

Marek MAGIERA*

METODA SELEKCJI FIRM TRANSPORTOWYCH I ŚRODKÓW TRANSPORTU DLA SIECI DOSTAW

Streszczenie

Przedstawiono metodę, wspomagającą wybór firm transportowych i przynależnych im środków transportu dla sieci dostaw o charakterze lokalnym. Wykorzystano tu, zbudowane specjalnie dla metody, liniowe modele zadań programowania całkowitoliczbowego. W wyborze firm oraz środków transportu wzięto pod uwagę kryterium kosztowe. Dla wyselekcjonowanych środków transportu budowany jest harmonogram przepływu produktów pomiędzy poszczególnymi ogniwami sieci – szeregowane są operacje transportowe, przypisane wybranym firmom. Zamieszczono wyniki eksperymentów obliczeniowych, służących weryfikacji metody.

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

1. WPROWADZENIE

W strukturze kosztów logistycznych znaczny udział przypada na koszty transportu. Koszty przepływu towarów stanowią bowiem od 25% do 75% sumy kosztów transportu i magazynowania. Zróżnicowanie to wynika głównie z wybranego rodzaju gałęzi transportu. Zmniejszenie kosztów transportu inspirowane do poszukiwania stosunkowo niedrogich systemów transportowych, które przyczyniają się do:

- zwiększenia konkurencyjności produktów logistycznych na różnych rynkach;
- występowania korzyści skali produkcji;
- redukcji kosztów produkcji [3].

W doborze firm transportowych, obsługujących sieci dostaw, kryterium kosztowe nie jest oczywiście jedynym stosowanym wyróżnikiem. Do innych kryteriów, oczywiście również związanych z kosztami, zalicza się m. in.:

- czas procesu transportowego. Oprócz czasu ruchu środka transportu i czasu dostawy, bierze się pod uwagę wzajemne stosunki między przewoźnikiem a użytkownikiem, wyrażone umowami o przewóz. Czas transportu zależy m. in. od infrastruktury transportowej, do której ma dostęp przewoźnik.
- dostępność taboru transportowego i jego odporność na zakłócenia – czynniki losowe (awarie). Istotna jest tutaj dostępność środków zastępczych, gwarantujących terminowość dostaw w przypadku awarii lub inne zabezpieczenie – np. kara umowna, za nieterminowość dostaw.

Obecnie wiele firm transportowych, obok swoich podstawowych usług, świadczy usługi dodatkowe, mające na celu usprawnienie procesu przepływu towarów. Są to operatorzy logistyczni – podmioty gospodarcze, organizujące i nadzorujące przepływy produktów i informacji. Rozbudowana oferta usług jest dodatkowym atutem tych firm. Do usług oferowanych przez operatorów logistycznych, oprócz przewozu, zalicza się m. in.: załadunek, wyładunek, pakowanie, ubezpieczenie przesyłki, doradztwo prawne i technologiczne, dokonywanie odprawy celnej, magazynowanie.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania

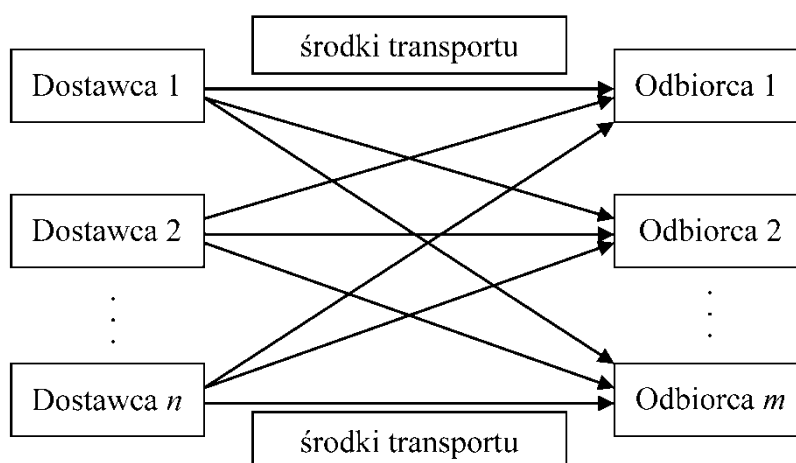
Do rozwiązania problemu wyboru firm transportowych, obsługujących poszczególne przedsiębiorstwa – ogniwa sieci dostaw, wskazane jest więc podejście wielokryterialne. Tematyce tej poświęconych jest wiele prac, m. in.: [1], [3], [5], [9], gdzie kryterium kosztowe jest znaczącym kryterium oceny firm transportowych.

Niniejsza praca mieści się w tej tematyce. Opracowana metoda umożliwia nie tylko wybór firm transportowych, obsługujących poszczególne przedsiębiorstwa, ale również dobór odpowiednich środków, przynależnych tych firmom. Zastosowane kryterium kosztowe uwzględnia nie tylko koszty stałe i zmienne w transporcie, ale również nieterminowość, reprezentowaną przez kary umowne za przedterminowe lub spóźnione dostawy.

Metodę zbudowano dla regionalnych podsystemów transportowych, w których każdy produkt dostarczany jest jednym środkiem transportu.

2. IDEA METODY

Metodę opracowano dla łańcuchów dostaw o sieciowym charakterze. Przykładowy fragment takiej struktury zamieszczono na rys. 1. Ogniwami tej sieci są przedsiębiorstwa, obsługiwane przez firmy transportowe.



Rys.1. Fragment sieci dostaw – przykładowa struktura
Źródło: opracowanie własne

Na rys. 1. przedstawiony jest jedynie fragment sieci dostaw. Schemat ten można rozbudować: odbiorcy stają się dostawcami, niektórzy dostawcy – odbiorcami. Celem metody jest wyznaczenie przepływów produktów pomiędzy dwoma grupami ogniwa sieci: dostawcami oraz odbiorcami – tak, aby przesłać w określonym czasie wymagane ilości produktów (półproduktów), uwzględniając wybrane środki transportu wyselekcjonowanych firm. Jest to rozdział operacji transportowych w czasie i w przestrzeni z równoczesnym wyborem środków transportu.

Zastosowanie metody powinno być poprzedzone rozwiązaniem 2 zadań:

1. Wstępny wybór firm transportowych.

Dokonanie wstępnej selekcji firm transportowych jest wskazane ze względu na ograniczenie rozmiaru problemu rozpatrywanego w metodzie. Wyodrębnienie kilku firm – kandydatów wpływa na mniejszą liczbę parametrów, zmiennych oraz ograniczeń, wykorzystywanych w zbudowanych dla metody modelach matematycznych. Skutkiem tego jest mniejszy rozmiar rozwiązywanego zadania programowania matematycznego.

W celu wyznaczenia kilku usługodawców, branych pod uwagę w metodzie, dokonuje się wielokryterialnej oceny tych firm transportowych lub operatorów logistycznych. Uwzględnia się m. in. następujące kryteria [1]:

- niezawodność usługi;
- regularność przewozu;
- koszty transportu i możliwość negocjacji stawek przewozowych (w tym upustów);
- czas transportu;
- stabilność finansową przewoźnika;
- dostępność środków transportu;
- utratę lub zniszczenie przewożonych towarów;
- przygotowanie zlecenia;
- kwalifikacje personelu operacyjnego;
- elastyczność harmonogramowania procesu transportowego, umożliwiającą reharmonogramowanie;

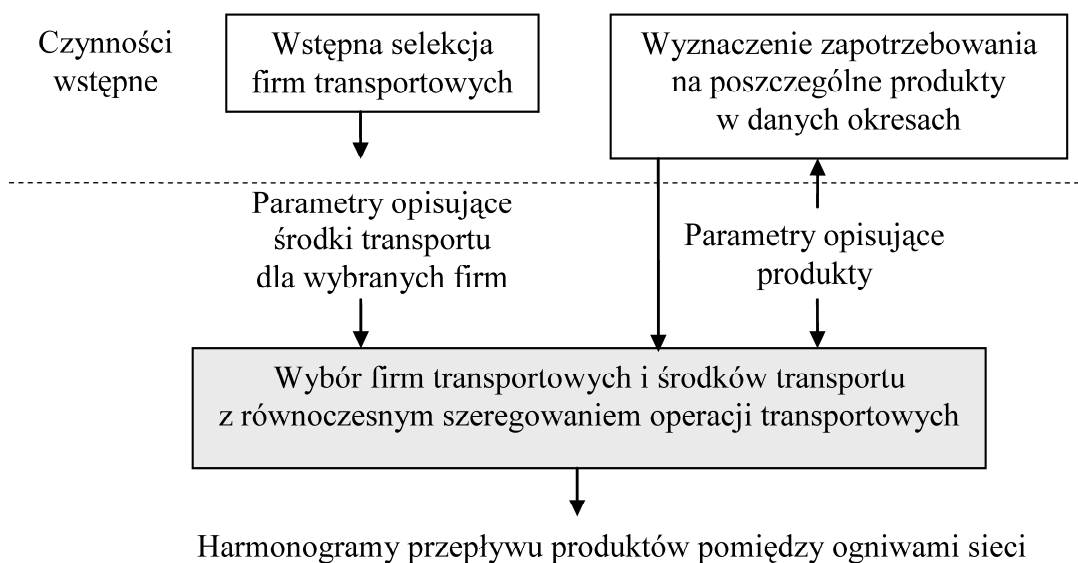
Do porównania firm transportowych lub operatorów logistycznych stosuje się metody wielokryterialne, np. przedstawione w pracach: [1], [5]. Każda firma ma przypisaną ocenę.

W opracowanej metodzie kilka firm o najwyższych ocenach jest następnie brana pod uwagę.

2. Wyznaczenie zapotrzebowania na transporty produktów.

Dla każdego odbiorcy – zakładu produkującego złożone wyroby – budowany jest wstępny harmonogram produkcji, uwzględniający terminy wykonania zleceń. Dzięki temu znane są zapotrzebowania na poszczególne komponenty (produkty) w danych okresach.

W pracy [7] zamieszczony jest przykład metody, przeznaczonej do wyznaczania zapotrzebowania na transporty poszczególnych komponentów. W metodzie, opracowanej przez autora niniejszego artykułu, uwzględniono kryterium kosztowe – minimalizowane są koszty ponoszone w związku z nieterminowym wykonaniem operacji. Zalicza się do nich koszty związane ze zbyt późnym, zbyt wczesnym wykonaniem produktu (koszty magazynowania) oraz kary umowne za przekroczenie terminu wykonania produktów.



Rys. 2. Schemat blokowy metody

Źródło: opracowanie własne

Schemat blokowy opracowanej metody równoczesnego wyboru przewoźników i szeregowania operacji transportowych zamieszczono na rys. 2. Rozwiązany problem jest rozszerzeniem klasycznego zadania przepływu [8]. Zadania sformułowane w punktach: 1, 2 stanowią dane wejściowe dla tej metody. Problemy te mogą być rozwiązywane równocześnie. Metoda służy zbudowaniu harmonogramów przepływu produktów pomiędzy ogniwami sieci – dla wybranych środków transportu, przynależnych wybranym firmom. W celu rozwiązania tego problemu zbudowane zostały liniowe modele matematyczne zadań programowania całkowitoliczbowego, opisane w następnym rozdziale.

3. MATEMATYCZNY OPIS METODY

Dla metody zbudowane zostały liniowe modele matematyczne. Modele te różnią się podejściem do kosztów związanych z nieterminowością. W tablicy 1 zestawiono oznaczenia modeli matematycznych i krótką ich charakterystykę.

Tablica 1. Oznaczenia modeli matematycznych

Model	M1	M2
Przeznaczenie	– wybór firm i przynależnych im środków transportu; – rozdział produktów pomiędzy wybrane środki transportu; – budowa harmonogramu przewozu produktów.	
Kryterium	minimalizacja kosztów transportu (koszty stałe, zmienne, rabaty), uwzględniająca kary umowne za każdy okres opóźnienia w realizacji zlecenia.	minimalizacja kosztów transportu (koszty stałe, zmienne, rabaty), uwzględniająca kary umowne za każdy okres opóźnienia w dostarczeniu każdej sztuki produktu oraz koszty magazynowania produktów dostarczonych przedterminowo.

Z łańcucha dostaw o sieciowym charakterze (rys. 1) wyodrębnimy dwie grupy ogniw sieci: dostawcy oraz odbiorcy, pomiędzy którymi ma miejsce przepływ produktów za pośrednictwem dostępnych środków transportu. Znałe są zbiory: dostawców, odbiorców, firm transportowych i przynależnych im środków, a także przewożonych produktów. Zestawienie oznaczeń zbiorów, indeksów, parametrów i zmiennych, stosowanych w modelach M1 i M2 zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Zestawienie indeksów, parametrów i zmiennych

Indeksy:

f – firma transportowa; $f \in F$;

i – dostawca; $i \in I$;

j – odbiorca; $j \in J$;

k – produkt; $k \in K$;

l – przedział czasowy (okres); $l \in L$;

n – numer zlecenia; $n \in N$;

s – środek transportu; $s \in S$;

Parametry i zbiory:

- a_{nk} – liczba produktów k , objętych zleceniem n ;
 b_{fj} – minimalna kwota usługi transportowej, wykonywanej przez firmę f dla odbiorcy j , uprawniająca do upustu;
 β_{fj} – kwota upustu danego odbiorcy j przez firmę transportową f w związku z wyznaczonymi kosztami usługi, wynoszącymi co najmniej b_{fj} ;
 c_{1ijs} – koszt jednorazowego wykorzystania środka s pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j (koszt stały);
 c_{2sl} – współczynnik kosztu dla środka transportu s w okresie l – możliwość zróżnicowania kosztów stałych w poszczególnych okresach;
 c_{3sk} – koszt wykorzystania środka s w związku z transportem produktu k (koszt załadunku, wyładunku) – koszt zmienny;
 c_{4n} – kara umowna za każdy okres (przedział czasowy) opóźnienia w wykonaniu zlecenia n – tylko dla modelu M1;
 c_{5nk} – kara za każdy okres opóźnienia w dostarczeniu produktu k , ustalona dla zlecenia n – tylko dla modelu M2;
 c_{6nk} – koszt magazynowania produktu k w okresie jednostkowym, w związku z przedterminowym dostarczeniem go – dla zlecenia n – tylko dla modelu M2;
 g_{sl} = 1, jeżeli środek s jest dostępny w okresie l , inaczej $g_{sl} = 0$;
 h_{sk} = 1, jeżeli środek s jest zdatny do przewozu produktów k , inaczej $h_{sk} = 0$;
 m_{1s} – dopuszczalna masa towarów przewożonych środkiem transportu s ;
 m_{2k} – masa produktu k wraz z opakowaniem;
 φ_j – maksymalna liczba firm transportowych, z których usług chce korzystać odbiorca j ;
 τ_{sij} – czas transportu środkiem s pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j ;
 $t_{\min n}$ – okres (przedział czasowy), w którym najwcześniej mogą rozpocząć się czynności związane z transportem, mające na celu realizację zlecenia n ;
 $t_{\max n}$ – okres (przedział czasowy), do którego włącznie mają zostać zakończone czynności transportowe, mające na celu realizację zlecenia n ;
 v_{1s} – przestrzeń ładunkowa środka transportu s ;
 v_{2k} – przestrzeń zajmowana przez produkt k w czasie transportu (z opakowaniem);
 D – zbiór uporządkowanych trójek (n, i, j) , gdzie zlecenie n obejmuje wykonanie usługi transportowej pomiędzy dostawcą i oraz odbiorcą j ;
 P – zbiór uporządkowanych dwójek (f, s) , gdzie środek transportu s przynależy do firmy f .

Zmienne:

• dla modeli M1 i M2:

- u_{ns} = 1, jeżeli do realizacji zlecenia n wybrany został środek s , inaczej $u_{ns} = 0$;
 q_{fj} = 1, jeżeli firma transportowa f obsługuje odbiorcę j , inaczej $q_{fj} = 0$;
 x_{nks} – liczba produktów k dostarczanych środkiem transportu s w ramach realizacji zlecenia n ;
 y_{fj} = 1, jeżeli firma f udziela upustu odbiorcy j , inaczej $y_{fj} = 0$;
 z_{nsl} = 1, jeżeli w okresie l ma miejsce transport środkiem s w związku z realizacją zlecenia n ;

• tylko dla modelu M1:

$e_{nl} = 1$, jeżeli w okresie l nie zostało zrealizowane zlecenie n , inaczej $e_{nl} = 0$;

• tylko dla modelu M2:

p_{nsl} – liczba nadmiarowych produktów k (dostarczonych przedterminowo) w okresie l – dla zlecenia n realizowanego przy użyciu środka transportu s ;

w_{nsl} – liczba brakujących sztuk produktów k w okresie l – dla zlecenia n realizowanego przy użyciu środka transportu s .

Parametr c_{2sl} , określony w tablicy 2, umożliwia zróżnicowanie kosztów stałych przewozu produktów w poszczególnych okresach – np. koszty te mogą być wyższe w okresach najbardziej obciążonych przez środki transportu. Natomiast parametr h_{sk} służy uwzględnieniu wyspecjalizowanych środków transportu, np. chłodni.

Parametr α stosowany w zapisie niektórych ograniczeń poniżej przedstawionych modeli matematycznych jest liczbą naturalną, większą niż szacowana długość uszeregowania wszystkich czynności transportowych.

Oto modele M1 oraz M2:

Zminimalizować:

$$\text{– dla M1: } \sum_{(n,i,j) \in D} \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \frac{c_{1ijs} c_{2sl}}{\tau_{sij}} z_{nsl} + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} c_{3sk} x_{nks} + \sum_{n \in N} \sum_{l \in L} c_{4n} e_{nl} - \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} \beta_{fj} y_{fj} \quad (1)$$

$$\text{– dla M2: } \sum_{(n,i,j) \in D} \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \sum_{l \in L} \frac{c_{1ijs} c_{2sl}}{\tau_{sij}} z_{nsl} + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left[c_{3sk} x_{nks} + \sum_{l \in L} (c_{5nk} w_{nsl} + c_{6nk} p_{nsl}) \right] + \\ - \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} \beta_{fj} y_{fj} \quad (2)$$

Modele M1 i M2 służą minimalizacji sumy kosztów wykonania zleceń. Na wyznaczone wartości sum (1), (2) mają wpływ rodzaje wykorzystywanych środków do transportu określonych produktów, ilości transportowanych produktów w poszczególnych okresach (możliwość rabatów) i terminowość dostaw. W modelu M1 uwzględnione zostały kary umowne za każdy okres w opóźnieniu realizacji zlecenia. Wyznaczone koszty powiązane są z czasem dostarczenia ostatnich produktów, rozumianym jako termin wykonania zlecenia. W modelu M2 uwzględniono natomiast oba rodzaje nieterminowości. W optymalizowanej wartości sumy (2) wyróżniono koszty związane z przedterminowym dostarczeniem każdej sztuki produktu (koszty magazynowania) oraz kary za każdy okres opóźnienia w dostarczeniu poszczególnych sztuk towaru.

W modelach M1 i M2 spełnione muszą być następujące ograniczenia:

– zapewnienie wykonania wszystkich czynności transportowych, z uwzględnieniem czasów przewozów poszczególnymi środkami transportu:

$$\sum_{l \in L, g_{sl}=1} z_{nsl} \geq \tau_{sij} u_{ns}; \quad (n,i,j) \in D, \quad s \in S \quad (3)$$

– wyznaczenie dostępnych w poszczególnych okresach środków transportu dla danych zleceń:

$$x_{nks} \leq \alpha h_{sk} u_{ns}; \quad k \in K, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (4)$$

– rozdział wszystkich produktów pomiędzy środki transportu:

$$\sum_{s \in S} x_{nks} = a_{nk}; \quad k \in K, \quad n \in N \quad (5)$$

– zapewnienie miejsca na produkty w poszczególnych środkach transportu:

$$\sum_{k \in K} v_{2k} x_{nks} \leq v_{1s}; \quad n \in N, s \in S \quad (6)$$

- weryfikacja ładowności poszczególnych środków transportu:

$$\sum_{k \in K} m_{2k} x_{nks} \leq m_{1s}; \quad n \in N, s \in S \quad (7)$$

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

$$\sum_{n \in N} z_{nsl} \leq g_{sl}; \quad l \in L, s \in S \quad (8)$$

- ciągłość wykonywania czynności przewozowych przez poszczególne środki transportu:

$$l z_{nsl} - r z_{nsr} \leq \tau_{sij} - 1 + \alpha(1 - z_{nsr}); \quad (n, i, j) \in D, l, r \in L, r < l \quad (9)$$

- rozpoczęcie czynności transportowych dopiero po przygotowaniu produktów:

$$l z_{nsl} \geq t_{\min n} - \alpha(1 - z_{nsl}); \quad l \in L, n \in N, s \in S \quad (10)$$

- wyznaczenie minimalnych przerw między przewozami produktów w celu zapewnienia czasu dojazdu do dostawców:

$$l z_{\mu sl} - r z_{nsr} \geq u_{\mu s} (\tau_{sej} + 1) - \alpha(2 - z_{nsr} - z_{\mu sl}); \quad l, r \in L, l > r, (n, i, j), (\mu, \varepsilon, \beta) \in D, n \neq \mu \quad (11)$$

- podjęcie decyzji o upustach, dawanych odbiorcom przez poszczególne firmy transportowe:

$$\sum_{(n, i, j) \in D} \sum_{s \in S, (f, s) \in P} \frac{c_{1ijs} c_{2sl}}{\tau_{sij}} z_{nsl} + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S, (f, s) \in P} c_{3sk} x_{nks} \geq b_{fj} y_{fj}; \quad j \in J, f \in F \quad (12)$$

- wybór firm transportowych przez poszczególnych odbiorców:

$$q_{fj} \geq u_{ns}; \quad (f, s) \in P, (n, i, j) \in D \quad (13)$$

- ograniczenie liczby wybranych firm transportowych przez poszczególnych odbiorców:

$$\sum_{f \in F} q_{fj} \leq \varphi_j; \quad j \in J \quad (14)$$

- odpowiednie typy zmiennych:

$$u_{ns} \in \{0, 1\}; \quad n \in N, s \in S; \quad y_{fj}, q_{fj} \in \{0, 1\}; \quad f \in F, j \in J \quad (15)$$

$$x_{nks} \geq 0, \text{ całkowite}; \quad n \in N, k \in K, s \in S \quad (16)$$

$$z_{nks} \in \{0, 1\}; \quad n \in N, k \in K, s \in S \quad (17)$$

• Ograniczenia tylko dla modelu M1:

- wyznaczenie przedziałów czasowych, w których ma miejsce opóźnienie w realizacji poszczególnych zleceń na wykonanie czynności transportowych:

$$l \sum_{s \in S} z_{nsl} \leq \alpha \left[e_{nl} + \left(1 - \sum_{s \in S} z_{nsl} \right) \right]; \quad n \in N, l \in L, l > t_{\max n} \quad (18)$$

$$e_{nl} \in \{0, 1\}; \quad n \in N, l \in L \quad (19)$$

• Ograniczenia tylko dla modelu M2:

- wyznaczenie liczby brakujących produktów (niedoborów) w poszczególnych okresach (opóźnienie w dostarczeniu produktów):

$$w_{nsl} \geq x_{nks} - \alpha(1 - z_{nsl}); \quad k \in K, s \in S, l \in L, l > t_{\max n} + 1, g_{sl} = 1 \quad (20)$$

$$w_{nsl} \leq w_{nsl-1}; \quad k \in K, \quad s \in S, \quad l \in L, \quad l > t_{\max n} + 1, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0 \quad (21)$$

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

$$p_{nsl} \geq x_{nks} - \alpha(1 - z_{nsl - \tau_{sij} + 1});$$

$$k \in K, \quad s \in S, \quad (n, i, j) \in D, \quad l \in L, \quad l < t_{\max n}, \quad l \geq \tau_{sij}, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0 \quad (22)$$

$$p_{nsl+1} \geq p_{nsl}; \quad k \in K, \quad s \in S, \quad l \in L, \quad l < t_{\max n} - 1, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0 \quad (23)$$

$$p_{nsl}, w_{nsl} \geq 0, \text{ całkowite}; \quad k \in K, \quad l \in L, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (24)$$

4. EKSPERYMENTY OBLICZENIOWE

Modele M1 i M2 zostały przetestowane w eksperymentach obliczeniowych. Wykorzystany został w tym celu pakiet optymalizacji dyskretniej oraz język programowania matematycznego AMPL (A Modelling Language for Mathematical Programming), opisany w pracy [4]. Otrzymywane wyniki wykazywały pewien kompromis pomiędzy poszczególnymi odbiorcami – zadania opisane w modelach M1 i M2 są bowiem sformułowane dla sieci. W przypadku, gdy każdy odbiorca jest odrębnym przedsiębiorstwem, otrzymywane rozwiązania zadań M1 i M2 nie odzwierciedlają interesów poszczególnych odbiorców. W przypadku, gdy odbiorca jest niezależną firmą, problem M1 lub M2 można rozwiązać, ograniczając zbiór odbiorców J (tab. 2) tylko do tego wybranego odbiorcy.

W przeprowadzonych eksperymentach obliczeniowych, mających na celu przede wszystkim zweryfikowanie zbudowanych modeli matematycznych, porównano rozwiązania dla 2 przypadków:

- P1 – równoczesnego uwzględnienia wszystkich odbiorców (zbiór J zawiera wykaz wszystkich odbiorców);
- P2 – uwzględnienie każdego odbiorcy oddzielnie (zbiór J jest jednoelementowy), rozwiązując problem kolejno dla poszczególnych odbiorców. Uwzględniono tu wszystkie możliwe permutacje uszeregowania odbiorców. W danych dla każdego następnego zadania zmniejszała się liczba dostępnych środków transportu w poszczególnych przedziałach czasowych (w wyniku przydzielenia niektórych środków transportu odbiorcom, będącym poprzednikami w permutacji), co było odzwierciedlone w postaci wartości parametru g_{sl} (tab. 1).

W tablicy 3 zestawiono rozmiary porównywanych zadań, w których wykorzystano model M2. Zamieszczono tu porównanie dla 3 odbiorców, co oznacza 6-krotne rozwiązanie problemu P2 (dla wszystkich permutacji). Do oceny porównania rozwiązań zastosowano następujące wskaźniki:

- γ_j - służący porównaniu czasów zakończenia czynności transportowych wykonywanych dla odbiorcy j , obliczany wg (25):

$$\gamma_j = \frac{C_{\max j}^{P2}}{C_{\max j}^{P1}}, \quad (25)$$

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

- χ_j - służący porównaniu kosztów wykonania czynności transportowych, przypadających dla odbiorcy j , wyznaczany wg (26):

$$\chi_j = \frac{K_j^{P2}}{K_j^{P1}}, \quad (26)$$

gdzie: χ_j^P - koszty czynności transportowych, wyznaczone dla odbiorcy j oraz problemu P .

Minimalne oraz maksymalne wartości tych wskaźników zamieszczono w tablicy 3. W testowych przykładach przyjęto założenia: jednakowe terminy wykonania wszystkich zleceń, 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.

Tablica 3. Zestawienie parametrów grup i wyników eksperymentów

Grupa	Parametry grupy testowych zadań									Wskaźniki porównania			
	I'	J'	K'	N'	F'	S'	ω_1	ω_2	ω_3	$\min_{j \in J} \gamma_j$	$\max_{j \in J} \gamma_j$	$\min_{j \in J} \chi_j$	$\max_{j \in J} \chi_j$
1	3	3	6	6	3	8	1200	4000	5600	0,81	1,25	0,90	1,14
2	3	3	8	8	4	12	3000	6000	7000	0,83	1,22	0,88	1,16
3	4	3	10	8	5	15	8000	8000	8000	0,76	1,18	0,85	1,21

Liczby: I' – dostawców, J' – odbiorców, K' – typów produktów, N' – zleceń, S' – środków transportu, ω_j - sztuk wszystkich produktów, transportowanych do odbiorcy j .

Źródło: obliczenia własne

Wartości wskaźników porównania, zamieszczone w tablicy 3, wykazują skrócenie długości uszeregowania o około 20% dla przypadku P2, w porównaniu do problemu P1. Największe skrócenie czasu wykonywania usług transportowych miało oczywiście miejsce w przypadku, gdy odbiorca, do którego miało być dostarczone zlecenie o dużych rozmiarach (znaczna liczba produktów), był rozpatrywany jako pierwszy w danej permutacji odbiorców. Wtedy też osiągnęte były mniejsze koszty – o około kilkanaście procent – niż w przypadku P1. Redukcja kosztów wynikała głównie ze zmniejszenia kar związanych z nieterminowością usług.

5. UWAGI KOŃCOWE

Zaletą opracowanej metody jest równoczesne rozwiązywanie problemu selekcji firm i środków transportu z szeregowaniem operacji transportowych – budowa harmonogramu przewozu produktów pomiędzy ogniwami sieci. Zastosowanie do tego celu liniowych modeli matematycznych zadań programowania całkowitoliczbowego gwarantuje otrzymanie optymalnego rozwiązania (ze względu na przyjęte kryterium).

Model M1 jest wskazany dla zleceń o stosunkowo małych rozmiarach, gdy koszty magazynowania produktów przedterminowo są marginalne. W przypadku zleceń o znacznych rozmiarach proponowane jest zastosowanie modelu M2, uwzględniającego oba rodzaje nieterminowości w odniesieniu do poszczególnych sztuk produktów. Wprowadzenie kar, związanych z nieterminowością w dostawach, przyczyniło się do poszukiwania takich rozwiązań, w których czasy dostarczania produktów są najbliższe terminom określonych w zleceniach – w szczególnym przypadku ma miejsce szeregowanie dokładnie na czas.

Przedstawione modele matematyczne mogą być oczywiście zmodyfikowane, rozbudowane. Zmieniony może być np. regulamin upustów dawanych odbiorcom przez firmy transportowe. W przypadku, gdy odbiorcy tworzą sieć należącą do jednego właściciela, upusty mogą być wyznaczane w odniesieniu do całej sieci, a nie tak jak w przedstawionych modelach, gdzie bonifikaty dotyczą poszczególnych odbiorców. Przydzielenie upustów całej

sieci uniemożliwia jednak dokonywanie takich symulacji i porównań, jakie przedstawiono przy opisie przeprowadzonych eksperymentów obliczeniowych.

W przypadku zadań o znacznych rozmiarach, opracowane modele matematyczne mogą stanowić punkt wyjścia do budowy heurystyk, np. relaksacyjnych.

Kolejnym atutem metody jest możliwość dokonywania symulacji – budowy harmonogramów przewozu produktów dla różnych wariantów. W poprzednim rozdziale pokazano tylko możliwość porównania dwóch przypadków: równoczesnego uwzględnienia wszystkich odbiorców (reprezentacja interesów całej sieci) oraz oddzielnego traktowania poszczególnych odbiorców (wzięcie pod uwagę interesów jednostek). Metoda więc może wspomagać strategię poszczególnych ogniw sieci, które mogą występować w roli gracza. Każdy wyznaczony harmonogram przewozów i związane z nim koszty są oceniane przez odbiorców - graczy.

Porównania budowanych harmonogramów mogą być oczywiście dokonywane również na innych płaszczyznach. Np. można ograniczyć liczbę przewoźników (za pomocą zależności (14)) i analizować otrzymane w ten sposób rozwiązanie. Zastosowane kryterium kosztowe to przecież nie jedyne kryterium, jakie stosuje się w wyborze usługodawców – co zostało przedstawione w opisie wstępnej selekcji firm transportowych i operatorów logistycznych.

LITERATURA

- [1] 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.
- [2] Coyle J. J., Bardi S. J.: *Zarządzanie logistyczne*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2002.
- [3] Fechner I.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
- [4] Fourer R., Gay D., Kernighan B.: *AMPL - A Modelling Language for Mathematical Programming*. Boyd & Fraser Publishing Company 1993.
- [5] Ignasiak E.: *Optymalizacja projektów inwestycyjnych*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1994.
- [6] Krawczyk S.: *Zarządzanie procesami logistycznymi*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
- [7] Magiera M.: *Metoda wspomagania zarządzania przepływami w elastycznych sieciach dostaw*; w: *Automatyzacja procesów dyskretnych. Teoria i zastosowania*, tom II pod red. A. Świerniaka i J. Krystek, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2010, str. 133-141.
- [8] Sawik T.: *Badania operacyjne dla inżynierów zarządzania*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1998.
- [9] Witkowski J.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.

METHOD OF SELECTION OF TRANSPORT FIRMS AND MEANS OF TRANSPORT FOR SUPPLY NETWORK

Abstract

The paper presents the method of simultaneously selection of transport firms and means of transport for local supply network. The network consists of the manufacturers of component parts, the manufacturers of composite products and the final customers. The linear mathematical models of mixed integer programming are used in the method. The minimization of costs of transport tasks is regarded in the described method. The schedules of transport tasks are constructed for selected firms and means. Results of computational experiments with the proposed method are presented.

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