

OPTYMALIZACJA DOBORU ŚRODKÓW TRANSPORTOWYCH W LOGISTYCE MAGAZYNOWEJ MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Dariusz SKORUPKA*, **Artur DUCHACZEK***, **Artur SZLESZYŃSKI***

* *Wydział Zarządzania, Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych*

e-mail: d.skorupka@wso.wroc.pl

e-mail: a.duchaczek@wso.wroc.pl

e-mail: a.szleszynski@wso.wroc.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 15.09.2012 r. Zweryfikowaną i poprawioną wersję po recenzjach i korekcie otrzymano w grudniu 2012 r.

W pracy przedstawiono przykład zastosowania metody Bellingera w logistyce magazynowej na przykładzie magazynu wyrobów i materiałów budowlanych. Opisano podstawowe założenia tej metody, dokonując oceny jej wad i zalet. Uzyskane wyniki rankingu wariantów decyzyjnych porównano z wynikami obliczeń wykorzystujących metodę Electra III.

Słowa kluczowe: *metoda Bellingera, optymalizacja, logistyka, wózki widłowe*

WSTĘP

W praktyce inżynierskiej większość problemów decyzyjnych można opisać za pomocą trzech zmiennych, tj. celu, wariantów decyzyjnych oraz użyteczności danego wariantu. W prostych problemach decyzyjnych funkcje celu determinuje ich użyteczność, rozumiana jako wynik optymalny, oszacowany na podstawie przyjętych kryteriów oceny [1, 2]. Gdy liczba kryteriów oceny danego wariantu decyzyjnego jest większa od jednego oznacza to, iż nie można mówić o uzyskaniu decyzji optymalnej, a jedynie o suboptymalnej. Suboptymalność decyzji wynika z faktu, iż żaden wariant decyzyjny nie będzie spełniał wszystkich kryteriów oceny lepiej od pozostałych.

W przypadku złożonych problemów decyzyjnych ważną rolę odgrywa preferencja decydenta [2], która czasami w sposób jawny wskazuje rozwiązanie akceptowane. W problemach wielokryterialnego wspomaganie decyzji ograniczenia sztywne mogą być przyczyną nieuzyskania rozwiązania danego zadania pomimo istnienia rozwiązań częściowych.

W logistyce bardzo często obserwuje się zadania wielokryterialnego podejmowania decyzji, przykładem czego jest decyzja o zakupie wózków widłowych obsługujących magazyny firm lub centrów logistycznych. Celem analizy decyzyjnej jest efektywne wykorzystanie powierzchni magazynowej oraz zapewnienie sprawnego transpor-

tu w jej obszarze. Za sprawny transport odpowiadają wózki widłowe przemieszczające materiały składowane w magazynie. Dlatego wariantami decyzyjnymi, ocenianymi metodą Bellingera, będą różne typy wózków widłowych dostępnych na polskim rynku. Użytecznością analizowanego zadania będzie optymalne (suboptymalne), efektywne przemieszczanie ładunków w obszarze magazynu. W analizie decyzyjnej należy uwzględnić wymagania sztywne, jakimi są m.in. odstęp między regałami, wysokość regału, maksymalny ciężar towarów przenoszonych przy pomocy wózka widłowego, koszty zakupu i eksploatacji wózków widłowych oraz bezpieczeństwo eksploatacji powierzchni magazynowej.

Na podstawie przedstawionych sztywnych ograniczeń widać, że część z nich jest wzajemnie sprzeczna. Ograniczenia, które będą stanowiły wymagania, często znajdują się we wzajemnym konflikcie. W takim przypadku użyteczne może być podjęcie decyzji Pareto optymalnej, która wskazuje preferencje decydenta.

Z przedstawionego przykładu wynika, że wielokryterialne podejmowanie decyzji wymaga rozpatrzenia wzajemnych relacji pomiędzy wymaganiami, które jak pokazano wcześniej, mogą być względem siebie wzajemnie sprzeczne.

W niniejszej pracy zaprezentowano możliwości zastosowania w tym obszarze działalności człowieka mało znanej i rzadko stosowanej w praktyce inżynierskiej metody Bellingera.

1. PODSTAWY TEORETYCZNE METODY BELLINGERA [3, 4]

Metoda Bellingera, która swoją nazwę wzięła od nazwiska jej twórcy Bernharda Bellingera, jest jedną z metod analizy wielokryterialnej, która porządkuje obiekty na podstawie wartości oceny łącznej wyznaczonej ze zbioru przyjętych kryteriów częściowych [3].

W polskim piśmiennictwie artykuły dotyczące wykorzystania metody Bellingera pojawiły się w latach 80. XX wieku [3]. Metoda ta stosowana była pierwotnie do oceny wiarygodności kredytowej klientów banku składających wnioski kredytowe oraz ustalania asortymentu produkcji w przedsiębiorstwach przemysłowych [4].

W pracy [4] autorstwa M. Wolnego podano, że metoda Bellingera polega na doprowadzeniu ocen wariantów decyzyjnych względem wszystkich kryteriów do porównywalności, a następnie ich agregacji. Należy zatem ustalić dla każdego analizowanego kryterium oceny dostępnego wariantu decyzyjnego stan najbardziej i najmniej pożądany. Następnie ustalamy, czy dane kryterium oceny jest stymulantą czy destymulantą dla tego wariantu decyzyjnego [4]. Zakładamy, że różnica między stanami wyraża całkowitą *drogę*, którą należy przebyć od jednego stanu do drugiego. Dlatego dla każdego dostępnego wariantu decyzyjnego określa się ocenę względem każdego kryterium jako ułamek tej *drogi*. Przyjmuje się, że wariantem suboptymalnym jest ten wariant, dla którego sumaryczna *droga* jest najdłuższa, tzn. analizowany wariant decyzyjny otrzymuje ocenę o największej wartości [4].

P. Górny w pracy [3] przedstawił szczegółowy algorytm obowiązujący w omawianej metodzie, ujmując go w ośmiu etapach. W etapie I następuje określenie wymagań i ograniczeń dla przyszłych hipotetycznych wariantów rozwiązań analizowanego problemu. Etap II to zdefiniowanie dostępnych w danej sytuacji wariantów decyzyjnych. W etapie III następuje szczegółowe określenie przyjętych kryteriów oceny, przy-

jęcie jednostek pomiarowych i pożądanego kierunku zmian w obrębie danego kryterium (stymulanty i destymulanty), a także dolnej i górnej granicy zmian dla analizowanych kryteriów cząstkowych. Etap IV polega na ustaleniu hierarchii poszczególnych kryteriów, poprzez ustalenie wag, jakie nadaje decydent przyjętym kryteriom oceny. W etapie V następuje tworzenie macierzy zawierającej rzeczywiste wartości analizowanych kryteriów pod kątem poszczególnych wariantów. Etap VI obejmuje przedstawienie każdej liczby z tablicy z etapu V jako procentu *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego. W etapie VII mnożymy liczby otrzymane w etapie VI przez wagi przyjęte w etapie IV. Etap końcowy (VIII) to ustalenie wariantu najlepszego na podstawie zsumowanych ocen przyznanych poszczególnym wariantom z uwzględnieniem wszystkich analizowanych kryteriów [3].

Przedstawiony proces oceny wariantów decyzyjnych przy zastosowaniu metody Bellingera można opisać zaproponowanymi przez autorów niniejszej pracy zależnościami (1-4) przedstawionymi poniżej.

Odległość pomiędzy kresem górnym i dolnym zbioru wartości j -tego kryterium oceny wariantów decyzyjnych Δ_j określamy z zależności (1):

$$\Delta_j = |\sup X - \inf X|, \quad (1)$$

gdzie:

$\sup X$ oznacza kres górny zbioru dopuszczalnych wartości j -tego kryterium, natomiast $\inf X$ to kres dolny zbioru dopuszczalnych wartości j -tego kryterium.

Ocenę i -tego wariantu decyzyjnego na podstawie j -tego kryterium oceny o_{xij} określamy:

– dla stymulanty:

$$o_{xij} = \frac{\sup X - x_i}{\Delta_j} \cdot 100\%, \quad (2)$$

– dla destymulanty:

$$o_{xij} = \frac{\inf X - x_i}{\Delta_j} \cdot 100\%, \quad (3)$$

gdzie:

x_i oznacza przydzieloną, przez analityka, wartość liczbową dla i -tego wariantu decyzyjnego, np. szerokość wózka widłowego, wysokość wózka widłowego, promień skrętu itp.

Ocena końcowa wariantu decyzyjnego wyznaczana jest na podstawie zależności (4), gdzie uwzględniana jest waga danego kryterium lub preferencja decydenta:

$$O_{xi} = \sum_{j=1}^m w_j \cdot o_{xij}, \quad (4)$$

gdzie:

O_{xi} to ocena i -tego wariantu decyzyjnego, natomiast w_j to waga j -tego kryterium oceny (preferencja decydenta) o wartość z przedziału $\langle 0, 1 \rangle$.

2. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY BELLINGERA

W pracy zaprezentowano możliwości zastosowania metod Bellingera w zagadnieniach z obszaru logistyki magazynowej, na przykładzie optymalizacji doboru wózków widłowych w magazynach materiałów budowlanych.

Do prezentacji wykorzystano dane dostępne na stronie internetowej *Firmy Lemarpol – Wózki Widłowe Sp. z o.o.* [5]. W analizach uwzględniono tylko wózki widłowe napędzane silnikiem wysokoprężnym charakteryzujące się udźwigiem 2000 kg. Wszystkie omawiane wózki posiadały środek ciężkości umieszczony na wysokości 500 mm. Optymalizację podobnie jak w pracy [6], przeprowadzono przede wszystkim pod kątem własności jezdnych wózków widłowych.

W tabeli 1 przedstawiono parametry wózków widłowych przyjętych do analiz. Założono sześć możliwych wariantów (alternatyw) oznaczonych symbolem A0001-A0006. Były to wózki firmy Nissan, Toyota, Lyson i trzy wózki firmy Komatsu. Przyjęto pięć kryteriów analizy oznaczonych symbolem Cr01-Cr05, były to m.in. szerokość, wysokość i długość wózka, jego promień skrętu oraz moc silnika.

Celem optymalizacji jest wybór najlepszego, spośród pokazanych wariantów decyzyjnych, środka transportu w magazynach wyrobów budowlanych.

Tabela 1. Zastawienie parametrów wózków widłowych

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
Oznaczenie wariantu		A0001	A0002	A0003	A0004	A0005	A0006
Kryterium	Cr01 Szerokość [mm]	1157	1150	1155	1090	1150	1090
	Cr02 Wysokość [mm]	2130	2110	2120	2025	2110	2025
	Cr03 Długość [mm]	2530	2560	2530	2535	2535	2405
	Cr04 Promień skrętu [mm]	2190	2200	2175	1980	2190	2050
	Cr05 Moc silnika [kW]	38	39	33	46	46	46

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5]

W analizowanym przykładzie dysponujemy możliwymi sześcioma wariantami wózków A0001 – A0006 opisanymi w tabeli 1.

Analiza została przeprowadzona na podstawie pięciu kryteriów Cr1 – Cr5 opisanych również w tabeli 1. Jednocześnie przyjęto pożądany kierunek zmian liczbowych oraz dolną i górną granicę zmian dla poszczególnych kryteriów, co przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Pożądany kierunek zmian liczbowych oraz dolna i górna granica zmian dla poszczególnych kryteriów dla przypadku I

Wartość kryterium	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
pożądana (stymulanta)	1000	2000	2300	1900	50
niepożądana (destymulanta)	1200	2500	2800	2400	30

Źródło: Opracowanie własne

Następnie przyjęto wagi dla poszczególnych kryteriów, które były identyczne jak zaprezentowane w pracy [6] (patrz tabela 3).

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie wartości kryteriów dla porównywanych wariantów przedstawionych i opisanych w tabeli 1.

Tabela 3. Wagi dla poszczególnych kryteriów

Wyszczególnienie	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
Wartość wagi	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1

Źródło: Opracowanie własne

Następnie w tabeli 5 przedstawiono liczby z tabeli 4 (z etapu V) jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego, natomiast w tabeli 6 te same liczby, ale po uwzględnieniu wag podanych w tabeli 3.

W tabeli 7 dla analizowanego przypadku (Przypadek I) zaprezentowano wyznaczone oceny łączne uzyskane w wyniku obliczeń.

Tabela 4. Wartości kryteriów dla poszczególnych wariantów

War./Kryt.	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
A0001	1157	2130	2530	2190	38
A0002	1150	2110	2560	2200	39
A0003	1155	2120	2530	2175	33
A0004	1090	2025	2535	1980	46
A0005	1150	2110	2535	2190	46
A0006	1090	2025	2405	2050	46

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 5. Liczby z tablicy 4 jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego

War./Kryt.	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
A0001	21,5	74,0	54,0	42,0	40,0
A0002	25,0	78,0	48,0	40,0	45,0
A0003	22,5	76,0	54,0	45,0	15,0
A0004	55,0	95,0	53,0	84,0	80,0
A0005	25,0	78,0	53,0	42,0	80,0
A0006	55,0	95,0	79,0	70,0	80,0

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 6. Liczby z tablicy 4 jako procent *drogi* od stanu najmniej do najbardziej pożądanego z uwzględnieniem wag podanych w tabeli 3

War./Kryt.	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
A0001	6,5	7,4	10,8	12,6	4,0
A0002	7,5	7,8	9,6	12,0	4,5
A0003	6,8	7,6	10,8	13,5	1,5
A0004	16,5	9,5	10,6	25,2	8,0
A0005	7,5	7,8	10,6	12,6	8,0
A0006	16,5	9,5	15,8	21,0	8,0

Źródło: Opracowanie własne

Z przeprowadzonej analizy wynika, że z punktu widzenia preferencji decydenta (wartości wagi) oraz przyjętych kryteriów łączną ocenę najwyższą, a mianowicie 70, 80 otrzymał wariant 6. Oznacza to, że przy założonych warunkach brzegowych wózek widłowy Komatsu FD25NT-16 (wariant A0006) jest rozwiązaniem optymalnym.

W analizowanym przykładzie dolna i górna granica zmian dla poszczególnych kryteriów była dość szeroka i różniła się znacznie od ekstremalnych wartości poszczególnych kryteriów. W kolejnym przykładzie założono, że granice te są równe wartościom ekstremalnym poszczególnych kryteriów, co zaprezentowano w tabeli 8. W tabeli 7 przedstawiono również wyniki przeprowadzonych obliczeń dla tego wariantu (Przypadek II), na podstawie których wyznaczono nowe oceny łączne i ponownie ustalono wariant najlepszy.

Tabela 7. Oceny łączne uzyskane w wyniku obliczeń

Wariant	Ocena łączna	
	Przypadek I	Przypadek II
A0001	41,25	9,08
A0002	41,40	9,65
A0003	40,15	9,13
A0004	69,80	83,23
A0005	46,50	19,63
A0006	70,80	90,45

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 8. Pożądany kierunek zmian liczbowych oraz dolna i górna granica zmian dla poszczególnych kryteriów dla przypadku II

Wartość kryterium	Cr 1	Cr 2	Cr 3	Cr 4	Cr 5
pożądana (stymulanta)	1090	2025	2405	1980	46
niepożądana (destymulanta)	1157	2130	2560	2200	33

Źródło: Opracowanie własne

Z przeprowadzonej analizy wynika, że również w tym przypadku wariant 6 uzyskał największą ocenę łączną, co oznacza że przy założonych warunkach brzegowych wózek widłowy Komatsu FD25NT-16 (wariant A0006) jest rozwiązaniem optymalnym (rys. 1c), a właściwie, tak jak wcześniej wspomniano, suboptymalnym.

Na uwagę zasługuje jednak fakt, że w drugim przypadku wyniki uzyskane dla wariantu 6 i 4 są znacznie większe niż dla pozostałych, co świadczy o tym, że pozostałe warianty nie powinny być brane w ogóle pod uwagę (patrz również rys. 1a i 1b).

3. PORÓWNANIE WYNIKÓW UZYSKANYCH METODĄ BELLINGERA I METODĄ ELECTRE III

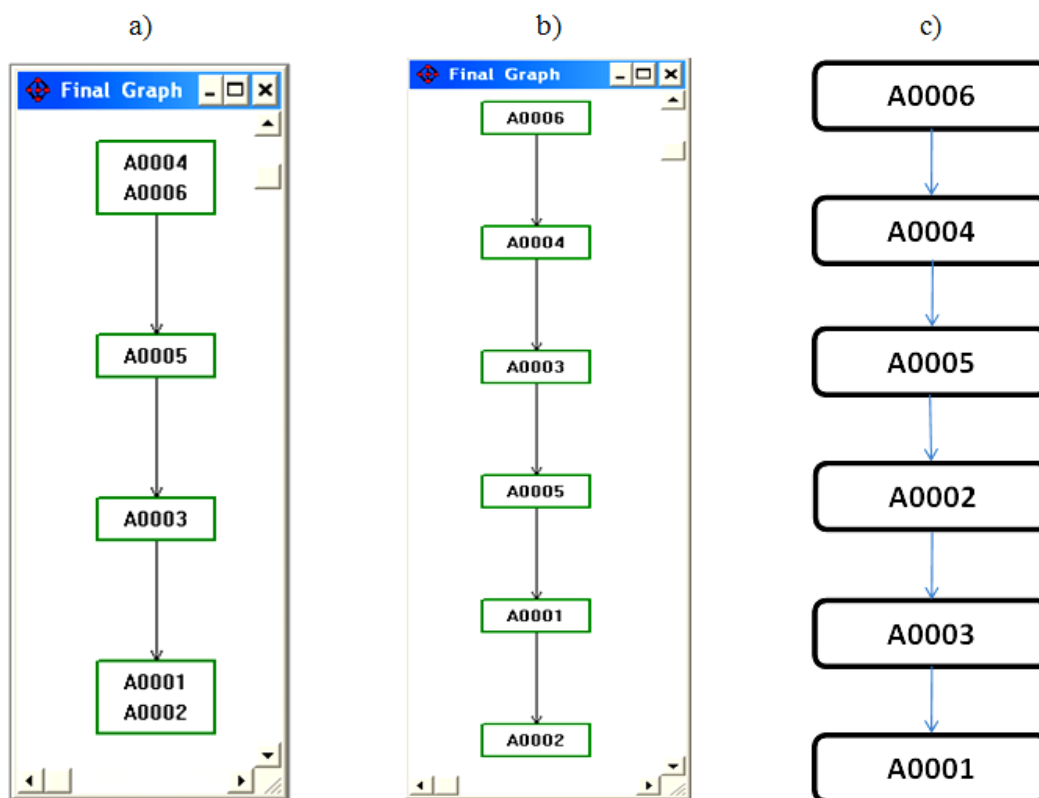
W pracy [6] zaprezentowano zarówno szczegółowy algorytm obliczeniowy metody Electre III, jak i wyniki praktycznych analiz wykonanych tą metodą. W obliczeniach tych wykorzystano demonstracyjną wersję programu Electre III/IV (wersja 3.1b Demo) dostępną na stronie <http://www.lamsade.dauphine.fr>.

W tabeli 9 zaprezentowano przyjęte w pierwszym wariancie obliczeń wartości progów (q , p , v) oraz ważność poszczególnych kryteriów (c). Progi w programie ustalone są z wykorzystaniem funkcji liniowej z zastosowaniem współczynnika kierunkowego α i wyrazu wolnego β . W analizowanym przypadku przyjęto stałą wartość progów, tzn. ustalane były one tylko parametrem β [6].

Tabela 9. Przyjęte wartości progów dla poszczególnych kryteriów

Wyszczególnienie		Wartość progów			Ważność kryterium c
		równoważności q	preferencji p	veta v	
Cr01	Szerokość [mm]	2	30	100	3
Cr02	Wysokość [mm]	10	50	200	1
Cr03	Długość [mm]	5	50	200	2
Cr04	Promień skrętu [mm]	10	100	200	3
Cr05	Moc silnika [kW]	1	5	15	1

Źródło: [6]



Rys. 1. Wyniki obliczeń uzyskane metodą Electra (a, b) przy wykorzystaniu demonstracyjnej wersji programu ELECTRE III/IV (wersja 3.1b Demo) i metodą Bellingera (c) [6]

Źródło: [6]

Wskaźniki wiarygodności ρ (a, b) były podstawą zbudowania dwóch preporządków przy wykorzystaniu algorytmu klasyfikacji. Na podstawie tych preporządków zbudowano ranking wariantów decyzyjnych, który przedstawiono w sposób graficzny na rysunku 1a [6].

Przeprowadzona analiza wykazała, że przy założonych parametrach obliczeniowych powinny zostać wybrane warianty A0004 i A0006 (tzn. wózek Komatsu FD20NT-

16 oraz Komatsu FD25NT-16), które są progowo lepsze od wszystkich pozostałych. W rozpatrywanym przykładzie najgorsze były natomiast warianty A0001 i A0002, tj. wózek widłowy Nissan DX-20 i Toyota 8FD20 [6].

Uzyskane wyniki nie pozwoliły w sposób jednoznaczny określić, który z wózków widłowych jest rozwiązaniem suboptymalnym. Z tego względu w drugim wariancie obliczenia przyjęte założenie, że dla wszystkich pięciu kryteriów progów równoważności q , preferencji p i weta v są równe zero. Wyniki obliczeń zaprezentowano na rysunku 1b.

Analizując dane zaprezentowane na rysunku 1, można stwierdzić, że bez względu na przyjętą metodę obliczeń wariant A0006 jest wariantem optymalnym, a wyniki uzyskane dwiema metodami są zbliżone.

PODSUMOWANIE

W przypadku metody Electre III, nawet przy posiadaniu odpowiedniego oprogramowania, decydent powinien posiadać znaczną wiedzę z zakresu optymalizacji wielokryterialnej, dlatego że wymagana jest od niego konieczność ustalenia odpowiednich wartości progów równoważności q , preferencji p i weta v [6].

Wydaje się zatem, że zastosowanie metody Electre III na niższych szczeblach zarządzania w obrębie problematyki związanej z szeroko rozumianą logistyką, jak i inżynierią budowlaną nie będzie miało większego znaczenia. Mimo że metoda ta jest użytecznym narzędziem optymalizacyjnym, to wymaga ona od decydenta (lub użytkownika) specjalistycznego oprogramowania oraz wiedzy z obszaru optymalizacji wielokryterialnej [6].

Zaletą metody porównawczej Bellingera jest fakt, iż jest ona łatwą i prostą w użyciu. Przedstawiony w artykule algorytm obliczeniowy (opracowany na podstawie pracy [3]) nie wymaga wykonywania skomplikowanych i żmudnych obliczeń. W ograniczonej formie (wówczas gdy, górna i dolna granica zmian kryteriów jest równa ich wartościom ekstremalnym) wymaga ona od decydenta określenia wartości wag poszczególnych kryteriów. Można zatem polecać wykorzystanie tej metody w praktyce inżynierskiej.

Ponownie wykonano ocenę zaprezentowanych wariantów decyzyjnych, korzystając z metody Electre III. Celem tego działania było porównanie obu metod wielokryterialnego wyboru oraz zweryfikowanie użyteczności metody Bellingera. Uzyskane wyniki, przy zastosowaniu obu metod, są zbieżne, co pokazano na rysunku 1. Dodatkowo algorytm obliczeniowy w metodzie Bellingera jest znany i obliczeniowo łatwy. Próba odnalezienia w literaturze przedmiotu szczegółowego algorytmu obliczeniowego metody Electre III nie przyniosła oczekiwanego rezultatu. Oznacza to, że autorzy metody chronią tajniki swojej techniki wyboru, oferując potencjalnemu użytkownikowi jedynie oprogramowanie wspomagające tę metodę, dostępne na stronie internetowej: <http://www.lamsade.dauphine.fr>.

LITERATURA

1. Sadowski W., *Decyzje i prognozy*, Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa 1977.
2. Szapiro T., *Co decyduje o decyzji*, WNT, Warszawa 1992.

3. Górny P., *Elementy analizy decyzyjnej*, Akademia Obrony Narodowej. Warszawa 2004.
4. Wolny M., *Wspomaganie decyzji kierowniczych w przedsiębiorstwie przemysłowym. Wieloatrybutowe wspomaganie organizacji przestrzennej komórek produkcyjnych z zastosowaniem teorii gier*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2007.
5. [online]. [dostęp: 7.07.2011]. Dostępny w Internecie: <http://www.wozki.biz/pl,wozki-nowe.html>.
6. Skorupka D., Duchaczek A., Szleszyński A., *Zastosowanie metody Electre w optymalizacji doboru środków transportu w magazynie wyrobów budowlanych*, 58 konferencja naukowa KILiW PAN oraz KN PZiTb, 16-21.09.2012 r. Krynica, s. 105-112.

OPTIMISATION OF SELECTING TRANSPORT MEANS IN BUILDING MATERIALS DEPOT LOGISTICS

Summary

The Bellinger's method presented in the paper is an example of how to use it in depot logistics. The authors focus their considerations on the selection of a forklift which could be used for carrying construction materials collected in a depot. The paper describes a basic assumption of the Bellinger's technique and then evaluates its advantages and disadvantages. The results of the calculations made with the Bellinger's method, for example, are compared with the calculations made with the Electre III method. Both of those multi-criteria decision support methods produce a ranking of decision variants. The visualisation of this method is shown in the graph in Figure 1. The best decision variant is put on top of the graph, the worst decision variant is put at its bottom. The graph shows that there are no big differences between those two methods. As a result, one can assume that both of them are useful. However, the Bellinger's method is far simpler to use than the Electre III method, even by an inexperienced user. The calculation algorithm for the Bellinger's method shown in the paper proves that the method is easy to use.

Keywords: *the Bellinger's method, optimisation, logistics, forklifts*