

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Optymalizacyjne narzędzia wspomagające zarządzanie łańcuchem dostaw

Joanna Szkutnik-Rogoż, Jerzy Małachowski

Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Wojskowa Akademia Techniczna
email: joanna.szkutnik@wat.edu.pl, jerzy.malachowski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Zagadnienie transportowe jest szczególnym rodzajem programowania matematycznego umożliwiającemu poszukiwanie i wyznaczenie optymalnej sieci dystrybucji z uwzględnieniem zbioru dostawców i zbioru odbiorców. W niniejszym artykule na przykładzie liczbowym przedstawiono rozwiązanie problemu transportowego przy wykorzystaniu klasycznych metod obliczeniowych tj. kąta północno-zachodniego, najmniejszego elementu w macierzy oraz metodę aproksymacji VAM. Celem artykułu było opracowanie narzędzi w postaci algorytmów, które następnie zaimplementowano w R, Octave i Matlab, umożliwiających optymalizację kosztów transportu w ramach założonej sieci dostaw. W modelu określono zmienne decyzyjne oraz wskazano warunki ograniczające. Ponadto, dokonano interpretacji i wizualizacji otrzymanych wyników. Implementacja zaproponowanego rozwiązania umożliwia użytkownikowi wyznaczenie optymalnego planu transportu dla indywidualnie zdefiniowanych kryteriów.

SŁOWA KLUCZOWE: modelowanie matematyczne, optymalizacja, badania operacyjne

1. Wstęp

Rozwój technologii oraz wzrost zainteresowania nowoczesnymi matematycznymi metodami obliczeniowymi umożliwiającymi rozwiązywanie problemów decyzyjnych, wpływa na racjonalną gospodarkę współczesną flotą środków transportowych [1]. Zagadnienie transportowe jest szczególnym rodzajem programowania matematycznego polegającego na wyznaczeniu najlepszego rozwiązania, pod względem przyjętego kryterium decyzyjnego [2]. Zagadnienie optymalizacyjne można sprowadzić do przeszukiwania zbioru rozwiązań dopuszczalnych, dla których funkcja reprezentująca określone kryterium i opisana na tym zbiorze, osiąga ekstremum [3-4]. Dzięki rozwojowi technologii komputerowych oraz rosnącemu zapotrzebowaniu na informatyczne narzędzia ilościowe, w ciągu ostatnich lat oferta rynkowa w zakresie dostępnych metod badań operacyjnych została znacznie rozbudowana. Dostępnych jest wiele narzędzi umożliwiających wykorzystywanie technik programistycznych, pętli oraz generowanie nowych funkcji użytkownika. Na potrzeby niniejszej publikacji opracowano algorytmy umożliwiające optymalizację kosztów transportu, które zaimplementowano w R, Octave oraz Matlab.

2. Model matematyczny

Zagadnienie transportowe może być matematycznie określone jako problem programowania liniowego. Istnieje wiele zadań programowania liniowego, które można rozwiązywać, po sprowadzeniu ich do postaci zadań optymalizacji [5-6]. Jednym z nich jest zbilansowane zagadnienie transportowe, które odnosi się do stanu równowagi pomiędzy sumarycznym popytem a zagregowaną podażą, co można wyrazić za pomocą zależności:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1)$$

Funkcja celu określona wzorem:

$$F_{obj} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

stanowi iloczyn kosztu transportu c_{ij} oraz wielkości przewozu x_{ij} pomiędzy dostawcami i odbiorcami [7].

3. Metodologia

Istnieje wiele metod rozwiązywania zagadnienia transportowego. W artykule wykorzystano:

- metodę kąta północno-zachodniego,
- metodę najmniejszego elementu w macierzy,
- metodę aproksymacji VAM.

Następnie w celu optymalizacji otrzymanych rozwiązań bazowych dla każdej z metod zastosowano metodę potencjałów [8-10]. W celu wyeliminowania konieczności przeprowadzania złożonych obliczeń opracowano algorytmy, które w znaczny sposób ułatwiają wyznaczenie rozwiązania minimalizującego koszt transportu.

4. Wyniki

Dane liczbowe niezbędne do przeprowadzenia obliczeń zostały zaczerpnięte z Rozkazu Szefa Inspektoratu Wsparcia Sił Zbrojnych z dnia 19.02.2020 r. Problem polegał na wyznaczeniu optymalnej sieci dystrybucji od dostawców do odbiorców w taki sposób, aby łączne koszty transportu były minimalne. Przewóz zrealizowano

samochodem ogólnego przeznaczenia dużej ładowności Jelcz 325 dla którego jednostkowy wskaźnik kosztów eksploatacji przypadający na jednostkę eksploatacji wynosi 6.17 zł. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń w tab. 1 zestawiono koszty transportu odpowiadające wyznaczonym rozwiązaniom bazowym, natomiast w tab. 2 uwzględniono wyniki kolejnych optymalizacji rozwiązań dopuszczalnych prowadzące do uzyskania minimum funkcji celu.

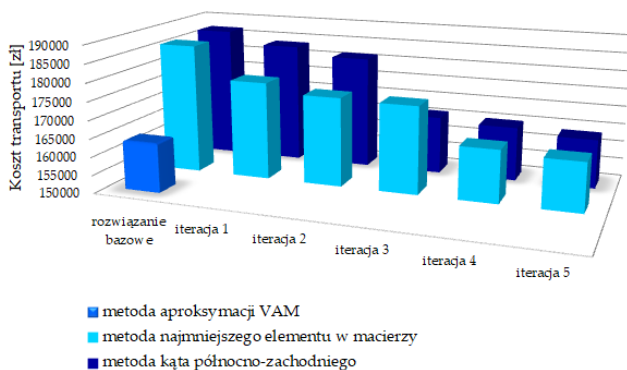
Tabela 1. Koszty transportu odpowiadające wyznaczonym rozwiązaniom bazowym

	Metoda		
	kąta północno-zachodniego	najmniejszego elementu w macierzy	aproxymacja VAM
koszt transportu	186851	186009	163585

Tabela 2. Wyniki optymalizacji kosztów rozwiązań dopuszczalnych

koszt po kolejnych iteracjach metody potencjałów	Metoda		
	kąta północno-zachodniego	najmniejszego elementu w macierzy	aproxymacja VAM
iteracja 1	183521	177135	163585
iteracja 2	181305	174665	
iteracja 3	165969	174238	
iteracja 4	164983	164581	
iteracja 5	163585	163585	

Dokonując porównania otrzymanych wyników należy zauważyć, że w zależności od wybranej metody, wartości funkcji celu dla poszczególnych rozwiązań dopuszczalnych są zróżnicowane. Metoda kąta północno-zachodniego pomimo prostoty obliczeń okazała się najmniej dokładna, gdyż konieczne było pięciokrotne stosowanie metody potencjałów. W metodzie minimalnego elementu w macierzy dla rozwiązania bazowego wyznaczono niższy koszt transportu niż za pomocą metody kąta północno-zachodniego, jednakże również w tym przypadku konieczna była pięciokrotna optymalizacja rozwiązania dopuszczalnego. Jedynie metoda VAM zapewniła uzyskanie minimalnej wartości funkcji celu, a tym samym wyznaczenie optymalnego planu dystrybucji już w pierwszym kroku. Wartości funkcji celu otrzymywane w kolejnych iteracjach metody potencjałów zobrazowano na rys. 1.



Rys. 1. Wartości funkcji celu dla kolejnych iteracji metody potencjałów

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy sformułowano następujące wnioski:

- 1) Wyznaczono rozwiązanie optymalne, dla którego całkowity koszt transportu wyniósł 163585 zł.
- 2) Metoda kąta północno-zachodniego oraz metoda najmniejszego elementu w macierzy wymagała pięciokrotnego zastosowania metody potencjałów.
- 3) Metoda VAM zapewniła wyznaczenie rozwiązania optymalnego w pierwszym kroku.
- 4) Każdy z opracowanych algorytmów umożliwił wyznaczenie rozwiązania optymalnego pod względem kosztu transportu.
- 5) Zestawiono zalety i ograniczenia wynikające z zastosowania R, Octave oraz Matlab.
- 6) Zaproponowane w artykule rozwiązanie w postaci algorytmów zaimplementowanych w R oraz Octave jest bezpłatne w odróżnieniu do środowiska obliczeniowego Matlab, które jest komercyjnym.
- 7) Opracowane algorytmy nie umożliwiają wyznaczenia poszczególnych rozwiązań dopuszczalnych a jedynie pozwalają uzyskać rozwiązanie optymalne dla określonych kryteriów.

Praca została wykonana w ramach grantu badawczego UGB 771/2022 realizowanego w Wojskowej Akademii Technicznej.

Literatura

- [1] Angelelli E., Morandi V., Savelsbergh M., Speranza M.G. *System optimal routing of traffic flows with user constraints using linear programming*. European Journal of Operational Research, Vol. 293, pp. 863–879, 2021.
- [2] Tamannaei M., Rasti-Barzoki M. *Mathematical programming and solution approaches for minimizing tardiness and transportation costs in the supply chain scheduling problem*. Computers & Industrial Engineering, Vol. 127, pp. 643–656, 2019.
- [3] Szkutnik-Rogoż J., Ziółkowski J., Małachowski J., Oszczywała M., *Mathematical Programming and Solution Approaches for Transportation Optimisation in Supply Network*. Energies, Vol. 14, No. 21, 2021.
- [4] Venkatachalapathy M., Pandiarajan R., Ganeshkumar S. *A special type of solving transportation problems using generalized quadratic fuzzy number*. International Journal of Scientific & Technology Research, Vol. 9, pp. 6344–6348, 2020.
- [5] Karagul K., Sahin Y. *A novel approximation method to obtain initial basic feasible solution of transportation problem*. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, Vol. 32, pp. 211–218, 2020.
- [6] Can T., Koçak H. *Tuncay Can's Approximation Method to obtain initial basic feasible solution to transport problem*. Applied and Computational Mathematics, Vol. 5, pp. 78–82, 2016.
- [7] Mhlanga A., Nduna I.S., Matarise D.F., Machisvo A. *Innovative application of Dantzig's North-West Corner Rule to solve a transportation problem*. International Journal of Educational Research, Vol. 2, pp. 1–12, 2014.
- [8] Venkatachalapathy M., Pandiarajan R., Ganeshkumar S. *A special type of solving transportation problems using generalized quadratic fuzzy number*. International Journal of Scientific & Technology Research, Vol. 9, pp. 6344–6348, 2020.
- [9] Mancini S., Gansterer M. *Vehicle routing with private and shared delivery locations*. Computers & Operations Research, Vol. 133, Article number 105361, 2021.
- [10] Salehi M., Jalalian M., Vali Siar M. *Green transportation scheduling with speed control: Trade-off between total transportation cost and carbon emission*. Computers & Industrial Engineering, Vol. 113, pp. 392–404, 2017.