

Zastosowanie zmodyfikowanej metody Bellingera do optymalizacji doboru środków transportowych

Artur Duchaczek¹, Dariusz Skorupka²

¹ *Katedra Inżynierii Systemów, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, e-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl*

² *Katedra Zarządzania, Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki, e-mail: dareks100@interia.eu*

Streszczenie: W pracy przedstawiono przykład zastosowania zmodyfikowanej metody Bellingera do optymalizacji doboru środków transportowych na przykładzie wózków widłowych obsługujących magazyny wyrobów i materiałów budowlanych. Opisano założenia przedmiotowej metody, dokonując oceny jej wad i zalet. Uzyskane wyniki rankingu wariantów decyzyjnych porównano z wynikami obliczeń wykorzystujących oryginalną metodę Bellingera.

Słowa kluczowe: metoda Bellingera, optymalizacja, logistyka, środki transportowe

1. Wprowadzenie

W budownictwie oraz innych gałęziach gospodarki narodowej, znaczna część problemów decyzyjnych może zostać opisana za pomocą celu, wariantów decyzyjnych oraz użyteczności danego wariantu. Funkcję celu determinuje jednak bardzo często ich użyteczność, rozumiana i przyjmowana jako wynik optymalny, określony na podstawie przyjętego kryterium oceny [1], [2], [3], [4]. W praktyce inżynierskiej często mamy do czynienia z większą liczbą kryteriów oceny danego wariantu. Wówczas trudno mówić o decyzji optymalnej, a jedynie o tzw. decyzji suboptymalnej, gdyż w rzeczywistości prawie nigdy nie jest tak, że jakiś jeden wariant decyzyjny spełnia wszystkie kryteria oceny lepiej od pozostałych wariantów. W tym przypadku bardzo ważną rolę odgrywa preferencja decydynta, wyrażana często m. in. w postaci współczynnika ważności, tzw. wagi [3].

Niestety, w różnych obszarach budownictwa decydynt często spotyka się z zadaniami wymagającymi wielokryterialnego podejmowania decyzji. Autorzy prac [3] i [4] analizowali przykład takiej decyzji w oparciu o zakup wózków widłowych obsługujących magazyny firm lub centrów logistycznych. Celem tych analiz było efektywne wykorzystanie powierzchni magazynowej, a także zapewnienie sprawnego transportu w jej obszarze. W pracach tych wykorzystano zarówno metodę Electre [4], jak i mało używaną w praktyce inżynierskiej metodę Bellingera [3]. Zaletą metody porównawczej Bellingera jest fakt, iż jest ona łatwa w użyciu, a obowiązujący w niej algorytm obliczeniowy wymaga tylko podstawowych obliczeń matematycznych. Jednak jak każda metoda optymalizacyjna, ma ona również pewne wady i ograniczenia, dlatego w niniejszym artykule zaprezentowano możliwość jej zastosowania.

2. Wada metody Bellingera

Metoda Bellingera jest jedną z metod analizy wielokryterialnej, która porządkuje obiekty na podstawie wartości tak zwanej oceny łącznej wyznaczonej ze zbioru przyjętych

kryteriów cząstkowych [5]. Jak podaje M. Wolny [6], metoda ta polega na doprowadzeniu ocen wariantów decyzyjnych względem wszystkich przyjętych kryteriów do porównywalności, w celu ich dalszej agregacji. Jedną z cech charakterystycznych metody jest fakt, że dla każdego analizowanego kryterium oceny dostępnego wariantu decyzyjnego ustalamy stan najbardziej i najmniej pożądany oraz kierunek tych zmian. Dla każdego dostępnego wariantu decyzyjnego określa się ocenę względem każdego kryterium, jako ułamek tak zwanej „drogi”, będącej różnicą między tymi stanami. Wariantem suboptymalnym jest ten wariant decyzyjny, który otrzymuje ocenę łączną o największej wartości [6].

P. Górny w pracy [5] przedstawił szczegółowy algorytm obowiązujący w metodzie Bellingera. W metodzie tej ocena łączna, będąca wynikiem prowadzonych analiz, określa wartość „odległości” analizowanego kryterium, w odniesieniu do wartości najbardziej niepożądanego. Wynika to z założenia, że czym dany wariant przyjmuje wartość bardziej odległą od wartości niepożądanego, tym jest bliższy wartości pożądanej.

W związku z faktem, że w praktyce inżynierskiej często występują trudności z jednoznacznym określeniem wartości niepożądanego danego kryterium istnieje potrzeba modyfikacji metody Bellingera. W pracy [3] analizowano możliwość optymalnego wyboru wózków widłowych wykorzystywanych w gospodarce magazynowej z wykorzystaniem przedmiotowej metody. Uwzględniono wówczas pięć kryteriów optymalizacji, takich jak: szerokość, wysokość i długość wózka, jego promień skrętu oraz moc silnika. Wydaje się natomiast, że wartość niepożądana danego kryterium powinna być uwzględniana jedynie podczas określania warunków ograniczających (brzegowych) dane kryterium. I tak na przykład przyjęcie wartości szerokości i wysokości wózka uzależnione jest od istniejącej skrajni obowiązującej w danym magazynie, podawanie więc w tym przypadku wartości niepożądanych wydaje się zbędne. Podobnie jeżeli chodzi o moc silnika, ustalenie wartości niepożądanego tego kryterium jest również niejednoznaczne, ponieważ można tu przyjąć zarówno wartość zero, jak i wartość minimalną mocy silnika sprzętu istniejącego na rynku, którą oczywiście znamy. Przyjęta wartość niepożądana danego kryterium przekłada się bezpośrednio na wartość tzw. „drogi”, a to właśnie w stosunku do niej określana jest procentowa odległość wartości analizowanego wariantu do wartości niepożądanego. Wydaje się zatem, że wyeliminowanie z istniejącego algorytmu Bellingera wartości niepożądanego znacznie ułatwi proces optymalizacji i jednocześnie bardziej urealni wyniki prowadzonych analiz.

3. Założenia zmodyfikowanej metody Bellingera

Poniżej w sposób opisowy przedstawiono zależności umożliwiające dokonanie obliczeń według zmodyfikowanej metody Bellingera z podziałem na dziewięć etapów. Przyjmując jednocześnie, że pierwsze pięć etapów jest identyczne jak w oryginalnej metodzie [5].

W etapie I następuje określenie wymagań i ograniczeń dla przyszłych hipotetycznych wariantów rozwiązań analizowanego problemu. Etap II to zdefiniowanie dostępnych w danych okolicznościach wariantów decyzyjnych. W etapie III następuje szczegółowe określenie przyjętych kryteriów oceny i jednostek pomiarowych oraz pożądanej zmiany w obrębie danego kryterium cząstkowego, poprzez podane jego wartości pożądanej, tj. tzw. wzorca. Etap IV polega na ustaleniu hierarchii poszczególnych kryteriów, poprzez ustalenie subiektywnych wartości wag jakie nadaje decydent uwzględnionym kryteriom oceny. W etapie V następuje tworzenie macierzy A^0 , zawierającej rzeczywiste wartości analizowanych kryteriów pod kątem poszczególnych wariantów ([3] na podstawie [5]).

W etapie VI ustalamy rozmiar „drogi” od stanu rzeczywistego do stanu najbardziej pożądanej dla danego kryterium. W tym celu od pożądanej wartości kryterium dla danego

wariantu należy odjąć jego wartość rzeczywistą. Obliczając rzeczywiście przebytą „drogę” wyznaczamy wyrazy macierzy A^1 .

W kolejnym etapie (VII) dokonujemy normalizacji macierzy A^1 , poprzez podzielenie każdego jej elementu przez sumę elementów kolumny, w której się on znajduje. Przy czym sumowane zostają moduły (wartości bezwzględne) wyrazów macierzy A^1 . Macierz A^2 powstała w wyniku przeprowadzonej normalizacji zawiera moduły (wartości bezwzględne) otrzymanych wartości.

W etapie VIII mnożymy liczby otrzymane w etapie VII przez wagi przyjęte w etapie IV, i w ten sposób powstaje macierz A^3 . Etap końcowy (IX) to ustalenie wariantu najlepszego na podstawie tak zwanej oceny łącznej o_i , będącej sumą ocen przyznanych poszczególnym wariantom z uwzględnieniem wszystkich analizowanych kryteriów. Idealne dopasowanie analizowanego wariantu do wartości pożądanых występuje wówczas gdy wartość uzyskanej oceny łącznej o_i wynosi 0.

Abv uzyskane wyniki analiz były chociaż częściowo porównywalne z wynikami innych metod optymalizacyjnych (np. metodą AHP lub Bellingera), tzn. aby wariantem optymalny został wariant, który otrzymał ocenę łączną o_i o najwyższej wartości, trzeba wyniki te w odpowiedni sposób zmodyfikować. Przykładowo zunifikowana ocena łączna z_i może być równa połowie różnicy liczby 0,5 i aktualnej oceny łącznej o_i . Idealne dopasowanie analizowanego wariantu w tym przypadku do wartości pożądanых występuje wówczas gdy wartość uzyskanej zunifikowanej oceny łącznej z_i wynosi 0,25.

4. Przykład zastosowania proponowanej zmodyfikowanej metody

W pracy zaprezentowano możliwości zastosowania zmodyfikowanej metody Bellingera do optymalizacji doboru wózków widłowych w magazynach materiałów budowlanych pod kątem ich własności jezdnych. W niniejszej pracy, podobnie jak w pracach [3] i [4], wykorzystano dane dostępne na stronie internetowej *Firmy Lemarpol-Wózki Widłowe Sp. z o.o.* [7], uwzględniając w analizach jedynie wózki widłowe napędzane silnikiem wysokoprężnym charakteryzujące się udźwignięciem 2000 kg, które posiadały środek ciężkości umieszczony na wysokości 500 mm.

Tabela 1. Zastawienie wózków widłowych przyjętych do analiz [7]

Numer wariantu	W1	W2	W3	W4	W5	W6
Nazwa wózka	Nissan DX-20	Toyota 8FD20	Lyson FD20T	Komatsu FD20NT-16	Komatsu FD20T-16	Komatsu FD25NT-16
Rodzaj silnika	Nissan QD32	Toyota 1DZ2	Yanmar 4TNE92	Komatsu 4D94LE	Komatsu 4D94LE	Komatsu 4D94LE

Podobnie jak w pracach [3] i [4] w analizach założono sześć możliwych wariantów rozwiązania oznaczonych symbolem W1–W6, wśród których znalazły się między innymi wózki firmy Nissan, Toyota, Lyson i trzy wózki firmy Komatsu (tabela 1). Przyjęto przy tym pięć kryteriów ich oceny oznaczonych symbolem K1–K5, wśród których była szerokość (K1), wysokość (K2) i długość wózka (K3), jego promień skrętu (K4) oraz moc silnika (K5). Jednocześnie przyjęto pożądaną wartość dla poszczególnych kryteriów oraz współczynniki ważności (tzw. wagi) dla tych kryteriów (tabela 2). Dodatkowo podano również niepożądaną wartość dla poszczególnych kryteriów, którą dla celów porównawczych zastosowano w oryginalnej metodzie Bellingera (tabela 2).

W tabeli 3 przedstawiono zestawienie wartości kryteriów dla porównywanych wariantów przedstawionych i opisanych w tabeli 1 (etap V).

Tabela 2. Pożądaný kierunek zmian liczbowych i wag dla poszczególnych kryteriów [3].

Wyszczególnienie	K1	K2	K3	K4	K5
wartość pożądana	1000	2000	2300	1900	50
wartość niepożądana	1200	2500	2800	2400	30
wartość wagi	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1

Tabela 3. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów [3]

Wariant/Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5
W1	1157	2130	2530	2190	38
W2	1150	2110	2560	2200	39
W3	1155	2120	2530	2175	33
W4	1090	2025	2535	1980	46
W5	1150	2110	2535	2190	46
W6	1090	2025	2405	2050	46

Następnie w tabeli 4 przedstawiono liczby z tabeli 3 (z etapu V) jako wielkość „drogi” od stanu rzeczywistego do najbardziej pożądanego (etap VI), przy czym znak minus oznacza, że wartość pożądana jest mniejsza od rzeczywistej wartości analizowanego kryterium. Natomiast w tabeli 5 zaprezentowano wyniki normalizacji danych zawartych w tabeli 4 (etap VII).

Tabela 4. Liczby określające wielkość „drogi” od stanu rzeczywistego do najbardziej pożądanego

Wariant/Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5
W1	-157,0	-130,0	-230,0	-290,0	12,0
W2	-150,0	-110,0	-260,0	-300,0	11,0
W3	-155,0	-120,0	-230,0	-275,0	17,0
W4	-90,0	-25,0	-235,0	-80,0	4,0
W5	-150,0	-110,0	-235,0	-290,0	4,0
W6	-90,0	-25,0	-105,0	-150,0	4,0

Tabela 5. Wyniki normalizacji danych zawartych w tabeli 4 (etap VII).

Wariant/Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5
W1	0,198	0,250	0,178	0,209	0,231
W2	0,189	0,212	0,201	0,217	0,212
W3	0,196	0,231	0,178	0,199	0,327
W4	0,114	0,048	0,181	0,058	0,077
W5	0,189	0,212	0,181	0,209	0,077
W6	0,114	0,048	0,081	0,108	0,077

Tabela 6. Wyniki normalizacji danych zawartych w tabeli 4 z uwzględnieniem przyjętych wag (etap VIII).

Wariant/Kryterium	K1	K2	K3	K4	K5
W1	0,059	0,025	0,036	0,063	0,023
W2	0,057	0,021	0,040	0,065	0,021
W3	0,059	0,023	0,036	0,060	0,033
W4	0,034	0,005	0,036	0,017	0,008
W5	0,057	0,021	0,036	0,063	0,008
W6	0,034	0,005	0,016	0,032	0,008

Realizując etap VIII mnożymy liczby otrzymane w etapie VII przez wagi przyjęte w etapie IV (tabela 6). W tabeli 7 dla analizowanego przypadku zaprezentowano zarówno wyznaczone oceny łączne o_i , jak i oceny zunifikowane z_i . W tabeli tej zaprezentowano również wyniki obliczeń analizowanego przypadku, zrealizowane z wykorzystaniem metody Bellingera zaprezentowane w pracy [3].

Z przeprowadzonej analizy wynika, że z punktu widzenia preferencji decydenta (wartości wagi) oraz przyjętych kryteriów najwyższą zunifikowaną ocenę łączną z_i , otrzymał

wariant W6. Oznacza to, że przy założonych warunkach brzegowych wózek widłowy Komatsu FD25NT-16 (wariant W6) jest rozwiązaniem optymalnym zarówno według metody Bellingera, jak i jej wersji zmodyfikowanej. W tym przypadku, podobnie jak w pracy [4], wyniki uzyskane dla wariantu 4 i 6 są zdecydowanie większe od pozostałych.

Tablica 7. Oceny łączne uzyskane w wyniku obliczeń (Przypadek I)

Wariant	Metoda Bellingera [3]		Zmodyfikowana metoda Bellingera	
	Ocena łączna			
	oryginalna o_i	zunifikowana z_i	oryginalna o_i	zunifikowana z_i
W1	41,2500	0,1331	0,2059	0,1471
W2	41,4000	0,1336	0,2043	0,1479
W3	40,1500	0,1296	0,2096	0,1452
W4	69,8000	0,2252	0,1002	0,1999
W5	46,5000	0,1500	0,1848	0,1576
W6	70,8000	0,2285	0,0953	0,2024

W następnym przykładzie obliczeniowym (Przypadek II) przyjęto, że pożądane wartości dla poszczególnych kryteriów są równe wartościom przyjętym dla wariantu W5, który w dotychczasowym rankingu zajmował trzecie miejsce. Wartości niepożądane dla poszczególnych kryteriów, użyte w oryginalnej metodzie Bellingera, pozostawiono takie jak we wcześniejszym przypadku obliczeniowym. W tablicy 8 przedstawiono wyniki przeprowadzonych obliczeń dla tego wariantu (Przypadek II), na podstawie których wyznaczono nowe zunifikowane oceny łączne z_i i ponownie ustalono wariant najlepszy.

Tablica 8. Oceny łączne uzyskane w wyniku obliczeń (Przypadek II)

Wariant	Metoda Bellingera		Zmodyfikowana metoda Bellingera	
	Ocena łączna			
	oryginalna o_i	zunifikowana z_i	oryginalna o_i	zunifikowana z_i
W1	90,6645	0,1276	0,0605	0,2197
W2	92,3096	0,1300	0,0633	0,2183
W3	91,1388	0,1283	0,0809	0,2096
W4	168,1795	0,2368	0,3469	0,0766
W5	100,0000	0,1408	0,0000	0,2500
W6	167,9908	0,2365	0,4484	0,0258

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w tym przypadku według metody zmodyfikowanej to wariant W5 uzyskał najniższą ocenę łączną o_i (a jednocześnie najwyższą zmodyfikowaną ocenę łączną z_i), świadcząca o idealnym dopasowaniu do wzorca, opisanego wartościami pożądanymi danego kryterium. Natomiast wyniki uzyskane przy zastosowaniu oryginalnej metody Bellingera wskazują, że wariantem optymalnym jest wariant W4. Sytuacja taka spowodowana jest faktem, że w tym przypadku optymalizacja następowała względem wartości niepożądanych. Przyjęta wartość pożądana (wzorzec) miała jedynie wpływ na wartość „drogi”, w stosunku do której określano procentową odległość wartości analizowanego wariantu do wartości niepożądanej.

5. Podsumowanie

Zaletą zmodyfikowanej metody Bellingera jest fakt, że podobnie jak metoda oryginalna jest ona łatwa w użyciu, a obowiązujący w niej algorytm obliczeniowy nie wymaga wykonywania skomplikowanych i żmudnych obliczeń, przez co metoda ta jest godna polecenia do wykorzystania w codziennej praktyce inżynierskiej. Wyeliminowanie z istniejącego algorytmu metody Bellingera wartości niepożądanej, znacznie ułatwia sam proces optymalizacji wielokryterialnej. Poza tym określanie wariantu optymalnego na

podstawie wartości oceny łącznej σ , uwzględniającej tylko wartość pożądaną wydaje się być bardziej uzasadnione, gdyż ocena taka może być interpretowana jako minimalna średnia odległość danego wariantu od przyjętego wzorca uwzględniającego wszystkie kryteria.

Zaprezentowana metoda może zostać użyta w różnych obszarach szeroko rozumianej inżynierii przedsięwzięć budowlanych [8], [9], [10], jak i logistyki budowlanej [11].

Literatura

- 1 Sadowski W.: Decyzje i prognozy. Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa 1977 r.
- 2 Szapiro T.: Co decyduje o decyzji. WNT, Warszawa 1992 r.
- 3 Skorupka D., Duchaczek A., Szleszyński A.: Optymalizacja doboru środków transportowych w logistyce magazynowej, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki. Wrocław 2012, nr 4, s. 137-145.
- 4 Skorupka D., Duchaczek A., Szleszyński A.: Zastosowanie metody ELECTRE w optymalizacji doboru środków transportu w magazynie wyrobów budowlanych, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska nr 283, Rzeszów 2012, z. 59 (nr 3/2012/III), s. 105-112.
- 5 Górny P., Elementy analizy decyzyjnej. Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2004.
- 6 Wolny M., Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Wieloatrybutowe wspomaganie organizacji przestrzennej komórek produkcyjnych z zastosowaniem teorii gier. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
- 7 <http://www.wozki.biz/pl/wozki-nowe.html> – dostęp 7.07.2011 r.
- 8 Kapliński O. i inni, Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Wydawnictwo PAN KILiW IPPT. Warszawa, 2007.
- 9 Kasprowicz T., Inżynieria przedsięwzięć budowlanych. ITE Radom. Warszawa-Radom, 2002.
- 10 Połowski M., The analysis of the reliability of realization cost and investments, time-limits in Warsaw. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities Topic Civil Engineering 9(4), 10/2006.
- 11 Sobotka A., Logistyka przedsiębiorstw i przedsięwzięć budowlanych, Wydawnictwo AGH, Kraków, 2010.

Application of modified Bellinger's method for optimization of the choice of means of transport

Artur Duchaczek¹, Dariusz Skorupka²

¹ Department of System Engineering, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, e-mail: aduchaczek@poczta.wp.pl

² Department of Management, Faculty of Management, General Tadeusz Kościuszko Military Academy of Land Forces, e-mail: dareks100@interia.eu

Abstract: This paper presents an example of the application of modified Bellinger's method in the process of optimization of means of transport on the basis of forklift trucks in construction products and materials warehouses. The principles of the discussed method have been described and its pros and cons have been evaluated. The results of the decisive variant ranking have been compared with the results of calculations employing the original Bellinger's method.

Keywords: Bellinger's method, optimization, logistics, means of transport