

Michał Suchanek¹

Wykorzystanie zbiorów rozmytych w badaniach operacyjnych przedsiębiorstw transportowych

1. DECYZJE OPTYMALNE W PRZEDSIĘBIORSTWACH TRANSPORTOWYCH

Gospodarowanie w przedsiębiorstwach transportowych związane jest z koniecznością ciągłego podejmowania decyzji mających na celu jak najefektywniejsze realizowanie podstawowej działalności, a więc wykonywania procesów przemieszczania. [7, s. 85]

Decyzje w przedsiębiorstwach transportowych, z uwagi na dynamiczno-przestrzenny charakter produkcji transportowej, związany z oddaleniem ośrodków podejmowania decyzji od ośrodków wykonawczych, podejmowane są warunkach dużej dynamiki i nieodwracalności zmian nimi powodowanych. Uwarunkowania te powodują konieczność wykształcenia obszarów zarządzania odpowiadających podejmowanym decyzjom. W szczególności są to: [7, s. 96]

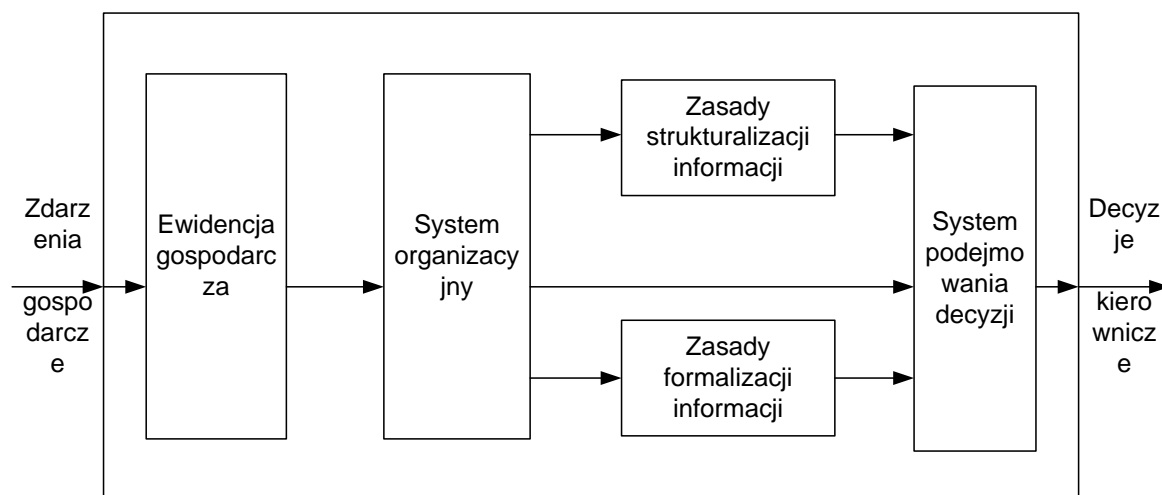
- zarządzanie operacyjne, w szczególności zarządzanie majątkiem,
- zarządzanie marketingowe,
- zarządzanie pracą,
- zarządzanie finansowe.

Zarządzanie operacyjne w przedsiębiorstwach transportowych w sposób przeważający wpływa na efektywność działalności. W jego zakres wchodzi decyzje związane z formą realizacji pracy przewozowej oraz z zarządzaniem posiadanym majątkiem, w szczególności taborem. [13, s. 53-56] Zarządzanie pracą dotyczy podejmowania decyzji obejmujących swym zakresem zatrudnianie oraz wynagradzanie i premiowanie pracowników. [7, s. 104-108] Zarządzanie marketingowe to zbiór działań związanych z wyznaczaniem i realizacją celów w obszarze rynkowym przedsiębiorstwa. W szczególności związane ono będzie z rozpoznawaniem rynku, formułowaniem planów działań marketingowych oraz kształtowaniem w korzystny sposób wewnętrznego i zewnętrznego otoczenia rynkowego. [7, s. 109-110] Zarządzanie finansowe to działania, których celem jest zapewnienie w przedsiębiorstwie transportowym wsparcia w zakresie realizacji zadań przedsiębiorstwa w dziedzinie rentowności, niezakłóconego przebiegu procesów gospodarczych oraz kreowaniu stabilnej pozycji finansowej. [6, s. 11]

Decyzje podejmowane w przedsiębiorstwach transportowych mogą mieć wymiar optymalny. Jednakże ze względu na fakt, iż optymalizowanie gospodarcze jest procesem warunkowym, dążenie do decyzji o charakterze optymalnym wymaga wykształcenia w przedsiębiorstwie specyficznej postaci własnej sfery regulacji oraz systemu informacyjno-decyzyjnego. [13, s. 111-113]

System informacyjno-decyzyjny jest „celowo zorganizowaną strukturą ludzi, urządzeń i procedur gromadzenia, przetwarzania i rozdzielania informacji na użytek ośrodków decyzyjnych w przedsiębiorstwie”. [10, s. 435] System informacyjno-decyzyjny w przedsiębiorstwie jest zatem specyficznym supersystemem, który występując uniwersalnie tworzy bazę informacji do podejmowania decyzji optymalnych. [12, s. 185-190] System, w sposób schematyczny przedstawiony jest przez rysunek 1.

¹ mgr, Katedra Ekonomiki i Funkcjonowania Przedsiębiorstw Transportowych, Wydział Ekonomiczny, Uniwersytet Gdański.



Rys. 1. System informacyjno-decyzyjny przedsiębiorstwa [13, s. 113]

System informacyjno-decyzyjny, którego celem jest optymalna transformacja rejestrowanych zdarzeń gospodarczych w decyzje kierownicze oparty musi być o układ danych rejestrowany przez podsystem ewidencji gospodarczej. System organizacyjny w przedsiębiorstwach transportowych ma z reguły charakter wysoce zindywidualizowany i jest konsekwencją zastosowanych rozwiązań, dotyczących przetwarzania i odczytywania danych. Aby zaistniała sprawna sieć komunikacji interpersonalnej w przedsiębiorstwie konieczne jest wykształcenie się dwóch specyficznych podsystemów: zasad strukturalizacji informacji oraz zasad formalizacji informacji [13, s. 114-115].

Zasady strukturalizacji informacji to podsystem, którego celem jest zbudowanie w przedsiębiorstwie zdolności do hierarchizowania, rangowania pod względem ważności, wartościowania praktycznego znaczenia pojawiających się informacji. Ze względu właśnie na stopień ustrukturalizowania, w przedsiębiorstwach klasyfikuje się problemy decyzyjne na [4, s. 52-53]:

- dobrze ustrukturalizowane, czyli mające dobrze znaną i określoną strukturę,
- źle ustrukturalizowane, czyli mające częściowo znaną strukturę,
- nieustrukturalizowane, czyli niemające rozpoznanej struktury.

Zasady formalizacji informacji to podsystem, którego celem jest sprecyzowanie stopnia zgodności pomiędzy określonymi w dokumentach zasadami, procedurami i instrukcjami dotyczącymi łączności postępowania w organizacji, a ich rzeczywistym obrazem w przedsiębiorstwie.

Optymalność decyzji podejmowanych w przedsiębiorstwach transportowych jest efektem odpowiedniej konfiguracji samego systemu podejmowania decyzji pod względem doboru struktury czynników. Systemy te w przedsiębiorstwach transportowych przybierają zróżnicowaną formę, jednakże w przekroju podmiotowym wyróżnić można cztery grupy czynników:

- czynnik informacji incydentalnej,
- czynnik efektywności,
- czynnik socjologiczny,
- czynnik psychologiczny.

Czynnik informacji incydentalnej określa te decyzje, które mogą być podjęte w przedsiębiorstwie przy niezbędnym progu informacji o danym zdarzeniu, przy posiadanych możliwościach organizacyjnych, technicznych, technologicznych, finansowych oraz w danym systemie prawnym. Efektem jego działania jest zatem określenie pola dopuszczalnych rozwiązań problemów decyzyjnych.

Czynnik efektywności odpowiedzialny jest za wartościowanie poszczególnych wariantów decyzyjnych pod kątem realizacji określonych charakterystyk ekonomicznych, a w szczególności: poziomu finansowania pieniężnego niezbędnego do zrealizowania danej decyzji, poziomu wpływów finansowych osiągniętych na skutek danej decyzji, poziomu kosztów własnych generowanych w procesie realizacji decyzji bądź poziomu korzyści finansowych oczekiwanych przez przedsiębiorstwo. W klasycznej teorii ekonomii najlepsza decyzja podjęta w oparciu o czynniki

efektywnościowe uznawana jest za decyzję optymalną. [8, s. 45-47] Występowanie w rzeczywistości gospodarczej czynników o charakterze behawioralnym powoduje zaburzenie optymalizacji decyzji na tym poziomie i konieczność rozszerzenia systemu decyzyjnego o uwarunkowania socjologiczne oraz psychologiczne. [15, s. 155-169]

Istnienie uwarunkowań o charakterze behawioralnym powoduje odkształcanie decyzji wypracowanych na drodze analizy efektywnościowej. Zmiana może mieć przy tym charakter wzmacniający, osłabiający bądź negujący w stosunku do pierwotnej decyzji. W przedsiębiorstwie występować mogą rozmaite grupy wpływu, których wewnętrzne charakterystyki powodują zmiany decyzji. Nie bez znaczenia jest również struktura osobowościowa samego decydenta.

Konsekwentnie, podejmowanie decyzji optymalnych w przedsiębiorstwie transportowym często jest wysoce utrudnione, w większości przypadków brak jest wypracowanych i sprawdzonych metod i narzędzi dochodzenia do najefektywniejszych możliwych rozwiązań. Pod tym względem, szczególną pozycję mają problemy dobrze ustrukturalizowane, zwłaszcza dotyczące zagadnień dotyczących decyzji operacyjnych w przedsiębiorstwach transportowych. Optymalizacją tych decyzji zajmuje się dział badań operacyjnych nazywany teorią zagadnień transportowych.

2. BADANIA OPERACYJNE W PRZEDSIĘBIORSTWACH TRANSPORTOWYCH

Przedmiotem badań operacyjnych jest „badanie ilościowych cech operacji istotnych dla podejmowania decyzji optymalnych, to znaczy takich, które po wzięciu pod uwagę wszystkich okoliczności można uznać za najlepsze” [14, s. 186].

Podstawowym narzędziem badań operacyjnych są modele, konstrukcje formalne spełniające warunki izomorficzności lub homomorficzności z analizowaną sytuacją decyzyjną, możliwości sterowania tą sytuacją oraz możliwością dokonania oceny tej sytuacji [5, s. 10-11].

W sensie formalnym model sytuacji decyzyjnej składa się z czterech grup elementów strukturalnych:

Zbiór parametrów diagnostycznych B będący sumą dwóch rozłącznych zbiorów A oraz X , gdzie

A oznacza zbiór parametrów strukturalnych modelu $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$, zaś X oznacza zbiór zmiennych decyzyjnych $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Zbiór B określa zatem strategie działania decydenta.

Zbiór ocen realizacji poszczególnych strategii działania $W = \{w_1, w_2, \dots, w_k\}$.

Funkcja f , której dziedziną jest zbiór zmiennych decyzyjnych, a przeciwdziedziną zbiór ocen realizacji poszczególnych strategii działania: $W = f(X)$

Zbiór funkcji warunków wewnętrznej zgodności $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ wynikających z analizowanej sytuacji decyzyjnej

Rozwiązanie tak sformułowanego modelu optymalizacyjnego sytuacji decyzyjnej polega na wyznaczeniu takiego wektora zmiennych decyzyjnych X , który spełniając warunki wewnętrznej zgodności modelu powoduje uzyskanie optymalnej wartości funkcji f , nazywanej wówczas funkcją celu. [8, s. 66]

Szczególną rolę odgrywają w badaniach operacyjnych zagadnienia związane z problemami decyzyjnymi przedsiębiorstw transportowych. Są one kompleksowo opracowane w literaturze, zaś do ich rozwiązywania wypracowana została odrębna metodologia. W efekcie tego, w badaniach operacyjnych wyodrębniła się odrębny dział nazywany zagadnieniami transportowymi. Należą do nich:

- klasyczne zagadnienie transportowe,
- problem przydziału,
- problem najkrótszej trasy,
- problem maksymalnego przepływu,
- problem najmniejszego drzewa rozpinającego,
- problem komiwojażera.

Klasyczne zagadnienie transportowe, nazywane problemem Hitchcocka, jest problemem dotyczącym opracowania planu najtańszego przewozu jednorodnego dobra pomiędzy punktami

nadania, a punktami odbioru. W sytuacji, gdy dostępne są wszystkie niezbędne dane, tj. koszt przewozu jednostki dobra pomiędzy poszczególnymi nadawcami i odbiorcami, wielkość podaży poszczególnych dostawców oraz wielkość popytu poszczególnych odbiorców, w problemie tym istnieje zawsze co najmniej jedno rozwiązanie optymalne.

W problemie przydziału rozważana jest decyzja dotycząca przydziału posiadanych zasobów do realizacji określonych w przedsiębiorstwie zadań. W ujęciu stricte transportowym, jest to decyzja dotycząca przydziału posiadanych środków transportowych do realizacji określonych zadań przewozowych. Parametrami decyzyjnymi są wówczas koszty związane ze zrealizowaniem poszczególnych zadań, zaś minimalizowany jest łączny koszt przewozu. Rozwiązanie optymalne w problemie przydziału ma postać macierzy binarnej.

Problem najkrótszej trasy sprowadza się do odnalezienia najkrótszej drogi pomiędzy dwoma punktami połączonymi siecią dróg. W przypadku przedsiębiorstwa transportowego są to punkt odbioru i punkt dostawy. Dla tego problemu zawsze istnieje rozwiązanie optymalne, przy założeniu że między punktami istnieje co najmniej jedna rozpinająca droga. Do rozwiązywania tego typu problemów wykorzystuje się rozwiązania wypływające z teorii grafów, w szczególności Algorytm Dijkstry oraz Algorytm Floyda-Warshalla.

Problem maksymalnego przepływu służy do określenia największego możliwego transferu na sieci przepływowej pomiędzy punktami źródłowymi i odbiorczymi w określonej jednostce czasu. W transporcie problem ten wykorzystywany jest do wyszukiwania i likwidowania tak zwanych „wąskich gardeł” w kanałach transportowych. Maksymalny przepływ znajduje się z wykorzystaniem m.in. algorytmu Edmondsa-Karpa.

Problem najmniejszego drzewa rozpinającego służy w transporcie do planowania sieci transportowej, w którym łączne koszty przepływów pomiędzy wszystkimi wierzchołkami będą najmniejsze. Zawsze istnieje co najmniej jedno rozwiązanie optymalne tego problemu, do którego dochodzi się z wykorzystaniem jednego z trzech deterministycznych algorytmów o złożoności liniowo-logarytmicznej. Są to: algorytm Boruvki, algorytm Prima oraz algorytm Kruskala.

Problem komiwożacza to jedno z najlepiej opisanych w literaturze zagadnień transportowych. Polega na znalezieniu najkrótszej drogi przebiegającej przez wszystkie punkty odbioru bądź dostawy wraz z powrotem do punktu początkowego. Jest to problem, który ma zawsze co najmniej jedno rozwiązanie optymalne, jednak ze względu na fakt, że jest problemem NP-trudnym, do jego rozwiązania w znakomitej większości przypadków, zwłaszcza dla dużych sieci transportowych stosuje się metody heurystyczne bądź algorytmy quasi-sztucznej inteligencji.

Istotne jest przy tym zaznaczenie, że rozwiązania dopuszczalne i optymalne uzyskane z modelu decyzyjnego oraz płynące z niego wnioski w sposób pełny i jednoznaczny odnoszą się jedynie do modelu optymalizacyjnego, zaś do rzeczywistej sytuacji decyzyjnej odnoszą się w sposób przybliżony i jednostronny. [5, s. 14] Tradycyjne metody badań operacyjnych sprawdzają się w znakomitej większości przypadków w sytuacjach, w których problem jest dobrze ustrukturalizowany, decydent posiada pełnię informacji niezbędnych do podjęcia decyzji, zaś pole efektywności modelu nie jest zaburzone przez nadmierne oddziaływanie czynników behawioralnych. W przeciwnym przypadku, w celu optymalizacji decyzji konieczne jest rozszerzanie standardowych modeli decyzyjnych, w sposób pozwalający na uwzględnienie czynników o charakterze pozaefektywnościowym. Na problem poszerzenia klasycznej metodologii badań operacyjnych, w tym dotyczącej zagadnień transportowych, daje odpowiedź teoria zbiorów rozmytych.

3. ZBIORY ROZMYTE W ZAGADNIENIACH TRANSPORTOWYCH

Rozmytym problemem transportowym nazywa się problem transportowy, w którym zmienne decyzyjne mają charakter rozmyte. Rozwiązanie rozmytego klasycznego zagadnienia transportowego, to rozwiązanie w którym zminimalizowany zostaje rozmyty całkowity koszt wykonania łącznej pracy przewozowej [9, s. 367-378].

Zbiór rozmyty A w przestrzeni X definiuje się jako zbiór uporządkowanych par takich, że [11, s. 76-81]:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\}$$

przy czym:

$$\mu_A: X \rightarrow [0, 1].$$

Kształt i efekty wykorzystania zbiorów zależy od przyjętej funkcji przynależności μ_A , z reguły wykorzystuje się funkcję trójkątną, trapezową bądź s-funkcję.

Dla tak zdefiniowanych liczb rozmytych, rozmyte zagadnienie transportowe prezentuje się następująco:

- $\tilde{a}_i \geq 0$ oznacza rozmytą wielkość podaży oferowaną przez dostawcę i ;
- $\tilde{b}_j \geq 0$ oznacza rozmytą wielkość popytu zgłaszaną przez odbiorcę j ;
- $\tilde{c}_{ij} \geq 0$ oznacza rozmyty koszt przewozu jednostki towaru od dostawcy i do odbiorcy j ;
- \tilde{x}_{ij} oznacza zmienną decyzyjną oznaczającą wielkość przewozu zrealizowaną pomiędzy dostawcą i a odbiorcą j .

Matematyczne sformułowanie problemu optymalizacji planu przewozowego to w konsekwencji:

$$\min \tilde{Z} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \tilde{c}_{ij} \tilde{x}_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij} \approx \tilde{a}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m \tilde{x}_{ij} \approx \tilde{b}_j, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m \tilde{a}_i \approx \sum_{j=1}^n \tilde{b}_j, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\tilde{x}_{ij} \geq 0$$

Dopuszczalne rozwiązanie rozmyte tak zdefiniowanego problemu jest rozwiązaniem optymalnie rozmytym w sytuacji, gdy minimalizuje całkowity łączny rozmyty koszt przewozu ładunków. Dla każdego prawidłowo określonego rozmytego klasycznego problemu transportowego istnieje rozmyte rozwiązanie optymalne [9, s. 372].

Znakomitą większość zagadnień badań operacyjnych dla problemów przedsiębiorstw transportowych rozszerzyć można o kategorie rozmyte [3, s. 211-221]. Wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych pozwala na poszerzenie zastosowania klasycznej metodologii badań operacyjnych o sytuacje, w których problem decyzyjny nie jest deterministycznie określony. W konsekwencji metodologia badań operacyjnych stać się może kompatybilna z systemami podejmowania decyzji w przedsiębiorstwach transportowych, które uwzględniają poza czynnikiem efektywnościowym także czynnik socjologiczny oraz psychologiczny.

Streszczenie

Przedsiębiorstwa transportowe w swojej działalności spotykają się z rozległym zbiorem sytuacji decyzyjnych, w których konieczne jest uwzględnienie szerokiego spektrum czynników egzogenicznych oraz endogenicznych. W celu wykształcenia umiejętności podejmowania jak najlepszych decyzji kierowniczych, w przedsiębiorstwach wykształcone zostają systemy informacyjno-decyzyjne umożliwiające formalizację oraz strukturalizację informacji, a także usystematyzowanie podejmowanych decyzji.

Jedną z klasycznych metod i technik podejmowania decyzji optymalnych są badania operacyjne, które dla przedsiębiorstw transportowych mają szczególną rolę, ze względu na grupę optymalizacyjnych zagadnień transportowych.

Niemniej jednak klasyczne techniki badań operacyjnych pozwalają na uwzględnienie jedynie czynników o charakterze czysto efektywnościowym, pozostawiając czynniki o charakterze psychospołecznym. Rozwiązaniem tego ograniczenia może być poszerzenie metodologii badań operacyjnych o wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych.

Celem artykułu jest ukazanie możliwości wykorzystania teorii zbiorów rozmytych w specyficznych zagadnieniach charakterystycznych dla przedsiębiorstw transportowych.

FUZZY SETS IN OPERATIONAL RESEARCH OF TRANSPORT ENTERPRISES

Abstract

Transport enterprises encounter a wide spectrum of decisional situations which create a need for an inclusion of both endogenous and exogenous factors. So as to be able to develop the ability to make optimal managerial decisions, enterprises create an information-decision system which allow them to formalise and standardise information as well as sistematise the decision-making process.

Operational research are one of the standard techniques of optimal decision-making. They are of exceptional value to the transport enterprises, due to the transport issue group. However, classic techniques of operational research only allow to include pure efficiency factors, while leaving out the behavioural ones.

Inclusion of fuzzy sets theory in the methodology of operational research may allow to bypass this restriction. The objective of the article is to show an example of such an inclusion in a specific transport issue of classic transportation problem.

BIBLIOGRAFIA

1. *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*. Praca zbiorowa pod red. K. Kukuły. PWN, Warszawa 2008.
2. *Badania operacyjne*. Praca zbiorowa pod red. W. Sikory. PWE, Warszawa 2008.
3. Chanas S., Kołodziejczyk W., Machaj A., *A fuzzy approach to the transportation problem* [w:] *Fuzzy Sets and Systems* Vol. 4 Issue 3, 08.1984.
4. Gros U., *System informacyjny w organizacji gospodarczej*. PWE, Warszawa 1989.
5. Kozubski J.J., *Wprowadzenie do badań operacyjnych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2004.
6. Krajewski M., *Efektywność gospodarowania majątkiem przedsiębiorstw transportowych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2001.
7. Letkiewicz A., *Gospodarowanie w transporcie samochodowy. Wybrane zagadnienia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2006.
8. Miller D.W., Starr M.K., *Praktyka i teoria decyzji*. PWN, Warszawa 1971,
9. Mohanaselvi S., Ganesan K., *Fuzzy Optimal Solution to Fuzzy Transportation Problem: A New Approach* [w:] *International Journal on Computer Science and Engineering*, Vol. 4 No. 3 2012.
10. Penc J., *Leksykon biznesu*. A.W. „Placet”, Warszawa 1997.
11. Rutkowski L., *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
12. Simon H., *Podejmowanie decyzji kierowniczych. Nowe nurty*. PWE, Warszawa 1982.
13. Szałucki K., *Przedsiębiorstwa transportowe. Warunki i mechanizmy równowagi*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999.

14. van der Veen B., *Wstęp do teorii badań operacyjnych*. PWN, Warszawa 1970.
15. Wawrzyniak B., *Decyzje kierownicze w teorii i praktyce zarządzania*. PWE, Warszawa 1980.