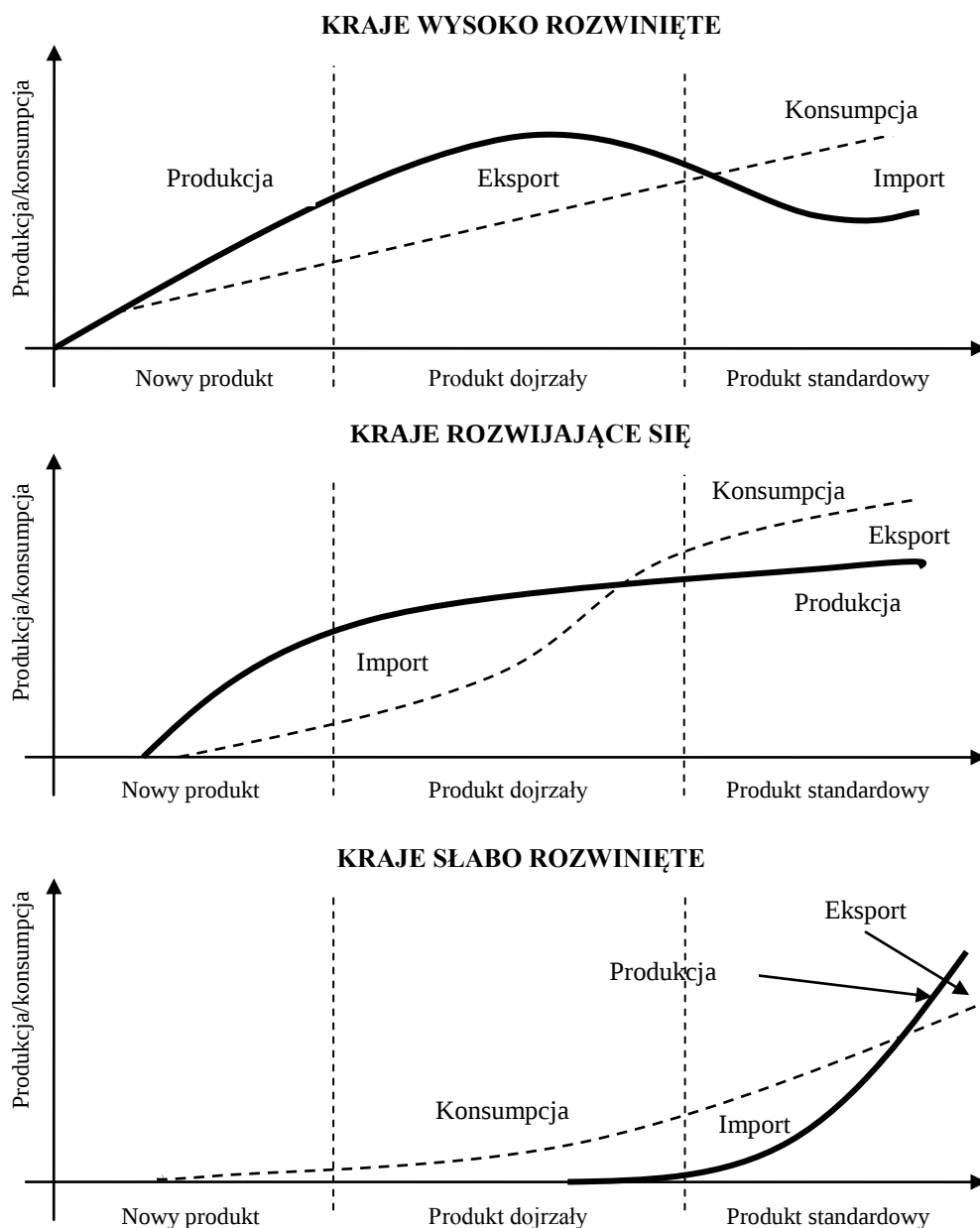
⁴⁵ Cykl życia produkcji różni się od cyklu życia produktu, który jest definiowany jako zjawisko stopniowego nabywania i utraty zdolności produktu do zaspokajania potrzeb konsumenta. Cykl ten składa się z czterech faz: wprowadzenia, wzrostu, dojrzałości i schyłku [Gierszewska i Romanowska 2000, s. 162–169].

budowania przewagi konkurencyjnej, a zatem również kryteria wyboru nowej lokalizacji będą się zmieniały. W tym przypadku występuje dodatkowy pozytywny aspekt społeczny – filtrowanie technologiczne. Przepływ technologii zapewnia rozwój regionom podmiejskim lub wiejskim oraz pozytywnie wpływa na rozwój infrastruktury w danym regionie. Dla przedsiębiorstw wykorzystujących zaawansowane technologie nie będzie tak istotna relokacja zakładów produkcyjnych ze względu na duże zaangażowanie pracowników technicznych i sektora R&D⁴⁶.

Teoria cyklu życia produkcji upraszcza w zbyt dużym stopniu rozwój przestrzenno-czasowy produkcji. Różność sektorów gospodarki jest bardzo duża, a relacje między organizacją produkcji, technologią i rynkiem są w rzeczywistości – jak dowiódł tego Stroper – o wiele bardziej złożone. Relacje wewnątrz i między przedsiębiorstwami oraz optymalne warunki produkcji są różne w poszczególnych gałęziach przemysłu [Benko 1993, s. 23]. Znajomość podstaw: teorii cyklu życia produkcji, cyklu życia produktu oraz kryteriów lokalizacji obiektów, jest fundamentalna dla zrozumienia międzynarodowego cyklu życia produktów, będącego przedmiotem zainteresowania w dalszej części pracy.

Międzynarodowy cykl życia produktu po raz pierwszy zidentyfikowany został przez Vernona. Badając kierunki i strukturę ekspansji amerykańskich korporacji po II wojnie światowej Vernon [1991, s. 82-91] wyodrębnił trzy kolejne fazy rozwoju produktu. Fazy te są bezpośrednio związane ze zmianami w lokalizacji zakładów produkcyjnych. Zauważył, że kraje wysoko rozwinięte, innowacyjne, są w pierwszej kolejności producentami i eksporterami, w drugiej fazie kraje rozwijające się (naśladowcy) rozpoczynają produkcję, pojawia się konkurencja. Producenci w krajach rozwijających nie są w stanie sprostać zapotrzebowaniu, rynek wspomagany jest importem. W ostatniej, trzeciej fazie produkcja przenoszona jest do krajów słabo rozwiniętych, ze względu na dostęp do taniej siły roboczej czy surowców materialnych oraz ze względu na wewnętrzne potrzeby rynku. Zakłady produkcyjne w kraju wysokorozwiniętym są zamykane, a potrzeby rynku realizowane poprzez import produktów (rys. 3.5). Pojawiające się dodatkowe koszty wynikające z transportu wyrobów gotowych na rynki państw wysokorozwiniętych są kompensowane przez niższe koszty wytworzenia.

⁴⁶ R&D – *Research and Development* – ośrodki badawczo-rozwojowe.



Rys. 3.5. Międzynarodowy cykl życia produktu

Źródło: [Vernon i Wells 1991, s. 85].

Hipotezę dotyczącą zależności lokalizacji od fazy międzynarodowego cyklu życia produktu można wzbogacić o inne elementy teorii konkurencji niedoskonałej. Przybylska [2001, s. 73-82] uważa, że w pierwszej fazie, gdy firma inicjuje produkcję jest ona monopolistą pełnym, w drugiej fazie przybiera charakter konkurencji oligopolistycznej. W tej fazie mogą występować różne porozumienia oligopolistyczne pomiędzy firmami chcącymi utrzymać pozycję lidera na rynku lub występuje konkurencja niecenowa (związana z jakością czy dopasowaniem produktu do indywidualnych potrzeb klienta). W trzeciej fazie występuje konkurencja

monopolistyczna, produkcja standardowa jest przenoszona do krajów słabo rozwiniętych, ważnym elementem jest minimalizacja kosztów wytworzenia.

Próbie wyjaśnienia przestrzennej lokalizacji obiektów podjął Perroux w swojej książce z 1955 roku „*Note sur la notion de „pôle de croissance”*”⁴⁷, w której jako biegun wzrostu określił dominujący w danym regionie podmiot gospodarczy prowadzący działalność produkcyjną. „Winien on reprezentować dynamicznie rozwijającą się gałąź przemysłu (tzw. przemysł napędowy), wykazującą silnie powiązania z innymi gałęziami przemysłu (tzw. przemysł pobudzony)” [Budner 2004, s. 78]. Polaryzacja, pobudzające działanie biegunów wzrostu, będzie pozytywnie wpływała na rozwój w strefie oddziaływania polaryzacji, poza jej wpływem może mieć efekt negatywny. W strefie działania rozszerza produkcję w gałęziach przemysłu pobudzonego, z czasem impulsy przenoszone są również na działalność usługową. Wystąpienie efektu mnożnikowego, powodowane ciągłym rozwojem, może w konsekwencji doprowadzić do wtórnej polaryzacji, powstania nowej gałęzi przemysłu napędowego. Bieguny wzrostu mogą również negatywnie wpływać na regiony leżące poza strefą oddziaływania przemysłu napędowego, przyczyniając się do zmniejszenia potencjału regionu poprzez odpływ siły roboczej o wysokich kwalifikacjach czy kapitału.

Należy jednak pamiętać, że teoria biegunów wzrostu tylko w niewielkim stopniu nawiązuje do konkretnych rozwiązań lokalizacyjnych, tłumaczy jedynie zagospodarowanie przestrzeni ekonomicznej, a nie wskazuje konkretnej lokalizacji [Wieloński 2004, s. 25]. Dalsze prace badawcze Myrdala „*Economic theory and underdeveloped regions*”⁴⁸ i Hirschmana „*The strategy of economic development*”⁴⁹ wpłynęły na rozwój teorii biegunów wzrostu na gruncie regionalnym. Koncepcja Myrdala zakłada istnienie okrężnej i kumulatywnej przyczynowości. W systemie opartym na okrężnej przyczynowości zamiana jednej wielkości powoduje zmianę innej wielkości o takim samym kierunku, na podstawie sprzężeń zwrotnych następuje wzmocnienie intensywności wzajemnych wpływów i uruchomienie kumulatywnego procesu zmian. Hirschman skoncentrował swoje badania na łańcuchu nierównowag sektorowych, w trakcie których gałęzie podstawowe przenoszą impulsy wzrostu na inne rodzaje działalności gospodarczej w danym regionie [Budner 2004, s. 81].

⁴⁷ *Note sur la notion de „pôle de croissance”* – Uwagi o pojęciu „biegun wzrostu”

⁴⁸ *Economic theory and underdeveloped regions* – Teoria ekonomii, a kraje słabo rozwinięte

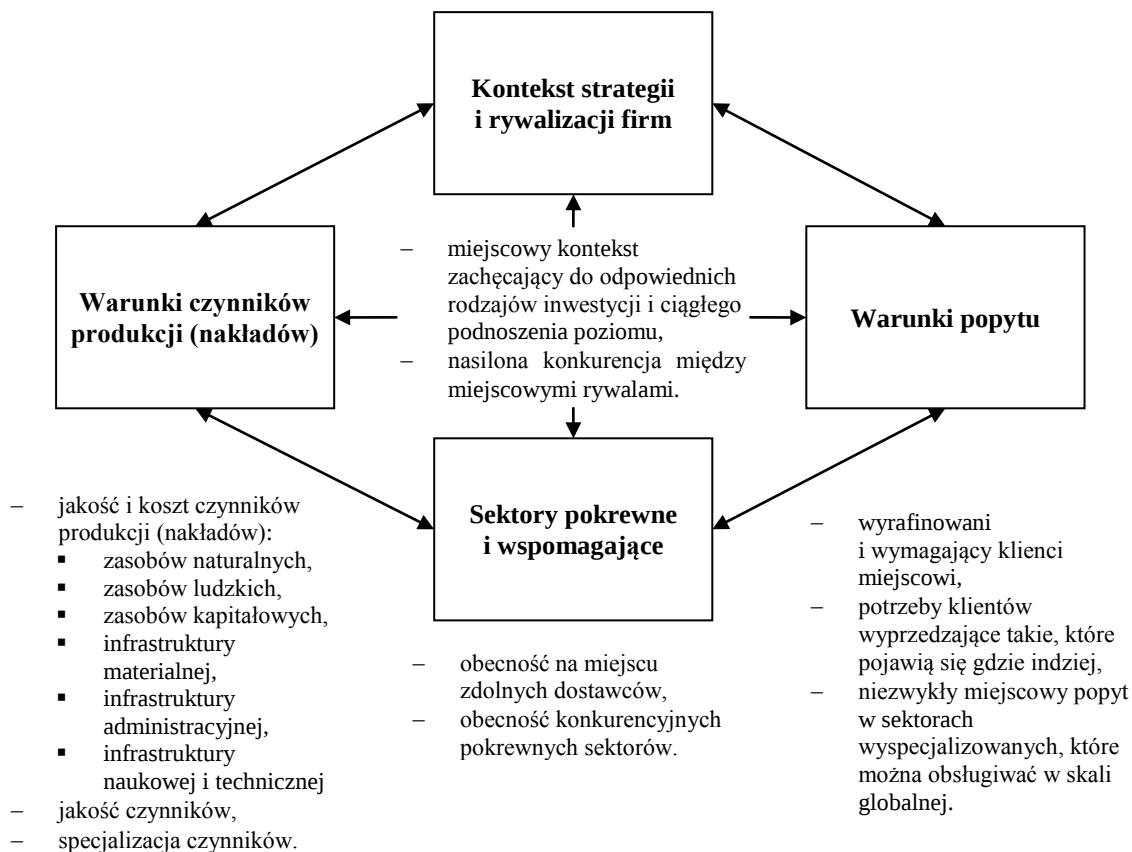
⁴⁹ *The strategy of economic development* – Strategia rozwoju gospodarczego

Najnowsze koncepcje lokalizacyjne dotyczą usieciowienia, a odnoszą się do całego łańcucha wartości dodanej. Prekursorem teorii usieciowienia jest Hayter [Wieloński 2004, s. 27], który wskazał na zjawisko odejścia od pionowego łańcucha wartości, charakterystycznego dla hierarchicznego modelu fordowskiego, odznaczającego się ekonomiką skali, stabilizacją oraz masową standardową produkcją, na rzecz sieciowego łańcucha wartości. Sieciowy łańcuch wartości jest związany z modelem produkcji wyrobów wysokiej jakości, wytwarzanych w elastycznych systemach produkcyjnych, w przedsiębiorstwach o zdywersyfikowanym wachlarzu produktów.

Porter zwraca uwagę na koncepcję lokalizacji tzw. gron. Teoria ta zakłada występowanie dodatkowych korzyści w ramach sąsiedztwa podmiotów gospodarczych, powiązanych ze sobą technologicznie. Według Portera [2001, s. 248], „grono to znajdująca się w niedalekim geograficznym sąsiedztwie grupa przedsiębiorstw i powiązanych z nimi instytucji zajmujących się określoną dziedziną, połączona podobieństwami i wzajemnie się uzupełniająca”. Geograficzny zasięg grona może obejmować jedno miasto, region, kraj, a nawet grupę krajów. Porter w swoich rozważaniach na temat gron przemysłowych zwrócił również uwagę na źródła przewagi konkurencyjnej lokalizacji (rys. 3.6).

Uważa on, że na stopień wyrafinowania i efektywność firm konkurujących w regionie duży wpływ wywiera jakość środowiska biznesu. Firmy nie mogą efektywnie inwestować, np. w nowoczesne środki transportu, bez dostępu do nowoczesnej infrastruktury transportowej. Istotą środowiska biznesu jest zrozumienie wielości czynników mających wpływ na lokalizację przedsiębiorstwa np. handlowego.

Teorie behawioralne są wyjaśnieniem historycznych uwarunkowań powstania okręgów przemysłowych, relokacji przedsiębiorstw przemysłowych oraz powstawania regionów wykorzystujących zaawansowane technologie. Wyjaśniają tendencję ekspansji gospodarczej korporacji transnarodowych. W swoich przesłankach nie dają jednak jednoznacznej odpowiedzi poszukiwanej przez racjonalnego decydenta. Są drogowskazem i wyznaczają kierunek zmian, jednak z punktu widzenia logistyki nie są zbyt użyteczne.



Rys. 3.6. Źródła przewagi konkurencyjnej lokalizacji

Źródło: [Porter 2001, s. 263].

Problematyka lokalizacji obiektów w klasycznym ujęciu jest znacznie częściej podejmowana ze względu na możliwość uzyskania matematycznego wyniku. Ze względu na postępującą automatyzację obliczeń matematycznych istnieje, tak w rzeczywistości gospodarczej, jak i w literaturze, coraz większy nacisk na uzyskanie szacownego kosztu funkcjonowania obiektu w analizowanej lokalizacji. Najbardziej pożądane jest stosowanie dokładnej analizy kosztów związanych z planowaną dystrybucją oraz analizy finansowej związanej z planowaną inwestycją. Dokładna analiza pozwoli, na wygenerowanie dodatkowych oszczędności oraz zapewni efektywność i elastyczność systemu logistycznego. Umożliwi on realizację korzyści na rzecz klientów we właściwym czasie, miejscu, we właściwej ilości i jakości przy akceptowalnych kosztach.

3.2. Wybrane modele matematyczne wspomagające lokalizację obiektów

Ustalenie prawidłowości zachodzących w gospodarce jest podstawą nauk ekonomicznych. Zależności zjawisk gospodarczych mogą być ustalone liczbowo na zasadzie intuicyjnej lub ekonometrycznej. Podejście ekonometryczne jest podejściem ogólnym, ale jednocześnie bardziej jednoznacznym i poddanym większym rygorom niż podejście intuicyjne [Guzik 2003, s. 11]. Intuicyjne modelowanie i prognozowanie polega najczęściej na ustaleniu pewnych prawidłowości na podstawie obserwacji otaczającej nas rzeczywistości gospodarczej. Większość modeli behawioralnych powstała z wykorzystaniem modelowania intuicyjnego. W przeciwieństwie do modelowania intuicyjnego, matematyka, badania operacyjne oraz ekonometria opisują powiązania między zmienną objaśnianą, a zmiennymi objaśniającymi na podstawie danych statystycznych. Model ekonometryczny jest uniwersalny i gwarantuje uzyskanie wyniku – wartości liczbowej – wymagającego jedynie odpowiedniej interpretacji. W rzeczywistości gospodarczej, w której podmioty gospodarcze nie posiadają pełnej informacji, a decyzje często podejmowane są pod presją czasu, konieczne jest wykorzystanie uogólnionych modeli ekonometrycznych. Decydenci potrzebują informacji pozwalającej na podjęcie ostatecznej decyzji w warunkach ograniczonego ryzyka lub pewności⁵⁰. W związku z tym oczekują wyniku w postaci liczbowej, utwierdzającego ich w przekonaniu o słuszności podejmowanego działania.

W literaturze z zakresu badań operacyjnych, poświęcono dużo uwagi zagadnieniom związanym z transportem oraz wyznaczaniem lokalizacji miejsc produkcji i magazynów. Problem efektywnego i ekonomicznie uzasadnionego transportu dóbr jest przykładem problemu ekonomii i nauk o zarządzaniu, który jest problemem ważkim i trwałym w swojej istocie.

Syntetycznego zestawienia metod wykorzystywanych przy wyborze lokalizacji obiektów dokonali Hodczak-Sekulska i Redmer [2010] (rys. 3.7). W przestrzeni dwuwymiarowej dokonali porównania dokładności stosowanych metod oraz pracochłonności związanej z wykorzystaniem danej metody do konfiguracji lub optymalizacji sieci transportowej. Porównali następujące metody: środka ciężkości,

⁵⁰ Autor zwraca uwagę na fakt, że decyzje mogą być podejmowane w warunkach pewności, ograniczonego ryzyka lub niepewności. Pewność oznacza, że znamy wszystkie zmienne decyzyjne, ograniczone ryzyko oznacza, że znamy prawdopodobieństwo wystąpienia pewnego zdarzenia, niepewność, że nie jesteśmy w stanie wyznaczyć prawdopodobieństwa wystąpienia pewnego zdarzenia. Szersze stanowisko w tej kwestii prezentuje Żak [2005].

transportową (zagadnienie transportowe), najkrótszej ścieżki, maksymalnego przepływu, minimalnie rozgałęzionego drzewa, transportową wieloetapową (dwuetapowe zagadnienie transportowe/pośrednika), metodę optymalizacyjną⁵¹.

DOKŁADNOŚĆ	Duża		MTW	MO
	Średnia		MT/MNS/ MMP/ MMRD	
	Mała	MSC		
		Mała	Średnia	Duża
		PRACOCHLONNOŚĆ		

MSC – Metoda Środka Ciężkości, MT – Metoda Transportowa, MNS – Metoda Najkrótszej Ścieżki, MMP – Metoda Maksymalnego Przepływu, MMRD – Metoda Minimalnie Rozgałęzionego Drzewa, MTW – Metoda Transportowa Wieloetapowa, MO – Metoda Optymalizacyjna

Rys. 3.7. Ocena relacji pracochłonności, dokładności i uniwersalności metod pozwalających na optymalizację struktury sieci dystrybucji.

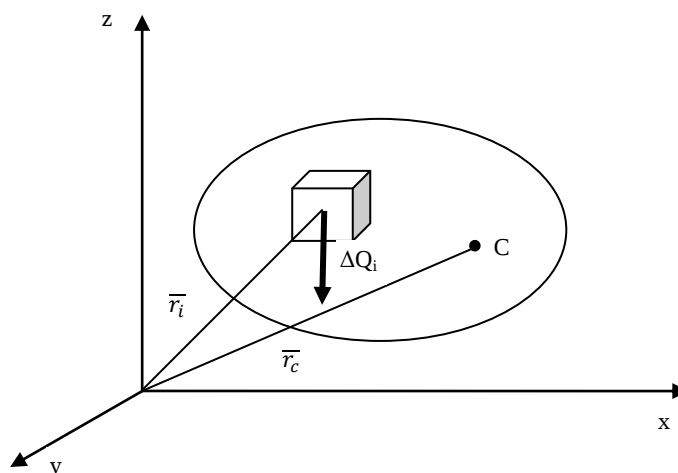
Źródło: [Hodczak-Sekulska, Redmer 2010]

Podstaw metody środka ciężkości, wykorzystywanej do lokalizacji obiektów w przestrzeni, należy szukać w fizyce, a dokładniej w prawach i założeniach do mechaniki ogólnej, w szczególności prawach statyki. Pierwszą podstawową charakterystyką geometryczną figury płaskiej jest położenie jej środka ciężkości [Zielnica 1998, s. 175]. W przypadku, gdy siły działające na poszczególne elementy ciała (rys. 3.8) są elementarnymi siłami ciężkości ΔQ_i (proporcjonalnymi do masy tych elementów, czyli $\Delta Q_i = \Delta m_i \cdot g$), środek sił równoległych staje się środkiem ciężkości (środkiem masy). W przypadku mechaniki położenie środka ciężkości będzie tym

⁵¹ Hodczak-Sekulska i Redmer [2010, s. 2] zdefiniowali metodę optymalizacyjną jako budowę modelu matematycznego dla danego, konkretnego problemu planowania rozwoju sieci dystrybucji i jego rozwiązanie z wykorzystaniem narzędzi optymalizacyjnych takich jak Solver. Takie podejście gwarantuje uzyskanie najlepszego wyniku końcowego. Autor niniejszej pracy uważa, że użycie sformułowania „metoda optymalizacyjna” jest mało trafne. Takie sformułowanie może doprowadzić do sytuacji, w której czytelnik nie wie, jakiej metody użyć i co się kryje pod jej nazwą. Autor proponuje inną nazwę: „algorytmy na miarę – *algorithms to suit*”.

dokładniej wyznaczone, im na większą liczbę elementów podzielimy dane ciało. Położenie środka ciężkości określone jest wzorem [Czetwertyński 1967, s. 183]:

$$\bar{r}_c = \frac{\Delta m_1 \bar{r}_1 + \Delta m_2 \bar{r}_2 + \dots + \Delta m_i \bar{r}_n}{\Delta m_1 + \Delta m_2 + \dots + \Delta m_i}$$



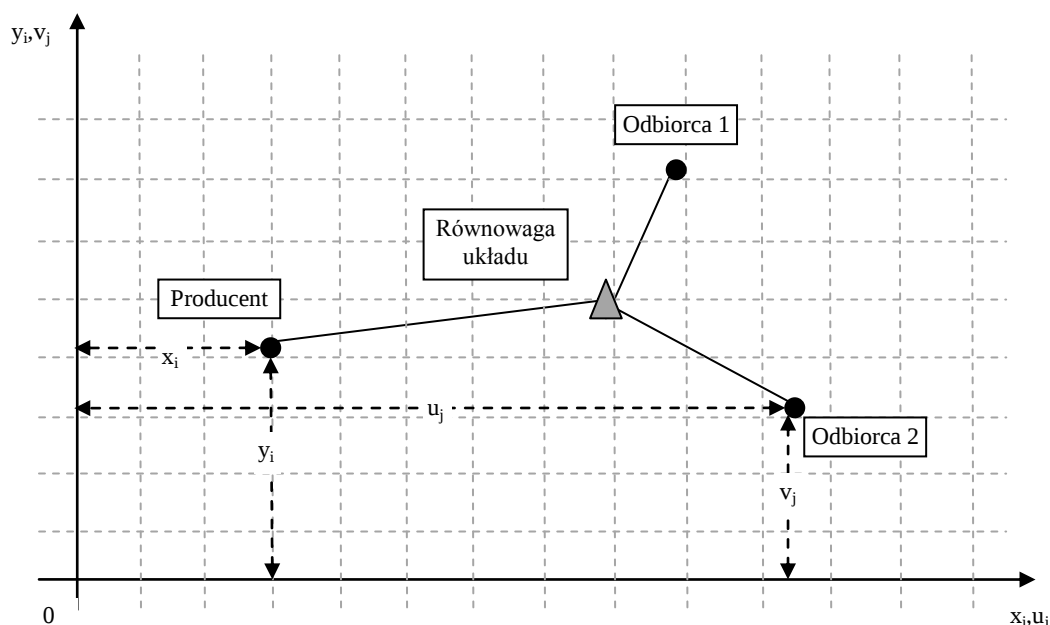
Rys. 3.8. Siły działające na poszczególne elementy ciała w przestrzeni

Źródło: [Czetwertyński 1967, s. 183].

W fizyce niekwestionowane jest, że każde ciało podparte w środku ciężkości znajduje się w stanie równowagi. Prowadząc logiczny wywód można stwierdzić, że analizując układ punktów na płaszczyźnie dwuwymiarowej możemy znaleźć taki punkt, który będzie odzwierciedlał stan równowagi tego układu. Analogię tę udowodniono i szeroko opisano w literaturze przedmiotu [Bozarth i Handfield 2007; Korzeń 1999; Krawczyk 2001; Skowronek i Sarjusz-Wolski 2012; Walerjańczyk 2010]. Autorzy powyższych publikacji wymieniają różne odmiany metody środka ciężkości. Wnikliwe badania literaturowe pozwoliły autorowi niniejszej pracy na identyfikację czterech różnych odmian omawianej metody.

Pierwszy, klasyczny model uwzględnia występowanie zarówno dostawców, jak i odbiorców i wykorzystywany może być do konfigurowania lub rekonfigurowania sieci dystrybucji. Metoda ta pozwala na uzyskanie współrzędnych punktu, w którym powinien zostać zlokalizowany magazyn dystrybucyjny. W celu przyspieszenia prac na potrzeby logistyki został skonstruowany sieciowy analogowy przyrząd do badań optymalnej lokalizacji infrastrukturalnych obiektów inwestycyjnych [Korzeń 1999, s. 248]. Dziś, ze względu na zbyt duży poziom uogólnienia oraz małą precyzję,

przyrząd analogowy nie jest już wykorzystywany w praktyce. W celu wyznaczenia równowagi układu punktów konieczna jest budowa układu odniesienia, którym jest dwuwymiarowy układ współrzędnych. Pozwala on na odczytanie koordynat punktów odzwierciedlających producentów i odbiorców (rys. 3.9).



Rys. 3.9. Dwuwymiarowy układ współrzędnych w metodzie środka ciężkości

Źródło: Opracowanie własne.

Oznaczając współrzędne dostawców $R(x_i, y_i)$, współrzędne odbiorców $S(u_j, v_j)$ oraz znając podaż dostawców (p_i) i wielkość popytu odbiorców (q_j) funkcję celu można zapisać następująco [Skowronek i Sarjusz-Wolski 2012, s. 234]:

$$Q = \sum_{i=1}^R p_i [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2] + \sum_{j=1}^S q_j [(x - u_j)^2 + (y - v_j)^2]$$

Współrzędne x i y w powyższym wzorze określają współrzędne szukanego punktu równowagi układu. Różniczkowanie tej funkcji oraz przyrównanie pochodnych do zera pozwala na uzyskanie wzorów współrzędnych poszukiwanej lokalizacji:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^R p_i x_i + \sum_{j=1}^S q_j u_j}{\sum_{i=1}^R p_i + \sum_{j=1}^S q_j},$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^R p_i y_i + \sum_{j=1}^S q_j v_j}{\sum_{i=1}^R p_i + \sum_{j=1}^S q_j}.$$

Rozwiązanie powyższych równań nie nastręcza większych problemów w arkuszu kalkulacyjnym lub przy użyciu innych narzędzi wspomagających obliczenia. Do implementacji modelu konieczna jest jedynie znajomość takich funkcji jak: suma oraz suma iloczynów.

Druga odmiana modelu pozwala również na konfigurację nowej lub rekonfigurację istniejącej sieci dystrybucji. W przeciwieństwie do poprzedniej odmiany uwzględnia zróżnicowanie stawek przewozowych na trasach do centrum dystrybucyjnego/magazynu oraz z centrum dystrybucyjnego/magazynu do odbiorców. Wprowadzenie zróżnicowania kosztów transportu na jednostkę przewiezioną masy/jednostki ładunkowej będzie powodowało większe ciążenie w kierunku ośrodków wymagających wyższych nakładów na transport. Równowaga będzie występowała bliżej punktów wymagających wyższych opłat za transport. Funkcja celu przyjmuje następującą postać [Korzeń 1999, s. 247]:

$$Q = \sum_{i=1}^R k_i p_i [(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2] + \sum_{j=1}^S k_j q_j [(x - u_j)^2 + (y - v_j)^2]$$

Wzór rozszerzono o parametry k_i – stawkę za przewóz do centrum dystrybucji oraz k_j – stawkę za przewóz towarów z centrum dystrybucji do odbiorców. Przekształcenia matematyczne pozwalają na uzyskanie współrzędnych lokalizacji magazynu dystrybucyjnego, uwzględniającą zróżnicowanie stawek przewozowych, punktu, w którym układ będzie znajdował się w stanie równowagi.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^R k_i p_i x_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j u_j}{\sum_{i=1}^R k_i p_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j},$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^R k_i p_i y_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j v_j}{\sum_{i=1}^R k_i p_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j}.$$

Trzecia i czwarta odmiana modelu korzystająca z podstaw metodycznych środka ciężkości dotyczy sytuacji, w której analizowany jest system dystrybucji dóbr bez uwzględnienia dostawców. Za jego pomocą można określić najdogodniejszą lokalizację pojedynczego magazynu, sklepu lub zakładu produkcyjnego, jeśli zna się położenie i znaczenie różnych źródeł popytu [Bozarth i Handfield 2007, s. 452]. Określenie punktu równowagi następuje poprzez wyznaczenie współrzędnych x i y :

$$x = \frac{\sum_{j=1}^S q_j u_j}{\sum_{j=1}^S q_j},$$

$$y = \frac{\sum_{j=1}^S q_j v_j}{\sum_{j=1}^S q_j}.$$

Podobnie jak w przypadku odmiany drugiej modelu metody środka ciężkości w literaturze przedmiotu wyszczególniona jest odmiana uwzględniająca stawki przewozowe. Uwzględniając zróżnicowanie stawek przewozowych na poszczególnych odcinkach drogi można stwierdzić, że punkt równowagi będzie przesuwiał się w kierunku punktów odbioru wymagających wyższych nakładów na transport. Wzory określające współrzędne punktu równowagi są następujące:

$$x = \frac{\sum_{j=1}^S k_j q_j u_j}{\sum_{j=1}^S k_j q_j},$$

$$y = \frac{\sum_{j=1}^S k_j q_j v_j}{\sum_{j=1}^S k_j q_j}.$$

Stosowanie metody środka ciężkości daje satysfakcjonujące wyniki, jednak zastosowanie metody iteracyjnej, pozwalającej na aproksymację wyniku przybliża decydenta do lokalizacji najkorzystniejszej. Ballou [za Krawczyk 2001, s. 189] postuluje, aby algorytm iteracyjny wyglądał następująco:

1. Obliczenie współrzędnych (x,y) punktu równowagi:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^R k_i p_i x_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j u_j}{\sum_{i=1}^R k_i p_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j},$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^R k_i p_i y_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j v_j}{\sum_{i=1}^R k_i p_i + \sum_{j=1}^S k_j q_j}.$$

2. Wyznaczone współrzędne (x,y) pozwalają na obliczenia odległości d_i zgodnie ze wzorem (wzór ten pozwala na obliczenie odległości zgodnie z metryką euklidesową⁵²):

⁵² Przy obliczaniu trasy przejazdu pojazdu możemy korzystać z uproszczeń rzeczywistości. W literaturze przedmiotu wyróżnia się trzy odległości: rzeczywistą, euklidesową i prostokątną. Pomiędzy

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

3. Obliczone za pomocą wzoru odległości euklidesowe podstawione do prawych stron wzorów na obliczenie współrzędnych punktu równowagi (patrz punkt 1) pozwalają na wyznaczenie skorygowanych wartości współrzędnych (x,y) .
4. Uzyskane w ten sposób skorygowane wartości (x,y) to nowe współrzędne punktu równowagi. Ponownie wykonane operacje z punktów 2, 3 i 4 pozwalają na osiągnięcie wyniku zadowalającego dla decydenta, momentu, w którym zmiany nie będą już istotne.

Metoda środka ciężkości jest najstarszą i jednocześnie najczęściej wykorzystywaną metodą lokalizacji obiektów. Pozwala szybko określić przybliżony obszar poszukiwania lokalizacji, wskazuje kierunek do poszukiwania dostępnych terenów pod inwestycję lub obiektów do wynajęcia (mimo, iż daje jednoznaczną odpowiedź w postaci pary liczb). Metoda ta daleka jest od rzeczywistości gospodarczej, ponieważ nie uwzględnia rzeczywistych odległości pomiędzy punktami, ograniczeń infrastrukturalnych oraz innych wynikających np. z przepisów ruchu drogowego. Wymienione ograniczenia infrastrukturalne dotyczą wszystkich wymienionych klasycznych i behawioralnych modeli lokalizacji obiektów, dopiero wykorzystanie systemów geoinformacji pozwala na ich uwzględnienie.

Podejmowanie decyzji strategicznych w przedsiębiorstwie obarczone jest dużą odpowiedzialnością, decydenci oczekują szczegółowych analiz, a czasami jednoznacznej odpowiedzi. W celu uzyskania lepszej jakościowo odpowiedzi stosuje się coraz bardziej wyrafinowane modele lokalizacji obiektów. Możliwość pozyskania dużej ilości informacji na temat istniejącej infrastruktury z informatycznych systemów geoinformacyjnych oraz automatyzacja obliczeń i analiz, spowodowała znaczny rozwój matematycznych modeli pozwalających na określenie lokalizacji obiektów zapewniających uzyskanie lepszej jakościowo informacji.

Badacze dążą do rozwiązania problemu lokalizacji z wykorzystaniem modeli deterministycznych, w których wszystkie parametry są znane lub coraz częściej z użyciem modeli stochastycznych, w których istnieje możliwość uwzględnienia cech jakościowych. W zagadnieniach transportowych (klasycznych) najczęściej stosowanym kryterium oceny jest minimalizacja kosztów transportu. Niekiedy to kryterium zastępuje

wymienionymi odległościami zachodzi nierówność: odległość rzeczywista < odległość euklidesowa < odległość prostokątnej. W klasycznej metodzie środka ciężkości wykorzystuje się odległość prostokątną.

się innym, np. minimalizacją zrealizowanych tonokilometrów, minimalizacją przebytej drogi lub minimalizacją najdłuższego czasu realizacji zadań transportowych [Sikora 1993, s. 9]. W przypadku gdy w zagadnieniu będzie występował podmiot pośredniczący w transakcji, takie zagadnienie będziemy nazywali zagadnieniem pośrednika. W zagadnieniu pośrednika, w przeciwieństwie do zagadnienia transportowego, funkcja będzie dążyła do maksimum, pośrednik będzie maksymalizował swój zysk.

Dwuetapowe zagadnienie transportowe jest modelem matematycznym, uwzględniającym istnienie punktu pośredniego pomiędzy dostawcą i odbiorcą towaru. Ładunek nie jest bezpośrednio przemieszczany z fabryki do odbiorcy, jeden podmiot gospodarczy zarządza siecią dystrybucji, kryterium optymalizacji jest minimalizacja kosztów transportu. Podstawowymi założeniami modelu są [Guzik 2003, s. 241]:

- znana jest liczba producentów (m),
- znana jest liczba magazynów (s),
- znana jest liczba odbiorców (n),
- znane są zdolności produkcyjne dostawców (a_i – *zdolność produkcyjna i-tego dostawcy*),
- znana jest pojemność magazynów (p_k – *pojemność k-tego magazynu*),
- znany jest popyt odbiorców (b_j – *popyt j-tego odbiorcy*),
- znane są koszty transportu od dostawców do magazynów ($c_{i,k}$ – *jednostkowy koszt transportu od i-tego dostawcy do k-tego magazynu*),
- znane są koszty transportu z magazynów do odbiorców ($d_{k,j}$ – *jednostkowy koszt transportu z k-tego magazynu do j-tego odbiorcy*).

Celem zadania jest ustalenie takiego planu dostaw, aby łączne koszty transportu były minimalne. Ważnym dodatkowym ograniczeniem tego zagadnienia jest zależność pomiędzy popytem, podażą i pojemnością magazynów:

$$\sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{i=1}^m a_i \leq \sum_{k=1}^s p_k$$

Zmienne decyzyjne oznaczone są następująco:

$x_{i,k}$ – wielkość przewozu od i -tego dostawcy do k -tego magazynu,

$y_{k,j}$ – wielkość przewozu z k -tego magazynu do j -tego odbiorcy.

Model matematyczny jest następujący [Guzik 2003, s. 242]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s c_{i,k} x_{i,k} + \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n d_{k,j} y_{k,j} &\rightarrow \min \\ \sum_{k=1}^s x_{i,k} &\leq a_i \quad (i = 1, \dots, m) \\ \sum_{i=1}^m x_{i,k} = \sum_{j=1}^n y_{k,j} &\leq p_k \quad (k = 1, \dots, s) \\ \sum_{k=1}^s y_{k,j} &= b_j \quad (j = 1, \dots, n) \\ x_{i,k}, y_{k,j} &\geq 0 \quad (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n) \end{aligned}$$

Funkcja celu to suma sum iloczynów jednostkowych kosztów transportu na trasach od i -tego dostawcy do k -tego punktu magazynowego oraz sumy iloczynów jednostkowych kosztów transportu z k -tego punktu magazynowego do j -tego odbiorcy. Pierwszy warunek ograniczający oznacza, że suma przewozów na trasach od i -tego dostawcy do k -tego punktu magazynowego nie może być większa niż podaż dostawcy. Drugi warunek ograniczający oznacza, że suma przewozów od dostawców do punktów magazynowych oraz od punktów magazynowych do odbiorców musi być sobie równa i mniejsza lub równa pojemności magazynów. Trzeci warunek ograniczający informuje, że suma przewozów z punktów magazynowych do i -tego odbiorcy musi w pełni odpowiadać jego popytowi. Ostatni warunek ograniczający dotyczy nieujemności zmiennych decyzyjnych.

Dwuetapowe zagadnienie transportowe jest zagadnieniem programowania liniowego, które może być rozwiązane metodą potencjałów⁵³, wymaga to jednak dodatkowych operacji (blokady tras) w celu uzyskania zamkniętego zagadnienia transportowego. W przypadku założenia o pełnym wykorzystaniu magazynów, można to zadanie

⁵³ Metoda potencjałów jest metodą rozwiązywania różnych odmian zagadnienia transportowego. Składa się z trzech kroków: 1. Poszukiwania rozwiązania wyjściowego, dopuszczalnego i bazowego (wyznaczenia rozwiązania wyjściowego dokonujemy z użyciem metody: kąta północno-zachodniego, metody Vogle'a (VAM) lub najczęściej metody minimalnego elementu macierzy. W przypadku, gdy funkcja celu będzie maksymalizowana będzie to metoda maksymalnego elementu macierzy); 2. Należy sprawdzić czy aktualne rozwiązanie jest optymalne (tak – koniec obliczeń, nie – należy zrealizować kolejny krok); 3. Wyznaczona zostaje tzw. trasa centralna i utworzony schemat poprawy rozwiązania. Nowe rozwiązanie należy sprawdzić zgodnie z punktem nr 3. Iteracje powtarzane są dopóty, dopóki nie można poprawić rozwiązania.

rozwiązać jako dwa odrębne zamknięte zadania transportowe [Guzik 2003; Sikora 1993; Trzaskalik 2003].

Dwuetapowe zagadnienie pośrednika jest rozwinięciem dwuetapowego zagadnienia transportowego. Podstawową różnicą jest kryterium optymalizacji, w zagadnieniu transportowym jest to minimalizacja kosztu transportu na trasach przewozów, w dwuetapowym zagadnieniu pośrednika będzie to maksymalizacja zysku. Funkcja celu została odwrócona, gdyż pojawił się dodatkowy podmiot w łańcuchu dostaw. W dwuetapowym zagadnieniu pośrednika, jak sama nazwa metody wskazuje, pośrednik nabywa towar u dostawców i przesyła do swoich magazynów. Z magazynów, znając ceny sprzedaży poszczególnym odbiorcom, dostarcza towary i maksymalizuje swój zysk. Podstawowymi założeniami modelu są [Guzik 2003, s. 244-245]:

- znana jest liczba producentów (m),
- znana jest liczba magazynów (s),
- znana jest liczba odbiorców (n),
- znane są zdolności produkcyjne dostawców (a_i – maksymalna podaż i -tego dostawcy),
- znana jest pojemność magazynów (p_k – pojemność k -tego magazynu),
- znany jest popyt odbiorców (b_j – maksymalny popyt j -tego odbiorcy),
- znana jest cena zakupu towarów (e_i – cena towaru u i -tego dostawcy),
- znana jest cena sprzedaży towaru (w_j – cena sprzedaży towaru j -temu odbiorcy),
- znane są koszty transportu od dostawców do magazynów ($c_{i,k}$ – jednostkowy koszt transportu od i -tego dostawcy do k -tego magazynu),
- znane są koszty transportu z magazynów do odbiorców ($u_{k,j}$ – jednostkowy koszt transportu z k -tego magazynu do j -tego odbiorcy),
- znamy, dochód jednostkowy na trasach od i -tego dostawcy do k -tego magazynu ($g_{i,k}$ – dochód realizowany na trasie od i -tego dostawcy do k -tego magazynu obliczony zgodnie z wzorem: $g_{i,k} = e_i - c_{i,k}$),
- znamy dochód jednostkowy na trasach z k -tego magazynu do j -tego odbiorcy ($d_{k,j}$ – dochód realizowany na trasie z k -tego magazynu do j -tego odbiorcy obliczony zgodnie z wzorem: $d_{k,j} = w_j - u_{k,j}$).

Zmienne decyzyjne oznaczone są następująco:

$x_{i,k}$ – wielkość przewozu od i -tego dostawcy do k -tego magazynu,

$y_{k,j}$ – wielkość przewozu z k -tego magazynu do j -tego odbiorcy.

Celem modelu dwuetapowego zagadnienia pośrednika jest ustalenie takiego planu zakupów, dostaw oraz sprzedaży, aby łączny zysk pośrednika był maksymalny. Model matematyczny jest następujący [Guzik 2003, s. 245]:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^s g_{i,k} x_{i,k} + \sum_{k=1}^s \sum_{j=1}^n d_{k,j} y_{k,j} \rightarrow \max \\
 & \sum_{k=1}^s x_{i,k} \leq a_i \quad (i = 1, \dots, m) \\
 & \sum_{i=1}^m x_{i,k} = \sum_{j=1}^n y_{k,j} \leq p_k \quad (k = 1, \dots, s) \\
 & \sum_{k=1}^s y_{k,j} \leq b_j \quad (j = 1, \dots, n) \\
 & x_{i,k}, y_{k,j} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, s; j = 1, \dots, n)
 \end{aligned}$$

W celu rozwiązania powyższego zadania można skorzystać z metody potencjałów. Należy jednak wcześniej wprowadzić do zadania fikcyjnego dostawcę z podażą równą całemu popytowi wszystkich odbiorców oraz fikcyjnego odbiorcę z popytem równym podaży wszystkich dostawców. Operację taką nazywamy bilansowaniem zadania transportowego. Funkcja celu jest sumą sum iloczynów zysków wynikających z dostaw od i -tego dostawcy do k -tego punktu magazynowego zapewniających minimalne straty oraz zysków wynikających z dostaw z punktów magazynowych do j -tych odbiorców zapewniających najwyższe zyski. Korzystając z metody potencjałów można uzyskać najlepszy wynik.

Przedstawione powyżej metody: dwuetapowe zagadnienie transportowe oraz dwuetapowe zagadnienie pośrednika, można wykorzystać przy projektowaniu nowej lub rekonfiguracji istniejącej sieci dystrybucji. Wyznacznikiem co do wyboru modelu matematycznego będzie struktura własności oraz struktura kanału dystrybucji. Modele te mogą być wykorzystane do poszukiwania najkorzystniejszej lokalizacji centrum magazynowego lub dystrybucyjnego jednakże użycie tych modeli wymaga dużej wiedzy eksperckiej, gdyż opiera się na wykonaniu obliczeń dla wielu wariantów wyznaczonych wcześniej dostępnych lokalizacji. Metody dwuetapowe, bez uprzedniego, poprawnego przygotowania danych wejściowych obejmujących między innymi: geokodowanie punktów dostawców i odbiorców oraz wyznaczanie odległości rzeczywistych pomiędzy punktami, dla kolejnych wariantów obliczeń mogą być

niemiarodajne. Hodczak-Sekulska i Redmer [2010] wyróżnili, jako metodę o najlepszych możliwych do uzyskania wynikach „algorytmy na miarę”, co zdaniem autora pracy jest dobrym kierunkiem badań. Indywidualne podejście do problemu pozwala na uzyskanie lepszych jakościowo wyników, konieczne jest jednak stworzenie wytycznych, ogólnego algorytmu, pozwalającego na uzyskanie powtarzalności procesu w różnych przypadkach.

Stosowanie metod matematycznych, podstawowych oraz algorytmów rozszerzonych o parametry związane z ograniczeniem możliwości użycia pojazdów o określonej ładowności czy czasu pracy kierowców, jest kierunkiem pożądanym w teorii lokalizacji obiektów. Pozwala to na uzyskanie lepszych jakościowo wyników, między innymi z uwagi na koszt transportu lub w razie potrzeby maksymalizację zysku. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że nie tylko uzyskanie minimalnego kosztu transportu lub maksymalizacja zysku jest przy wyborze lokalizacji najważniejsza, na ostateczny wybór mają wpływ również inne czynniki.

3.3. Opis wybranych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji

Dokonując wyborów w życiu zawodowym lub prywatnym chcemy unikać podejmowania decyzji⁵⁴ w warunkach niepewności, a podejmować je w warunkach ograniczonego ryzyka lub pewności. Możliwość matematycznego odzwierciedlenia zjawisk gospodarczych oraz preferencji decydenta spowodowały rozwój metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Proces podejmowania decyzji rozpoczyna się w momencie, gdy w otaczającej sytuacji gospodarczej wystąpią warunki wymagające podjęcia działania. Występuje przyczyna pewnej sytuacji, musi, a przynajmniej powinien wystąpić skutek, decyzja. Istotą wielokryterialnego wspomaganie decyzji jest wskazanie decydentowi rozwiązania najlepszego ze względu na analizowane kryteria oraz preferencje decydenta. Wielokryterialny problem decyzyjny jest sytuacją, w której, mając zdefiniowany zbiór działań i spójną rodzinę kryteriów, decydent dąży do [Konarzewska-Gubała 1980; Roy 1990; Żak 2005]:

⁵⁴ Warto przypomnieć, że model jednoosobowego podejmowania decyzji, który rozpowszechniony jest jako wzorzec procesu podejmowania decyzji [Banaszyk 2002, s. 122], składa się z następujących etapów [Strategor 1995, s. 448]: 1. Sformułowania problemu decyzyjnego; 2. Wyodrębnienia i opisanie wszelkich możliwych wariantów działania; 3. Oceny każdego wariantu według przyjętych kryteriów, celów lub preferencji; 4. Wyboru rozwiązania najlepszego.

- określenia podzbioru działań (decyzji, wariantów) uważanych za najlepsze względem rozważanej rodziny kryteriów (problem wyboru),
- podziału zbioru działań (decyzji, wariantów) na podzbiory zgodnie z pewnymi normami (problem klasyfikacji albo sortowania),
- uszeregowania zbioru działań (decyzji, wariantów) od najlepszych do najgorszych (problem szeregowania albo rankingu).

Metodyka wielokryterialnego wspomagania decyzji to zbiór zasad i sposobów mających na celu przybliżenie decydenta do najlepszego rozwiązania, wskazać decyzję najlepszą. Głównymi podmiotami zaangażowanymi w proces podejmowania decyzji z użyciem metod wielokryterialnych są: decydent, analityk oraz inne podmioty (interwenienci). Decydent, najczęściej indywidualny, może również występować jako zbiorowy, wyznacza cel główny, wyraża swoje preferencje oraz podejmuje ostateczną decyzję. Analityk jest odpowiedzialny za wybór metody i narzędzi. Jest specjalistą z zakresu badań operacyjnych, ekonomii, statystyki, finansów lub innych specjalności. Wspomaga on decydenta wiedzą merytoryczną, często doświadczeniem, wyjaśnia metodykę, co z kolei pozytywnie wpływa na zaangażowanie decydenta na etapie zbierania danych oraz poziom zaufania do narzędzia, jakim jest wielokryterialne wspomaganie decyzji. Analityk, nie powinien być postrzegany jako osoba całkowicie zewnętrzna wobec problemu i procesu decyzyjnego [Roy 1990, s. 27]. Interwenienci występujący w procesie podejmowania decyzji to podmioty, które pośrednio są beneficjentem podjętej ostatecznie decyzji. W zależności od przyjętej metodyki uczestniczą lub nie uczestniczą w procesie decyzyjnym.

„Zgodnie z definicją wielokryterialnego problemu decyzyjnego, jego podstawowymi atrybutami są: zbiór rozwiązań (wariantów, czynności) A oraz spójna rodzina kryteriów oceny F ” [Żak 2005, s. 49]. Zbiór rozwiązań A to zbiór obiektów, decyzji lub kandydatów, które są poddawane analizie i ocenie w trakcie procesu decyzyjnego, natomiast zbiór F , to kryteria oceny zbioru A . Zatem każde kryterium F jest funkcją odwzorowaną na zbiorze A . Funkcja ta służy do oceny zbioru A i jest odzwierciedleniem preferencji decydenta.

Zbiór rozwiązań A można zdefiniować bezpośrednio lub pośrednio [Galas i in. 1987]. Mianem zbioru bezpośredniego określany jest zbiór skończony i ilościowo mały, w którym wszystkie elementy zostały wymienione. Zbiór pośredni to zbiór bardzo liczny lub nieskończony, często opisany jedynie warunkami ograniczającymi, co znacznie utrudnia identyfikację obiektów. Roy [1990, s. 220-221] postuluje, aby zbiór

kryteriów oceny F również spełniał określone wymagania. Powinien zapewnić wyczerpywalność oceny, polegającą na uwzględnieniu wszystkich możliwych aspektów rozważanego problemu. Powinien być spójny, zapewniać właściwe odzwierciedlenie preferencji decydenta oraz niepowtarzalności zakresów znaczeniowych kryteriów – brak redundancji kryteriów⁵⁵.

Istnieje przekonanie, że wielokryterialne problemy decyzyjne należą do grupy problemów źle zdefiniowanych matematycznie [Żak 2005, s. 51]. Jest to związane z faktem, że nie istnieje możliwość uzyskania rozwiązania, które byłoby jednocześnie najlepsze ze względu na wszystkie analizowane kryteria oceny. Analityk dąży do rozwiązania wielokryterialnej funkcji celu:

$$F(x) = \max[f_1(x), f_2(x), \dots, f_N(x)],$$

gdzie:

$$x \in A^{dop}$$

A^{dop} – zbiór rozwiązań dopuszczalnych,

$f_N(x)$ – cząstkowe funkcje kryterialne dla $n \in (1, 2, \dots, N)$.

Uzyskanie rozwiązania globalnie optymalnego ze względu na wszystkie preferencje decydenta jest niemożliwe. W literaturze rozwiązanie powyższej funkcji nazywane jest rozwiązaniem niezdominowanym, sprawnym lub paretooptymalnym, ze względu na analizowane kryteria oceny. Oznacza to, że w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych A poszukujemy takiego rozwiązania, które będzie dominowało nad pozostałymi. Rozwiązanie a będzie sprawne, jeżeli w zbiorze rozwiązań A nie istnieje żadne inne rozwiązanie b , które dominuje nad a . Nierówność musi być ostra. Możemy mówić o rozwiązaniu słabo zdominowanym, jeżeli nierówność ta jest nie ostra lub o rozwiązaniu neutralnym, gdy do poszukiwania rozwiązania optymalnego wykorzystujemy funkcję skalaryzującą z odniesieniem do punktu idealnego.

Pierwszy raz koncepcję wektora sprawnego, rozwiązania niezdominowanego, zastosował Koopmans w 1951 roku. Jest ona podstawą współczesnej teorii wielokryterialnego wspomagania decyzji. Kuhn i Tucker sformułowali problem maksymalizacji wektora i warunki rozwiązania sprawnego. Dalsze prace badawcze kontynuowane w Stanach Zjednoczonych Ameryki i Europie doprowadziły do

⁵⁵ Wymaganie nieredundancji – oznacza, że usunięcie danego kryterium powoduje, że rodzina kryteriów F przestaje spełniać wymagania wyczerpywalności oceny oraz spójności [Roy 1990, s. 220–221].

wykształcenia dwóch różnych podejść do problemu wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Szkoła amerykańska skoncentrowała swoje wysiłki na optymalizacji wieloatrybutowej funkcji użyteczności. Najważniejszymi przedstawicielami szkoły amerykańskiej są: Charnes i Cooper (koncepcja programowania celowego), Yntema i Torgerson (metoda dekompozycji funkcji użyteczności), Bod (wielokryterialna metoda simpleks), czy w końcu prace Keeneya i Raiffa.

Szkoła europejska odmiennie od szkoły amerykańskiej skoncentrowała się na wspomaganiu decydenta w procesie podejmowania decyzji poprzez analizę relacji przewyższania będącej globalnym odzwierciedleniem preferencji decydenta. Najważniejszymi przedstawicielami szkoły europejskiej są: Benayoun, Roy, i Sussmann, rezultatem tych badań była pierwsza metoda Electre. Kolejne badania Jacqueta-Lagreze'a, Roy'a oraz Bertier'a przyczyniły się do powstania rozszerzonych wersji Electre. Dalsze prace europejskich badaczy zaowocowały różnymi metodami: Benayoun zaproponował metodę Step, Roy i Vinecke opracowali koncepcję pseudokryterium, a Dubois i Prade wykorzystali rozmytą relację binarną do modelowania preferencji decydenta. Reasumując, szkoła amerykańska skierowała swoje wysiłki ku „podejmowaniu optymalnych decyzji z uwzględnieniem wielu kryteriów”, zaś szkoła europejska ku „wspomaganiu decydenta w procesie rozwiązywania złożonych wielokryterialnych problemów decyzyjnych” [Żak 2005, s. 46-48].

Równolegle szkoła amerykańska i europejska rozpoczęły badania nad trzecią grupą metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji – metodami dialogowymi (interaktywnymi). Najważniejszymi przedstawicielami tej koncepcji są: Geoffrion (dialogowa procedura rozwiązania wielokryterialnego problemu programowania matematycznego oparta na maksymalizacji wielokryterialnej funkcji użyteczności) oraz Wierzbicki (metoda punktu referencyjnego pozwalająca na krokowe dochodzenie do rozwiązania satysfakcjonującego). Polscy badacze: Słowiński i Jaskiewicz również przyczynili się do światowego rozwoju interaktywnych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Najbardziej znaną polską metodą interaktywną jest metoda przeglądu wiązką światła (*LBS – Light Beam Search*). Duże zainteresowanie badaczy i użytkowników metodami dialogowymi spowodowane jest cechami charakterystycznymi dla tych metod [Jacyna 2009, s. 164]:

- w poszczególnych iteracjach wymagają od decydenta zdefiniowania stosunkowo prostej informacji preferencyjnej,

- w dużym stopniu angażują decydenta w proces rozwiązywania problemu, co zwiększa zaufanie decydenta do końcowego wyniku,
- angażują decydenta w proces lepszego poznawania problemu i pozwalają mu na świadomą zmianę jego preferencji, które w naturalny sposób ewoluują wraz z postępującą penetracją problemu.

W literaturze przedmiotu wielokryterialne modele wspomaganie decyzji są różnie klasyfikowane. Żak [2005, s. 58] zaproponował podział metod ze względu na następujące kryteria:

- cel procesu decyzyjnego, w którym stosuje się daną metodę i sposób rozwiązywania problemu decyzyjnego,
- sposób określania dopuszczalnych wariantów (decyzji),
- rodzaj analizowanych i przetwarzanych informacji,
- sposób i moment definiowania lokalnych preferencji decydenta,
- sposób syntezy globalnych preferencji decydenta,
- zmienność czasową analizowanych i przetwarzanych parametrów,
- dokładność generowanych rozwiązań.

Mając na uwadze fakt, że klasyfikacja metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji nie jest przedmiotem niniejszej pracy autor przedstawi jedynie trzy najczęściej spotykane klasyfikacje [Żak 2005, s. 55-61]. Ze względu na cel procesu decyzyjnego można wyróżnić wielokryterialne metody:

- wyboru (optymalizacji),
- klasyfikacji (sortowania),
- porządkowania (rankingowe).

Analizując moment zbierania informacji o lokalnych preferencjach decydenta można wyróżnić metody, w których preferencje wyrażone są:

- *a priori*,
- *a posteriori*,
- progresywnie w trakcie procesu poszukiwania najlepszego rozwiązania (metody interaktywne).

Istotnym kryterium klasyfikacji metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji jest dokładność generowanych rozwiązań. Wybór odpowiedniej metody ma kluczowe znaczenie dla uzyskiwanych rezultatów. W tym zakresie metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji dzieli się na:

- metody dokładne, umożliwiają uzyskanie rozwiązania optymalnego w sensie matematycznym,
- metody przybliżone (heurystyczne), gwarantują uzyskanie rozwiązania zbliżonego do optymalnego. W tej grupie metod należy wyróżnić metody specjalizowane, umożliwiają one rozwiązanie konkretnej sytuacji decyzyjnej oraz metody uniwersalne oparte na algorytmach metaheurystycznych; dość duży poziom uogólnienia zapewnia możliwość ich aplikacji w różnorodnych sytuacjach decyzyjnych.

Poprawny dobór metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji ma kluczowe znaczenie dla całego procesu decyzyjnego. W przypadku, gdy preferencje decydenta są znane na początku procesu podejmowania decyzji można zastosować metodę zapewniającą optymalizację wieloatrybutowej funkcji użyteczności lub relacji przewyższania. W przypadku gdy decydent nie jest pewien swoich preferencji najlepsze będzie zastosowanie metody interaktywnej. Użycie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji zapewnia wieloaspektowe ujęcie rozpatrywanej sytuacji decyzyjnej oraz umożliwia podjęcie decyzji zgodnej z oczekiwaniami decydenta oraz interesariuszy. Wiedza i doświadczenie analityka będą miały kluczowe znaczenie dla poprawności całego procesu decyzyjnego⁵⁶.

W dalszej części pracy zostaną zaprezentowane trzy różne metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Wybór nie jest przypadkowy. Pierwsza opisana metoda AHP, to przykład metody porządkującej i dokładnej, w której preferencje decydenta wyrażane są *a priori*. Metoda ta reprezentuje szkołę amerykańską, pozwala na maksymalizację wieloatrybutowej funkcji użyteczności, wynikiem jest ranking wszystkich analizowanych wariantów. Druga prezentowana metoda, to przykład europejskiej szkoły wielokryterialnego wspomaganie decyzji – metoda *Electre Is*. Jest to metoda, którą klasyfikujemy jako metodę optymalizacyjną, w której preferencje decydenta wyrażone są *a priori*, a wynik analizy jest dokładny. Wskazanie tej metody było możliwe na podstawie analizy podziału metod rodziny *Electre* dokonanej przez Rogersa, Brunena i Maystre'a [1999, s. 84]. W swojej książce przedstawili podział uzależniony od trzech elementów: wyniku końcowego, rodzaju relacji przewyższania oraz kryteriów będących podstawą dla oceny wariantów (tab. 3.3).

⁵⁶ Szczegółowych informacji należy szukać w: [Roy 1990; Mousseau i Roy 2005; Rogers i in. 1999; Jaskiewicz i Słowiński 1999; Jaskiewicz i Słowiński 1997; Żak 2005]

Tabela 3.3. Podział metod rodziny Electre

Relacja przewyższania	Kryterium	Wynik procedury		
		Wybór	Klasyfikacja	Ranking
Dokładna	Kryterium dokładne	I	-	II
Rozmyta	Pseudo-kryterium	Is	Tri	III, IV

Źródło: [Rogers i in. 1999, s. 84].

Porównywanie dwóch wariantów może odbywać się na dwa sposoby w wartościach bezwzględnych – relacja dokładna i w wartościach względnych – relacja rozmyta (tab. 3.3). Pierwsza, relacja dokładna, skutkuje tym, że nawet minimalna różnica na kryteriach będzie powodowała negację relacji, co bezpośrednio będzie miało wpływ na globalną macierz przewyższania oraz budowany graf relacji. Minimalna różnica na kryteriach będzie usuwała tę relację lub tworzyła. Użycie relacji rozmytej (pseudo-kryteriów) wpływa na ostateczny wynik obliczeń – wskaźnik solidności, a tym samym ostateczną rekomendację, nie robi tego jednak w sposób bezwzględny.

Rogers, Brunen i Maystre [1999, s. 82-83] sugerują, że użycie relacji rozmytej i dokładnej może być podyktowane specyfiką problemu, czy jest on natury teoretycznej czy praktycznej. Jednocześnie wskazują, że w fizyce potrzebny jest wynik dokładny, ponieważ istotny jest pomiar zjawiska, a w praktyce konfrontacji podlegają różne czynniki wyrażone w różnych miarach.

Rodzina metod Electre pozwala na uzyskanie trzech różnych wyników. Może to być ranking wariantów, klasyfikacja oraz wskazanie (wybór) wariantu najlepszego lub wskazanie zbioru wariantów porównywalnych. Autor niniejszej pracy zdecydował się na wybranie wariantu, który będzie bezpośrednio sugerował ostatecznemu decydentowi wariant najlepszy. Utworzenie jedynie rankingu lub klasyfikacja pozostawia decydentowi zbiór wariantów do wyboru. Zastosowanie metody *Electre Is* pozwala na wskazanie wariantu najlepszego lub zbioru wariantów porównywalnych. Ostateczna decyzja zostaje podjęta zgodnie z rekomendacją. Z uwagi na powyższe autor zdecydował się na wykorzystanie metody *Electre Is* w dalszej, badawczej części pracy.

Trzecia opisana metoda to LBS. Jest to przykład metody interaktywnej i przybliżonej, w której lokalne preferencje decydenta analizowane są progresywnie w trakcie procesu obliczeniowego. Metody interaktywne najczęściej stosuje się do przeszukiwania dużych zbiorów rozwiązań dopuszczalnych. Doprecyzowywanie

preferencji pozwala na zawężanie w kolejnych krokach zbioru rozwiązań dopuszczalnych, a w końcu wyznaczenie rozwiązania najlepszego.

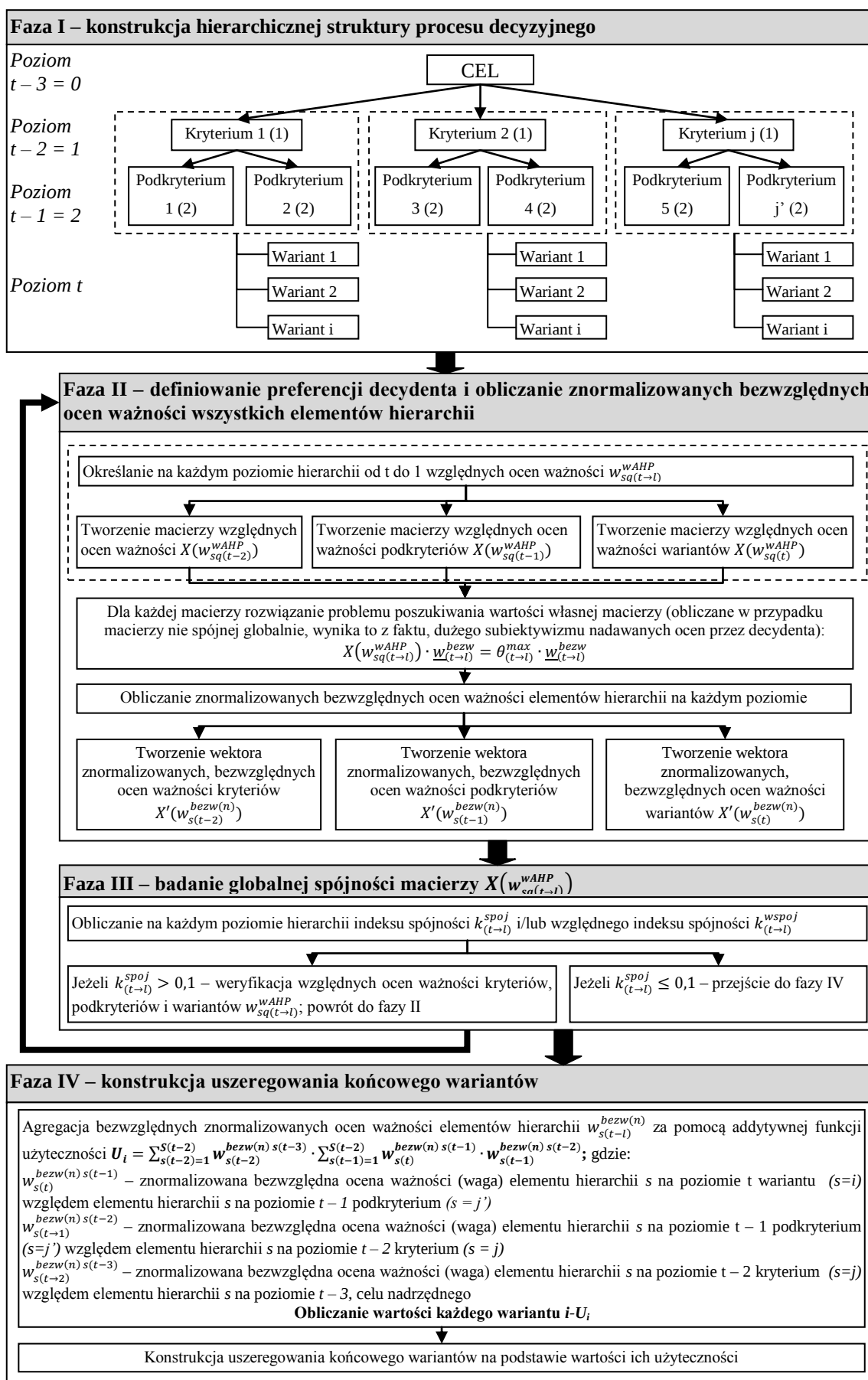
3.3.1. Metoda AHP

AHP (*Analytic Hierarchy Process*) to oryginalna i jednocześnie najbardziej znana metoda hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego umożliwiająca wprowadzenie relatywnej skali ocen – priorytetów dla policzalnych i niepoliczalnych kryteriów. Twórcą metody AHP jest Saaty, a sama metoda powstała na początku lat siedemdziesiątych XX wieku [Adamus i Gręda 2005, s. 10-12]. Podbudowę teoretyczną do tej metody opracowali Yntem i Torgerson. Metoda wykorzystuje logikę dekompozycji problemu decyzyjnego, która dopuszcza występowanie ocen, które nie są całkowicie spójne oraz umożliwia uwzględnienie odstępstw od tradycyjnej dedukcji liniowej, w której zakłada się, że jeżeli a_1Pa_2 i $a_2Pa_3 \rightarrow a_1Pa_3$ [Żak 2005, s. 68].

Metoda AHP w literaturze przedmiotu jest opisywana różnymi algorytmami w zależności od tego, czy dopuszcza wprowadzenie scenariuszy, różnych decydentów lub grupowanie wariantów. Żak [2005, s. 69] przedstawia ogólny algorytm metody AHP w postaci graficznej, wyróżniając cztery podstawowe fazy (rys. 3.10).

Faza pierwsza polega na identyfikacji zestawu najważniejszych kryteriów, (podkryteriów i wariantów – jeżeli takie występują).

Druga faza to określenie relacji dominacji pomiędzy kryteriami (ustalenie hierarchii pierwszeństwa kryteriów). W tym celu należy skonstruować macierze umożliwiające porównanie kryteriów w parach (macierz pierwszeństwa kryteriów), a dalej skonstruować macierze umożliwiające porównanie elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych w parach. W celu konstrukcji macierzy umożliwiających porównanie kryteriów należy posłużyć się schematem punktowania pierwszeństwa. Schemat punktowania pierwszeństwa służy do nadania wag poszczególnym kryteriom. Noty nadawane są w zakresie od jeden do dziewięć, gdzie jeden to brak pierwszeństwa, a dziewięć to bezdyskusyjne pierwszeństwo. Podczas tworzenia macierzy umożliwiających porównanie elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych należy wykorzystać schemat punktowania preferencji elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Noty nadawane są również w zakresie od jeden do dziewięć, gdzie jeden oznacza jednakową preferencję, a dziewięć bezdyskusyjną przewagę.



Rys. 3.10. Algorytm metody AHP

Źródło: [Żak 2005, s. 69–73].

Nadanie wag poszczególnym kryteriom może odbywać się z wykorzystaniem danych statystycznych, warunkiem jest posiadanie odpowiedniej liczby historycznych szeregów czasowych lub z wykorzystaniem indywidualnych odczuć decydenta względem poszczególnych, badanych kryteriów. Wyznaczenie macierzy wartości (wektora) znormalizowanych odbywa się poprzez obliczenie ilorazu każdej wagi przez sumę wag w danej kolumnie. Istotnym elementem procesu jest obliczenie średnich wag dla wszystkich wierszy macierzy wartości znormalizowanych. W przypadku znormalizowanej macierzy kryteriów średnia z wiersza to wskaźnik pierwszeństwa kryterium ($Y - \text{pierwszeństwo}_Y$). W przypadku znormalizowanej macierzy preferencji elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych średnia z wiersza to wskaźnik preferencji elementu zbioru rozwiązań dopuszczalnych w odniesieniu do badanego kryterium ($X \text{ w odniesieniu do } Y - \text{preferencja}_{XY}$) [Bozarth i Handfield 2007, s. 401].

W fazie trzeciej następuje badanie spójności macierzy, czyli sprawdzenia jak spójna jest informacja podana przez decydentów w fazie drugiej przy porównywaniu kryteriów i elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych w parach. Faza trzecia jest dodatkowym elementem sprawdzającym poprawność preferencji decydenta, pominięcie jej nie wpłynie negatywnie na poprawność procesu decyzyjnego, przyjęcie dodatkowego założenia o nieomyślności decydenta przy określaniu preferencji umożliwia rezygnację z tej fazy podczas obliczeń. Należy jednak podkreślić, że badanie spójności macierzy eliminuje ewentualne błędy decydenta oraz wskazuje na poprawność wyników końcowych.

Faza czwarta to obliczanie ogólnego wskaźnika preferencji dla wszystkich elementów zbioru rozwiązań dopuszczalnych:

$$\text{preferencja}_X = \sum_{Y=1}^n \text{preferencja}_{XY} \cdot \text{pierwszeństwo}_Y$$

gdzie:

X – element zbioru rozwiązań dopuszczalnych,

Y – kryterium Y ,

preferencja_{XY} – obliczony wskaźnik preferencji rozpatrywanego elementu ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych w odniesieniu do kryterium Y ,

pierwszeństwo_Y – obliczony wskaźnik pierwszeństwa kryterium Y .

Wynikiem końcowym zastosowania metody AHP jest lista rankingowa, utworzona na podstawie wskaźników preferencji zawierających się w przedziale $[0;1]$. Należy pamiętać, że suma wszystkich wskaźników preferencji dla analizowanych wariantów musi być równa jedności. Ranking tworzony jest od wartości największej (najwyższa użyteczność) do wartości najmniejszej (najniższa użyteczność). Zaprezentowany algorytm (rys. 3.10) pozwala kompleksowo analizować różne sytuacje decyzyjne, zbadać indywidualne preferencje i priorytety decydentów w logiczny, zorganizowany sposób. Użycie metody AHP pozwala na przedstawienie zbioru rozwiązań dopuszczalnych w postaci uszeregowanej wskazując na decyzję najlepszą. Ostateczna decyzja jest zawsze podejmowana przez decydenta.

3.3.2. Metoda *Electre Is*

Grupa metod Electre powstała w oparciu o aksjomat ograniczonej porównywalności. Oznacza to, że porównując dwa warianty w hipotetycznej sytuacji decyzyjnej, możemy określić relacje zachodzące pomiędzy nimi. Dopuszczalne są cztery relacje pomiędzy wariantami:

- nierozróżnialność (I),
- silna preferencja (P),
- słaba preferencja (Q),
- nieporównywalność (R).

Nierozróżnialność oznacza, że dwa analizowane warianty są dla nas prawie takie same (xIy). Silna preferencja oznacza, że jeden z wariantów jest bardziej preferowany (xPy), słaba preferencja oznacza, że jest on mniej preferowany, jednak nadal pozostaje w sferze naszego zainteresowania (xQy). Nieporównywalność dwóch wariantów zapisujemy jako (xRy), oznacza ona, że ani pierwszy wariant nie jest lepszy od drugiego, ani drugi od pierwszego, a jednocześnie nie są one takie same.

Grupa metod Electre opiera się na ustrukturyzowanym systemie relacji przewyższania S . S jest to suma zbiorów relacji nierozróżnialności, silnej i słabej preferencji:

$$S = I \cup P \cup Q.$$

Na podstawie relacji przewyższania można przeprowadzić wnioskowanie dla par wariantów (relacja S jest zwrotna (aSa) oraz nieprzechodnia):

jeżeli xSy i $\neg xSy$ to xPy lub xQy ,

jeżeli xSy i ySx to xIy ,

jeżeli $\neg ySx$ i $\neg xSy$ to xRy .

Analizowana metoda *Electre Is* jest jedną z kolejnych metod z rodziny *Electre*. To co wyróżnia ją na tle innych to użycie pseudokryteriów zamiast kryteriów rzeczywistych, prawdziwych (kryteria rzeczywiste są analizowane w metodzie *Electre I* i *II*). Zastosowanie pseudokryterium pozwoliło na analizowanie sytuacji decyzyjnych, w których dane, jakimi dysponujemy są niedoskonałe [Mousseau i Roy 2005, s. 135-142].

Metoda powstała, aby wspomagać decydenta w podjęciu decyzji poprzez wyznaczenie podzbioru wariantów, ze skończonego zbioru wariantów ocenianych przez spójną rodzinę kryteriów. Warianty są ze sobą porównywane, każdy oddzielnie, nie jest obliczana żadna funkcja użyteczności jak przewiduje procedura, np. w metodzie AHP. W celu wyznaczenia podzbioru najlepszych wariantów metoda *Electre Is* wymaga dwóch kroków:

- wyznaczenia relacji przewyższania, dla każdej pary wariantów,
- wyznaczeniu podzbioru wariantów najlepszych na podstawie macierzy przewyższania.

Procedura rozpoczyna się od określenia zbioru wariantów, zbioru decyzji dopuszczalnych. Na tym etapie istotnym elementem jest zdefiniowanie spójnego zbioru (rodziny) kryteriów (rys. 3.11). Następnie za pomocą określonych przez decydenta progów nierozróżnialności q_i , preferencji p_i i weta v_i ⁵⁷ oraz współczynników ważności k_i obliczane są kolejne elementy potrzebne do wykreślenia ostatecznego grafu przewyższania. Podstawowym krokiem jest utworzenie macierzy testu zgodności. Test zgodności polega na porównaniu par wariantów dla danego kryterium, w ten sposób zostanie określony cząstkowy współczynnik zgodności.

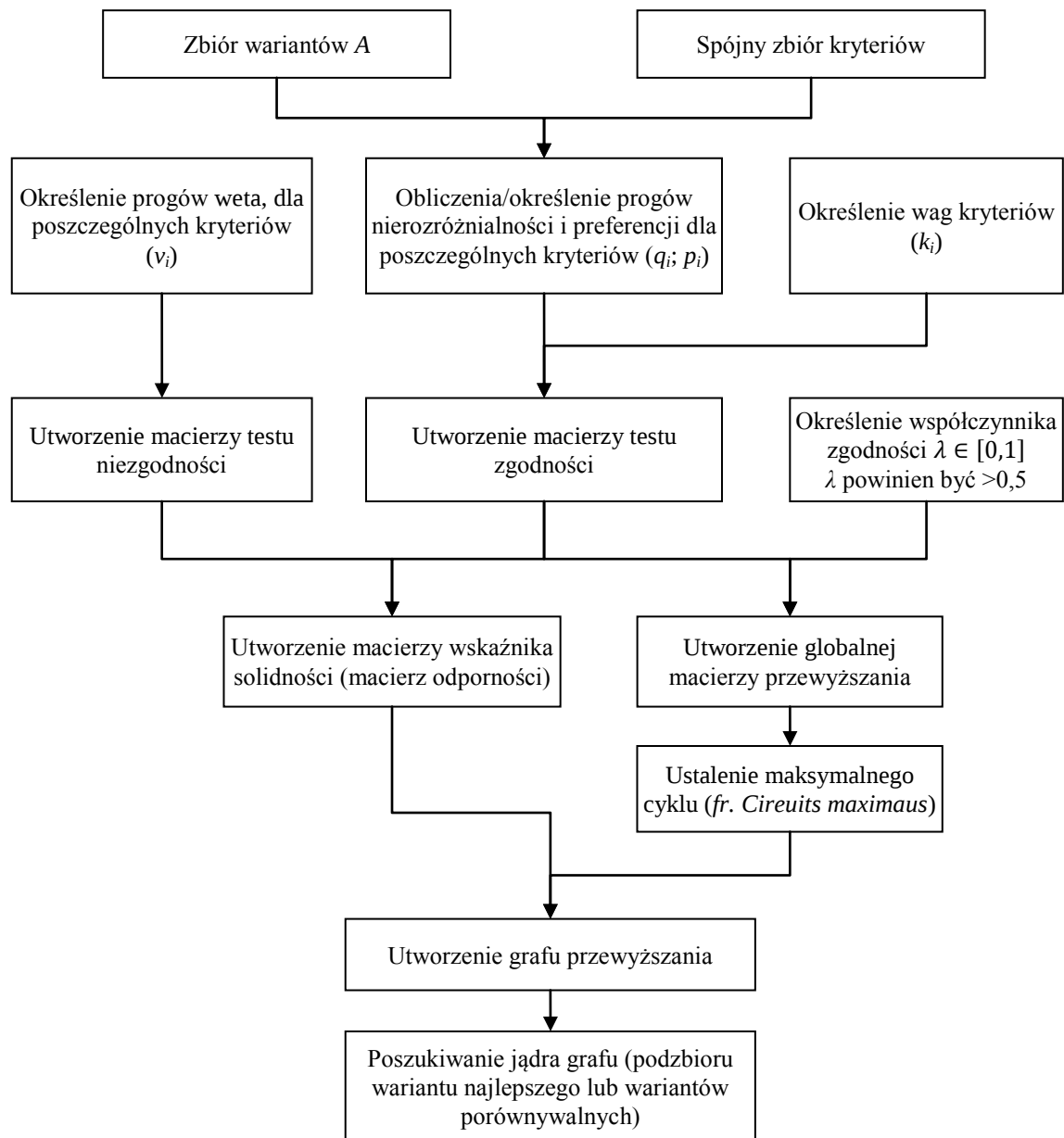
Cząstkowy współczynnik zgodności przyjmuje wartości $c_i(a, b) \in [0, 1]$. Dla preferencji rosnącej obliczany jest zgodnie następującą metodyką:

⁵⁷ Próg nierozróżnialności q_i , preferencji p_i i weta v_i to arbitralne wartości podane przez decydenta lub interwenientów. Jest to subiektywna ocena każdego z analizowanych kryteriów wyrażona w jednostkach miary danego kryterium.

$$c_i(a, b) = \frac{p_i[g_i(a)] - \text{Min}[g_i(b) - g_i(a), p_i[g_i(a)]]}{p_i[g_i(a)] - \text{Min}[g_i(b) - g_i(a), q_i[g_i(a)]]},$$

dla preferencji malejącej:

$$c_i(a, b) = \frac{p_i[g_i(a)] - \text{Min}[g_i(a) - g_i(b), p_i[g_i(a)]]}{p_i[g_i(a)] - \text{Min}[g_i(a) - g_i(b), q_i[g_i(a)]]}.$$



Rys. 3.11. Ogólny algorytm metody *Electre Is*

Źródło: [Aït Younes i in. 2000, s. 4].

Ostatecznie zostaje utworzony globalny współczynnik preferencji:

$$C(a, b) = \frac{\sum_i k_i c_i(a, b)}{\sum_i k_i}.$$

Test niezgodności należy wykonać tylko, jeżeli dla testu zgodności otrzymany wynik globalnego współczynnika preferencji $C(a, b) \geq \lambda$, gdzie λ – to współczynnik zgodności. Współczynnik zgodności jest pewną wartością, która jest założona dla całego modelu z góry. Wartość współczynnika zgodności $\lambda \in [0, 1]$, λ powinien być $> 0,5$. W celu wyznaczenia macierzy testu niezgodności należy wykonać obliczenia zgodnie z poniższymi wzorami, dla preferencji rosnącej:

$$D_i(a, b) = 0 \leftrightarrow g_i(b) - g_i(a) < v_i[g_i(a)] - q_i[g_i(b)] \frac{1 - C(a, b)}{1 - s};$$

dla preferencji malejącej:

$$D_i(a, b) = 0 \leftrightarrow g_i(a) - g_i(b) < v_i[g_i(a)] - q_i[g_i(b)] \frac{1 - C(a, b)}{1 - s}.$$

Wartość globalnego współczynnika niezgodności równa jest:

$$D_i(a, b) = 1 - \exists_i D_i(a, b) = 1;$$

w pozostałych przypadkach:

$$D_i(a, b) = 0.$$

Utworzenie globalnej macierzy przewyższania następuje na podstawie wcześniej wyznaczonych współczynników C_i i D_i :

$$S(a, b) = 1 \leftrightarrow C(a, b) \geq s \quad i \quad D(a, b) = 0;$$

w pozostałych przypadkach:

$$S(a, b) = 0.$$

Macierz przewyższania w metodzie *Electre Is* utworzona jest na podstawie obowiązującej metodyki wnioskowania dla par wariantów. Wartości w macierzy przyjmują wartości jeden lub zero, co pozwala na zbudowanie grafu przewyższania,

będącego obrazem występujących relacji pomiędzy wariantami na podstawie określonych przez decydenta progów na kryteriach.

Utworzenie macierzy wskaźnika solidności (*robustness index*) pozwala na określenie, w jakim stopniu modyfikacja relacji przewyższania w odniesieniu do rozważanej pary wariantów (a,b) jest uzasadniona. Wskaźnik solidności pozwala na jednoznaczne określenie, czy dana relacja jest lepsza czy gorsza i czy należy w ostatecznym grafie dodać łuk reprezentujący tę relację. Wskaźnik solidności ρ przyjmuje dla każdej porównywanej pary wariantów wartości pomiędzy zero i jeden. Interpretacja tych wartości jest następująca [Aït Younes i in. 2000, s. 6]:

- $\rho(a,b) = \frac{1}{2}$ jest równie zasadne dodać łuk relacji pomiędzy wariantami (a,b) co go usunąć,
- $\rho(a,b) > \frac{1}{2}$ bardziej zasadne jest dodanie łuku jeżeli on nie istnieje dla relacji (a,b) niż go usuwać, jeżeli już istnieje. Im wartość bliższa jedności tym bardziej zasadne jest dodanie łuku,
- $\rho(a,b) < \frac{1}{2}$ bardziej zasadne jest usunięcie łuku jeżeli on istnieje dla relacji (a,b) niż go dodawać w przypadku, gdy go nie ma. Im wartość bliższa zeru tym bardziej zasadne jest usuwanie łuku obrazującego relację.

Na podstawie globalnej macierzy przewyższania tworzony jest graf obrazujący relację pomiędzy wszystkimi rozpatrywanymi wariantami. Na utworzonym grafie dokonujemy eliminacji cykli. Eliminacja cykli z grafu pozwala na wyznaczenie jądra grafu. Jądro grafu może wskazywać na jedno najlepsze rozwiązanie zgodne z preferencjami decydenta lub „klikę” (*clique*), to jest zbiór wariantów porównywalnych, wyznaczonych zgodnie z preferencjami decydenta.

Wynikiem powyższej procedury jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie, który z wariantów jest najlepszy – zgodny z preferencjami decydenta. Decydent ma możliwość wpływania na wynik analizy poprzez dodawanie lub usuwanie kryteriów, wskazywanie ich wag oraz zmianę zadeklarowanych wartości progów: nierozróżnialności, preferencji i weta. Metoda pozwala na uzyskanie jednoznacznej odpowiedzi lub zbioru wariantów porównywalnych. Jest to odmienne podejście niż w metodzie AHP, gdzie maksymalizowana jest globalna funkcja użyteczności, a wynikiem jest ranking analizowanych wariantów.

3.3.3. Metoda LBS

Metoda przeglądu wiązką światła (*Light Beam Search – LBS*) należy do grupy interaktywnych metod wielokryterialnego wspomagania decyzji. Została ona zaproponowana przez polskich uczonych Jaskiewicz i Słowińskiego [1993; 1995]. Autorzy kierując się podstawami teoretycznymi europejskiej szkoły wielokryterialnego wspomagania decyzji, zakładającymi możliwość grupowania preferencji decydentów w sposób usystematyzowany, wskazali na fakt, że najpopularniejszymi systemami konsolidacji relacji preferencji (*Consolidated system of preference relations – CSPR*) są systemy korzystające z relacji przewyższania S Roya [Jaskiewicz i Słowiński 1999, s. 301]. Relacja przewyższania S definiowana jest następująco: wariant *a* jest bardziej preferowany niż *b*, jeżeli jest on lepszy lub co najmniej tak samo dobry jak wariant *b* (*aSb*).

Stosując się do relacji przewyższania S można ustalić zależności pomiędzy parami porównywanych kryteriów (są one również podstawą omówionej w rozdziale 3.3.2 metody *Electre Is*). Możliwe jest określenie: obojętności (często określanej mianem nierozróżnialności) – *I*, preferencji: słabej – *Q* lub silnej *P*, czy w końcu nieporównywalności *R* [Jaskiewicz i Słowiński 1999, s. 302]:

$$aSb \wedge bSa \Leftrightarrow aIb;$$

$$aSb \wedge \neg bSa \Leftrightarrow aQb \wedge aPb;$$

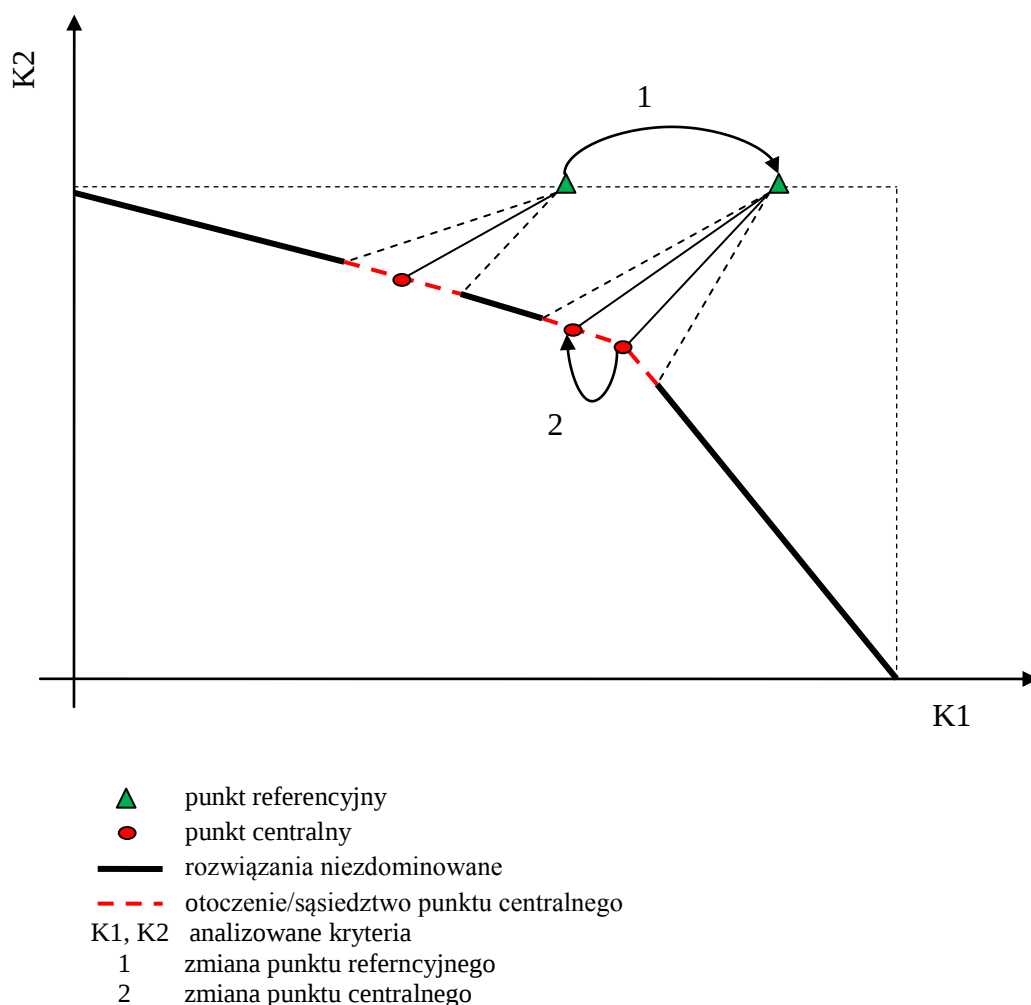
$$\neg aSb \wedge \neg bSa \Leftrightarrow aRb.$$

Powyższy zapis możliwych relacji pomiędzy preferencjami oparty na modelu relacji przewyższania S jest zgodny z aksjomatem ograniczonej porównywalności preferencji. Wielokryterialne modele decyzyjne mają wspomóc decydenta w podejmowaniu decyzji, wskazywać alternatywne rozwiązania, określać relacje, na podstawie informacji określonych na początku procesu decyzyjnego. Nie jest konieczne, aby decydent określał każdą relację pomiędzy każdą parą analizowanych kryteriów. Mając na uwadze powyższe, Jaskiewicz i Słowiński [1999, s. 302] zaproponowali interaktywną metodę decyzyjną odznaczającą się następującymi cechami:

- przeszukiwanie zbioru rozwiązań niezdominowanych odbywa się metodą próbkowania sąsiedztwa punktu centralnego, które może prowadzić decydenta do

zmiany preferencji, a tym samym punktu referencyjnego lub przesunięcia punktu centralnego w ramach wyznaczonego sąsiedztwa (rys. 3.12);

- model lokalnej preferencji sąsiedztwa punktu centralnego jest wyznaczany na podstawie relacji przewyższania S , a jego konstrukcja oparta jest o relatywnie słabą preferencję decydenta;
- sąsiedztwo aktualnego punktu centralnego złożone jest z punktów niezdominowanych, które są porównywalne lub przewyższają aktualny punkt centralny. Punkty spoza sąsiedztwa są nieporównywalne lub gorsze niż aktualnie wyznaczony punkt centralny.



Rys. 3.12. Zasada działania metody LBS w obszarze rozwiązań niezdominowanych
Źródło: Opracowanie własne.

LBS jest metodą interaktywną – dialogową, składa się z dwóch faz, fazy obliczeniowej i fazy decyzyjnej. Po każdej fazie obliczeniowej, w której następuje wyznaczenie sąsiedztwa punktu centralnego, podejmowana jest decyzja. Punkt

centralny pochodzi z wcześniejszej iteracji lub jest efektem rzutowania, (rzutowanie to przypomina oświetlanie tego zbioru, stąd nazwa metody) punktu referencyjnego na zbiór wariantów niezdominowanych. Rzutowanie punktu referencyjnego na zbiór wariantów niezdominowanych odbywa się z użyciem funkcji skalaryzującej⁵⁸. Za pomocą funkcji skalaryzującej wyznaczany jest pierwszy punkt odniesienia lub nowy punkt referencyjny po zmianie preferencji. Decydent w każdej fazie decyzyjnej ma możliwość zmiany punktu referencyjnego (zmiana położenia źródła światła) lub wybór nowego punktu centralnego (zmiana kierunku oświetlenia).

Deb i Kumar zapisali ogólny algorytm procedury LBS opisany w sześciu punktach [2007, s. 2126]:

- zapytaj decydenta o jego początkowe preferencje i punkt referencyjny,
- oblicz początkowy punkt centralny na zbiorze rozwiązań paretooptimalnych (niezdominowanych),
- poproś decydenta o sprecyzowanie lokalnych preferencji, w oparciu o metodykę relacji przewyższania,
- zaprezentuj punkt centralny decydentowi,
- oblicz i zaprezentuj decydentowi punkty charakterystyczne sąsiedztwa,
- jeżeli decydent jest usatysfakcjonowany zakończ procedurę, w innym przypadku poproś decydenta, aby wyznaczył jako nowy punkt centralny jeden z punktów z sąsiedztwa aktualnego punktu centralnego, zmienił preferencje lub na nowo zdefiniował punkt referencyjny. Procedurę powtarzamy od punktu czwartego do czasu, kiedy decydent będzie usatysfakcjonowany.

Założeniem i celem metody LBS jest uzyskanie rozwiązania kompromisowego, które będzie satysfakcjonujące dla decydenta. Każda kolejna iteracja prowadzi do poprawy rozwiązania. Decydent poprzez własne zaangażowanie w procedurę poszukiwania najlepszego rozwiązania, jest przekonany co do podejmowanej decyzji, a dodatkowo poprzez dialog z analitykiem zwraca więcej uwagi na kryteria, których wcześniej nie dostrzegał. Metoda przeglądu wiązką światła, cieszy się coraz większym zainteresowaniem, ze względu na fakt, że po każdej iteracji decydent ma do wyboru kilka wariantów z otoczenia. Jednocześnie decydent i interwenienci mogą brać czynny

⁵⁸ Funkcja skalaryzująca to każda funkcja, która zamienia wektor kryteriów na skalar, agreguje wartości kryteriów do pojedynczej miary globalnej. Przykładem funkcji skalaryzującej jest ważona metryka Czybyszewa [Żak 2005, s. 88-90].

udział w wyznaczaniu najlepszego rozwiązania, które będzie odzwierciedlało ich wspólne preferencje.

Analiza literatury z zakresu metod wielokryterialnego wspomagania decyzji wpłynęła na wybór metody *Electre Is* do dalszych badań. Podstawy teoretyczne metody zostały opracowane na podstawie relacji przewyższania, jako globalnym modelem preferencji decydenta. Metoda ta jest bardziej przyjazna decydentowi gdyż wymaga określenia jedynie wag poszczególnych czynników oraz progów silnej preferencji, nierozróżnialności i progu weta.

Wynik analizy z wykorzystaniem wielokryterialnego wspomagania decyzji to jeden wariant lub zbiór wariantów dopuszczalnych. W przeciwieństwie do metody AHP, *Electre Is* nie tworzy rankingu wariantów, jedynie poprzez analizę relacji pomiędzy wariantami wskazuje wariant najlepszy lub grupę wariantów porównywalnych.

4. Lokalizacja centrum dystrybucji

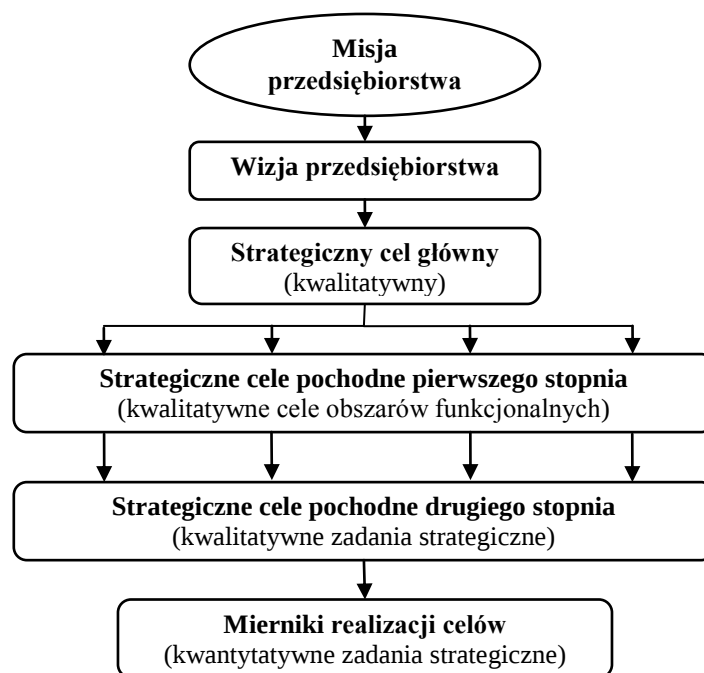
4.1. Zagadnienie podejmowania decyzji strategicznych w przedsiębiorstwie

Dyscyplinę nauki o zarządzaniu możemy rozpatrywać w co najmniej dwóch aspektach. Szerszym, obejmującym swoim zakresem całokształt problematyki związanej z kierowaniem złożonymi przedsięwzięciami oraz w węższym, obejmującym zagadnienia podejmowania decyzji oraz sterowania obiektami i procesami, w których realizowane są złożone czynności z udziałem ludzi [Korzeń 1999, s. 234]. W celu poprawnej identyfikacji ważności problemu podejmowania decyzji istotne jest przybliżenie systemu celów strategicznych.

„Problem kreowania celów strategicznych przedsiębiorstw jest zagadnieniem wypełniania treścią, swoistą w każdym indywidualnym przypadku, do pewnego stopnia typowych jednak kategorii analitycznych, niezbędnych z punktu widzenia sprawności i efektywności przedsiębiorstwa” [Banaszyk 1998, s. 115]. Struktura celów działalności przedsiębiorstwa powinna obejmować takie elementy jak: sformułowanie misji działalności, określenie wizji przedsiębiorstwa, strategicznego celu głównego, wskazanie celów funkcjonalnych (strategicznym celów pochodnych pierwszego i drugiego stopnia) oraz sformalizowanie mierników realizacji celów przedsiębiorstwa (rys. 4.1). Misja wyjaśnia sens istnienia przedsiębiorstwa, z kolei wizja – rozwinięcie treści misji – wyraża pożądany stan lub rezultat działalności przedsiębiorstwa w dłuższej perspektywie czasu.

Strategiczny cel główny jest nadrzędny w stosunku do pozostałych i jednocześnie najważniejszy do osiągnięcia spośród wiązki celów wyznaczających ścieżkę rozwojową przedsiębiorstwa [Banaszyk 1998, s. 119]. Warunkuje on strategiczne cele pochodne, które realizowane są w poszczególnych obszarach działalności przedsiębiorstwa. Możemy zatem założyć, że w przypadku, gdy celem głównym będzie budowa przewagi konkurencyjnej na rynku, celem pochodnym będzie projektowanie sieci dystrybucji wraz z wyborem najlepszej lokalizacji centrum, centów dystrybucji lub punktów przeładunkowych. Znajomość zależności pomiędzy strategicznym celem głównym i strategicznymi celami pochodnymi oraz wpływu realizacji celu pochodnego na cel główny pozwala na klasyfikację celów pochodnych pod względem istotności podejmowanej decyzji dla realizacji strategicznego celu głównego. Informacja ta,

będzie miała wpływ na odpowiednią klasyfikację problemu decyzyjnego i np. pozyskanie jak największej liczby informacji czy zaangażowanie odpowiednich zasobów.



Rys. 4.1. System celów strategicznych przedsiębiorstwa

Źródło: [Banaszyk 1998, s. 122].

Decyzje operacyjne, taktyczne, a w szczególności strategiczne stanowią kanwę do dalszej dyskusji nad problemem wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji. Jakość podjętej decyzji zależy od informacji, jaką dysponujemy. Na rysunku 4.1 zaznaczono, że strategiczny cel główny, strategiczne cele pochodne pierwszego i drugiego stopnia opisane są za pomocą cech jakościowych. Z punktu widzenia nauk o zarządzaniu jest to poprawne, jednak czasami dalekie od optimum matematycznego, będącego w sferze zainteresowania decydentów. W dynamicznie zmieniającym się otoczeniu gospodarczym decydenci, na których spoczywa duża odpowiedzialność, korzystają z aparatu matematycznego chcąc podjąć decyzję najbliższą optymalnej. Decydenci często korzystają z pomocy wyspecjalizowanych podmiotów gospodarczych świadczących usługi konsultingowe oraz dysponujących nie tylko wiedzą i doświadczeniem, ale również potrzebnym oprogramowaniem.

Faktem jest, że w przypadku poszukiwania optimum matematycznego analizujemy procesy w ujęciu statycznym mając świadomość tego, że otoczenie cały czas się zmienia. Obserwacja praktyki gospodarczej dała podstawy do stwierdzenia, iż walka

konkurencyjna przenosi się z pojedynczych podmiotów gospodarczych na łańcuchy i sieci dostaw. „Stało się to podstawą ekspozycji strategicznego wymiaru logistyki jako istotnego procesu w łańcuchu i sieci dostaw” [Szymczak 2004, s. 76]. Przedsiębiorstwo zapewnia sobie przewagę konkurencyjną nie tylko poprzez poprawę sprawności działań wewnętrznych, ale również poprzez koordynowanie przepływów materiałowych pomiędzy dostawcami i odbiorcami. Koordynacja działań w łańcuchu i sieci dostaw jest jedną z przyczyn zapotrzebowania na analizy dotyczące konsekwencji transportowych rozmieszczenia, organizacji i funkcjonowania centrów dystrybucji. Jak słusznie zauważa Gołemska [1990, s. 10-11], utrwalona w czasie wadliwa struktura przestrzenno-funkcjonalna gospodarki magazynowej charakteryzuje się wprawdzie występowaniem wzajemnych relacji ekonomiczno-organizacyjnych, jednak nie zapewnia warunków efektywnego gospodarowania, co stanowi barierę do budowania sprawnych łańcuchów i sieci dostaw.

Do możliwych skutków wadliwego rozmieszczenia centrów dystrybucji w łańcuchu bądź sieci dostaw należy zaliczyć:

- zmianę relacji *trade-off*,
- brak możliwości spełnienia wewnętrznych norm jakości obsługi klienta w danym przedsiębiorstwie⁵⁹,
- koszty finansowe wynikające z kar umownych w przypadku np. usług serwisowych.

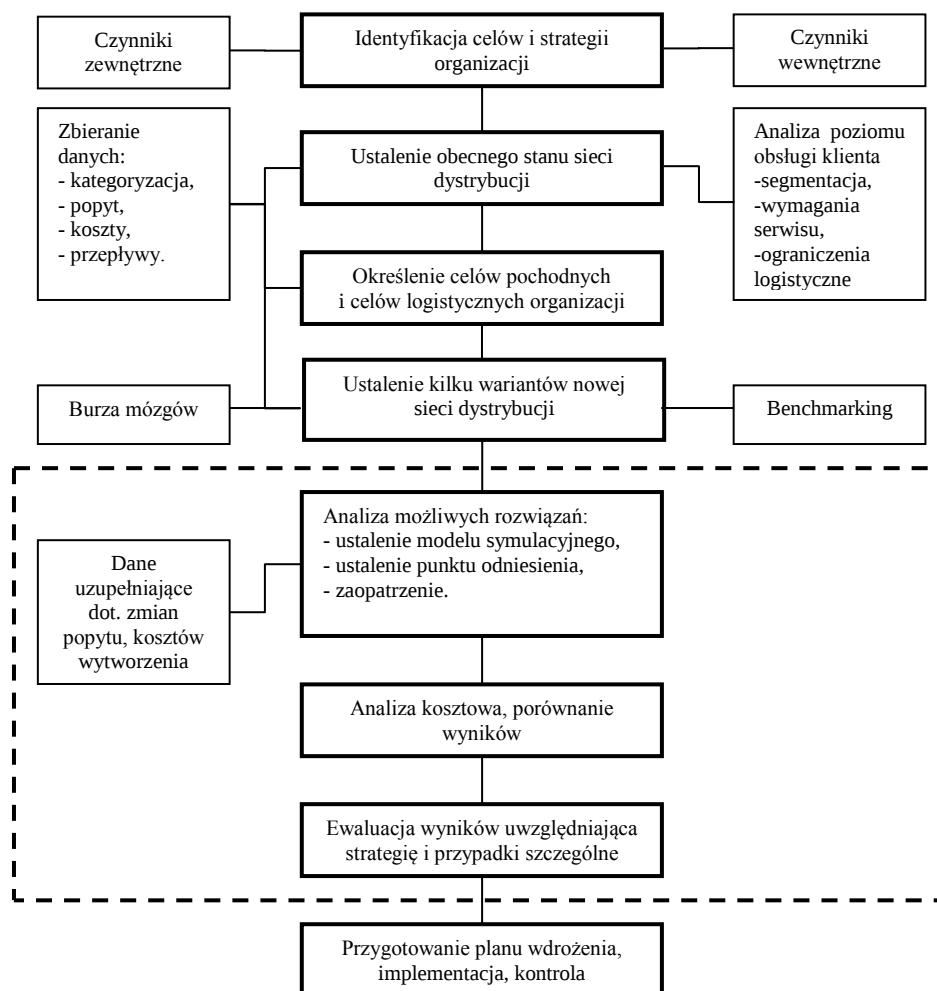
Ograniczenie do minimum skutków wadliwej konfiguracji przestrzenno-funkcjonalnej łańcucha lub sieci dostaw może doprowadzić np.: do lepszej koordynacji rozproszonych działań, minimalizacji pustych przebiegów, uzyskania wyższego poziomu wskaźnika obsługi klienta. W konsekwencji może to pozytywnie wpłynąć na: zdolność firmy do konkutowania na rynku czy postrzegania firmy jako partnera godnego zaufania.

Proces projektowania sieci dystrybucji⁶⁰, w tym wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji, jest procesem wieloetapowym i wymagającym uwzględnienia

⁵⁹ Autor zakłada istnienie wewnętrznego, kwantytatywnego systemu zapewnienia jakości. Przyjęte założenie jest zgodne z systemem celów strategicznych przedsiębiorstwa. Należy wymienić takie elementy, jak czas realizacji dostaw, liczbę błędnych wydań, liczbę przesyłek niezrealizowanych itp.

⁶⁰ Sieć dystrybucji tworzy grupa współpracujących przedsiębiorstw realizujących dostawy od dostawcy do wielu odbiorców [Śliwczyński 2008, s. 71]. Autor ma na myśli w szczególności dystrybutorów branżowych realizujących dostawy do dużej grupy odbiorców. Pod pojęciem projektowania sieci dystrybucji można rozumieć konfigurację bądź rekonfigurację systemu fizycznej dystrybucji [Rutkowski 2005, s. 102-110]

wielu czynników zewnętrznych i wewnętrznych. Mając na uwadze czynniki zewnętrzne musimy pamiętać o obowiązującym prawie, otoczeniu społecznym, geograficznym itp. Do czynników wewnętrznych należy zaliczyć przygotowanie merytoryczne i innowacyjność kadry zarządzającej oraz nastawienie pracowników operacyjnych na innowacje i zmiany organizacyjne [Anholcer i Grabański 2010, s. 79].



Rys. 4.2. Etapy projektowania sieci dystrybucji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Rushton, Croucher i Baker 2006, s. 147].

Rushton, Croucher i Baker [2006], zaproponowali ogólny schemat projektowania sieci dystrybucji. W swojej pracy wyszczególnili sześć etapów konfiguracji lub rekonfiguracji istniejącej sieci. Pierwszym, kluczowym etapem jest określenie strategii danej organizacji i celu podjętego działania. Można zauważyć pewną analogię z systemem celów strategicznych przedsiębiorstwa – elementem podstawowym jest identyfikacja problemu (projektowanie sieci dystrybucji lub jej rekonfiguracja), określenie przyczyny podjętego działania – wyznaczenie strategicznego celu głównego. Stopień zrozumienia problemu i wyznaczonych celów przez wszystkie osoby

zaangażowane w proces decyzyjny ma kluczowe znaczenie dla powodzenia przedsięwzięcia. Etap drugi to ustalenie obecnego stanu sieci dystrybucji⁶¹, jeżeli celem jest rekonfiguracja, jest to punkt odniesienia. W tym miejscu należy również dobrać kryteria oceny przeprowadzonych prac mających usprawnić proces dystrybucji.

Trzeci etap to uszczegółowienie strategicznego celu głównego poprzez identyfikację strategicznych celów pochodnych pierwszego i drugiego stopnia. Istotne jest, aby cele te były jednocześnie celami logistycznymi, jakie organizacja chce osiągnąć. Etap ten to również przyporządkowywanie odpowiednich zasobów dla realizacji tych celów.

Kolejnym elementem procesu projektowania lub rekonfiguracji sieci dystrybucji jest ustalenie możliwych wariantów rozwiązania zdefiniowanego wcześniej celu. Analiza wstępna, to poszukiwanie możliwych wariantów rozwoju/rekonfiguracji. Najpopularniejszą i najczęściej stosowaną metodą jest burza mózgów lub szukanie rozwiązań już sprawdzonych w danej branży – benchmarking. Doświadczenie kadry zarządczej/decydentów lub konsultantów jest kluczowe na tym etapie projektu. Wyznaczenie ogólnych ram postępowania pozwoli na uściślenie kryteriów projektu oraz pozwoli skupić się na poszukiwaniu optimum dla danej, ustalonej wcześniej konfiguracji.

Etap piąty – symulacja w ujęciu statycznym, została podzielona na trzy mniejsze kroki. Pierwszy krok to analiza możliwych rozwiązań. Jest to najistotniejsze zadanie z punktu widzenia całego procesu. Polega na ustaleniu matematycznego modelu symulacyjnego oraz dokonaniu obliczeń wybraną metodą, najodpowiedniejszą dla rozpatrywanej sytuacji. Poprawne dane empiryczne pozwolą na znalezienie rozwiązania najlepszego lub zbliżonego do optymalnego. Im więcej zmiennych o rozkładzie losowym lub cech jakościowych będzie występowało w modelu symulacyjnym, tym dalszy będzie on od rozwiązania najlepszego.

Zwiększenie świadomości decydentów powoduje wzrost zainteresowania symulacjami komputerowymi. Zaawansowane oprogramowanie, pozwalające uwzględnić wielkości przepływów pomiędzy punktami w łańcuchu i sieci dostaw, aktualnie dostępną flotę, określenie maksymalnej masy dopuszczalnej pojazdu, jakim ma być dostarczony ładunek do danego punktu dostawy, pozwala na precyzyjne określenie poziomu kosztów transportu. Symulacja komputerowa stała się ważnym

⁶¹ Aktualny stan sieci dystrybucji obejmuje w zakresie transportu np.: ustalenie aktualnego poziomu kosztów transportu, ustalenie kosztów wynagrodzenia pracowników transportu (poziomu nadgodzin), zapotrzebowania na pojazdy, wskaźnika pustych przebiegów; w zakresie gospodarki magazynowej np.: wskaźnika wykorzystania powierzchni lub wskaźnik wykorzystania kubatury.

elementem analizy w logistyce – pozwala na podejmowanie świadomych decyzji i często ma bezpośrednie przełożenie na wzrost konkurencyjności. Drugi krok etapu piątego to analiza kosztów dla danej, najlepszej konfiguracji. Porównanie kosztów funkcjonowania sieci dystrybucji w rozpatrywanym wariantcie z wysokością kosztów dla obecnej sieci dystrybucji. Jeżeli analiza kosztów wykaże wzrost kosztów funkcjonowania sieci dystrybucji dla analizowanego wariantu to rozważany wariant powinien zostać odrzucony – powrót do etapu czwartego. Należy kontynuować jeżeli uzyskane korzyści są równe z oczekiwanymi. Krok ostatni, to uwzględnienie sytuacji szczególnych, których z różnych względów nie można było wcześniej włączyć do analizy matematycznej oraz odniesienie wyników analizy do strategicznego celu głównego przedsiębiorstwa.

Etap szósty, ostatni, to wdrożenie zaproponowanej konfiguracji sieci dystrybucji, czyli „go live”. Po implementacji wytycznych należy prowadzić stały monitoring kosztów np.: transportu czy infrastruktury punktowej (kosztów utrzymania centrów dystrybucji czy punktów przeładunkowych). Porównanie założeń do projektu oraz wyników obliczeń symulacyjnych pozwoli na dalszą ewaluację sieci dystrybucji i dostosowanie jej do potrzeb rynku.

Zdaniem autora zaproponowany przez Rushtona, Crouchera i Bakera [2006, s. 147], uogólniony schemat postępowania podczas projektowania sieci dystrybucji można zmodyfikować tak, aby mocniej korespondował z systemem celów strategicznych przedsiębiorstwa zaproponowanym przez Banaszyka [1998, s. 122]. Świadomość strategicznego celu głównego oraz wynikowych celów kierunkowych pierwszego i drugiego stopnia, w tym celów logistycznych jest podstawą funkcjonowania przedsiębiorstwa. W przypadku firmy handlowej osiągnięcie zysku z prowadzonej działalności i sprawna dystrybucja mogą być celem głównym firmy, w przypadku firmy produkcyjnej dystrybucja będzie jedynie celem kierunkowym pierwszego lub drugiego stopnia. Cel musi być precyzyjnie określony na początku projektu. W trakcie realizacji projektu cel nie powinien ulegać znacznym modyfikacjom, nawet w przypadku dostępu do danych dotyczących popytu czy wysokości kosztów.

Jak słusznie zauważają Baraniecka, Rodawski i Skowrońska [2005, s. 30-31], nie istnieje jeden, uniwersalny model wspomagający projektowanie sieci dystrybucji. Jest to jednak ważny element zarządzania strategicznego w przedsiębiorstwie i składa się z trzech, ściśle ze sobą powiązanych grup czynności [Baraniecka, Rodawski i Skowrońska 2005, s. 32]:

- analizy strategicznej, czyli wyznaczania celów projektowania, przewidywania warunków otoczenia oraz diagnozy stanu bieżącego sieci, co najczęściej polega na zbudowaniu jej modelu,
- formułowania strategii, czyli planowania nowej, bardziej efektywnej, dostosowanej do obecnych, a przede wszystkim przyszłych uwarunkowań otoczenia,
- implementacji projektu, a więc wprowadzenia go w życie i desygnowania niezbędnych zasobów⁶².

Baraniecka, Rodawski i Skowrońska podkreślają, że nie istnieje jeden uniwersalny model wspomagający projektowanie sieci dystrybucji. Takie stwierdzenie skłania do podjęcia polemiki nad pojęciem modelu wspomagającego projektowanie sieci dystrybucji. Proces projektowania – model może być uniwersalny, ponieważ wskazuje on jedynie na kolejne etapy projektowania lub rekonfiguracji sieci dystrybucji – w tym wyboru lokalizacji głównych węzłów tej sieci. Model ma wskazywać analitykowi lub decydentowi przebieg procesu – ułatwić analizę. Zmienną będzie zbiór kryteriów, poprzez który oceniane będą rozpatrywane warianty. Wynik analizy uzależniony będzie jedynie od zbioru kryteriów i indywidualnych preferencji decydenta. Algorytm taki powinien umożliwiać analizę przypadków szczególnych, np. związanych ze specyfiką branży, co pozwoli na zachowanie uniwersalności modelu.

4.2. Systemy wspomagania decyzji

Systemy wspomagania decyzji (DSS) to kategoria systemów informatycznych wspomagająca zarządzanie [Majewski 2008, s. 22]. Istotnym uzupełnieniem opisu systemów wspomagania decyzji są funkcje, jakie pełnią one w procesie podejmowania decyzji⁶³. Poles i in. [2008, s. 333] opisali system DSS jako:

- narzędzie, mające wspomagać decydenta w znalezieniu najlepszego rozwiązania spośród wariantów w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych,

⁶² W oryginalnej wersji powyższe punkty dotyczą projektowania sieci logistycznej.

⁶³ Warto nadmienić, że podejmowanie decyzji to proces, w którym dokonuje się świadomego, czyli nie losowego wyboru jednego spośród co najmniej dwóch możliwych do realizacji wariantów [Krzakiewicz 1993, s. 86]. Powyższa definicja wskazuje na fakt dokonania wyboru. Systemy DSS nie podejmują decyzji, a jedynie wskazują wariant najbliższy naszym preferencjom, w zależności od zastosowanej metody wielokryterialnego wspomagania decyzji wskazany może zostać jeden wariant lub grupa wariantów zgodnych z preferencjami decydenta.

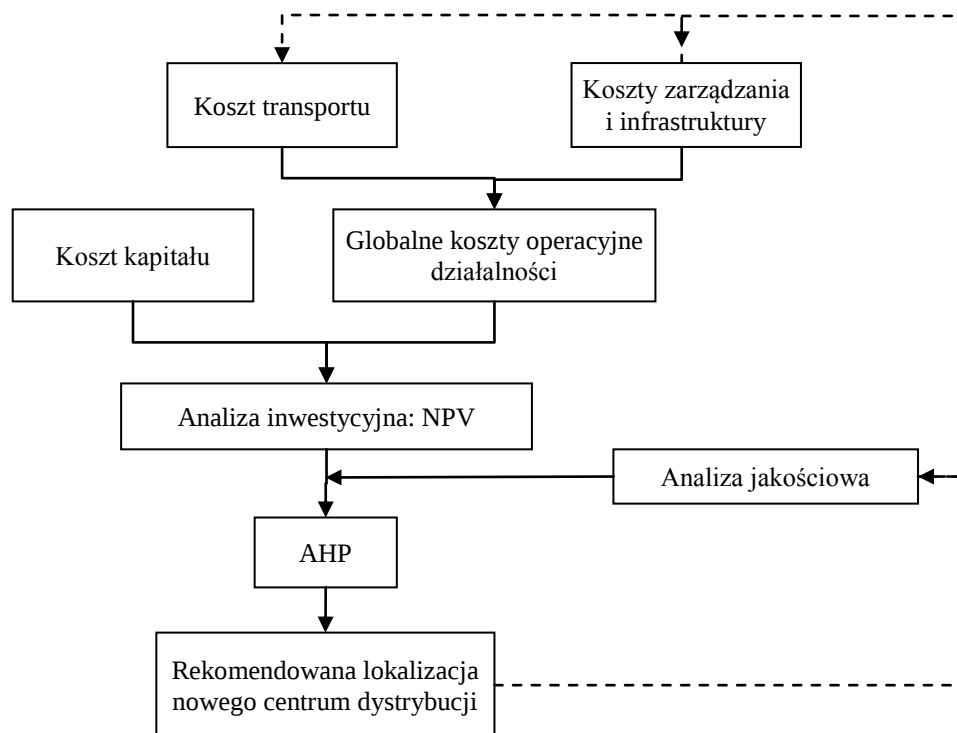
- narzędzie pozwalające na poprawne grupowanie kryteriów do pojedynczej funkcji użyteczności poprzez identyfikację możliwych relacji pomiędzy kryteriami,
- aplikację, która wspomaga decydenta w procesie dookreślania preferencji, które prowadzą do konstrukcji funkcji skalaryzującej, a które powinny być spójne z pierwotnie założonymi.

Uściślenie funkcji, jakie taki system powinien realizować odzwierciedla złożoność problematyki samego systemu, a użytkownikowi uświadamia potrzebę wnikliwej analizy całego procesu podejmowania decyzji z użyciem gotowych narzędzi. Stopień automatyzacji takiej decyzji będzie zależał od projektanta algorytmu. Systemy informatyczne są zdolne do podejmowania ostatecznej decyzji bez udziału czynnika ludzkiego. Podjęcie takiej decyzji przez system informatyczny następuje w oparciu o założone wcześniej kryteria i na tej podstawie przekazywane są decyzje do realizacji bądź nie, np. na podstawie rankingu wariantów dopuszczalnych.

Zieliński [2000, s. 18] zdefiniował system wspomagania decyzji jako system informatyczny, który dostarcza informacji z danej dziedziny, umożliwia korzystanie z analitycznych modeli decyzyjnych z dostępem do baz danych, w celu wspomagania decydentów w słabo ustrukturalizowanym środowisku decyzyjnym. Istotnym elementem tej definicji jest słabo ustrukturalizowane środowisko decyzyjne, czyli brak pełnej informacji o otoczeniu: prawnym, ekonomicznym, społecznym i technicznym. W trakcie budowy DSS należy wyróżnić dwa zasadnicze etapy: projektowanie informacyjne i projektowanie informatyczne. Odrębnie dla każdego etapu opracowuje się koncepcję systemu. Na etapie projektowania informacyjnego następuje zdefiniowanie DSS jako systemu realizującego określone czynności przetwarzanych danych, a wynikają one z dynamicznej analizy decyzyjnej. W tym miejscu należy zauważyć, że obliczenia, szczególnie dla systemu wspomagania decyzji na etapie koncepcji, dokonywane są dla układu statycznego. Automatyzacja systemu gromadzenia danych wejściowych może umożliwić realizację analiz dynamicznych. Projektowanie informatyczne dotyczy budowy i struktury programu komputerowego. Etap projektowania informacyjnego systemu wspomagania decyzji dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, będzie przedmiotem dalszych rozważań autora.

Kengpol [2004, s. 62] zaproponował model i strukturę systemu wspomagania decyzji dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji (rys. 4.3). W swoim modelu założył, że koszty transportu oraz koszty zarządzania i infrastruktury to zmienne wejściowe

kwantytatywne i kwalitatywne. Należy zauważyć, że wysokość kosztów transportu oraz ostateczny wybór lokalizacji winny być rozpatrywane w relacji substytucyjności koszt transportu, a np.: koszt produkcji, magazynowania czy obsługi. Tylko takie spojrzenie gwarantuje uzyskanie najlepszego wyniku.



Rys. 4.3. Model i struktura systemu wspomagania decyzji (DSS), dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji

Źródło: [Kengpol 2004, s. 62].

Istotnym elementem tego modelu jest zastosowanie analizy finansowej – wartości obecnej projektu (NPV *Net Present Value*). Jednak, jak sam autor tego modelu zaznacza, użycie tylko tej ilościowej metody oceny projektu może być niemiarodajne i wprowadzać decydenta w błąd [Kengpol 2004, s. 68]. Oprócz analizy NPV istnieje możliwość wykorzystania, do oceny finansowej przedsięwzięcia inwestycyjnego, wewnętrznej stopy zwrotu (IRR *Internal Rate of Return*) lub zmodyfikowanej wewnętrznej stopy zwrotu (MIRR *Modified Internal Rate of Return*). Konieczność uwzględnienia czynników jakościowych w procesie podejmowania decyzji spowodowała, że Kengpol zaproponował skorzystanie z wielokryterialnej metody hierarchicznej analizy problemu decyzyjnego, która gwarantuje uzyskanie rankingu alternatyw na zbiorze potencjalnych decyzji poprzez optymalizację wieloatrybutowej funkcji użyteczności. Należy zauważyć, że w swoich badaniach z użyciem analizy AHP Kengpol analizował tylko trzy czynniki: koszt całkowity – ilościowy oraz dwa

jakościowe – trudność zarządzania flotą pojazdów (np.: ze względu na konieczną ich liczbę, czas przygotowania do wyjazdu, czas załadunku) oraz stopień trudności dystrybucji towarów wynikający z ograniczenia ładowności pojazdów poruszających się w mieście (czynności dowozowe). Koszt całkowity to wynik analizy NPV dla każdej z alternatyw uwzględniający ewentualne dodatkowe koszty pozyskania ziemi na wypadek potrzeby rozbudowy CD. Dla czynnika trudności dystrybucji towarów uwzględniono grupę podkryteriów. Grupa ta składa się z sześciu elementów, reprezentująca subiektywne odczucie dotyczące możliwości dystrybucji towarów do różnych części kraju. Wyniki badań Kengpola dla dwóch analizowanych przypadków jednoznacznie wskazywały na projekty, których wartość obecna projektu była najniższa – analiza finansowa została wykonana przed zastosowaniem wielokryterialnej metody wspomagania decyzji (tab. 4.1).

Tabela 4.1. Analiza porównawcza wyboru lokalizacji CD

Rozpatrywany wariant	Przypadek I, bez ograniczenia wjazdu dla pojazdów ciężarowych		Przypadek II, z ograniczeniem wjazdu dla pojazdów ciężarowych	
	NPV	AHP	NPV	AHP
Wariant I	1 110 933 USD	0,689	2 581 945 USD	0,591
Wariant II	3 285 955 USD	0,142	3 578 273 USD	0,240
Wariant III	3 285 955 USD	0,169	3 683 398 USD	0,169

Wariant I – dla przypadku pierwszego oznacza rozbudowę aktualnej lokalizacji, dla przypadku II oznacza pozostanie w bieżącej lokalizacji oraz wykorzystanie dodatkowego punktu przeładunkowego; Wariant II i III to budowa nowego centrum dystrybucji poza strefą ograniczenia.

Źródło: [Kengpol 2004, s. 65–67].

Analizując dane zawarte w tabeli nr 4.1, mając na uwadze założenia wykorzystanej metody wspomagania podejmowania decyzji, której podstawą jest ustalenie relacji dominacji pomiędzy analizowanymi czynnikami – hierarchii pierwszeństwa, można przypuszczać, że pozostałe, jakościowe czynniki nie miały zbyt dużego wpływu na wyniki analizy AHP. Decydent określił hierarchię kryteriów następująco (przypadek I; II): koszt całkowity (0,70; 0,68), zarządzanie flotą (0,09; 0,15), stopień trudności dystrybucji towarów (0,21; 0,17). Decydent jasno określił, że czynnikiem dominującym (zgodnie z macierzą pierwszeństwa kryteriów) jest analiza finansowa – koszt całkowity. Analiza AHP wyeksponowała warianty tańsze, zgodne z preferencjami decydenta. Pozostaje zatem pytanie czy taki system wspomagania decyzji jest odpowiedni, czy wybór lokalizacji nie powinien odbywać się z uwzględnieniem większej liczby

kryteriów (kwalitatywnych i kwantytatywnych). Wybór ten powinien być zgodny z wcześniej określoną strategią rozwoju, a ostateczna decyzja nie powinna być podjęta jedynie z uwzględnieniem analizy finansowej. W tym miejscu warto przypomnieć, że metoda AHP wymaga dużego zaangażowania decydenta dla określenia danych wejściowych. Metoda ta jest efektywna, gdy analizujemy małą liczbę kryteriów i małą liczbę możliwych wariantów. Być może użycie innej metody oraz analiza większej liczby kryteriów pozwoliłaby na uzyskanie innych wyników.

4.3. Model wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji

Przystępując do opracowania modelu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji określono wymagania, jakie powinien spełniać niniejszy model, tak aby zapewnić jego uniwersalność. Założono, że model powinien obejmować cztery etapy:

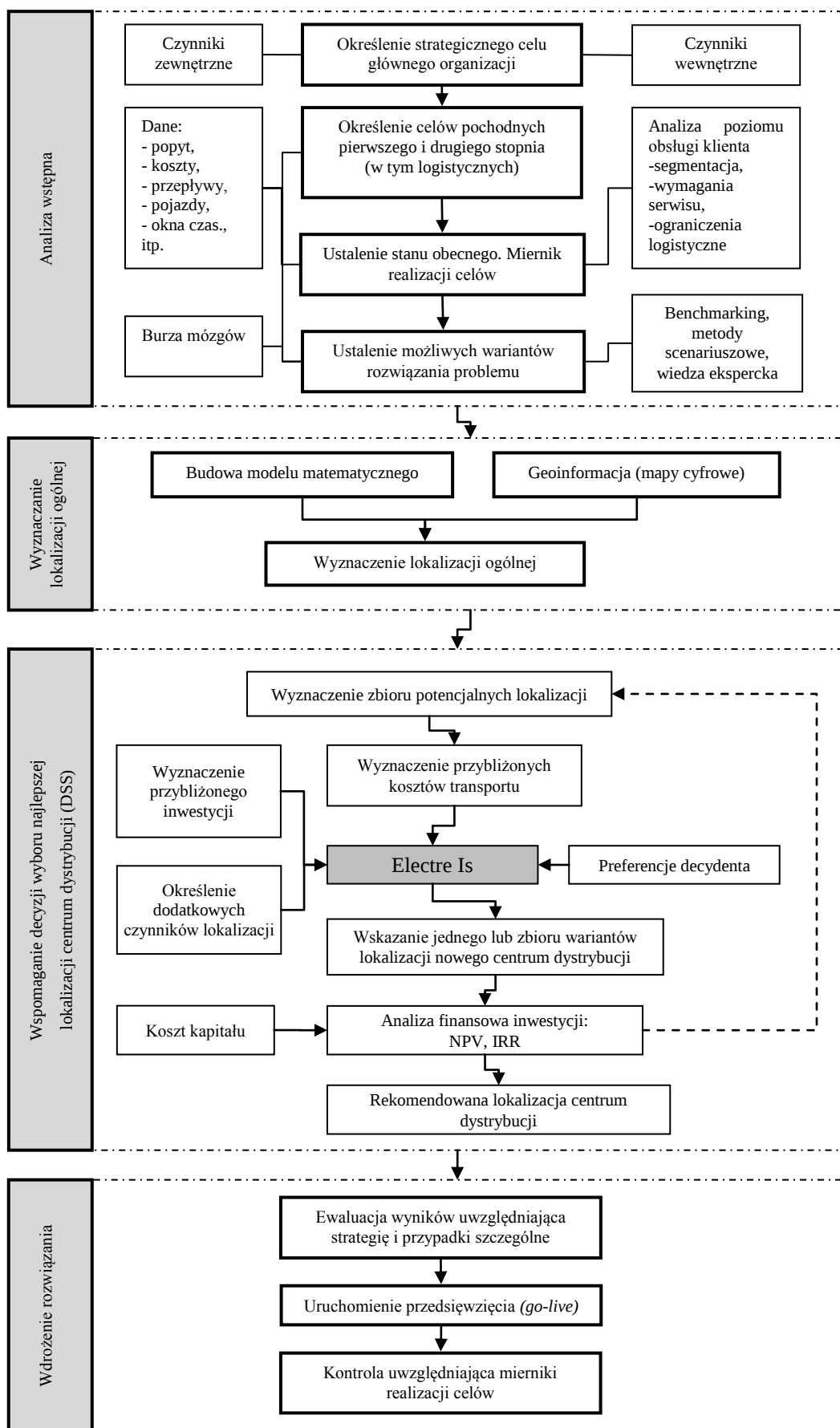
- analizę wstępną,
- wyznaczanie lokalizacji ogólnej,
- wspomaganie decyzji wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (DSS),
- wdrożenie rozwiązania.

Postępująca informatyzacja oraz powszechny dostęp do informacji pozytywnie wpłynęły na przyspieszenie procesów gospodarczych. Zmiany te mają również bezpośredni wpływ na szybkość analiz gospodarczych, ich dokładność oraz podejmowanie decyzji. Konstruowane modele powinny zapewniać, przynajmniej w części, możliwość automatyzacji zadań, pewnych fragmentów, co w efekcie przełoży się na szybkość uzyskania informacji, koniecznej dla podjęcia decyzji.

W zaprezentowanym, autorskim modelu (rys. 4.4), skonstruowanym na podstawie doświadczenia zawodowego i obserwacji rzeczywistości gospodarczej oraz szerokiej kwerendy literaturowej, a w szczególności:

- schematu etapów projektowania sieci dystrybucji Rushtona, Crouchera i Bakera [2006] (rys. 4.2),
- modelu i struktury systemu wspomaganie decyzji dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji Kengpola [2004] (rys. 4.3),
- systemu celów strategicznych przedsiębiorstwa Banaszyka [1998] (rys. 4.1),

wskazano na najważniejsze etapy wyznaczania lokalizacji centrum dystrybucji. Najistotniejsze elementy zostały wyszczególnione i szerzej opisane poniżej.



Rys. 4.4. Model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji

Źródło: opracowanie własne.

Etap pierwszy, analiza wstępna, stanowi podstawę zrozumienia przesłanek, jakimi kierował się decydent inicjując proces wyboru lokalizacji centrum dystrybucji. Część ta to: określenie celu głównego organizacji, celów pochodnych pierwszego i drugiego stopnia, ustalenie stanu obecnego – mierników realizacji celów (punktu odniesienia) oraz ustalenie możliwych wariantów rozwiązania problemu. Etap ten wymaga uzyskania dodatkowych zmiennych i danych mających wpływ na poszczególne elementy. Ustalenie strategicznego celu głównego organizacji zdeterminowane jest przez czynniki zewnętrzne i wewnętrzne. Dla każdej organizacji mogą to być inne czynniki lub występować w innej konfiguracji. Poprawne zdefiniowanie celów pochodnych pierwszego i drugiego stopnia, mierników realizacji celów oraz ustalenie możliwych wariantów rozwiązania problemu wymaga dodatkowych informacji np. określenia: wielkości popytu, wysokości kosztów poszczególnych działów, wielkość przepływów materiałowych i finansowych, struktury i liczby dostępnych środków transportu, okien czasowych w poszczególnych punktach dostaw czy godzin otwarcia magazynów dystrybucyjnych. Dobór danych oraz ich zakres czasowy uzależniony jest od założonych celów. Dla usprawnienia zbierania informacji oraz ustalania możliwych wariantów konieczne jest zastosowanie metody wspomagającej pracę zespołową – burzy mózgów. Innymi metodami wspomagającymi ustalenie możliwych wariantów rozwiązania problemu są: benchmarking (porównywanie do organizacji najlepszych w badanym sektorze, metoda ta pozwala na implementację rozwiązań już sprawdzonych), metody scenariuszowe oraz wiedza ekspercka.

Etap drugi, wyznaczanie lokalizacji ogólnej, to wyznaczenie obszaru poszukiwania potencjalnej lokalizacji szczegółowej. Fragment ten jest najistotniejszy z uwagi na ewentualną wysokość generowanych w przyszłości kosztów transportu dla lokalizacji z wyznaczonego obszaru. Etap ten składa się z trzech elementów: budowy modelu matematycznego dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji (podstawowe omówiono w podrozdziale 3.2), geokodowania adresów oraz wyznaczenia odległości rzeczywistych pomiędzy punktami (proces automatyczny). Wynik obliczeń dla określonego modelu matematycznego to wskazanie obszaru poszukiwania lokalizacji szczegółowej. Model matematyczny w zależności od celów, jakie zostały zaprezentowane w etapie pierwszym, może ulegać modyfikacjom. Obecnie najczęściej wykorzystywaną metodą jest metoda środka ciężkości [Korzeń 1999; Bardi, Coyle i Langley 2007; Murphy i Wood 2011] oraz wieloetapowe zagadnienie transportowe i jego modyfikacje (np. zagadnienie pośrednika) [Sikora 1993]. Rozwiązywanie

problemów lokalizacji z użyciem modeli matematycznych pozwala na uzyskanie kwantytatywnej odpowiedzi. Taki wynik, gwarantuje jego porównywalność względem innych modeli matematycznych.

W celu realizacji tego fragmentu można wykorzystać gotowe oprogramowanie, wykorzystujące mapy cyfrowe, które umożliwiają automatyczne geokodowanie punktów nadania lub dostaw oraz wyznaczenie obszaru poszukiwań najlepszej lokalizacji. Przykładem takiego oprogramowania może być system TransCad [2015] lub DPS International [2015].

Analiza matematyczna może okazać się jednak niewystarczająca. Rzeczywistość gospodarcza jest bardziej złożona, a ograniczenie analizy do uwzględniania jedynie minimalnej odległości, może doprowadzić do sytuacji, w której decydent nie podejmie decyzji najlepszej jakościowo. Uwzględniając rozważania z podrozdziału 1.5 należy stwierdzić, że uwzględnienie czynników jakościowych ma istotne znaczenie dla podjęcia najlepszej jakościowo decyzji dla lokalizacji centrum dystrybucji. Czynniki te mogą być specyficzne dla danej branży, sytuacji geopolitycznej, a w ekstremalnych warunkach również zależne od klimatu, co należy uwzględnić przed przystąpieniem do etapu obliczeń. Dotychczasowe modele matematyczne pozwalały jedynie na analizę czynników policzalnych. Uwzględnienie innych czynników wiązało się jedynie z subiektywnym odczuciem analityka. Użycie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, omówionych w podrozdziale 3.3, pozwala na dokonanie wyboru z uwzględnieniem czynników niepoliczalnych.

Etap trzeci zaprezentowanego modelu lokalizacji centrum dystrybucji to wspomaganie decyzji wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (DSS). Jest to etap projektowania informacyjnego. Poprzedzony jest etapem, w którym konieczne jest ustalenie możliwych wariantów dla rekonfiguracji sieci dystrybucji, zakładających możliwość jej rozwoju. Element pierwszy to zdefiniowanie zbioru wariantów dopuszczalnych, które poddane zostaną dalszej analizie. Warianty te, to potencjalne lokalizacje, które możliwe są do pozyskania z uwagi na liczne ograniczenia gospodarcze. Warianty – lokalizacje powinny spełniać między innymi następujące kryteria: zapewnić odpowiednią powierzchnię gruntu i zabudowy terenu, uzbrojenie działki, analizę miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, możliwość

ustanowienia przez władze samorządowe specjalnej strefy ekonomicznej dla powstającego centrum dystrybucji, istniejącą infrastrukturę liniową i punktową⁶⁴.

Wyznaczenie przybliżonych kosztów transportu dla analizowanych wariantów to kolejny element wspomagania decyzji wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji. Jest to element najistotniejszy, poprawność oszacowania tych kosztów może w znacznym stopniu wpłynąć na ostateczną decyzję. Wyznaczenie kosztu transportu jest możliwe poprzez symulację dystrybucji z wykorzystaniem danych historycznych dla analizowanych wariantów. W tym celu wykorzystywane jest specjalistyczne oprogramowanie wykorzystujące do poszukiwania najlepszej konfiguracji rozwoju dóbr zagadnienie komiwojażera z oknami czasowymi. Na podstawie map cyfrowych, zdefiniowanych grup pojazdów, zleceń, cenników i innych parametrów możliwe jest wyznaczenie kosztu dystrybucji dla danej lokalizacji. Należy pamiętać o konieczności wyznaczenia obszaru obsługi dla analizowanej lokalizacji. Obecnie przy planowaniu tras z użyciem systemów geoinformacji, wykorzystuje się zagadnienia teorii grafów: teorię cykli Eulera, Hamiltona, Dijkstry czy Christofidesa [Deo 1980; Kulikowski 1986; Wilson 1999]. Pozwalają one na znalezienie najkrótszej ścieżki w grafie, sieci transportowej, co najczęściej przekłada się na osiągnięcie najniższego kosztu dystrybucji. Wymienione metody należą do grupy problemów NP – trudnych⁶⁵.

Oprócz przybliżonych kosztów transportu należy określić przybliżony koszt inwestycji. W zależności czy CD będzie budowane od podstaw, tzw. inwestycja typu *greenfield*, czy wymagana powierzchnia magazynowa będzie pozyskana na własność na rynku wtórnym lub poprzez wynajem, taki koszt musi zostać określony dla rozpatrywanego wariantu.

Istotnym elementem jest określenie dodatkowych czynników lokalizacji, które będą miały wpływ na podjęcie decyzji. Zależą one w dużej mierze od przygotowania decydenta oraz wiedzy analityka. Jeżeli decydent nie potrafi sprecyzować czynników,

⁶⁴ Istnienie odpowiedniej infrastruktury liniowej i punktowej różnych gałęzi transportu gwarantuje zachowanie dużej elastyczności w doborze środków transportu oraz dostaw do CD lub dystrybucji towarów. Wybór gałęzi transportu może być kluczowy dla utrzymania lub poprawy pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa na rynku. Należy pamiętać, że dobór środków transportu, jakimi realizowany jest przewóz towarów do ostatecznego klienta musi spełniać techniczne i ekonomiczne aspekty organizacji przewozów. Określenie podatności technicznej, naturalnej i ekonomicznej dystrybuowanych towarów jest niezbędne dla spełnienia norm jakościowych oraz oczekiwań odbiorcy.

⁶⁵ NP – trudnych. Skrót NP – *Nondeterministic polynomial time*, co oznacza grupę problemów decyzyjnych, których rozwiązanie można zweryfikować w czasie wielomianowym. Problem NP – trudny to taki problem, którego rozwiązanie jest co najmniej tak trudne jak problemu klasy NP. [Kubale 2013].

jakimi chce się kierować podczas wyboru lokalizacji, merytorycznie przygotowany analityk powinien wskazać czynniki mogące mieć istotny wpływ na lokalizację centrum dystrybucji np.: odległość od węzła multimodalnego czy portu lotniczego⁶⁶.

Dobór metody wielokryterialnego wspomagania decyzji, metody *Electre Is*, został omówiony w podrozdziale 3.3, a symulacja użycia tej metody zostanie zaprezentowana w podrozdziale 4.4.

Wybór lokalizacji musi zostać zweryfikowany pod względem opłacalności. Najpopularniejszą metodą jest analiza NPV, preferowana przez środowiska akademickie [Brigham i Gapenski 2000, s. 319; Arnold 2005, s. 85] oraz IRR. Wraz z kosztami transportu oraz kosztami infrastruktury należy uwzględnić koszty funkcjonowania obiektu oraz uwzględnić koszt kapitału przy badaniu wartości obecnej projektu. Analiza finansowa powinna być potwierdzeniem oraz dalszą rekomendacją dla wybranej lokalizacji centrum dystrybucji zgodnie z preferencjami decydenta.

Autor uwzględnił przypadek, w którym wynik analizy finansowej NPV lub IRR może być negatywny. Zastosowanie pętli Deminga: zaplanuj, wykonaj, sprawdź i działaj (*Plan, Do, Check, Act*)⁶⁷ pozwoli na ponową analizę potencjalnych lokalizacji w przypadku, gdy zajdzie taka potrzeba. Warto nadmienić, że zastosowanie pętli Deminga, wykorzystywanej najczęściej dla poprawy jakości procesu produkcyjnego lub usługi, w tym przypadku ma służyć poprawie jakości procesu decyzyjnego. W przypadku powyższego modelu zmiana taka może nastąpić poprzez zmianę preferencji decydenta, uwzględnienie innych czynników lub ich eliminację z obliczeń.

Wynikiem procesu obliczeń jest rekomendowana lokalizacja centrum dystrybucji. W proces analityczny może być zaangażowanych wiele podmiotów: decydent, analityk oraz inne osoby zajmujące się np. finansami czy transportem, jednak ich zadanie będzie polegało jedynie na wsparciu procesu poprzez dostarczenie danych. Ostateczna decyzja podejmowana jest przez ściśle kierownictwo, najczęściej jednoosobowe lub osobę desygnowaną do projektu.

Etap czwarty, wdrożenie rozwiązania, składa się z trzech elementów: ewaluacji wyników uwzględniającą strategię i przypadki szczególne, wdrożenia i kontroli, uwzględniającej założone na etapie analizy, mierniki realizacji celów. Wdrożenie

⁶⁶ Czynniki mogące mieć wpływ na wybór lokalizacji zostały omówione w podrozdziale 1.4 i 1.5.

⁶⁷ Metoda PDCA Deminga i Shewharta jest podstawą doskonalenia procesów w organizacji. Jest to podejście mające na celu ciągle doskonalenie osiąganego wyniku [Grajewski 2007, s. 104-105; Imai 2007, s. 87-92]. Pętla Deminga znalazła swoje odzwierciedlenie w systemie zarządzania jakością wg normy ISO 9001:2008 [Słowiński 2011, s. 66-67].

decyzji i kontrola rezultatów jest konieczna dla potwierdzenia spełnienia wszystkich założeń do projektu.

Użycie metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji uelastycznia i ułatwia proces podejmowania decyzji. Uelastycznia, ponieważ umożliwia analizę wielu kwantytatywnych i kwalitatywnych czynników, co do tej pory było niemożliwe. Jednocześnie umożliwia bezpośrednie włączenie pozostałych interesariuszy w proces podejmowania decyzji. Ułatwia proces podejmowania decyzji, ponieważ wpływa na obniżenie poziomu presji psychiczno-psychologicznej związanej z podejmowaniem decyzji mogącej w skutkach wpłynąć na pogorszenie warunków bytowych osób zatrudnionych w przedsiębiorstwie, którego sieć dystrybucji jest restrukturyzowana.

Kompleksowe i uniwersalne ujęcie problemu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji odzwierciedlone na rys. 4.4 jest ujęciem wieloaspektowym i innowacyjnym. Duża szczegółowość modelu pozwala na stworzenie procedury łatwiej do implementacji w każdym projekcie.

4.4. Analiza wielokryterialna problemu lokalizacji – *Electre Is*

Użycie wielokryterialnego wspomaganie decyzji wymaga zarówno przygotowania teoretycznego, jak i praktycznej znajomości dedykowanego oprogramowania. Podejmowanie decyzji strategicznych musi być obarczone jak najmniejszym ryzykiem błędu, dlatego istotne jest odpowiednie przygotowanie analityka. Niniejszy podrozdział to symulacja rozwiązania problemu decyzyjnego z użyciem metody wspomagającej podejmowanie decyzji *Electre Is*. Jest to przykład praktycznego wykorzystania metody *Electre Is* w sytuacji decyzyjnej, jaką jest lokalizacja centrum dystrybucji. Przeprowadzony eksperyment z użyciem dedykowanego oprogramowania pozwolił na sprawdzenie efektów zaproponowanego autorskiego modelu wspomaganie decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji (rys. 4.4).

Brak dostatecznych danych empirycznych pierwotnych i wtórnych spowodował konieczność wygenerowania danych losowych. Dla wcześniej określonego pięcioelementowego zbioru wariantów oraz ośmioelementowego zbioru kryteriów je opisujących wygenerowano dane losowe. Kryterium dziewiąte, wskazane jako „emisja CO₂” zostało wyznaczone na podstawie kosztów transportu, będących pochodną całkowitego zużycia paliwa w danym wariantcie. Kryteria opisujące rozpatrywane warianty to zbiór czynników lokalizacji zaproponowany przez autora na podstawie

rozważań opisanych w podrozdziale 1.5. Dane wejściowe dla ośmiu kryteriów zostały wyznaczone z użyciem funkcji LOS w arkuszu kalkulacyjnym Excel dla zadanych przedziałów. W przypadku danych jakościowych najpierw wygenerowano liczby określające odpowiednie warianty (np.: 1 – tak, 2 – nie), a następnie odpowiednie wartości liczbowe zostały zastąpione danymi opisowymi, w ten sposób zostały zasymulowane kryteria jakościowe.

Tabela 4.2. Tablica wygenerowanych danych wejściowych na potrzeby eksperymentu

Kryterium	Przedział (a,b)		Wariant I	Wariant II	Wariant III	Wariant IV	Wariant V
	a	b					
Koszt transportu w skali roku [PLN]	2 500 000	3 330 000	3 009 122	3 087 436	2 948 469	2 812 942	2 880 125
Koszt ziemi [PLN]	800 000	4 000 000	3 289 623	1 484 091	2 739 508	2 774 268	1 859 711
Odległość od portu lotniczego [km]	15	50	32	47	17	37	49
Odległość od węzła multimodalnego [km]	15	30	29	19	25	20	20
Odległość od autostrady [km]	1	30	1	15	2	14	24
Dostępność transportu publicznego*	1	2	2 (nie)	1 (tak)	2 (nie)	1 (tak)	2 (nie)
Stan infrastruktury**	1	3	1 (doskonała)	3 (zła)	2 (dobra)	3 (zła)	2 (dobra)
Możliwość dalszej ekspansji***	1	2	2 (nie)	2 (nie)	2 (nie)	2 (nie)	2 (nie)
Emisja CO ₂ [t] ⁶⁸	-	-	1740	1785	1705	1705	1665

*1 – nie; 2 – tak; **1 – zła; 2 – dobra; 3 – doskonała; ***1 – nie; 2 – tak.

Źródło: Opracowanie własne.

⁶⁸ Wielkość emisji CO₂ została wyznaczona w oparciu o losowo wygenerowany koszt transportu zgodnie z następującą metodyką. Podczas procesu spalania jednego litra oleju napędowego generowane jest do atmosfery 2,66 kg CO₂ [Rychlik 2006, s. 39] – jest to wartość typowa. Wartości w tabeli uzyskano przyjmując założenia: cena oleju napędowego: 4,60 PLN/litr (średnia cena oleju napędowego w Polsce na dzień 8.04.2015 [E-Petrol 2015]). Poszczególne wartości uzyskano zgodnie z przykładem: $3\,009\,122 / 4,60 \cdot 2,66 / 1000 = 1740$. Autor ma świadomość, że jest to uproszczenie rzeczywistości, w której koszt transportu jest ustalony na podstawie różnego zużycia paliwa przez różne pojazdy, a wielkość emisji jest uzależniona np. od temperatury otoczenia czy ciśnienia atmosferycznego. Na potrzeby eksperymentu tak wyznaczona wartość emisji CO₂ jest satysfakcjonująca.

Funkcja $LOS \text{ postaci } = LOS() * (b - a) + a$ pozwala na generowanie danych z podanego przedziału, gdzie a oznacza początek przedziału, b oznacza koniec przedziału. Wartości przedziałów zostały określone przez autora.

Dla wygenerowanych danych zostały przygotowane dodatkowe informacje potrzebne w celu użycia aplikacji informatycznej. Określono wagę każdego z kryteriów (tab. 4.3 – „Waga kryterium”), wskazano czy kryterium jest kryterium odzwierciedlającym przyrost czy nie w procesie obliczeń (tab. 4.3 – „Przyrost (*gain*)”; „tak” lub „nie”). Zaznaczenie tego parametru jest istotne, gdyż wiąże się z zastosowaniem odpowiedniej metodyki obliczeń. Wzory zostały podane w podrozdziale 3.3.2, odpowiednio dla preferencji malejącej lub rosnącej. Określono progi nierozróżnialności, preferencji oraz weta.

Tabela 4.3. Parametry kryteriów wymagane do implementacji w metodzie Electre Is

Kryterium	Waga kryterium	Przyrost (<i>gain</i>)	Próg nierozróżnialności (q_i)		Próg preferencji (p_i)		Próg weta (v_i)
			$\alpha(q_i)$	$\beta(q_i)$	$\alpha(p_i)$	$\beta(p_i)$	
Koszt transportu w skali roku	9	nie	0,04	0,00	0,08	0,00	brak
Koszt ziemi	7	nie	0,08	0,00	0,16	0,00	brak
Odległość od portu lotniczego	1	nie	brak	brak	brak	brak	40
Odległość od węzła multimodalnego	6	nie	0,10	0,00	0,20	0,00	brak
Odległość od autostrady	5	nie	0,2	0,00	0,4	0,00	brak
Dostępność transportu publicznego	2	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Stan infrastruktury	2	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Możliwość dalszej ekspansji	6	brak	brak	brak	brak	brak	brak
Emisja CO ₂ [t]	2	nie	0,05	0,00	0,15	0,00	brak

Źródło: Opracowanie własne.

Wagi kryterium pełnią rolę współczynników względnej ważności. Są odzwierciedleniem indywidualnego odczucia decydenta względem analizowanej grupy kryteriów. Waga może zostać wyrażona dowolną liczbą dodatnią. Im wyższa wartość liczby, tym dane kryterium liczy się bardziej względem pozostałych. Autor wykorzystał znaną skalę ukazującą schemat punktowania pierwszeństwa, z metody AHP (tab. 4.4). Zdefiniowanie takiej skali nie tylko przyspiesza proces zbierania danych, pozwoli

również decydentowi na szybsze określenie własnych preferencji co do istotności danych kryteriów.

Tabela 4.4. Schemat punktowania pierwszeństwa kryteriów

Schemat punktowania pierwszeństwa kryteriów (nadawanie wag)	
1	brak pierwszeństwa
2	
3	nieznaczne pierwszeństwo
4	
5	wyraźne pierwszeństwo
6	
7	bardzo wyraźne pierwszeństwo
8	
9	bezdyskusyjne pierwszeństwo

Źródło: Opracowanie własne na podstawie metody AHP.

Wyznaczenie wartości progów nierozróżnialności i preferencji może nastąpić na dwa sposoby. Decydent może podać przedziały, przy jakich zmiany dla poszczególnych wariantów będą dla niego nierozróżnialne bądź bardziej lub mniej preferowane. Próg weta to wartość dla rozważanego kryterium, powyżej której dany wariant stanowi podstawę do jego odrzucenia. Rozważając odległość centrum dystrybucji od autostrady różnica: 4,8 km⁶⁹ to próg nierozróżnialności dla danego kryterium, czyli wszystkie warianty względem najlepszego będą tak samo istotne dla decydenta. Jeżeli odległość CD od autostrady będzie wynosiła powyżej: 9,6 km to wariant pierwszy i trzeci będą bardziej preferowane niż pozostałe. Almeida Dias [2011, s. 226] zaproponował metodę pozwalającą na przeliczanie wartości liczbowych na wartości procentowe:

$$q_i(x) = \alpha(q_i)x = \beta(q_i),$$

$$p_i(x) = \alpha(p_i)x = \beta(p_i).$$

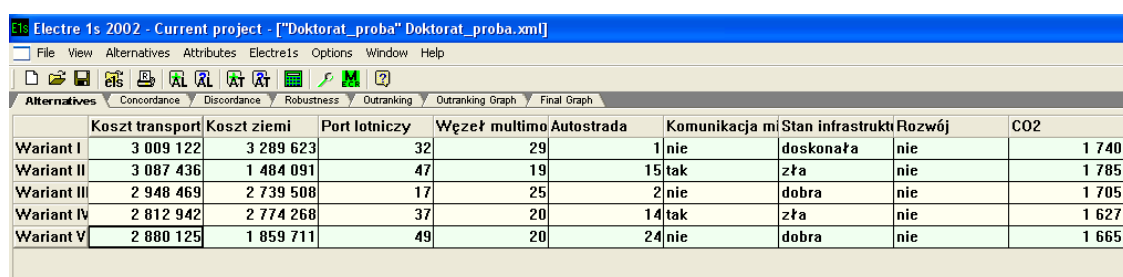
Powyższe wzory po podstawieniu odpowiednich wartości pozwalają na stworzenie układu równań poprzez użycie dwóch równań dla obliczenia wartości progu nierozróżnialności i dwóch dla obliczenia progu preferencji. Rozwiązanie obu układów równań pozwala na określenie zmiany procentowej, jaka stanowi dla nas odpowiednio próg nierozróżnialności i próg preferencji. Dla kryteriów jakościowych wyznaczenie progów nierozróżnialności i preferencji nie jest konieczne. Próg weta należy określić

⁶⁹ Jest to iloczyn maksymalnej analizowanej wartości spośród wariantów dla kryterium odległość od autostrady oraz progu nierozróżnialności dla tego kryterium.

poprzez wskazanie wartości, powyżej której dla danego kryterium wariant będzie odrzucany.

Do wykonania obliczeń wykorzystano aplikację informatyczną stworzoną przez studentów i pracowników Wydziału Informatyki Politechniki Poznańskiej⁷⁰. W celu przeprowadzenia obliczeń konieczne było wykonanie następujących operacji:

- założenie nowego projektu, określenie folderu roboczego, dla zapisania wyników,
- określenie liczby i nazwanie poszczególnych wariantów,
- określenie liczby i nazwanie poszczególnych kryteriów, przy wprowadzaniu kolejnych kryteriów należało wybrać, czy jest to kryterium ilościowe (można ograniczyć przedział wartości) czy jest to kryterium jakościowe. W przypadku kryterium ilościowego należy zaznaczyć, czy jest to kryterium typu koszt czy zysk (gain). Dla kryterium jakościowego należy podać możliwe do wystąpienia wartości i określić dla nich ranking ważności,
- wprowadzenie danych do tabeli (rys. 4.5),
- wprowadzenie wyznaczonych wcześniej wartości progu nierozróżnialności i progu preferencji. Jeżeli taki został założony to również progu weta (rys. 4.7),
- określenie i wprowadzenie współczynnika λ ,
- uruchomienie obliczeń,
- analiza grafu i grafu wynikowego.



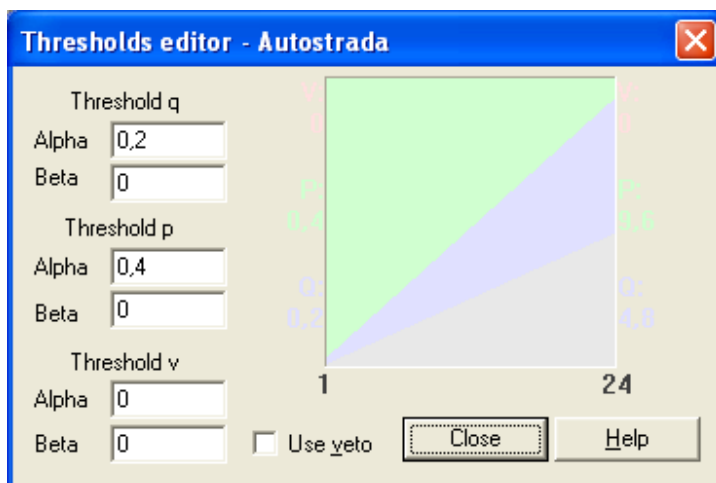
The screenshot shows the 'Electre 1s 2002 - Current project - ["Doktorat_proba" Doktorat_proba.xml]' window. The 'Alternatives' tab is active, displaying a table with 5 alternatives (Variant I to V) and 10 criteria. The criteria are: Koszt transport, Koszt ziemi, Port lotniczy, Węzeł multimedialny, Autostrada, Komunikacja miejska, Stan infrastruktury, Rozwój, CO2, and an unlabeled criterion. The table data is as follows:

	Koszt transport	Koszt ziemi	Port lotniczy	Węzeł multimedialny	Autostrada	Komunikacja miejska	Stan infrastruktury	Rozwój	CO2	
Wariant I	3 009 122	3 289 623	32	29	1	nie	doskonała	nie	1 740	
Wariant II	3 087 436	1 484 091	47	19	15	tak	zła	nie	1 785	
Wariant III	2 948 469	2 739 508	17	25	2	nie	dobra	nie	1 705	
Wariant IV	2 812 942	2 774 268	37	20	14	tak	zła	nie	1 627	
Wariant V	2 880 125	1 859 711	49	20	24	nie	dobra	nie	1 665	

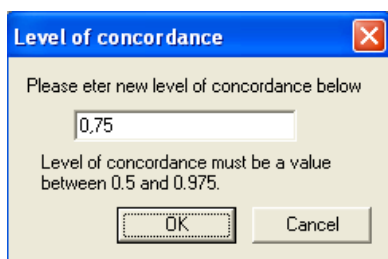
Rys. 4.5. Przygotowanie środowiska pracy, wprowadzenie danych

Źródło: Opracowanie własne.

⁷⁰ Electre Is v. 1.0; autorzy: Michał Brończyk, Bartosz Łaśko, Krzysztof Szczech, Jakub Wach; mentorzy projektu: Roman Słowiński i Piotr Zielińiewicz. Politechnika Poznańska, Poznań 2002.



Rys. 4.6. Określenie progów nierozróżnialności i progu preferencji na kryteriach
Źródło: Opracowanie własne.

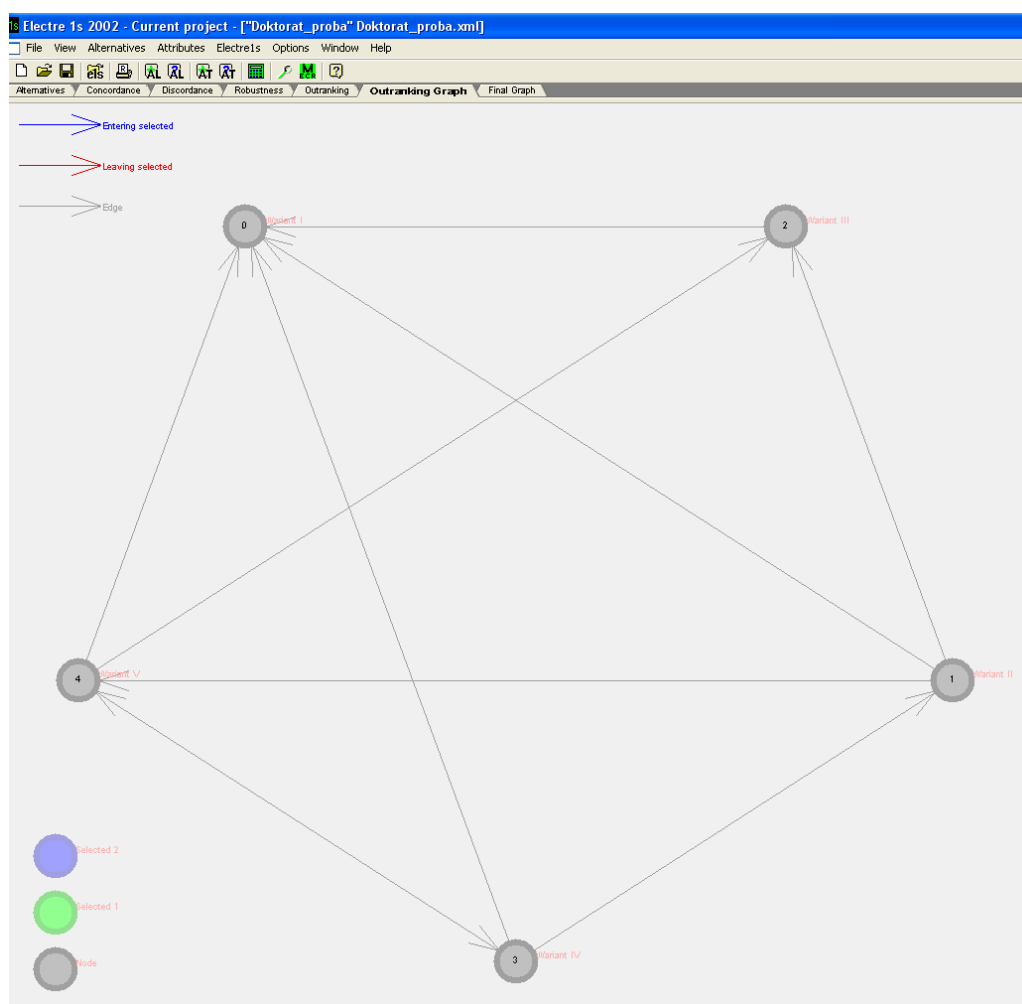


Rys. 4.7. Określenie współczynnika λ
Źródło: Opracowanie własne.

Współczynnik λ służy do określenia poziomu koalicji kryteriów, które będą wspierały prawdziwość relacji przewyższania. Dla rozpatrywanego przypadku suma wag wszystkich kryteriów równa się czterdzieści. Wprowadzając $\lambda = 0,77$ skutkuje to tym, że koalicja kryteriów, która wspiera hipotezę przewyższania musi być równa aż 30,8. Zgodnie z sugestiami twórców metody, współczynnik powinien się zawierać w przedziale 0,5 do 0,975. Im bliższy wartościom początkowym przedziału tym mniejsze wymagania dla poziomu koalicji kryteriów relacji przewyższania, tym gęstsza sieć relacji. Sieć relacji, na podstawie której tworzony jest graf relacji odzwierciedlona jest w macierzy *outranking* w postaci jedynek, każda taka jedynka to odzwierciedlenie istniejącej relacji pomiędzy poszczególnymi wariantami. Warto jednocześnie podkreślić, że współczynnik niższy to więcej przebadanych relacji, nasza analiza będzie bardziej wiarygodna. Dobrze dobrane parametry pozwolą na odzwierciedlenie wielu relacji, a graf wynikowy będzie gęsty.

Graf przewyższania (rys. 4.8), jest odzwierciedleniem macierzy *outranking*. Sieć zależności odzwierciedlona jest przez łuki. Graf ten odzwierciedla wszystkie relacje

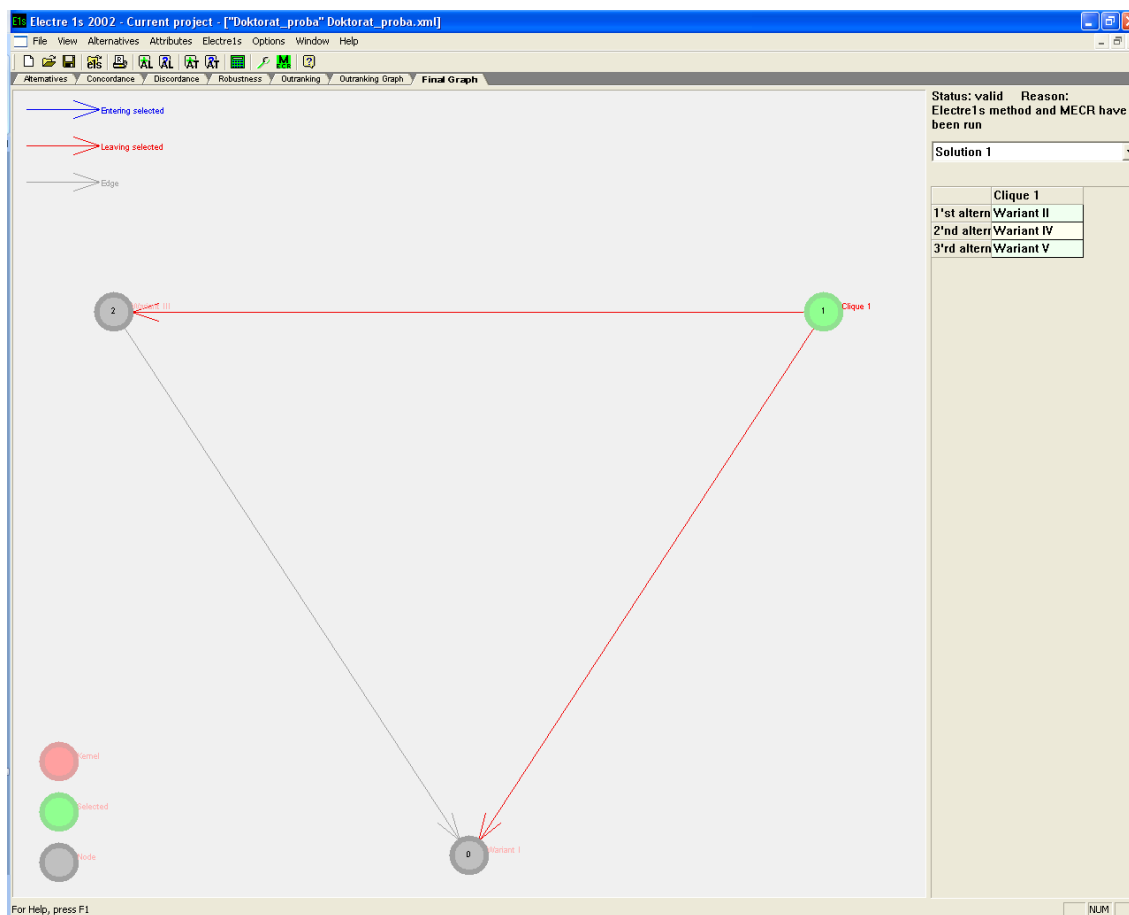
przewyższania określone na podstawie przyjętych danych, wyznaczonych progów nierozróżnialności, preferencji oraz weta. W celu zwiększenia przejrzystości grafu przewyższania usuwa się z niego wszystkie cykle. Cykle należy ograniczać, zastępując dany cykl nowym wierzchołkiem. Usuwanie cykli należy rozpocząć od cyklu, w którym udział bierze największa liczba wierzchołków. Operacje usuwania cykli pozwalają na wyznaczenie grafu wyników (*final graph*), na którym odzwierciedlone jest jądro grafu. W szczególnym przypadku, gdy rozpatrywane warianty są bardzo do siebie podobne lub progi na poszczególnych kryteriach duże, może dojść do sytuacji, w której jądro grafu będzie „kliką” (rys. 4.9). W takim przypadku metoda nie wskaże wariantu najlepszego, zgodnego z naszymi preferencjami, a zbiór wariantów, który jest zgodny z naszymi preferencjami.



Rys. 4.8. Graf przewyższania, odzwierciedlenie relacji pomiędzy wariantami
Źródło: Opracowanie własne.

Graf końcowy obliczeń, dla danych zawartych w (tab. 4.3), odzwierciedlony został na (rys. 4.9). Poprzez eliminację cykli uzyskano bardziej przejrzysty graf z wyróżnionym jądrem grafu. Jądro grafu to rozwiązanie najlepsze, zgodne z preferencjami decydenta. W przypadku omawianego eksperymentu jądro grafu jest również „klika”. Oznacza to, że w wyniku obliczeń nie uzyskano jednoznacznego wskazania wariantu najlepszego. „Klika” oznacza, że wynikiem jest zbiór wariantów jednakowo dobrych. Wynikiem przeprowadzonego eksperymentu jest „klika”, zbiór następujących wariantów: wariant II, wariant IV i wariant V. Są to warianty jednakowo dobre.

Nie potrzeba analizować pozostałych elementów grafu. Wykorzystując metodę *Elektre Is* w procesie decyzyjnym nie tworzymy rankingu. Wynikiem jest wariant najlepszy lub zbiór wariantów jednakowo dobrych.



Rys. 4.9. Graf ostateczny wskazujący rozwiązanie najlepsze

Źródło: Opracowanie własne.

Wielokryterialne wspomaganie decyzji pomaga uzyskać „rozwiązanie kompromisowe”, biorąc pod rozwagę relacje *trade-off* pomiędzy poszczególnymi

kryteriami i preferencjami wyrażonymi przez decydenta [Sawicka, Węgliński i Witort 2010, s. 100]. Przeprowadzony eksperyment potwierdza powyższą konstatację. W wyniku otrzymano zbiór wariantów jednakowo dobrych. Możliwość wykorzystania wielokryterialnego wspomaganie decyzji w tak ważnym procesie, jakim jest wybór lokalizacji centrum dystrybucji, pozwala na uzyskanie lepszych jakościowo wyników.

Przystępując do pracy badawczej autor postawił dwie tezy:

- rozwój metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, jak również dostęp do gotowych narzędzi informatycznych, przyczynił się do istotnych zmian w procesie wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (T1),
- użycie optymalizacji wielokryterialnej, uwzględniającej czynniki kwalitatywne, przyczynia się do lepszych jakościowo decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji (T2).

Nawiązując do tezy pierwszej należy stwierdzić, że proces decyzyjny uległ większej formalizacji. Pozytywnym skutkiem tej formalizacji jest zdystansowanie emocjonalne osób zaangażowanych w proces decyzyjny, co ostatecznie skutkuje podjęciem decyzji racjonalnej w danym momencie. Teza druga to zyskanie lepszej jakościowo decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji poprzez możliwość porównywania czynników kwalitatywnych i kwantytatywnych oraz dowolnej ich liczby. Wyrażenie osobistych preferencji decydenta (indywidualnego lub zbiorowego), w zaproponowanej metodzie wielokryterialnego wspomaganie decyzji *Electre Is*, pozwoli na wskazanie wariantu najlepszego lub zbioru porównywalnych. Podjęcie ostatecznej decyzji dla wskazanego jednego wariantu powinno być jednoznaczne, a dla zbioru wariantów będzie znacznie łatwiejsze w przypadku dużej liczby rozpatrywanych wariantów.

Należy stwierdzić, że sformułowane na początku procesu badawczego tezy znalazły swoje potwierdzenie w szerokiej kwerendzie literatury oraz przeprowadzonym eksperymencie. Opracowany model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji może stanowić, po uszczegółowieniu jego etapów, procedurę ułatwiającą podejmowanie decyzji lokalizacji centrum dystrybucji.

Zakończenie

Bezdyskusyjny jest fakt, że decyzja o lokalizacji centrum dystrybucji należy do zbioru decyzji strategicznych, a konsekwencje takiej decyzji mogą stanowić o uzyskaniu lub utracie przewagi konkurencyjnej. Proces podejmowania takiej decyzji powinien być obciążony jak najmniejszym błędem, a ostateczna decyzja powinna być podejmowana w warunkach minimalnego ryzyka lub – jeżeli to możliwe – pewności.

Przypadki nietrafionej lokalizacji centrum dystrybucji wynikają z panującego przekonania, że podjęcie takiej decyzji jest łatwe, a do jej podjęcia wystarczą jedynie wyniki podstawowej analizy, jaką jest na przykład metoda środka ciężkości. Kolejnym podstawowym błędem jest brak powszechnego wykorzystania systemów geoinformacji, które mogą zapewnić dostęp do odległości pomiędzy punktami (zgodnych z istniejącą infrastrukturą), czy informacji o dopuszczalnych naciskach na oś dla danej drogi. Zaniechaniem w procesie podejmowania decyzji jest również brak świadomości występowania innych niż koszt transportu czynników lokalizacji centrum dystrybucji. Taki stan rzeczy może doprowadzić do sytuacji, w której decydent podejmie błędną decyzję.

Interdyscyplinarny charakter pracy – obejmujący swoim zakresem: transport, zarządzanie, geografię oraz informatykę – pozwolił stworzyć kompleksowy model lokalizacji centrum dystrybucji. Integracja rozważań z zakresu nauk o zarządzaniu, geografii i informatyki pozwoliła na stworzenie modelu, który zapewni podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka lub pewności. Uniwersalność modelu wskazuje na możliwość zastosowania go niezależnie od specyfiki branży, dla której owa lokalizacja centrum dystrybucji będzie poszukiwana.

Zaproponowany model składa się z czterech etapów:

- analizy wstępnej,
- wyznaczania lokalizacji ogólnej,
- wspomagania decyzji wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (DSS),
- wdrożenia rozwiązania.

Analiza wstępna to etap przygotowań mający na celu wprowadzenie analityka w specyfikę branży oraz utwierdzenie decydenta w przekonaniu, że proces wyboru lokalizacji centrum dystrybucji wynikający niekiedy ze zmian w konfiguracji struktury sieci dystrybucji, jest zasadny.

Etap drugi to wyznaczanie lokalizacji ogólnej czyli wskazanie obszaru dla poszukiwania lokalizacji szczegółowej. Faza ta to budowa modelu matematycznego oraz wykorzystanie systemów geoinformacji (map cyfrowych) do wyznaczania odległości pomiędzy punktami na potrzeby obliczeń. Wykorzystanie systemów geoinformacji zapewnia uzyskanie rzetelnych wyników.

Modelowanie z wykorzystaniem wspomagania decyzji wyboru najlepszej lokalizacji centrum dystrybucji (DSS), którego podstawowym celem jest częściowa automatyzacja procesu podejmowania decyzji, to etap trzeci zaproponowanego modelu. System wspomagania decyzji oparty o metodę wielokryterialnego wspomagania decyzji – metodę *Electre Is* – umożliwia uwzględnienie jakościowych czynników lokalizacji, co wcześniej było niemożliwe. O ile naukowcy widzieli potrzebę uwzględnienia czynników jakościowych, o tyle ich ujęcie w rzeczywistych sytuacjach decyzyjnych – jeżeli miało miejsce – było bardzo subiektywne. Metoda *Electre Is* zapewnia takie ujęcie, uwzględnia czynniki kwalitatywne i na podstawie ich wcześniejszego uszeregowania analizuje na równi z kwantytatywnymi.

Etap czwarty zaproponowanego modelu to wdrożenie rozwiązania („*go live*”) projektu po uprzedniej analizie przypadków szczególnych. Dla konsultanta lub analityka to etap pozwalający na sprawdzenie wyników jego pracy.

Autor wskazuje na potrzebę wsparcia decydenta przez konsultanta lub analityka w procesie podejmowania decyzji. Wsparcie decydenta na etapie obliczeń, doboru czynników lokalizacji, jak również wykorzystania metody wielokryterialnego wspomagania decyzji dla wskazania wariantu najlepszego lub zbioru wariantów porównywalnych będzie nieuniknione.

Do korzyści, jakie wynikają z zastosowania modelu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji należy zaliczyć:

- uwzględnienie czynników jakościowych i ilościowych,
- możliwość udziału decydenta zbiorowego,
- przyspieszenie procesu decyzyjnego,
- transparentność procesu decyzyjnego,
- podniesienie profesjonalizmu decydenta,
- zdystansowanie psychologiczne decydenta,
- uzyskanie lepszej jakościowo decyzji,

- wybór lokalizacji centrum dystrybucji uwzględniającej preferencje decydenta i interesariuszy,
- obniżenie kosztów dystrybucji.

Wymienione powyżej potencjalne korzyści, jakie można osiągnąć z aplikacji proponowanego modelu wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, potwierdziły zasadność podjęcia przez autora tego interdyscyplinarnego tematu badań naukowych. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu potwierdzają zalety modelu i jego przydatność w skomplikowanym procesie podejmowania decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji.

Potwierdzona eksperymentalnie uniwersalność zaproponowanego modelu wskazuje na możliwość jego szerokiego zastosowania. Dynamiczne zmiany w gospodarce, między innymi wahania popytu i podaży, powinny być bodźcem do konfiguracji lub rekonfiguracji sieci dystrybucji. W związku z tym zmiany lokalizacji centrów dystrybucji powinny być częstsze. Efekt takiego działania pozytywnie wpłynie na redukcję kosztów transportu oraz emisję dwutlenku węgla, co może być ważnym elementem polityki marketingowej firmy i budowania wizerunku firmy odpowiedzialnej społecznie.

Zaprezentowany w rozprawie model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, będący wynikiem kilkuletniej pracy badawczej wzbogaconej obserwacją rynku, stanowi kompleksowe wsparcie analityków i decydentów będących bezpośrednio zaangażowanych w proces wyboru lokalizacji centrum dystrybucji. Niezależnie od tego zaprezentowane ujęcie można zoperacjonalizować, sprowadzić do poziomu procedury, co jest dodatkowym atutem.

Przedstawiony model stanowi nowe, interdyscyplinarne, ujęcie problemu podejmowania decyzji wyboru lokalizacji centrum dystrybucji, które z powodzeniem będzie mogło być wykorzystywane w tworzeniu sprawnego łańcucha dostaw pomiędzy podmiotami gospodarczymi i wartości dodanej dla klienta.

Bibliografia

- Abt, S., 1996, *Różnorodność logistycznych centrów dystrybucji*, Konferencja na temat "Centra logistyczne dla obsługi transportu towarowego", SiTK, Poznań, s. 7-23.
- Adamus, W. i Gręda, A., 2005, *Wspomaganie decyzji wielokryterialnych w rozwiązywaniu wybranych problemów organizacyjnych i menedżerskich*, Badania operacyjne i decyzje, nr 2, s. 5–36.
- Aït Younes, A., Azibi, R. i Roy, B., 2000, *ELECTRE IS: Manuel d'utilisation. Document du LAMSADE*, Université Paris – Dauphine, Paris.
- Almeida Dias, J., 2011, *Multiple criteria decision aiding for sorting problems: Concepts, Methodologies and Applications*. Université Paris IX Dauphine; Universidade Tecnica de Lisboa.
- Amborski, K., 2009, *Podstawy metod optymalizacji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Anholcer, G. i Grabański, S., 2010, *Projektowanie międzynarodowych sieci dystrybucji z wykorzystaniem oprogramowania DPS LogiX*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, nr 157, s. 173-184.
- Arnold, G., 2005, *Corporate Financial Management*, 3ed., Pearson Education Limited, Harlow.
- Awasthi, A., Chauhan, S.S. i Goyal, S.K., 2011, *A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty*, Mathematical and Computer Modeling, no. 53, s. 98–119.
- Banaszyk, P., 1998, *Formułowanie celów strategicznych w zarządzaniu polskimi przedsiębiorstwami*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Banaszyk, P., 2002, *Podstawy organizacji i zarządzania*, Wyższa Szkoła Handlu i Rachunkowości, Poznań.
- Baraniecka, A., Rodawski, B. i Skowrońska, A., 2005, *Logistyka ćwiczenia*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław.
- Bardsley, J.M. i Luttmann, A., 2009, *A Fixed Point Formulation Of The k -Means Algorithm And A Connection To Mumford-Shah*, Applied Mathematics E-notes, vol. 9, s. 274–276.
- Beier, F.J. i Rutkowski, K., 1993, *Logistyka: wprowadzenie do logistyki, podejmowanie menedżerskich decyzji logistycznych, studia przypadków logistycznych*, Szkoła Główna Handlowa, Warszawa.

- Bendkowski, J., Kramarz, M. i Kramarz, W., 2010, *Metody i techniki ilościowe w logistyce stosowanej*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Benko, G., 1993, *Geografia technopolii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Bozarth, C. i Handfield, R.B., 2007, *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*, Wydawnictwo Helion S.A., Gliwice.
- Brigham, E.F. i Gapenski, L.C., 2000, *Zarządzanie finansami I*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Brzozowska, A. i Nowakowska, A., 2013, *Ewolucja zarządzania łańcuchami dostaw a dążenie do zrównoważonego rozwoju*, IX Kongres Ekonomistów Polskich, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa, s. 1–9.
- Budner, W., 2004, *Lokalizacja przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Businessdictionary, 2013. Distribution Center. <http://www.businessdictionary.com/definition/distribution-center.html> [dostęp 18.09.2013].
- Canel, C. i in., 2001, *An algorithm for the capacitated, multi-commodity multi-period facility location problem*. Computers & Operations Research, vol. 28, s. 411–427.
- Christopher, M., 1996, *Strategia zarządzania dystrybucją*, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna "Placet", Warszawa
- COM, 2006, *Komunikat Komisji dla Rady i Parlamentu Europejskiego, Utrzymać Europę w ruchu - zrównoważona mobilność dla naszego kontynentu. Przegląd średniokresowy Białej Księgi Komisji Europejskiej dotyczącej transportu z 2001 r.*, Bruksela.
- Coyle, J.J., Bardi, E.J. i Langley Jr., C.J., 2007, *Zarządzanie logistyczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Coyle, J.J. i in., 2009, *Supply Chain Management. A logistics perspective*, Cengage Learning, Mason.
- Czetwertyński, W. (red.), 1967, *Mały poradnik mechanika* wyd. 10, Wydawnictwa naukowo-techniczne, Warszawa.
- Czubała, A., 2001, *Dystrybucja produktów* wyd. 2, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- Deb, K. i Kumar, A., 2007, *Light Beam Search Based Multi-objective Optimization using Evolutionary Algorithms*, Congress on Evolutionary Computation (CEC), s. 2125–2132.

- Deo, N., 1980, *Teoria grafów i jej zastosowania w technice i informatyce*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Dhanabal, S. i Chandramathi, S., 2011, *A Review of various k-Nearest Neighbor Query Processing Techniques*, International Journal of Computer Applications, vol. 31(7), s. 14-22.
- Domański, R., 1990, *Gospodarka przestrzenna*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Domański, R., 1989, *Podstawy planowania przestrzennego*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, Poznań.
- Domański, R., 1998, *Zasady geografii społeczno-ekonomicznej* wyd. 4., Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, Poznań.
- DPS International, 2015, <http://www.dps-int.com/products/index.php?ref=topNav>, [dostęp: 8.04.2015].
- Dudziński, Z., 2011, *Vademecum organizacji gospodarki magazynowej*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr Sp. z o. o., Gdańsk
- Dudziński, Z. i Kizyn, M., 2000, *Poradnik magazyniera*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Dziemianowicz, W., 1997, *Kapitał zagraniczny a rozwój regionalny i lokalny w Polsce* Studia reg., Wydaw. Europejskiego Instytutu Rozwoju Regionalnego i Lokalnego, Warszawa.
- Dziemianowicz, W., 1998, *Rola władz samorządowych w stymulowaniu bezpośrednich inwestycji zagranicznych*. w: Olesiński, Z. (red.), *Bezpośrednie inwestycje zagraniczne*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Encyklopedia Powszechna, 2009, Reader's Digest, Warszawa.
- E-Petrol, 2015, <http://www.e-petrol.pl/notowania/rynek-krajowy/ceny-stacje-paliw>, [dostęp: 10.04.2015].
- Fechner, I., 2004, *Centra logistyczne. Cel-Realizacja-Przyszłość*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Fechner, I., 2010, *Centra logistyczne i ich rola w procesach przepływu ładunków w systemie logistycznym Polski*, Zeszyty naukowe Politechniki Warszawskiej, s. 19–32.
- Fechner, I., 2008, *Miejsce centrum logistycznego w warstwie pojęciowej infrastruktury logistycznej*, Logistyka, Nr 3.

- Feltykowski, M., 2013, *Terytorialny wymiar systemów informacji przestrzennej*, w: Nowakowska, A. (red.) *Zrozumieć terytorium. Idea i praktyka*. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, s. 385–398.
- Fertsch, M., 2006, *Słownik terminologii logistycznej*, Instytut Logistyki i magazynowania, Poznań.
- Fierla, I., 2004, *Geografia przemysłu Polski*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- Fierla, I., 1987, *Lokalizacja przemysłu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Galas, Z., Nykowski, I. i Żółkiewski, Z., 1987, *Programowanie wielokryterialne*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Gaździcki, J., 2003, *Kompendium infrastruktury danych przestrzennych, The SDI Cookbook*. Magazyn geoinformacyjny, Nr 4(95).
- Gierszewska, G. i Romanowska, M., 2000, *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa* wyd. 2, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- GlobalSecurity, 2001, <http://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/3-25-26/ch4.htm> [dostęp: 13.01.2015].
- Gługiewicz, E., 1998, *Czynniki lokalizacji przedsiębiorstw w Unii Europejskiej - wnioski dla polityki regionalnej*, w: Marszałkowska, M. i Bagdziński, S., L. (red.), *Gospodarka, przestrzeń, środowisko: restrukturyzacja transformacyjna i rozwój regionów w perspektywie procesu jednoczenia się Europy*. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Godlewska, H., 2001, *Lokalizacja działalności gospodarczej. Wybrane zagadnienia*, Dom Wydawniczy ELIPSA, Warszawa.
- Godlewska, H., 2005, *Lokalizacja w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Hanna Godlewska i Oficyna Wydawnicza Wyższej Szkoły Menedżerskiej w Warszawie, Warszawa.
- Gołębska, E., 1990, *Konsekwencje transportowe rozmieszczenia, organizacji i funkcjonowania gospodarki magazynowej*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań.
- Goodchild, M.F., 2010, *Twenty years of progress: GIScience in 2010*. Journal of Spatial Information Science, Vol. 1, s. 3–20.
- Grajewski, P., 2007, *Organizacja procesowa*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- GSDI Assosiation, 2009, *SDI Cookbook*, Global Spatial Data Infrastructure Association, <http://www.gsdi.org/gsdicookbookindex> [dostęp: 13.01.2015].

- Guzik, B., 2003, *Ekonometria i badania operacyjne. Zagadnienia podstawowe* wyd. 4., Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Hodczak-Sekulska, A. & Redmer, A., 2010. Planowanie optymalnego rozwoju sieci dystrybucji na przykładzie sieci handlowych. *Logistyka*, 3 i 4/2010.
- Igliński, H., 2009, *Ograniczane poziomu kongestii transportowej, a zrównoważony rozwój miast*, praca doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań.
- Imai, M., 2007, *Kaizen*, Kaizen Institute Polska s.c. i MT Biznes Sp z o.o., Warszawa.
- ILIM, 2007, *Numery lokalizacyjne GS1*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- ILiM, 2008, *Podręcznik stosowania systemu GS1*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Jacyna, M., 2009, *Modelowanie i ocena systemów transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Janasz, W. i Leśkiewicz, I., 1995, *Identyfikacja i realizacja procesów innowacyjnych w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Januszewski, J., 2007, *Systemy satelitarne GPS Galileo i inne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Jaszkiewicz, A. i Słowiński, R., 1993, *Integration and tests on non-linear solvers GG and DIDAS with microcomputer implementation of the Light Beam Search over a non-dominated surface*. Foundations of Computing and Decision Sciences, vol. 18 (2), s. 109–120.
- Jaszkiewicz, A. i Słowiński, R., 1995, *The Light Beam Search - outranking based interactive procedure for multiple-objective mathematical programming*, w: Pardalos, P.M., Siskos, Y., i Zopounidis, C., (eds.), *Advances in Multicriteria Analysis*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, s. 129–146.
- Jaszkiewicz, A. i Słowiński, R., 1997, *The LBS-Discrete interactive procedure for multi-criteria analysis of decision problems*. Springer-Verlag, Berlin, s. 320–330.
- Jaszkiewicz, A. i Słowiński, R., 1999, *The "Light Beam Search" approach - an overview of methodology and applications*, European Journal of Operational Research, vol. 113, s. 300–314.
- Kamiński, W., 1969, *Problemy przestrzenne rynku rolengo i gospodarki żywnościowej*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Kempny, D., 2001, *Logistyczna obsługa klienta*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

- Kengpol, A., 2004, *Design of a decision support system to evaluate the investment in a new distribution center*, International Jurnal of Production Economics, vol. 90, s. 59–70.
- Kisperska-Moroń, D. i Krzyżaniak, S., 2009, *Logistyka*, wyd. 1, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Knetki, J. i Stempień, J., 2010, *Wspomaganie teleinformatyczne ćwiczeń zarządzania kryzysowego*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa.
- Ko, J., 2005, *Solving a distribution facility location problem using an analytic hierarchy process approach*, ISAHP, Honolulu.
- Konarzewska-Gubała, E., 1980, *Programowanie przy wielorakości celów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Kortus, B., 1987, *Geografia przemysłu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Korzeń, Z., 1998, *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Korzeń, Z., 1999, *Logistyczne systemy transportu bliskiego i magazynowania* wyd. 1., Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Kotler, P., 1994, *Marketing. Analiza, planowanie, wdrażanie i kontrola*, Gebethner i Ska., Warszawa.
- Krawczyk, S., 2001, *Metody ilościowe w logistyce (przedsiębiorstwa)*, Wydawnictwo C.H. BECK, Warszawa.
- Krzakiewicz, K., 1993, *Decyzje kierownicze w zarządzaniu*, w: Krzakiewicz, K. (red.), *Podstawy organizacji i zarządzania*. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Kubale, M., 2013, *Łagodne wprowadzenie do analizy algorytmów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
- Kulikowski, J.L., 1986, *Zarys teorii grafów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Litwin, L. i Myrda, G., 2005, *Systemy informacji geograficznej. Zarządzanie danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT LIS.*, Wydawnictwo Helion S.A., Gliwice.
- Liu, B., 2009, *Facility Location Problem*. w: *Theory and Practice of Uncertain Programming*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, s. 157–165.
- Longley, P.A. i in., 2008, *GIS Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Lowe, D., 2002, *Dictionary of Transport and Logistics*, Kogan Page Ltd, London.
- Maciak, T., 2006,
http://aragorn.pb.bialystok.pl/~dmalyszko/GIS_Materialy/SIP_Zajecia/SIP_Odwzrowania.htm [dostęp: 28.04.2014].
- Majewski, J., 2008, *Informatyka dla logistyki*, Instytut logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Mały słownik języka polskiego, 1969.
- Markusik, S., 2010, *Infrastruktura logistyczna w transporcie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Mousseau, V. i Roy, B., 2005, *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys*, Springer Science +Business Media, Inc.
- Mruk, H., Pilarczyk, B. i Sławińska, M., 2012, *Marketing. Koncepcje-Strategie-Trendy*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań.
- Murphy, P.R. i Wood, D.F., 2011, *Nowoczesna logistyka*, Wydawnictwo Helion S.A., Gliwice.
- Olesiński, Z., 1998, *Bezpośrednie inwestycje zagraniczne w Polsce*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Parysek, J.J., 1997, *Podstawy gospodarki lokalnej*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Pfohl, H.C., 1990, *Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen*, Springer-Verlag, Berlin.
- Pirkul, H. i Jayaraman, V., 1998, *A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution*, Computers & Operations Research, vol. 25(10), s. 869–878.
- PN-N-01800:1984P, *Gospodarka magazynowa. Terminologia podstawowa*.
- Poczta Polska, 2012, *System Poczтовых Kodów Adresowych*. <http://bip.poczta-polska.pl/rejestry-ewidencje-archiwa/system-pocztowych-numerow-adresowych-pna/> [dostęp: 9.04.2014].
- Poles, S., Vassileva, M. i Sasaki, D., 2008, *Multiobjective Optimization Software*. w: Branke, J. i in. (eds.), *Multiobjective Optimization. Interactive and Evolutionary Approaches*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- Ponsard, C., 1992, *Ekonomiczna analiza przestrzenna*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Poznań.

- Porter, M.E., 2001, *Porter o konkurencji*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Przybylska, K., 2001, *Determinanty zagranicznych inwestycji bezpośrednich w teorii konkurencji*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków.
- Rajgopal, C. i Soman, K.P., 2010, *A Simple Approach to Clustering in Excel*, International Journal of Computer Applications, vol. 11(7), s. 19–25.
- Regulski, J. (red.), 1985, *Planowanie przestrzenne*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Rogers, M., Bruen, M. i Maystre, L.-Y., 1999, *Electre and decision support. Methods and Applications in Engineering and Infrastructure Investment*, Springer Science +Business Media, LLC, New York.
- Roy, B., 1990, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Rushton, A., Croucher, P. i Baker, P., 2006, *Handbook of Logistics and Distribution*, 3ed., Kogan Page Ltd., London.
- Rutkowski, K., 2005, *Logistyka dystrybucji. Specyfika. Tendencje rozwojowe. Dobre praktyki*, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa.
- Rychlik, A., 2006, *Metody pomiaru zużycia paliwa pojazdów użytkowych*, Eksploatacja i niezawodność, nr 4, s. 37–41.
- Sawicka, H., Węgliński, S. i Witort, P., 2010, *Applications of multiple criteria Aid methods in logistic systems*, LogForum2, nr 6(3), s. 99–110.
- Schary, P.B. i Skjott-Larsen, T., 2002, *Zarządzanie globalnym łańcuchem podaży*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Sikora, W., 1993, *Modele i metody optymalnej dystrybucji dóbr*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Skjott-Larsen, T. i in., 2007, *Managing the Global Supply Chain*, 3rd ed., DNK: Copenhagen Business School Press, Copenhagen.
- Skowronek, C. i Sarjusz-Wolski, Z., 2012, *Logistyka w przedsiębiorstwie* wyd. 5., Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- Skowron-Grabowska, B., 2010, *Centra logistyczne w łańcuchach dostaw*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa
- Słowiński, B., 2011, *Zarządzanie i inżynieria jakości*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.

- Markowski, A. (red.), 2007, *Słownik poprawnej polszczyzny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Słownik wyrazów obcych, 1980, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Smith, D.M., 1981., *Industrial location, an economic geographical analysis*, John Wiley and Sons, New York.
- Spyra, Z., 2008, *Kanały dystrybucji: kształtowanie relacji*, CeDeWu Wydawnictwa Fachowe, Warszawa.
- Stern, L.W., El-Ansary, A.I. i Coughlan, A.T., 2002, *Kanały marketingowe*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Strategor, 1995, *Zarządzanie firmą. Strategie, struktury, decyzje, tożsamość.*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Stryjakiewicz, T., 1988, *Czynniki lokalizacji i funkcjonowania przemysłu rolno-spożywczego oraz jego struktura przestrzenna w regionie poznańskim*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Swianiewicz, P., 1997, *Przyciąganie inwestycji jako element samorządowej polityki rozwoju ekonomicznego*, Samorząd terytorialny, nr 12/1997.
- Szymczak, M., 2004, *Logistyka w procesie internacjonalizacji przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Szymczak, M., 2008, *Słownik pojęć logistycznych*, MJ Media Szymański i Głapiak sp.j., Poznań.
- Śliwczyński, B., 2008, *Planowanie logistyczne* wyd. 2, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań.
- Thai, V. Van i Grewal, D., 2005, *Selecting the location of distribution center in logistics operations: A conceptual framework and case study*, Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics, vol. 17(3), s. 3–24.
- The non-hub story, 2014a, <http://mailgrupowy.pl/shared/resources/9188,gwiag/15938> [dostęp: 17.11.2014].
- The non-hub story, 2014b, <http://mapa-kodow-pocztowych.pl/maps/poznan.htm>, [dostęp: 16.04.2014].
- TransCAD, 2015, <http://www.caliper.com/tcovu.htm>, [dostęp: 10.04.2015].
- Trzaskalik, T., 2003, *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa.
- Urbański, J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- Vernon, R. i Wells, L.T., 1991, *The manager in the international economy*, Prentice-Hall, Inc., New York.
- Viale, D.J., 1996, *Basis of inventory management. From Warehouse to Distribution Center*, Course Technology Crisp, Menlo Park.
- Vygen, J., 2004, *Approximation Algorithms for Facility Location Problems*, Bonn.
- Walerjańczyk, W., 2010, *Zagadnienie lokalizacji centrum dystrybucji a współczesne systemy informacji geograficznej*, Logistyka, nr 6/2010.
- Waśkowski, Z., 2004, *Zastosowanie koncepcji marketingu zakupów w przedsiębiorstwie*, Zarządzanie przedsiębiorstwem, nr 1, s. 63–67.
- Werner, P., 2004, *Wprowadzenie do systemów geoinformacyjnych*, wyd. 2, Piotr Werner, Warszawa.
- Wieloński, A., 2004, *Lokalizacja działalności gospodarczej*, Wydawnictwo Przemysłowe WEMA Sp. z o. o., Warszawa.
- Wilson, R., 1999, *Wprowadzenie do teorii grafów*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
- Wojciechowski, T., 1999, *Zarządzanie sprzedaż i zakupem materiałów*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Wolny, W. i Sadecki, B., 2011, *Istota systemów informacji geograficznej (GIS) i ich zastosowania*, w: Bonk, I. (red.), *Systemy wspomagania organizacji*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.
- Wu, F., 1999, *GIS-based simulation as an exploratory analysis for space-time processes*, Journal of Geographical Systems, vol. 1(3), s. 199–218.
- Wydawnictwo WIKING, 2008, <http://www.wiking.edu.pl/article.php?id=324> [dostęp: 28.04.2014].
- Yao, Y. i Dresner, M., 2008, *The inventory value of information sharing, continuous replenishment, and vendor-managed inventory*, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 44(3), s. 361–378.
- Zieliński, J. (red.), 2000, *Inteligentne systemy w zarządzaniu: teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Zielnica, J., 1998, *Wytrzymałość materiałów* wyd. 2, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Żak, J., 2005, *Wielokryterialne wspomaganie decyzji w transporcie drogowym*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.

Spis tabel

Tabela 1.1. Systematyka centrum dystrybucji	27
Tabela 1.2. Schemat powiązań pomiędzy punktami węzłowymi sieci logistycznej, a realizowanymi w nich funkcjami	29
Tabela 1.3. Porównanie czynników lokalizacji przedsiębiorstw	40
Tabela 1.4. Czynniki lokalizacji centrum dystrybucji wg Ko	45
Tabela 2.1. Modele danych przestrzennych stosowane w GIS.....	55
Tabela 2.2. Przykłady systemów lokalizacji.....	58
Tabela 2.3. Przykłady różnych typów systemów geograficznych.....	76
Tabela 3.1. Orientacja lokalizacyjna w metodzie wskaźnika E_d Chechelskiego.....	87
Tabela 3.2. Porównanie cyklu życia produkcji wykorzystującego technologię na poziomie przeciętnym i zaawansowanym	88
Tabela 3.3. Podział metod rodziny Electre	111
Tabela 4.1. Analiza porównawcza wyboru lokalizacji CD	133
Tabela 4.2. Tablica wygenerowanych danych wejściowych na potrzeby eksperymentu	141
Tabela 4.3. Parametry kryteriów wymagane do implementacji w metodzie Electre Is	142
Tabela 4.4. Schemat punktowania pierwszeństwa kryteriów	143

Spis rysunków

Rys. 1.1. Zintegrowane zarządzanie logistyczne	10
Rys. 1.2. Logistyka przedsiębiorstwa produkcyjnego	12
Rys. 1.3. Podstawowe modele międzynarodowej struktury dystrybucji dóbr	16
Rys. 1.4. Kanały dystrybucji na rynku dóbr konsumpcyjnych i przemysłowych	18
Rys. 1.5. Schemat centrum logistycznego	23
Rys. 1.6. Schemat centrum magazynowego	24
Rys. 1.7. Twarde i miękkie czynniki lokalizacji wg Grabowa, Henckela i Grömiga	41
Rys. 1.8. Podział czynników lokalizacji	42
Rys. 1.9. System wartości według Portera.....	43
Rys. 2.1. Koncepcja pojęcia geoinformatyki (<i>GIScience</i>).....	49
Rys. 2.2. Poziomy abstrakcji związane z modelami danych GIS	54
Rys. 2.3. Mapa kodów pocztowych: Poznań centrum.....	59
Rys. 2.4. Pomiary współrzędnych geograficznych.....	61
Rys. 2.5. Odwzorowania kartograficzne. A – płaskie, B – stożkowe, C – walcowe.....	62
Rys. 2.6. Kartezjański układ współrzędnych. Położenie punktu odniesione jest do początku układu współrzędnych	63
Rys. 2.7. Siatka UTM i UPS.....	65
Rys. 2.8. Uogólniony schemat przeprowadzania symulacji z wykorzystaniem GIS	67
Rys. 2.9. Odwzorowanie odległości między dwoma punktami na powierzchni ziemi.....	68
Rys. 2.10. Przykład zastosowania analizy skupień. Przyporządkowywanie obiektów do centrów dystrybucji.....	71
Rys. 3.1. Podział teorii lokalizacji działalności gospodarczej	78
Rys. 3.2. Modele teoretyczne poszukiwania optymalnej lokalizacji.....	80
Rys. 3.3. Izodapany – linie jednakowych całkowitych kosztów transportu na jednostkę produkcji.....	83
Rys. 3.4. Lokalne optima lokalizacji przedsiębiorstwa	85
Rys. 3.5. Międzynarodowy cykl życia produktu	90

Rys. 3.6. Źródła przewagi konkurencyjnej lokalizacji	93
Rys. 3.7. Ocena relacji pracochłonności, dokładności i uniwersalności metod pozwalających na optymalizację struktury sieci dystrybucji.....	95
Rys. 3.8. Siły działające na poszczególne elementy ciała w przestrzeni.....	96
Rys. 3.9. Dwuwymiarowy układ współrzędnych w metodzie środka ciężkości	97
Rys. 3.10. Algorytm metody AHP	113
Rys. 3.11. Ogólny algorytm metody Electre Is.....	117
Rys. 3.12. Zasada działania metody LBS w obszarze rozwiązań niezdominowanych	121
Rys. 4.1. System celów strategicznych przedsiębiorstwa.....	125
Rys. 4.2. Etapy projektowania sieci dystrybucji.....	127
Rys. 4.3. Model i struktura systemu wspomagania decyzji (DSS), dla wyboru lokalizacji centrum dystrybucji	132
Rys. 4.4. Model wyboru lokalizacji centrum dystrybucji	135
Rys. 4.5. Przygotowanie środowiska pracy, wprowadzenie danych	144
Rys. 4.6. Określenie progów nierozróżnialności i progu preferencji na kryteriach	145
Rys. 4.7. Określenie współczynnika λ	145
Rys. 4.8. Graf przewyższania, odzwierciedlenie relacji pomiędzy wariantami	146
Rys. 4.9. Graf ostateczny wskazujący rozwiązanie najlepsze	147