

Marek MAGIERA*

MONOLITYCZNA METODA WYBORU DOSTAWCÓW I ŚRODKÓW TRANSPORTU DLA ŁAŃCUCHÓW DOSTAW

Streszczenie

Opis przedstawionej metody poprzedzono krótką charakterystyką metod przeznaczonych do wspomaganie zarządzania przepływami produktów przez łańcuchy dostaw. Metodę opracowano dla łańcuchów dostaw o sieciowym charakterze. Służy ona równoczesnemu wyborowi dostawców oraz firm transportowych i przynależnych im środków transportu. Do realizacji tego celu zbudowano liniowy model matematyczny zadania programowania całkowitoliczbowego, szczegółowo opisany w pracy. Wzięto pod uwagę kryterium kosztowe, w którym uwzględniono koszty: sprzedaży, transportu, przeładunku, magazynowania, kary związane z opóźnieniami w dostawach. Dla wybranych dostawców i środków transportu budowany jest harmonogram przepływu produktów pomiędzy dostawcami a odbiorcami. Zamieszczono wyniki przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych.

Słowa kluczowe: łańcuch dostaw, sieć logistyczna, system transportowy, szeregowanie zadań, programowanie całkowitoliczbowe

1. WPROWADZENIE

Problematyka, dotycząca funkcjonowania łańcuchów dostaw, obejmuje m. in. organizację procesów produkcyjnych w poszczególnych przedsiębiorstwach, sterowanie przepływem produktów, informacji, środków finansowych pomiędzy ogniwami łańcucha a także obsługę magazynów i zapasów. Efektywne funkcjonowanie łańcucha dostaw jest uzależnione również od odpowiedniego doboru dostawców oraz środków transportu, służących realizacji poszczególnych dostaw.

Na dobór dostawców ma równocześnie wpływ wiele czynników, do których zalicza się m. in. ([2], [5], [6]):

- czas dostawy – czas od złożenia zamówienia do przekazania produktu odbiorcy – jest on uzależniony od lokalizacji dostawców, infrastruktury, wykorzystywanych środków transportu;
- niezawodność – prawidłowość realizacji zamówienia. Istotna jest tu również możliwość kontroli realizacji zamówienia oraz wzajemne informowanie o zmianach i zakłóceniach;
- komunikację – sposób prowadzenia dialogu z dostawcą – powiązany z czynnikami społecznymi (staż w dotychczasowej współpracy i doświadczenia z tym związane);
- wygodę – równoczesną skłonność i zdolność dostawcy do spełnienia dodatkowych wymagań klientów, takich jak: wielkość dostaw, wybór rodzaju środka transportu, sposób pakowania, wykorzystywanie opakowań wielokrotnego użytku, częstotliwość dostaw, terminy przyjmowania zamówień i ich realizacji.

Jak wykazują powyżej wymienione czynniki, selekcja dostawców pociąga za sobą wybór środków transportu. W przypadku, gdy dostawca nie oferuje usługi przewozowej lub z przyczyn ekonomicznych poszukiwany jest inny środek transportu, pojawia się problem wyboru firmy transportowej.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

W selekcji firm transportowych uwzględnia się m. in. następujące czynniki [14]:

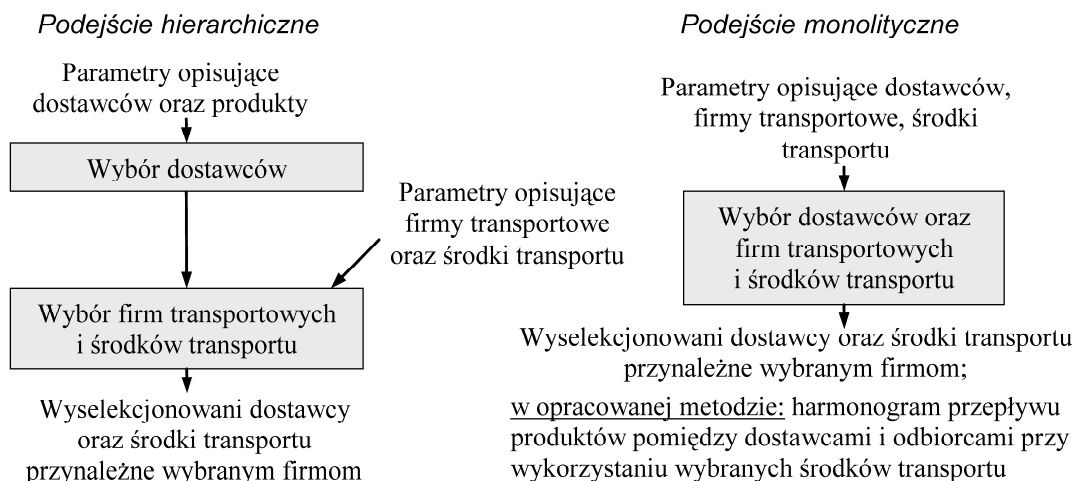
- dostępność różnych środków transportu i ich odporność na zakłócenia – czynniki losowe (awarie). Ważna jest tutaj dostępność środków zastępczych, gwarantujących terminowość dostaw w przypadku awarii lub inne zabezpieczenie – np. kara umowna za nieterminowość dostaw;
- czas procesu transportowego, zależny m. in. od infrastruktury transportowej, do której ma dostęp przewoźnik;
- zapewnienie właściwej dokumentacji przewozowej;
- organizowanie i wykonywanie składowania, prac ładunkowych, sortowania, przepakowywania produktów;
- kontrolę sanitarną i obsługę celną w przypadku przemieszczania ładunków w relacjach międzynarodowych.

Wszystkie wyszczególnione czynniki doboru dostawców i firm transportowych wymagają oczywiście ponoszenia pewnych nakładów finansowych, co wiąże się z kosztami, które musi uwzględnić usługobiorca. Kryterium kosztowe jest jednym z najważniejszych kryteriów. Zostało one uwzględnione w opracowanej metodzie wyboru dostawców i firm transportowych.

Monolityczny charakter metody przedstawiono w rozdz. 2, natomiast jej szczegółowy opis w rozdz.: 3, 4. Eksperymenty obliczeniowe opisano w rozdz. 5.

2. METODY WYBORU DOSTAWCÓW I ŚRODKÓW TRANSPORTU

Do selekcji dostawców i środków transportu stosuje się jedno z dwóch podejść, których idee zobrazowano na rys. 1. Podejście hierarchiczne (dwupoziomowe) charakteryzuje się podziałem problemu na dwa kolejno rozwiązywane zadania. Pierwszym z nich jest zadanie wyboru dostawców. Następnie wybierane są firmy transportowe, które za pomocą dostępnych im środków transportu mają wykonać usługi przewozowe, uwzględniające wybranych dostawców. W alternatywnym podejściu monolitycznym (jednopoziomowym) oba te zadania rozwiązywane są równocześnie.



Rys.1. Schematy blokowe dwóch podejść, stosowanych w wyborze dostawców i środków transportu

Źródło: opracowanie własne

Zarówno metody jednopoziomowe jak i wielopoziomowe mają swoje wady i zalety. W rozwiązywaniu tych problemów trzeba uwzględnić wiele parametrów, zmiennych i ograniczeń. Zastosowanie podejścia hierarchicznego przyczynia się do równoczesnego wzięcia

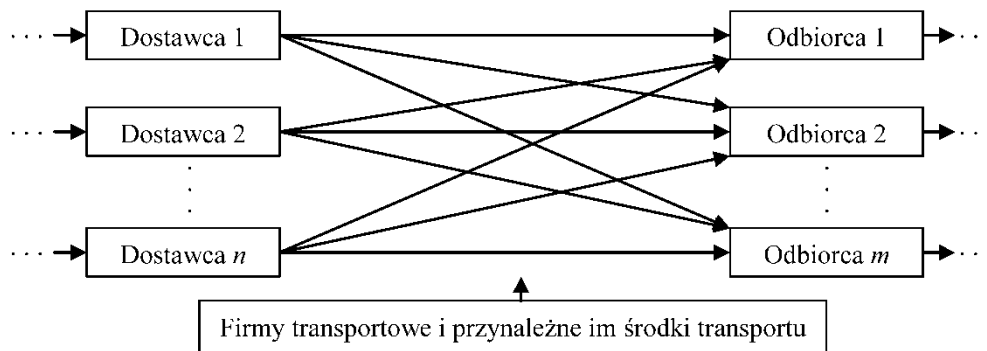
pod uwagę znacznie mniejszej liczby danych, zmiennych i zależności matematycznych, w porównaniu do podejścia monolitycznego. Dzięki temu wielopoziomowe podejście może być stosowane do rozwiązywania problemów o stosunkowo dużych rozmiarach. Korzyść ta jest jednak okupiona jakością rozwiązania. Lepsze wyniki otrzymuje się przy zastosowaniu podejścia monolitycznego, w którym wszystkie podproblemy rozwiązywane są równocześnie. W podejściu wielopoziomowym rozwiązanie zadania rozpatrywanego na niższym poziomie zależy od otrzymanego rozwiązania problemu, dotyczącego wyższego poziomu.

Przykładami prac, dotyczących selekcji dostawców lub środków transportu są: [1], [5], [11], [13], natomiast rozwiązania wielopoziomowe można znaleźć m. in. w: [3], [9].

Opracowana metoda dotyczy podejścia jednopoziomowego. Zastosowanie w niej narzędzia badań operacyjnych, jakim jest programowanie liniowe całkowitoliczbowe, zagwarantowało uzyskiwanie rozwiązań optymalnych – ze względu na przyjęte kryterium kosztowe. Jak zobrazowano na rys. 1, metoda umożliwi nie tylko selekcję dostawców i firm transportowych, ale również budowę harmonogramu przepływu produktów pomiędzy ogniwami łańcucha sieci dostaw. Szeregowane operacje transportowe uwzględniają wybrane środki transportu, przynależne wyselekcjonowanym firmom transportowym.

3. PARAMETRY I ZMIENNE

Parametry wejściowe służą do opisu danych, dotyczących produktów, dostawców, odbiorców, firm transportowych i przynależnych im środków transportu. Są one związane ze strukturą łańcucha. Metodę opracowano dla łańcuchów dostaw o sieciowym charakterze. Oznacza to równoległą obsługę wielu dostawców oraz wielu odbiorców. Przykładowa taka struktura przedstawiona została na rys. 2.



Rys.2. Przykładowa struktura fragmentu łańcucha dostaw o sieciowym charakterze

Źródło: opracowanie własne

W celu ograniczenia liczby danych wskazane jest przeprowadzenie wstępnej selekcji dostawców oraz firm transportowych. Proponowane jest zastosowanie metody AHP (ang. *Analytic Hierarchy Proces*). Ta wielokryterialna metoda opisana jest w pracy [8]. Uwzględnić w niej można m. in. czynniki wyszczególnione w rozdziale wstępnym artykułu, służące ocenie firm. Wyodrębnienie kilku firm dostawczych oraz transportowych – kandydatów do dalszej selekcji wpływa na mniejszą liczbę parametrów, zmiennych oraz ograniczeń, wykorzystywanych w zbudowanym dla metody modelu matematycznym. Skutkiem tego jest mniejszy rozmiar rozwiązywanego zadania programowania matematycznego.

Indeksy, parametry oraz zmienne, służące równoczesnej selekcji firm dostawczych i transportowych zestawiono w tabelicy 1.

Tablica 1. Zestawienie indeksów, parametrów i zmiennych

Indeksy:	
i – dostawca; $i \in I$;	l – przedział czasowy (okres); $l \in L$;
j – odbiorca; $j \in J$;	s – środek transportu; $s \in S$;
k – produkt; $k \in K$;	f – firma transportowa; $f \in F$;
Parametry i zbiory:	
a_{ij}	– minimalna suma cen zamawianych produktów przez odbiorcę j u dostawcy i , upoważniająca do uzyskania upustu;
b_{fj}	– minimalna kwota usługi transportowej, wykonywanej przez firmę f dla odbiorcy j , uprawniająca do upustu;
c_{1jk}	– cena części k , sprzedawanej przez dostawcę j (bez upustu);
c_{2ij}	– kwota upustu dawana przez dostawcę i odbiorcy j w związku z wyznaczonymi kosztami zakupu produktów, wynoszącymi co najmniej a_{ij} ;
c_{3ij}	– koszt jednorazowego wykorzystania środka transportu pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j (bez upustu);
c_{4sl}	– współczynnik kosztu dla środka transportu s w okresie l – możliwość zróżnicowania kosztów stałych w poszczególnych okresach;
c_{5sk}	– koszt wykorzystania środka s w związku z transportem produktu k (koszt załadunku, wyładunku);
c_{6ff}	– kwota upustu dawana przez firmę transportową f odbiorcy j w związku z wyznaczonymi kosztami usługi, wynoszącymi co najmniej b_{ff} ;
c_{7jk}	– kara za każdy okres jednostkowy opóźnienia w dostarczeniu produktu k odbiorcy j ;
$c_{8,jk}$	– koszt magazynowania przedterminowo dostarczonego produktu k u odbiorcy j w okresie jednostkowym;
d_{ikl}	– liczba produktów k dostępnych w okresie l u dostawcy i (podaż);
g_{sl}	= 1, jeżeli środek s jest dostępny w okresie l , inaczej $g_{sl} = 0$;
h_{sk}	= 1, jeżeli środek transportu s jest zdolny do przewozu produktów k , inaczej $h_{sk} = 0$;
m_{1k}	– masa produktu k wraz z opakowaniem;
m_{2s}	– dopuszczalna masa produktów dla środka transportu s ;
o_{1j}	– maksymalna liczba dostawców, z których usług chce korzystać odbiorca j ;
$o_{2,j}$	– maksymalna liczba firm transportowych, z których usług chce korzystać odbiorca j ;
p_{jkl}	– wielkość zapotrzebowania na produkty k przez odbiorcę j w okresie l (popyt);
t_{sij}	– czas transportu środkiem transportu s pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j ;
v_{1k}	– przestrzeń zajmowana przez zapakowany produkt k ;
v_{2s}	– przestrzeń ładunkowa środka transportu s ;
λ	– liczba przedziałów czasowych;
D	– zbiór uporządkowanych dwójek (f, s) , gdzie środek transportu s przynależy do firmy f .
Zmienne:	
e_{jkl}	– liczba produktów k transportowanych środkiem s do odbiorcy j w okresie l ;
n_{fj}	= 1, jeżeli firma transportowa f udziela upustu odbiorcy j , inaczej $n_{fj} = 0$;
q_{fj}	= 1, jeżeli firma transportowa f obsługuje odbiorcę j , inaczej $q_{fj} = 0$;

- r_{jkl} – liczba nadmiarowych sztuk produktów k (dostarczonych przedterminowo) u odbiorcy j w okresie l ;
 w_{jkl} – liczba brakujących sztuk produktów k u odbiorcy j w okresie l ;
 u_{ij} = 1, jeżeli dostawca i obsługuje odbiorcę j , inaczej $u_{ij} = 0$;
 x_{ijkl} – liczba produktów k , zarezerwowanych w okresie l u dostawcy i dla odbiorcy j ; (przygotowanie produktów do transportu),
 y_{ij} = 1, jeżeli dostawca i udziela upustu odbiorcy j , inaczej $y_{ij} = 0$;
 z_{ijls} = 1, jeżeli w okresie l wykorzystany jest środek s do transportu pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j .

Źródło: opracowanie własne

W opracowanym modelu matematycznym, przedstawionym w następnym rozdziale, oprócz oznaczeń wyszczególnionych w tabelicy 1, wykorzystywane są dwie stałe, wyznaczone następująco:

α - liczba całkowita, większa od liczby wszystkich zamówionych przez odbiorców produktów;

β - liczba całkowita, większa od liczby przedziałów czasowych ($\beta > \lambda$).

4. ZADANIE PROGRAMOWANIA CAŁKOWITOLICZBOWEGO

Zadanie równoczesnego wyboru dostawców i środków transportu zostało sformułowane w postaci liniowych zależności matematycznych. Minimalizowana suma (1) reprezentuje kryterium kosztowe, uwzględniające:

- ceny produktów kupowanych przez odbiorców, pomniejszone o upusty dawane przez wybranych dostawców;
- ceny usług transportowych związane z wykorzystaniem środków transportu, przypisanych wybranym firmom – tu również uwzględniane są rabaty;
- koszty magazynowania produktów dostarczonych przedterminowo;
- kary za opóźnienia w dostawie produktów.

Zarówno koszty magazynowania, jak i kary za opóźnienia, uzależnione są od rodzaju produktów, ich liczby oraz okresu, którego dotyczy nieterminowość. Wprowadzenie parametru c_{4sl} przyczyniło się do możliwości zróżnicowania kosztów wykorzystania środków transportu w poszczególnych okresach (przedziałach czasowych). Koszty związane z transportem obejmują koszty przewozu oraz koszty związane z załadunkiem, wyładunkiem produktów – uzależnione są od rodzajów przewożonych produktów i ich liczby. Wprawdzie przyjęte zostało kryterium czasowe, jest jednak oczywiste, że koszty obsługi sieci dostaw związane są z terminowością dostaw. Minimalizacja sumy (1) służy poszukiwaniu takich rozwiązań, w którym produkty dostarczane są w okresach możliwie najbliższych danym terminom dostarczenia ich. W idealnym przypadku operacje transportowe szeregowane są dokładnie na czas.

Oto liniowy model zadania programowania całkowitoliczbowego dla problemu równoczesnej selekcji dostawców i odbiorców:

Zminimalizować:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \left(\sum_{i \in I} c_{1jk} x_{ijkl} + \sum_{s \in S} c_{5sk} e_{jks} + c_{7jk} w_{jkl} + c_{8jk} r_{jkl} \right) + \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left(\sum_{l \in L} \sum_{s \in S} c_{3sij} c_{4sl} \frac{z_{ijls}}{t_{sij}} - c_{2ij} y_{ij} \right) - \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} c_{6jf} n_{jf}
 \end{aligned} \tag{1}$$

W prezentowanym modelu matematycznym muszą być spełnione następujące ograniczenia:

- rezerwacja u dostawców wymaganych liczby sztuk poszczególnych produktów dla danych odbiorców:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} x_{ijkl} \geq \sum_{l \in L} p_{jkl}; \quad j \in J, k \in K; \quad (2)$$

- uwzględnienie dostępności rezerwowanych produktów (przygotowanych przez dostawców do transportu) w poszczególnych okresach:

$$\sum_{j \in J} x_{ijkl} \leq \sum_{\tau \in L, \tau \leq l} d_{ikl}; \quad i \in I, k \in K, l \in L; \quad (3)$$

- podjęcie decyzji przez dostawcę o udzieleniu upustu odbiorcy w związku z zamówieniem produktów, których cena zakupu uprawnia do udzielenia bonifikaty:

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} \geq a_{ij} y_{ij}; \quad i \in I, j \in J; \quad (4)$$

- wybór dostawców przez poszczególnych odbiorców:

$$x_{ijkl} \leq u_{ij} \cdot \alpha; \quad i \in I, j \in J, k \in K, l \in L; \quad (5)$$

- ograniczenie liczby wybranych dostawców dla poszczególnych odbiorców:

$$\sum_{i \in I} u_{ij} \leq o_{1j}; \quad j \in J; \quad (6)$$

- wyznaczenie zapotrzebowania na wykorzystanie środków transportu w poszczególnych okresach:

$$\sum_{k \in K} x_{ijkl} \leq \sum_{s \in S} z_{ijls} \cdot \alpha; \quad i \in I, s \in j \in J, l \in L; \quad (7)$$

- wykonywanie co najwyżej jednego zlecenia przez każdy środek transportu w danej chwili:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} z_{ijls} \leq g_{sl}; \quad l \in L, s \in S; \quad (8)$$

- uwzględnienie czasu transportu dla poszczególnych przewozów:

$$\sum_{l \in L, g_{sl}=1} z_{ijls} \geq t_{sij} - (1 - z_{ijrs}) \cdot \beta; \quad i \in I, j \in J, \tau \in L, s \in S; \quad (9)$$

- ciągłość wykonywania czynności przewozowych przez poszczególne środki transportu:

$$l z_{ijls} - \tau z_{ijrs} \leq t_{sij} - 1 + (1 - z_{ijrs}) \cdot \beta; \quad i \in I, j \in J, \tau, l \in L, \tau < l, s \in S \quad (10)$$

- przypisanie produktów środkom transportu, zdatnym do ich przewozu:

$$\sum_{s \in S} e_{jkl} \geq \sum_{i \in I} \sum_{\tau \in L} \sum_{s \in S} h_{sk} p_{jkt} z_{ijls}; \quad j \in J, k \in K, l \in L; \quad (11)$$

- transport poszczególnych produktów tylko wybranymi środkami transportu:

$$\sum_{l \in L} e_{jkl} \leq \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} h_{sk} z_{ikls}; \quad j \in J, k \in K, s \in S; \quad (12)$$

- zapewnienie miejsca na produkty w poszczególnych środkach transportu:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} v_{1k} e_{jkl} \leq v_{2s}; \quad l \in L, s \in S; \quad (13)$$

- weryfikacja dopuszczalnych mas przewożonych produktów dla poszczególnych środków transportu:

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in J} m_{1k} e_{jkl} \leq m_{2s}; \quad l \in L, s \in S; \quad (14)$$

- wyznaczenie minimalnych przerw między przewozami produktów w celu zapewnienia czasu dojazdu do dostawców (przyjęto tutaj założenie, że czas przerwy jest równy czasowi wykonania poprzedniej usługi transportowej):

$$lz_{ijls} - \tau z_{\mu\omega\tau s} \geq t_{s\omega} + 1 - \beta(2 - z_{\mu\omega\tau s} - z_{ijls}); \quad l, \tau \in L, l > \tau, i, \mu \in I, j, \omega \in J, j \neq \omega, s \in S; \quad (15)$$

- wyznaczenie liczby brakujących produktów u dostawców w kolejnych okresach:

$$w_{jkl} \geq \sum_{\tau \in L, \tau \leq l} p_{j\kappa\tau} t_{sij} - \sum_{\tau \in L, \tau \leq l} \sum_{\sigma \in S} e_{j\kappa\tau\sigma}; \quad i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, s \in S; \quad (16)$$

- wyznaczenie liczby produktów, które muszą być magazynowane w poszczególnych okresach u odbiorców, w związku z ich przedterminowym dostarczeniem:

$$r_{jkl} \geq \sum_{\sigma \in S} e_{j\kappa l\sigma} - \sum_{\tau \in L, \tau \leq l} p_{j\kappa\tau}; \quad i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, l \leq \lambda, l \geq t_{sij}, s \in S; \quad (17)$$

$$r_{jkl+1} \geq r_{jkl} - \sum_{\tau \in L, \tau \leq l+1} p_{j\kappa\tau}; \quad j \in J, k \in K, l \in L, l > 1, l \leq \lambda; \quad (18)$$

- podjęcie decyzji przez firmy transportowe o udzieleniu upustu odbiorcy w związku z wykonaniem usług przewozowych, których koszt uprawnia do udzielenia bonifikaty:

$$\sum_{l \in L} \sum_{s \in S, (f, s) \in D} \left(\sum_{i \in I} c_{3sij} c_{4sl} \frac{z_{ijls}}{t_{sij}} + \sum_{k \in K} c_{5sk} e_{j\kappa ls} \right) \geq b_{ff} n_{ff}; \quad j \in J; f \in F; \quad (19)$$

- wybór firm transportowych przez poszczególnych odbiorców:

$$q_{ff} \geq z_{ijls}; \quad i \in I, j \in J, l \in L, (f, s) \in D; \quad (20)$$

- ograniczenie liczby firm transportowych, obsługujących poszczególnych odbiorców:

$$\sum_{f \in F} q_{ff} \leq o_{2j}; \quad j \in J; \quad (21)$$

- odpowiednie typy zmiennych:

$$e_{j\kappa ls}, r_{jkl}, w_{jkl} \geq 0, \text{ całkowite}, j \in J, k \in K, l \in L, s \in S;$$

$$n_{ff}, g_{ff}, u_{ij}, y_{ij}, z_{ijls} \in \{0, 1\}; \quad f \in F, i \in I, j \in J, l \in L, s \in S \quad (22)$$

W przedstawionym modelu matematycznym można wyróżnić kilka grup ograniczeń. Zależności (2) ÷ (6) dotyczą przygotowania produktów przez dostawców oraz wyboru dostawców. Nierówności (7) ÷ (15) służą organizacji transportu produktów od dostawców do odbiorców. Warunki (16) ÷ (18) przeznaczone są do wyznaczenia nieterminowości w dostawach poszczególnych produktów, mające wpływ na kary oraz koszty magazynowania. Budowie listy wybranych firm transportowych i wyznaczeniu upustu dawane przez te firmy poświęcone są ograniczenia (19) ÷ (21).

5. EKSPERYMENTY OBLICZENIOWE

Zbudowany model matematyczny, opisany w poprzednim rozdziale, został zweryfikowany w eksperymentach obliczeniowych. Wykorzystany został pakiet optymalizacji dyskretnej oraz język AMPL (ang. *A Modelling Language for Mathematical Programming*) [7]. Wyznaczane sumy kosztów (1) dotyczą obsługi wszystkich odbiorców. Każdy odbiorca produktów, przynależący do sieci, ma jednak własne interesy, strategię działania, które niekoniecznie są zgodne z celem wspólnym działania łańcucha dostaw o sieciowym charakterze. To zróżnicowanie, utrudniające optymalizację w skali sieci, zostało uwzględnione

w eksperymentach obliczeniowych. Każdy odbiorca produktów może dokonać oceny swojej przynależności do sieci czyli jest weryfikowany z punktu widzenia tzw. gracza.

W związku z powyżej opisanym problemem, w przeprowadzonych eksperymentach obliczeniowych porównano dwa przypadki [10]:

- P1 – równoczesne uwzględnienie wszystkich odbiorców produktów (zbiór J zawiera wykaz wszystkich odbiorców);
- P2 – oddzielne wzięcie pod uwagę każdego odbiorcy (zbiór J jest jednoelementowy). Problem sformułowany w liniowym modelu matematycznym rozwiązywany jest kolejno dla poszczególnych odbiorców. Uwzględnia się tu wszystkie możliwe permutacje uszeregowania odbiorców. W danych dla każdego następnego zadania zmniejsza się liczba dostępnych środków transportu w poszczególnych przedziałach czasowych (w wyniku przydzielenia niektórych środków transportu odbiorcom, będącym poprzednikami w permutacji). W zbiorze danych aktualizowana jest również liczba dostępnych produktów u poszczególnych dostawców w kolejnych przedziałach czasowych. Uaktualnianymi parametrami są więc: g_{sl} , d_{ikl} , zdefiniowane w tabelicy 1.

Tabela 2. Zestawienie parametrów grup zadań i wyników eksperymentów

Grupa	Parametry grupy testowych zadań							Wskaźniki porównania				
	I'	J'	K'	F'	S'	ω_1	ω_2	ω_3	$\min_{j \in J} \phi_j$	$\max_{j \in J} \phi_j$	$\min_{j \in J} \theta_j$	$\max_{j \in J} \theta_j$
1	3	3	6	3	8	1000	2000	3000	0,83	1,22	0,92	1,12
2	3	3	8	4	12	2000	4000	5000	0,82	1,19	0,86	1,17
3	4	3	10	5	15	5000	6000	7000	0,77	1,16	0,84	1,20

Liczby: I' – dostawców, J' – odbiorców, K' – typów produktów, F' – firm transportowych, S' – środków transportu, ω_j – sztuk wszystkich produktów, transportowanych do odbiorcy j .

Źródło: obliczenia własne

W tabelicy 2 zestawiono rozmiary porównywanych zadań. Zamieszczono tu porównanie dla 3 odbiorców, co oznacza 6-krotne rozwiązanie problemu P2 (dla wszystkich permutacji). Do oceny porównania rozwiązań zastosowano następujące wskaźniki:

- ϕ_j - służący porównaniu czasów zakończenia czynności transportowych wykonywanych dla odbiorcy j , wyznaczany wg (23):

$$\phi_j = \frac{C_{\max j}^{P2}}{C_{\max j}^{P1}}, \quad (23)$$

gdzie: $C_{\max j}^P$ - czas zakończenia czynności transportowych dla odbiorcy j oraz problemu P,

- θ_j - służący porównaniu sumy kosztów, przypadających dla odbiorcy j , dotyczących: zakupu, transportu, przeładunku, magazynowania, kar związanych z opóźnieniami w dostawach, obliczanych wg (24):

$$\theta_j = \frac{\kappa_j^{P2}}{\kappa_j^{P1}}, \quad (24)$$

gdzie: κ_j^P - koszty zakupu, transportu, przeładunku, magazynowania i kary za opóźnienia, wyznaczone dla odbiorcy j oraz problemu P.

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych przedstawiono w tabelicy 2. Zawarte są w niej minimalne oraz maksymalne wartości wskaźników, zdefiniowanych w zależnościach (23) i (24). Ze względu na monolityczny charakter metody nie mogły być testowane zadania o znacznych liczbach parametrów oraz zmiennych. W testowych przykładach przyjęto założenia: takie same koszty magazynowania produktów dostarczonych przedterminowo do poszczególnych odbiorców oraz takie same kwoty kar za opóźnione dostarczenie produktów do odbiorców, naliczane za każdy okres (przedział czasowy) nieterminowości.

Zaprezentowane w tabelicy 2 wartości wskaźników porównania wykazują skrócenie długości uszeregowania operacji transportowych nawet o ponad 20% dla odbiorców, którzy zrezygnowali z przynależności do sieci (przypadek P2). Harmonogramy o najkrótszych długościach budowane były dla przypadków, gdy odbiorca znacznej liczby produktów był rozpatrywany jako pierwszy w permutacji odbiorców. Wtedy też najmniejsza była suma kosztów, obejmująca zakup produktów, ich transport, przeładunek, koszty magazynowania oraz kar. Redukcja kosztów wynikała głównie ze zmniejszenia kar związanych z nieterminowością usług. Odbiorcy, którzy byli rozpatrywani jako ostatni, ponosili większe koszty, co było związane z późniejszymi dostawami.

6. UWAGI KOŃCOWE

Monolityczny charakter opracowanej metody zapewnia otrzymywanie rozwiązań znacznie lepszych niż w przypadku podziału problemu globalnego na kolejno rozwiązywane zadania. Wykorzystanie programowania całkowitoliczbowego gwarantuje uzyskiwanie rozwiązań optymalnych ze względu na przyjęte kryterium. Zastosowanie podejścia monolitycznego wymagało jednak równoczesnego uwzględnienia wielu parametrów i zmiennych w znacznej liczbie zależności matematycznych. Z tego powodu metoda ta obecnie może być stosowana do rozwiązywania problemów o stosunkowo niewielkich rozmiarach – do szeregowania operacji transportowych w krótkim horyzoncie czasowym. Rozwój techniki komputerowej i oprogramowania sprzyja jednak tego typu metodom, w których wykorzystuje się programowanie całkowitoliczbowe.

Opracowany model matematyczny może być oczywiście zmodyfikowany, rozbudowany. Mogą być np. pominięte zależności matematyczne ograniczające liczbę wybieranych dostawców czy firm transportowych. Zaprezentowany model może zostać wykorzystany do budowy algorytmu heurystycznego – np. heurystyki relaksacyjnej, która umożliwi rozwiązywanie zadań o większych rozmiarach.

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe pokazały, że metoda może służyć do przeprowadzania symulacji. Może być ona pomocniczym narzędziem do określania strategii poszczególnych odbiorców – ogniw sieci. Przyjęte kryterium kosztowe, choć bardzo istotne, niekoniecznie jednak musi być jedynym wskaźnikiem stosowanym w wyborze dostawców czy firm transportowych. Inne czynniki mające wpływ na decyzję odbiorcy wyszczególnione zostały we wprowadzeniu. Często bierze się też pod uwagę czynniki społeczne, doświadczenia we współpracy z różnymi firmami. Obecnie wielu dostawców oferuje do dyspozycji własne środki transportu, co oczywiście jest ich dodatkowym atutem.

Możliwość budowy harmonogramów wykonywania operacji transportowych – istotną zaletę metody - można wykorzystać do różnych symulacji, nie tylko takich, jakie zostały opisane w pracy. Można np. ograniczyć liczbę firm transportowych i badać wpływ wykorzystywanych danych na długość budowanego harmonogramu, terminy dostaw, wyznaczone koszty.

LITERATURA

- [1] Aissaoui N., Haourai M., Hassini E: *Supplier selection and order lot sizing modeling: A review*. Computers & Operations Research. 2007; 34; pp. 3516 – 3540.
- [2] Ambroziak T., Pyza D.: *O pewnym podejściu do oceny operatora usług logistycznych*, w: *Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej*, Rocznik 2007, Polska Akademia Nauk – Komitet Transportu, str. 169 – 175.
- [3] Chopra S., Meindl P.: *Supply Chain Management*. Prentice Hall, New York 2001.
- [4] Coyle J. J., Bardi S. J.: *Zarządzanie logistyczne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002
- [5] Demirtas E.A., Ustun O.: *An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation*. Omega: The International Journal of Management Science, 2008; 36; pp. 76-90.
- [6] Fechner I.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
- [7] Fourer R., Gay D., Kernighan B.: *AMPL - A Modelling Language for Mathematical Programming*. Boyd & Fraser Publishing Company 1993.
- [8] Krawczyk S.: *Zarządzanie procesami logistycznymi*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
- [9] Magiera M : *Metoda selekcji dostawców i środków transportu dla sieci dostaw*. Automatyka, półrocznik, tom 15, zeszyt 2, Wydawnictwa AGH, Kraków 2011, str. 307 – 318.
- [10] Magiera M.: *Metoda selekcji dostawców komponentów dla elastycznych systemów montażowych*. Technologia i automatyzacja montażu. Kwartalnik naukowo – techniczny. Zeszyt 3-2011 (73). Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Warszawa 2011, str. 25 – 34.
- [11] Marczyk A.: *Methodologic conditioning of transport optimization*. Journal of KONES, 2007, Vol. 14. No 2, pp. 299 – 307.
- [12] Sawik T.: *Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1998.
- [13] Sawik T.: *Multiple objective supplier selection in make-to-order environment*. Omega, The International Journal in Management Science, 2010, 38, pp. 203 – 212.
- [14] Witkowski J.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.

MONOLITHIC METHOD OF SELECTION OF SUPPLIERS AND TRANSPORT MEANS FOR SUPPLY CHAINS

Abstract

The introduction to the article presents a short comparative characteristic of monolithic and hierarchical methods of supporting supply chains management. The method presented in the paper is constructed for supply chains in net character. The method is used for simultaneous selection of suppliers, transport firms and transport means connected with the firms. The linear mathematical model of mixed integer programming is used in the method. The cost criterion is employed in the minimization function. The costs of marketing, transport, handling, storage and fines are regarded in this function. The schedules of transport tasks are constructed for selected transport means between the selected suppliers and the given buyers. Results of computational experiments with the proposed method are presented.

Keywords: supply network, logistic network, transport system, scheduling, integer programming