

Krzysztof Dmytrów

Wpływ wag w metodach TOPSIS i TMAL na czas kompletacji produktów : analiza symulacyjna

Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania 54/3, 131-143

2018

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



DOI: 10.18276/sip.2018.54/3-09

Krzysztof Dmytrów*

Uniwersytet Szczeciński

WPŁYW WAG W METODACH TOPSIS I TMAL NA CZAS KOMPLETACJI PRODUKTÓW – ANALIZA SYMULACYJNA

Streszczenie

Przy przechowywaniu współdzielonym dany produkt często znajduje się w wielu różnych (często bardzo od siebie oddalonych) lokalizacjach. Kompletując zamówienie, należy wybrać jedną z nich (albo kilka, jeżeli odwiedzenie jednej nie spowoduje pokrycia zapotrzebowania na dany produkt). Lokalizacje można wybierać według różnych kryteriów: odległości od punktu odkładczego, od innych lokalizacji, które trzeba odwiedzić podczas procesu kompletacji, stopnia zaspokojenia zapotrzebowania czy według czasu przechowywania produktów. Można stosować jedno z wymienionych wcześniej kryteriów bądź wszystkie. W tym celu można posłużyć się metodami wielokryterialnego podejmowania decyzji. Jedną z zastosowanych metod wyboru lokalizacji jest metoda TMAL (Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji) oparta na Syntetycznym Mierniku Rozwoju Hellwiga, a drugą – znana metoda TOPSIS. Obie metody zostały porównane pod kątem łącznej drogi, którą będzie musiał pokonać magazynier podczas kompletacji produktów, oraz łącznego czasu kompletacji. Zostanie sprawdzone, w jaki sposób wagi przypisane poszczególnym kryteriom wpłyną na wybór lokalizacji do odwiedzenia i na łączną drogę oraz czas kompletacji zamówień.

Słowa kluczowe: Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji, metoda TOPSIS, gospodarka magazynowa, analiza symulacyjna

* Adres e-mail: krzysztof.dmytrow@usz.edu.pl.

Wstęp

Gospodarka magazynowa stanowi przeciętnie około 20% całkowitych kosztów logistycznych w przedsiębiorstwie. Kompletacja jest najbardziej praco- i kosztochłonnym elementem gospodarki magazynowej stanowiącym około 55% całkowitych jej kosztów (De Koster, Le-Duc, Roodbergen, 2007). Z kolei najbardziej koszt- i czasochłonnym elementem kompletacji jest przemieszczanie się magazyniera. Dlatego niezwykle istotna jest optymalizacja organizacji pracy w magazynie. Rozwój technologiczny, inteligentne systemy wspomagające proces gospodarowania przedsiębiorstwem typu ERP, SAP i inne w znacznym stopniu ułatwiają to zadanie. Dodatkowo można stosować zautomatyzowane systemy typu produkt-do-magazyniera (*parts-to-picker*), typu AS/RS, S/R czy VLM (Le-Duc, 2005). Mimo istnienia tych zaawansowanych systemów wciąż duża większość przedsiębiorstw stosuje klasyczne systemy typu magazynier-do-produktu (*picker-to-parts*), dlatego z punktu widzenia czasu kompletacji zamówień istotna jest optymalizacja pokonywanej przez magazyniera drogi, ponieważ to ona w większości determinuje łączny czas procesu kompletacji. Rozkład czasu pracy magazyniera podczas kompletacji przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Rozkład czasu pracy magazyniera podczas kompletacji (%)

Czynność	% czasu kompletacji
Przemieszczanie się	55
Przeszukiwanie	15
Pobieranie	10
Dokumentacja i inne czynności	20

Źródło: Bartholdi, Hackman (2016).

Widać, że najwięcej można zyskać, optymalizując drogę pokonywaną przez magazyniera. Dla tego typu zagadnienia optymalną drogę potrzebną do pokonania przez magazyniera można wyznaczyć za pomocą zmodyfikowanego zagadnienia komiwojażera zaprezentowanego przez Ratlifa i Rosenthala (1983). Jednak droga wyznaczona za pomocą takiego podejścia, mimo że optymalizuje pokonywany dystans, ma kilka wad, które mogą w praktyce ją dyskwalifikować (Le-Duc, 2005):

1. Wyznaczona trasa może się wydawać nielogiczna dla magazynierów, przez co często oni z niej zbaczą.

2. Droga optymalna zależy w dużej mierze od położenia punktu odkładczego.
3. Wyznaczanie trasy optymalnej może stanowić duże obciążenie dla systemu informatycznego przedsiębiorstwa, ponieważ musi być wykonywane dla każdego zlecenia, a przy dużej liczbie lokalizacji do odwiedzenia algorytm obliczeniowy jest bardzo pracochłonny.
4. Droga optymalna nie bierze pod uwagę organizacji poruszania się magazynierów po magazynie, dlatego może powodować przestoje na alejkach.
5. Metoda optymalna nie bierze pod uwagę tego, że zmiana kierunku przemieszczania się oraz zmiana alejki może być czasochłonna.

Wszystkie wymienione wyżej wady metody optymalnej wyznaczania trasy kompletacji powodują, że w praktyce wykorzystuje się metody heurystyczne, takie jak *s-shape*, *return*, *midpoint*, *largest gap*, *composite* czy *combined* (Le-Duc, 2005).

Należy zauważyć, że problem wyznaczania trasy pokonywanej przez magazyniera jest kwestią wtórną do problemu wyboru lokalizacji do odwiedzenia. To, które lokalizacje należy wybrać, zależy od sposobu przechowywania produktów. Zasadniczo istnieją dwa główne sposoby przechowywania produktów – przechowywanie dedykowane i współdzielone (Bartholdi, Hackman, 2016). Pierwszy rodzaj oznacza, że dany produkt jest przechowywany tylko w jednej lokalizacji, a dana lokalizacja jest przypisana do przechowywania jednego produktu. W drugim przypadku dany produkt może występować w różnych, często bardzo odległych od siebie lokalizacjach oraz w danej lokalizacji może być przechowywanych wiele różnych produktów. Oba sposoby przechowywania mają swoje zalety i wady (Dmytrów, 2016b). Najistotniejszą zaletą przechowywania dedykowanego jest jego prostota, a wadą – słabe wykorzystanie powierzchni magazynowej. Wady tej pozbawione jest przechowywanie współdzielone, jednak powoduje ono często duże rozproszenie produktów w różnych lokalizacjach w magazynie oraz nawet dla niewielkich magazynów – konieczność stosowania systemu informatycznego obsługującego gospodarowanie magazynem. Jeżeli w magazynie stosowane jest przechowywanie dedykowane, wówczas wybór lokalizacji jest jednoznaczny, natomiast w przypadku przechowywania współdzielonego dany produkt można pobrać z różnych lokalizacji. To, z której lokalizacji należy pobrać produkt, zależy od wielu kryteriów – może to być czas przechowywania, odległość od punktu odkładczego, stopień zaspokojenia zapotrzebowania czy odległość od innych lokalizacji, w których znajdują się inne produkty będące w danym zamówieniu. Można brać pod uwagę jedno lub wiele kryteriów. W drugim przypadku można zastosować metody wielokryterialnego podejmowania decyzji, takie jak metoda TOPSIS (Hwang, Yoon, 1981) czy TMAL

(Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji) (Dmytrów, 2015, 2016a, 2016b). Zastosowanie metod wielokryterialnego podejmowania decyzji wiąże się z koniecznością nadania wag kryteriom decyzyjnym. Celem artykułu jest zbadanie, czy zastosowany system wpłynie na długość drogi pokonywanej przez magazyniera oraz na łączny czas kompletacji. Zostaną w tym celu zastosowane metody symulacyjne, a porównania będą dokonane na dwóch płaszczyznach:

- a) w ramach każdej metody (TMAL oraz TOPSIS) zostaną porównane wyniki uzyskane dla różnych systemów wag,
- b) zostaną porównane wyniki wygenerowane dla obu metod.

1. Metodyka przeprowadzenia badania

Każdą lokalizację, w której występują kompletowane produkty, opisano za pomocą trzech kryteriów:

x_1 – odległość lokalizacji od punktu odkładczego (mierzona w umownych jednostkach, którymi są szerokości regału),

x_2 – stopień zaspokojenia zapotrzebowania,

x_3 – liczba innych kompletowanych produktów w sąsiedztwie badanej lokalizacji (za sąsiedztwo przyjmuje się lokalizacje leżące w tej samej alejce).

Pierwsze kryterium jest kryterium typu „strata”, a pozostałe są kryteriami typu „zysk”. Szerzej opisano je w pracy (Dmytrów, 2015). Dla każdego zamówienia dla różnych kombinacji wag lokalizacje wybrano za pomocą metod TMAL oraz TOPSIS. Przyjęto następujące kombinacje wag:

Tabela 2. Wagi nadane kryteriom decyzyjnym

Kombinacje	x_1	x_2	x_3
K1	0,333	0,333	0,333
K2	0,5	0,25	0,25
K3	0,25	0,5	0,25
K4	0,25	0,25	0,5
K5	0,4	0,4	0,2
K6	0,4	0,2	0,4
K7	0,2	0,4	0,4

Źródło: opracowanie własne.

Jednym z etapów konstrukcji zmiennej syntetycznej jest normalizacja zmiennych. W badaniu wykorzystano przekształcenie ilorazowe postaci:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}}, \quad (1)$$

gdzie:

z_{ij} – znormalizowana wartość j -tego kryterium w i -tym wariancie decyzyjnym,
 x_{ij} – rzeczywista wartość j -tego kryterium w i -tym wariancie decyzyjnym.

Powodem wyboru tej metody normalizacji była chęć zachowania różnic w średnim poziomie cech oraz ich zmienności.

Etapy konstrukcji Taksonomicznej Miary Atrakcyjności Lokalizacji są następujące (Dmytrów, 2015):

1. Po zamianie odległości na kryterium typu „zysk” poprzez wyznaczenie jej odwrotności dokonano normalizacji zmiennych za pomocą równania (1).
2. Wyznaczono maksymalne znormalizowane wartości kryteriów tworzące tak zwany obiekt idealny.
3. Obliczono odległości euklidesowe pomiędzy wartościami kryteriów w danej lokalizacji a „obiektem idealnym”.
4. Nadano wagi kryteriom.
5. Obliczono wzorzec rozwoju.
6. Obliczono wartości TMAL.
7. Sporządzono ranking lokalizacji od najwyższej do najniższej wartości TMAL.
8. Wybrano lokalizacje o najwyższych pozycjach w rankingu, aż do zaspokojenia zapotrzebowania.
9. Powyższe kroki zostały powtórzone dla wszystkich produktów w zleceniu.

Etapy konstrukcji zmiennej syntetycznej w metodzie TOPSIS są następujące (Bąk, 2016):

1. Nadano wagi kryteriom.
2. Znormalizowane za pomocą równania (1) wartości kryteriów zostały przemnożone przez ich wagi.
3. Dla każdego kryterium został wyznaczony *wzorzec* i *antywzorzec*. Dla kryteriów typu „zysk” wzorcem są maksymalne znormalizowane warto-

ści kryteriów, a antywzorcem – wartości minimalne. Dla kryteriów typu „strata” jest na odwrót.

4. Wyznaczono odległości euklidesowe każdego wariantu decyzyjnego (lokalizacji) od wzorca i antywzorca.
5. Obliczono podobieństwo każdej lokalizacji do wzorca za pomocą wzoru:

$$q_i = \frac{d_{i0}^-}{d_{i0}^- + d_{i0}^+}$$

gdzie:

d_{i0}^- – ważona odległość euklidesowa i -tego wariantu decyzyjnego (lokalizacji) od antywzorca,

d_{i0}^+ – ważona odległość euklidesowa i -tego wariantu decyzyjnego (lokalizacji) od wzorca,

q_i – wartość zmiennej syntetycznej określająca podobieństwo i -tego wariantu decyzyjnego (lokalizacji) do wzorca.

1. Sporządzono ranking lokalizacji od najwyższego do najniższego podobieństwa do wzorca.
2. Wybrano lokalizacje o najwyższych pozycjach w rankingu, aż do zaspokojenia zapotrzebowania.
3. Powyższe kroki zostały powtórzone dla wszystkich produktów w zleceniu.

Wyniki wygenerowane przez obie metody dla różnych kombinacji wag zostały uzyskane za pomocą metod symulacyjnych. Badaniem procesu kompletacji zamówień za pomocą narzędzi symulacyjnych zajmowali się między innymi Tarczyński (2012, 2013) czy Jakubiak i Tarczyński (2012). W opracowaniu zastosowano następujący eksperyment symulacyjny:

1. Założono prosty prostokątny magazyn, w którym było 400 lokalizacji. Magazyn posiadał jedną alejkę główną oraz osiem alejek pomiędzy regałami. W każdym regale znajdowało się 25 lokalizacji.
2. Rozmieszczenie produktów w magazynie jest czysto losowe (magazyn chaotyczny).
3. Każde zamówienie składało się z 10 produktów.
4. Każdy produkt występował w czterech lokalizacjach.
5. Dostępne ilości produktu w każdej lokalizacji zawierały się od pojedynczej jednostki do ilości pokrywającej zapotrzebowanie podwójnie.
6. Dla każdej metody wyboru lokalizacji i każdej kombinacji wag wygenerowano 100 zamówień.

7. Dla każdego zamówienia lokalizacje do odwiedzenia wybrano za pomocą metody TMAL oraz TOPSIS.
8. Po wyborze lokalizacji do odwiedzenia kompletacja zamówienia odbywała się za pomocą metody *s-shape*.
9. Czas kompletacji był sumą czasu przemieszczania się magazyniera i czasu pobierania produktów z lokalizacji. Przyjęto umownie, że czas pokonania jednostki odległości (szerokości półki) to 2 sekundy, a czas pobierania produktu z lokalizacji – 10 sekund (Dmytrów, 2016b).
10. W ramach każdej metody za pomocą testu *H* Kruskala-Wallisa (Aczel, 2005) zbadano, czy drogi pokonywane przez magazyniera oraz czasy kompletacji były równe. Wybór testu spowodowany był tym, że rozkłady zarówno długości dróg, jak i czasów kompletacji nie były rozkładami normalnymi. Jeżeli hipotezę zerową należało odrzucić, analizę *post-hoc* dokonano za pomocą testu Dunn porównań parami (Aczel, 2005). Próby różnią się pomiędzy sobą, jeżeli spełniona jest nierówność:

$$|\bar{R}_i - \bar{R}_j| > \sqrt{H_\alpha} \cdot \sqrt{MST} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}}, \quad (2)$$

gdzie:

H_α – wartość krytyczna testu Kruskala-Wallisa,

MST – średnia suma kwadratów odchyłeń rang od średniej z wszystkich rang,

\bar{R}_i, \bar{R}_j – średnie rangi w próbach i oraz j ,

n_i, n_j – liczebność i -tej i j -tej próby.

Wyniki uzyskane dla obu metod dla każdej kombinacji wag porównano za pomocą testu *U* Manna-Whitneya (Aczel, 2005).

2. Przykład numeryczny

2.1. Wybór lokalizacji metodą TMAL

Wyniki testu Kruskala-Wallisa dla łącznych długości dróg oraz czasów kompletacji przedstawiono w tabeli 3.

Zarówno dla łącznej długości drogi pokonywanej przez magazyniera, jak i dla czasu kompletacji hipotezę zerową mówiącą o tym, że wszystkie populacje mają takie same rozkłady, należy odrzucić. Dla obu wielkości przeprowadzono test Dunn.

W przypadku łącznej drogi pokonywanej przez magazyniera prawa strona równania (2) wyniosła 100,94, a dla czasu kompletacji – 101,46 (w obu przypadkach założono poziom istotności $p = 0,05$). Wyniki testu Dunn przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 3. Mediany, średnie rangi oraz wyniki testu Kruskala-Wallisa dla łącznych długości dróg pokonywanych przez magazyniera oraz czasów kompletacji po zastosowaniu metody TMAL

Wyszczególnienie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Łączna droga pokonywana przez magazyniera							
Mediana	208	205	200	216	200	213	222
Średnie rangi	341,94	336,76	308,17	386,12	311,69	385,33	383,51
H	17,629						
Wartość p	0,002886						
Czas kompletacji (sekundy)							
Mediana	560	553	539	575	544	565	577
Średnie rangi	338,44	345,90	285,81	400,20	304,33	397,71	381,12
H	29,651						
Wartość p	0,00002						

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wyniki testu Dunn dla łącznych długości dróg pokonywanych przez magazyniera oraz czasów kompletacji po zastosowaniu metody TMAL (istotne różnice pogrubiono)

	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Łączna droga pokonywana przez magazyniera						
K1	5,185	33,775	44,180	30,255	43,390	41,565
K2	0	28,590	49,365	25,070	48,575	46,750
K3		0	77,955	3,520	77,165	75,340
K4			0	74,435	0,790	2,615
K5				0	73,645	71,820
K6					0	1,825
Czas kompletacji (sekundy)						
K1	7,460	52,635	61,760	34,110	59,270	42,675
K2	0	60,095	54,300	41,570	51,810	35,215
K3		0	114,395	18,525	111,905	95,310
K4			0	95,870	2,490	19,085
K5				0	93,380	76,785
K6					0	16,595

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku łącznej drogi pokonywanej przez magazyniera, mimo że test Kruskala-Wallisa wykazał, że próby pochodzą z różnych populacji, test Dunn nie wykazał istotnych różnic pomiędzy parami, a więc można powiedzieć, że zastosowany system wag nie wpływał na długość drogi pokonywanej przez magazyniera w procesie kompletacji produktów, jeżeli lokalizacje były wybierane za pomocą metody TMAL.

Łączne czasy kompletacji dla kombinacji wag K3 różniły się istotnie od czasów dla kombinacji K4 i K6. Tak więc wybierając lokalizacje metodą TMAL, okazało się, że są one najkrótsze, gdy największą wagę przy wyborze lokalizacji ma stopień zaspokojenia zapotrzebowania (zmienna x_2). Najdłuższe zaś gdy największą wagę ma zmienna x_3 oraz gdy x_2 ma wagę mniejszą niż pozostałe zmienne.

2.2. Wybór lokalizacji metodą TOPSIS

Wyniki testu Kruskala-Wallisa dla łącznych długości dróg oraz czasów kompletacji przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Mediany, średnie rangi oraz wyniki testu Kruskala-Wallisa dla łącznych długości dróg pokonywanych przez magazyniera oraz czasów kompletacji po zastosowaniu metody TOPSIS

Wyszczególnienie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Łączna droga pokonywana przez magazyniera							
Mediana	202	204	200	221	200	227	220
Średnie rangi	345,37	332,14	286,90	411,02	268,80	422,86	386,43
H	52,605						
Wartość p	6,53E-10						
Czas kompletacji (sekundy)							
Mediana	548	556	528	582	524	610	583
Średnie rangi	338,48	353,08	245,03	431,85	246,22	458,18	380,68
H	100,972						
Wartość p	7,56E-20						

Źródło: opracowanie własne.

Zarówno dla łącznej długości drogi pokonywanej przez magazyniera, jak i dla czasu kompletacji hipotezę zerową mówiącą o tym, że wszystkie populacje mają takie same rozkłady, należy odrzucić. Dla obu wielkości przeprowadzono test Dunn. W przypadku łącznej drogi pokonywanej przez magazyniera prawa strona równania (2)

wyniosła 100,91, a dla czasu kompletacji – 101,46 (w obu przypadkach założono poziom istotności $p = 0,05$). Wyniki testu Dunn przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wyniki testu Dunn dla łącznych długości dróg pokonywanych przez magazyniera oraz czasów kompletacji po zastosowaniu metody TOPSIS (istotne różnice pogrubiono)

	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Łączna droga pokonywana przez magazyniera						
K1	13,230	58,470	65,645	76,575	77,485	41,055
K2	0	45,240	78,875	63,345	90,715	54,285
K3		0	124,115	18,105	135,955	99,525
K4			0	142,220	11,840	24,590
K5				0	154,060	117,630
K6					0	36,430
Czas kompletacji (sekundy)						
K1	14,595	93,455	93,365	92,260	119,700	42,195
K2	0	108,050	78,770	106,855	105,105	27,600
K3		0	186,820	1,195	213,155	135,650
K4			0	185,625	26,335	51,170
K5				0	211,960	134,455
K6					0	77,505

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku łącznej drogi pokonywanej przez magazyniera wyniki dla kombinacji K3 różniły się istotnie od wartości uzyskanych dla kombinacji K4 i K6, a wyniki uzyskane dla kombinacji K5 – od wyników uzyskanych dla kombinacji K4, K6 i K7. Tak więc zastosowanie metody TOPSIS do wyboru lokalizacji spowodowało, że magazynier pokona najkrótszą drogę, jeżeli wysoką wagę nadamy zmiennym x_2 i x_1 .

W przypadku łącznego czasu kompletacji wyniki uzyskane dla kombinacji K3 i K5 różniły się istotnie od wyników uzyskanych dla kombinacji K2, K4, K6 i K7. Dodatkowo wyniki dla kombinacji K6 różniły się istotnie od wyników dla wszystkich innych kombinacji oprócz tych dla kombinacji K4. Wybierając lokalizacje do odwiedzenia, najbardziej opłaca się nadać wysoką wagę zmiennym x_2 i x_1 .

2.3. Porównanie wyników uzyskanych za pomocą metod TMAL i TOPSIS

Wyniki wygenerowane za pomocą obu metod porównano testem U Manna-Whitneya. Wyniki przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Wyniki testu U Manna-Whitneya porównującego łączne długości dróg pokonywanych przez magazyniera oraz łączne czasy kompletacji po zastosowaniu metod TMAL i TOPSIS (różnice istotne pogrubiono)

Wyszczególnienie	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Łączna droga pokonywana przez magazyniera							
z	-0,0135	-0,2726	-0,8043	-0,7421	-1,6358	-1,2524	-0,0393
Wartość p	0,4946	0,3926	0,2106	0,2290	0,0509	0,1052	0,4843
Łączny czas kompletacji (sekundy)							
z	-0,3153	-0,0086	-1,7023	-0,7308	-2,4602	-1,8946	-0,1356
Wartość p	0,3763	0,4966	0,0443	0,2324	0,0069	0,0291	0,4461

Źródło: opracowanie własne.

Nie było istotnych różnic pomiędzy łącznymi drogami pokonywanymi przez magazyniera podczas procesu kompletacji, jeżeli lokalizacje były wybierane za pomocą metody TMAL czy TOPSIS. Takie różnice istniały dla łącznych czasów kompletacji i różniły się dla kombinacji K3, K5 i K6, przy czym dla kombinacji K3 i K5, a więc dla takich, w których największą wagę miał stopień zaspokojenia zapotrzebowania (x_2) oraz odległość od punktu odkładczego (x_1), krótsze czasy kompletacji można było osiągnąć, wybierając lokalizacje za pomocą metody TOPSIS, a dla kombinacji K6 (czyli wtedy, gdy zmienna x_2 ma mniejszą wagę od pozostałych zmiennych decyzyjnych) lepsze wyniki (krótsze czasy kompletacji) osiągnięto, jeżeli lokalizacje były wybierane za pomocą metody TMAL.

Podsumowanie i kierunki przyszłych badań

Z przeprowadzonych analiz można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Przy chaotycznym rozmieszczeniu produktów w magazynie przy wyborze lokalizacji do odwiedzenia różne wagi przypisane kryteriom decyzyjnym powodowały istotne różnice zarówno w długości drogi pokonywanej przez magazyniera, jak i w łącznym czasie kompletacji.

2. Korzystne jest nadawanie wysokiej wagi zmiennej oznaczającej stopień zaspokojenia zapotrzebowania na produkt oraz odległości lokalizacji od punktu odkładczego.
3. Jeżeli chodzi o łączną drogę pokonywaną przez magazyniera, to wyniki uzyskane za pomocą metody TMAL nie różniły się istotnie od tych uzyskanych za pomocą metody TOPSIS.
4. Zastosowanie metody TOPSIS do wyboru lokalizacji, które ma odwiedzić magazynier, pozwoliło na skrócenie czasu kompletacji zamówień.

Dalszym etapem badań w tym zakresie będzie:

- a) zastosowanie heurystyki *return* przy chaotycznym rozmieszczeniu produktów w magazynie;
- b) przeprowadzenie analizy dla rozmieszczenia produktów według klas ABC z zastosowaniem heurystyk *s-shape* oraz *return* (Sabo-Zielonka, Tarczyński, 2014);
- c) przeprowadzenie analizy dla innego układu magazynu (dla więcej niż jednej alejki głównej) oraz przy innym rozmieszczeniu punktu odkładczego.

Literatura

- Aczel, A.D. (2005). *Statystyka w zarządzaniu*. Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Bartholdi, J.J., Hackman, S.T. (2016). *WAREHOUSE & DISTRIBUTION SCIENCE, Release 0.97*. The Supply Chain and Logistics Institute, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, GA 30332-0205 USA, Atlanta.
- Bąk A. (2016). Porządkowanie liniowe obiektów metodą Hellwiga i TOPSIS – analiza porównawcza. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 426, Taksonomia 26, Klasyfikacja i analiza danych – teoria i zastosowania*, 22–31. <http://dx.doi.org/10.15611/pn.2016.426.02>.
- De Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J. (2007). Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research, 182* (2), 481–501.
- Dmytrów, K. (2015). Taksonomiczne wspomaganie wyboru lokalizacji w procesie kompletacji produktów. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach, 248*, 17–30.
- Dmytrów, K. (2016a). Grupowanie lokalizacji w magazynie podczas procesu kompletacji produktów. *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania, 45* (2), 187–198. DOI: 10.18276/sip.2016.45/2-15.

- Dmytrów, K. (2016b). Uwzględnienie czasu pobrań w wyborze lokalizacji odwiedzanych przez magazyniera podczas kompletacji produktów. *Studia i Prace Wydziału Nauk Ekonomicznych i Zarządzania*, 45 (1), 229–240. DOI: 10.18276/sip.2016.45/1-18.
- Hwang, C.L., Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag.
- Jakubiak, M., Tarczyński, G. (2012). Selection of Manual Order Picking Concept in a Warehouse by Means of Simulation Tools. *Mathematical Economics*, 8 (15), 47–64.
- Le-Duc, T. (2005). *Design and Control of Efficient Order Picking Processes*. PhD thesis, RSM Erasmus University.
- Ratliff, H.D., Rosenthal, A.S. (1983). Order-picking in a Rectangular Warehouse: A Solvable Case of the Traveling Salesman Problem. *Operations Research*, 31 (3), 507–521.
- Sabo-Zielonka, A., Tarczyński, G. (2014). Porównanie czasów kompletacji zamówień dla różnych sposobów wyznaczania trasy magazynierów na przykładzie dużego centrum logistycznego. *Ekonometria. Econometrics*, 2 (44), 81–93. DOI: 10.15611/ekt.2014.2.06.
- Tarczyński, G. (2012). Analysis of the Impact of Storage Parameters and the Size of Orders on the Choice of the Method for Routing Order Picking. *Operations Research and Decisions*, 22, 105–120.
- Tarczyński, G. (2013). Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie. *Studia Ekonomiczne*, 163/13. *Modelowanie preferencji a ryzyko '13*, 221–238.

THE INFLUENCE OF WEIGHTS IN THE TOPSIS AND TMAL METHODS ON THE ORDER-PICKING TIME – SIMULATION ANALYSIS

Abstract

If a company utilises the shared storage system, specific product is often placed in many (often very distant from each other) locations. The picker should select one of them (or several, if visiting one of them will not satisfy the demand). Locations can be selected by means of many criteria: distance from the I/O point, from other locations that need to be visited, degree of demand satisfaction, or the storage time. One or many criteria can be applied. Multicriteria decision analysis can be applied. The author applied the TMAL and TOPSIS methods. Both methods were compared with respect to the total route and order-picking time. It will be checked, how the weights attributed to particular criteria will influence the total route length and order-picking time.

Translated by Krzysztof Dmytrów

Keywords: Taxonomic Measure of Location's Attractiveness, TOPSIS, warehouse management, simulation analysis

JEL Codes: C14, C15, C38