

Ocena preferencji decyden- ta przy wyborze środków transportowych

Artur Duchaczek

Katedra Inżynierii Systemów, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu, e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl

Streszczenie: W procesie optymalizacji współczynniki ważności (tzw. wagi) poszczególnych kryteriów umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decyden-
ta. Są zatem jednym z niewąlgicznych elementów tego procesu. Na polskim rynku funkcyj-
nie bardzo zróżnicowana gama pojazdów ciężarowych. Do obliczania współczynników waż-
ności w przypadku optymalizacji decyzji dotyczącej zakupu nowych środków transport-
owych wykorzystano metodę DEMATEL. Zastosowanie przedstawionej metody spowod-
owało ilościowe uwzględnienie rzeczywistych preferencji decyden-
ta w oparciu o dość prostą metodę naukową, a nie tylko samą intuicję decyden-
ta.

Słowa kluczowe: metoda DEMATEL, optymalizacja, logistyka, środki transportowe.

1. Wstęp

Wiele metod z obszaru optymalizacji wielokryterialnej w swoich algorytmach korzy-
sta ze współczynników określających ważność danych kryteriów (tzw. wag). Współczyn-
niki te umożliwiają uwzględnienie indywidualnych preferencji decyden-
ta w procesie opty-
malizacji. Niektóre metody jak np. Analytical Hierarchy Process (AHP) już w swoim algoryt-
mie obliczeniowym uwzględnia sposób określania tego parametru. Są jednak metody jak
np. metoda Bellingera czy metoda Electre, w których przyjęcie wartości współczynników
ważności (wag) odbywa się w sposób bezpośredni, poprzez podanie przez decyden-
ta ich wartości liczbowych. Poszczególne kryteria uwzględniane w procesie optymalizacji nie
muszą być równorzędne (równoważne). Ich ranking nie może być również z góry ustalony
w danym algorytmie, ponieważ uwzględnia indywidualne oczekiwania (preferencje) dane-
go decyden-
ta. Zatem wartości współczynników ważności (wag) poszczególnych kryteriów
stanowią kluczowy element procesu optymalizacji. Z tego względu sposób ich określania
powinien być w sposób przejrzysty określony i uwzględniony w procedurze optymalizacyj-
nej. Uwzględniając niniejszy fakt autor pracy zaprezentował możliwość wykorzystania do
tego celu znanej metody optymalizacyjnej DEMATEL. Sposób obliczania współczynników
ważności (wag) poszczególnych kryteriów przedstawiono w odniesieniu do procesu opty-
malizacji decyzji dotyczącej zakupu środków transportowych wykorzystywanych podczas
realizacji przedsięwzięć budowlanych.

2. Podstawowe założenia metody DEMATEL wykorzystane do ustalania współczynników ważności poszczególnych kryteriów

Metoda DEMATEL jest metodą wspomaganie decyzji, która niestety nie jest najbar-
dziej rozpowszechniona w środowisku inżynierów w codziennej praktyce zawodowej, choć
aktualnie coraz częściej sięgają po nią naukowcy na całym świecie [1,2,3,4,5]. Spośród
polskich uczonych szczególnie znaczenie w jej rozpowszechnianiu ma M. Dytczak, który

zaprezentował wiele możliwości zastosowania metod optymalizacyjnych w szeroko rozumianym obszarze budownictwa [6,7,8,9,10].

Clou metody DEMATEL stanowi teoria grafów, a w szczególności grafy o ukierunkowanej postaci umożliwiające określenie wzajemnych zależności między porównywanymi obiektami. Algorytm obliczeń w metodzie DEMATEL można podzielić na cztery etapy [7,8].

W pierwszym etapie zostaje utworzona macierz kwadratowa $n \times n$ zwana macierzą bezpośredniego wpływu obiektów (*macierz A*) [7]:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Poszczególne wiersze tej macierzy są dedykowane obiektom (kryteriom lub wariantom) występującym w porównaniach jako pierwsze, natomiast kolumny dedykowane są obiektom występującym w porównaniach jako drugie [8]. I tak na przykład wyraz macierzy a_{21} oznacza porównanie obiektu drugiego z obiektem pierwszym, zaś wyraz a_{13} oznacza wynik porównania obiektu pierwszego z obiektem trzecim. Przy czym macierz bezpośredniego wpływu obiektów A nie jest macierzą „symetryczną” tak jak macierz porównań w metodzie AHP [11].

Wpływ poszczególnych obiektów na sąsiednie obiekty realizowany jest poprzez oceny w skali od 0 do 3, przy czym 0 to brak wpływu pierwszego obiektu na drugi, 1 to niewielki, 2 to znaczny, a 3 to bardzo duży wpływ pierwszego z porównywanych obiektu na drugi [7]. Dla tożsamyh relacji wpływu obiektów dany wyraz macierzy A przyjmuje wartość zero ($a_{ii}=0$) [7], zatem na głównej przekątnej macierzy A znajdują się same zera (dla porównania w metodzie AHP zaś same jedynki).

W etapie drugim następuje normalizacja macierzy A według zależności (2), w wyniku której powstaje macierz znormalizowana B [7], [8]:

$$B = \frac{A}{\max_i \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \quad (2)$$

gdzie i to numer wiersza, j numer kolumny.

Następnie (etap III) zostaje utworzona macierz całkowitego wpływu obiektów (macierz C) poprzez zsumowanie kolejnych potęg macierzy znormalizowanej B [7]:

$$C = B + B^2 + B^3 + \dots = B(I - B)^{-1}, \quad (3)$$

gdzie I oznacza macierz jednostkową $n \times n$.

Macierz ta umożliwia określenie relacji między analizowanymi obiektami zarówno w kontekście czynników bezpośrednich, jak i pośrednich wynikających z ich niejawnych powiązań. Jak podano w pracy [7] siłę tych niejawnych powiązań obrazuje macierz D , określana zależnością (4):

$$D = C - B = B^2(I - B)^{-1}. \quad (4)$$

W ostatnim czwartym etapie określamy wartości wskaźników pozycji p_i i relacji r_i według zależności [8]:

$$p_i = x_i + y_i, \quad (5)$$

$$r_i = x_i - y_i, \quad (6)$$

gdzie x_i i y_i oznaczają odpowiednio wartości sumy elementów wiersza i kolumny dedykowanej i -temu obiektowi obliczane z zależności [7]:

$$x_i = \sum_{j=1}^n c_{ij}, \quad (7)$$

$$y_i = \sum_{j=1}^n c_{ji}. \quad (8)$$

Wartość wskaźnika pozycji p_i wyraża tzw. aktywność danego obiektu w trakcie procesu porównania parami. Im większa jego wartość tym wyższy stopień znaczenia danego obiektu.

Przyjmuje się, że wartość wskaźnika relacji r_i określa natomiast ogólny charakter obiektu. Jeżeli jego wartość jest większa od zera wówczas dominuje on nad pozostałymi obiektami, jeżeli jest ujemna wówczas został on zdominowany przez te obiekty [8].

Niestety w takiej postaci wartości wskaźnika relacji r_i nie mogą być bezpośrednio wykorzystane jako współczynniki ważności (tzw. wagi) poszczególnych kryteriów w_i . Aby wartości te mogły być wykorzystane bezpośrednio do większości metod optymalizacyjnych powinny one być liczbami w przedziale od 0 do 1, i jednocześnie ich suma powinna być równa jedności. Z tego względu autor zaproponował sposób przeliczenia tych wielkości według zależności:

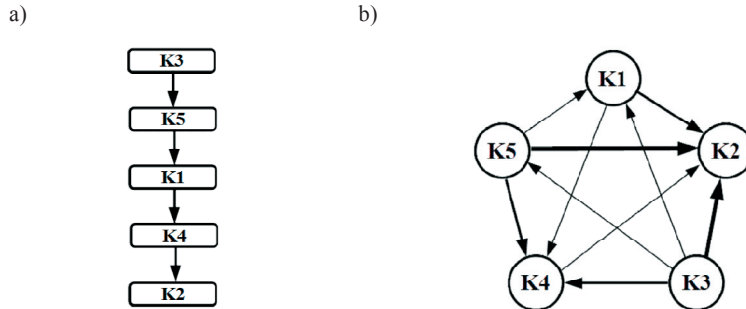
$$w_i = \frac{r_i - 2r_{\min}}{\sum_{i=1}^n (r_i - 2r_{\min})}, \quad (9)$$

gdzie r_{\min} jest najmniejszą wartością wszystkich wyliczonych współczynników relacji r_i . Zastosowany mnożnik 2 we wzorze 9 powoduje, że uzyskane wartości współczynników ważności w_i są liczbami z przedziału od 0 do 1, a ich suma jest równa jedności.

3. Przykład zastosowania metody DEMATEL

Na polskim rynku funkcjonuje zróżnicowana gama pojazdów ciężarowych, wśród nich są między innymi pojazdy firmy Star, Iveco, Jelcz, Kamaz, Mann, Volvo, Mercedes i Scania. W pracy [12] poświęconej optymalizacji wyboru pojazdów ciężarowych wykorzystywanych podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych autor swoją uwagę poświęcił pojazdom jednej z tych firm. W analizach tych [12] uwzględniono sześć dwuosiowych pojazdów charakteryzujących się dopuszczalną masą całkowitą podwozia 18000-19500 kg, rozstawem osi 3400-3700 mm, szerokością pojazdu 2400-2500 mm oraz jego wysokością 2800-3200 mm, przyjmując jednocześnie pięć kryteriów oceny przedmiotowych pojazdów, takich jak kąt najazdu (K1), rozstaw osi (K2), ładowność pojazdu (K3), minimalna średnica zawracania (K4) i moc silnika (K5). W pracy [12] nie uwzględniono jednak wpływu współczynników ważności (tzw. wag) poszczególnych kryteriów oceny na wyniki prowadzonych obliczeń optymalizacyjnych, przyjmując wartości tych współczynników równe dla wszystkich kryteriów. Z tego też względu w niniejszej pracy autor zaproponował jeden z możliwych sposobów ustalenia rankingu wykorzystywanych kryteriów, wyrażony w sposób ilościowy w oparciu o metodę DEMATEL.

Na rys. 1a zaprezentowano przyjętą hierarchię kryteriów oceny (K1-K5) przedstawiającą preferencje decydenta. Relacjom między poszczególnymi kryteriami zostały przypisane oceny zaprezentowane w macierzy bezpośredniego wpływu A (10) oraz w formie graficznej na rys. 1b. Grubość łuku na rys. 1b oznacza wartość przewyższenia jednego kryterium nad drugim, przy czym im grubszy łuk tym większa wartość tego przewyższenia.



Rys. 1. Graficzne przedstawienie przyjętej hierarchii współczynników ważności (tzw. wag) dla analizowanego przypadku obliczeniowego (a) oraz graficzne przedstawienie relacji między nimi (b).

W przypadku zadania analizowanego w niniejszej pracy ocena znaczenia (ważności) danych kryteriów oceny wariantów decyzyjnych będzie równa 0 dla porównania tożsamyh kryteriów (a_{ii}), 1 dla niewielkiego, 2 dla znacznego, a 3 dla bardzo dużego przewyższenia jednego kryterium nad drugim. Przewyższenie w tym przypadku oznacza subiektywnie większe znaczenie (ważność) danego kryterium nad sąsiednim.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 2 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Wiersz trzeci macierzy A charakteryzuje się największą, a wiersz drugi najmniejszą wartością sumy elementów. Wynika to bezpośrednio z przyjętego rankingu kryteriów zaprezentowanego na rys. 1a. Uwzględniając wartość sumy elementów trzeciego wiersza macierzy A znormalizowano ją, tworząc macierz bezpośredniego wpływu B , która przyjęła postać:

$$B = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,2857 & 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,4286 & 0,0000 & 0,2857 & 0,1429 \\ 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,4286 & 0,0000 & 0,2857 & 0,0000 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

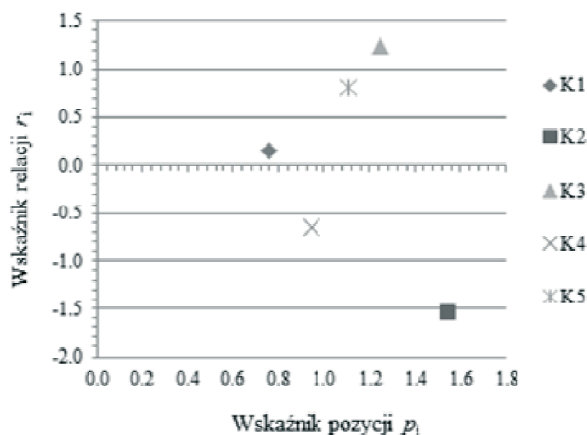
Następnie korzystając z wyrażenia (3) utworzono macierz całkowitego wpływu obiektów C (12). Macierzy tej odpowiadają określone wartości sum wierszowych x_i i kolumnowych y_i oraz wskaźniki pozycji p_i i relacji r_i przedstawione w tabeli 1. Na rys. 2 zaprezentowano również w formie graficznej wyniki niniejszych obliczeń [8].

$$C = \begin{bmatrix} 0,0000 & 0,3061 & 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1633 & 0,5864 & 0,0000 & 0,3499 & 0,1429 \\ 0,0000 & 0,1429 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,1429 & 0,5131 & 0,0000 & 0,3061 & 0,0000 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Tabela 1. Wartości sum wierszowych x_i i kolumnowych y_i oraz wskaźniki pozycji p_i i relacji r_i a także wartości współczynników ważności (wagi) w_i

Kryterium	Sumy		Wskaźniki		Współczynnik ważności w_i
	wierszowe x_i	kolumnowe y_i	pozycji p_i	relacji r_i	
K1	0,4490	0,3061	0,75510	0,14286	0,2092
K2	0,0000	1,5485	1,54852	-1,54852	0,1000
K3	1,2424	0,0000	1,24240	1,24240	0,2802
K4	0,1429	0,7988	0,94169	-0,65598	0,1576
K5	0,9621	0,1429	1,10496	0,81924	0,2529

W przypadku analizowanym w niniejszej pracy wartość wskaźnika pozycji p_i określa jedynie rolę poszczególnych kryteriów optymalizacyjnych w ustalaniu relacji (rankingu) między nimi. Wysoka wartość wskaźnika relacji r_i świadczy natomiast o wysokiej pozycji kryterium i -tego w rankingu ważności analizowanych kryteriów decyzyjnych. Wartość tego wskaźnika ustala zatem hierarchię ważności poszczególnych kryteriów. Analiza danych z tabeli 1 potwierdza przyjęty na rys. 1a ranking kryteriów oceny (K1-K5).



Rys. 2. Zależność wskaźników pozycji p_i i relacji r_i dla analizowanych kryteriów

W tabeli 1 przedstawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń wartości współczynników ważności w_i . Również w tym przypadku analiza danych z tablicy 1 potwierdza przyjęty na rys. 1a ranking kryteriów oceny (K1-K5).

W tabeli 2 zaprezentowano porównanie wybranych różnic między wynikami wskaźników relacji r_i oraz odpowiadających im współczynników ważności w_i . Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że proporcja między wynikami dla wszystkich pięciu wybranych przypadków jest stała i wynosi 15,485. Świadczy to o fakcie, że mimo przeprowadzonych przeliczeń według wzoru (8), relacje między nimi nie uległy zmianie.

Tabela 2. Porównanie różnic między wskaźnikami relacji r_i oraz współczynnikami ważności w_i

Różnica dla kryteriów	Różnice wartości dla	
	wskaźników relacji r_i	współczynników ważności w_i
K3 - K5	0,4232	0,0273
K1 - K4	0,7988	0,0516
K3 - K1	1,0995	0,0710
K5 - K4	1,4752	0,0953
K3 - K2	2,7909	0,1802

4. Podsumowanie

Zastosowanie przedstawionej metody do określenia współczynników ważności w_i poszczególnych kryteriów powoduje, że uwzględnienie rzeczywistych preferencji decydenta odbywa się na podstawie dość prostej metody naukowej, a nie tylko samej intuicji decydenta. Metoda DEMATEL oparta jest na prostym algorytmie obliczeniowym, przez co wydaje się godna polecenia osobom, które potrzebują „przyjaznego” narzędzia wspomagającego proces decyzyjny. Zastosowanie powszechnie stosowanego arkusza kalkulacyjnego MS Excel umożliwia przeprowadzenie obliczeń w kilka minut. Oczywiście dobór wartości wag poszczególnych kryteriów wykorzystywanych w procesie decyzyjnym można zrealizować według innych znanych metod optymalizacyjnych, jak np. metoda AHP. W zaprezentowanym algorytmie metody DEMATEL nie uwzględniono niekonsekwencji eksperta określającego zależności (stopień przewyższenia) między poszczególnymi kryteriami. Wydaje się, że jest to poważnym niedociągnięciem omawianej metody i powinno zostać wyeliminowane poprzez wprowadzenie, na wzór chociażby metody AHP, współczynnika konsekwencji wyrażanych opinii.

Literatura

1. Tamura H., Akazawa K. *Stochastic DEMATEL for structural modelling of a complex problematique for realizing safe, secure and reliable society*. Journal of Telecommunications and Information Technology 4 (2005) 139-146.
2. Chang K.H., Cheng C.H. *Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method*. Journal of Intelligent Manufacturing 22(2) (2011) 113-129.
3. Lin C.L., Tzeng G.H. *A value-created system of science (technology) park by using DEMATEL*. Expert Systems with Applications 36(6) (2009) 9683-9697.
4. Chang B., Chang C.W., Wu C.H. *Fuzzy DEMATEL method for developing supplier selection criteria*. Expert Systems with Applications 38(3) (2011) 1850-1858.
5. Guo W., Deng Q., Pan X.D. *Risk evaluation of highway tunnel construction based on DEMATEL method*. Applied Mechanics and Materials 368 (2013) 1472-1476.
6. Dytczak M. *Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie*. Politechnika Opolska, Opole 2010. ISBN 978-83-60691-94-6.
7. Dytczak M., Borchak-Moczydlowska M. *Ocena czynników kształtujących jakość wód zbiornika zaporowego z wykorzystaniem metody DEMATEL*. Online: 18.07.2014 r., http://ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2009/028_Dytczak_Borchak-Moczydlowska.pdf.
8. Dytczak M., Ginda G., Wojtkiewicz T. *Analiza związków przyczynowo-skutkowych w awarii konstrukcji przy użyciu metody DEMATEL*. XXV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaria Budowlane 2011”, Międzyzdroje 24-27 maja 2011, s. 419-426.
9. Dytczak M., Ginda G., Gotowała B., Szklennik N. *Potencjał aplikacyjny metody DEMATEL i jej rozszerzeń w budownictwie*. Budownictwo i inżynieria środowiska 2 (2011) 235-240.

10. Dytczak M., Przybyło W. *Wielokryterialna ocena systemów transportu Krakowa z użyciem metody DEMATEL*. Budownictwo i inżynieria środowiska 2 (2011) 241-246.
11. Saaty T.L., Vargas L. *Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process*. Boston, Kluwer Academic Publishing, 2001.
12. Duchaczek A. *Optymalizacja wyboru pojazdów ciężarowych wykorzystywanych podczas realizacji przedsięwzięciach budowlanych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, seria Organizacja i Zarządzanie. Materiał zdany do redakcji czasopisma.

Evaluation of the decision maker's preferences in the selection means of transport

Artur Duchaczek

*Department of System Engineering, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko
Military Academy of Land Forces in Wrocław, e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl*

Abstract: In the process of optimizing each criterion validity coefficients allow to take into account individual preferences of the decision maker. They are therefore one of its most important elements of this process. On the Polish market works very diverse range of vehicles. For the calculation of the validity coefficients for the optimization of the choice of means of transport used DEMATEL method. The application presented method resulted in a quantitative consideration of the actual decision-maker preferences based on fairly simple scientific method, and not only the intuition of the decision maker.

Keywords: DEMATEL method, optimization, logistics, transport means.

