

Marek Magiera*

Metoda selekcji dostawców i środków transportu dla sieci dostaw

1. Wprowadzenie

Coraz częściej zakłady produkcyjne funkcjonują w ramach sieci dostaw. Sieci dostaw stanowią pewien rodzaj konfiguracji łańcucha dostaw. Ich charakterystyczną cechą jest zwielokrotnienie niektórych ogniw w celu dostarczenia różnych wyrobów do punktów produkcji, dystrybucji oraz sprzedaży. Takie sieci dostaw nazywane są również łańcuchami dostaw o sieciowym charakterze.

Struktura łańcuchów dostaw oczywiście jest złożona. Do ogniw sieci należą m. in. producenci (komponentów, złożonych wyrobów), firmy transportowe, firmy stanowiące nadzór logistyczny. Wiele przedsiębiorstw przynależy równocześnie do różnych sieci dostaw. Tak złożona struktura, jaką jest sieć dostaw, wymaga doboru odpowiednich procesów decyzyjnych, tworzących koncepcję zarządzania wszystkimi ogniwami sieci. Istotą zarządzania siecią dostaw jest proces decyzyjny, związany z synchronizowaniem fizycznych, informacyjnych i finansowych strumieni popytu i podaży przepływających między jego uczestnikami w celu osiągnięcia przez nich przewagi konkurencyjnej i tworzenia wartości dodanej z korzyścią dla wszystkich jego ogniw, klientów oraz pozostałych interesariuszy [1]. Tak rozumiane zarządzanie siecią dostaw wskazuje na konieczność współpracy wszystkich partnerów, stanowiących ogniwa sieci. W praktyce często występuje jednak konflikt pomiędzy wspólnym celem działania sieci a interesami poszczególnych przedsiębiorstw.

Problematyka dotycząca funkcjonowania sieci dostaw jest bardzo szeroka. Obejmuje ona m.in. organizację procesów produkcyjnych w poszczególnych przedsiębiorstwach, sterowanie przepływem produktów, informacji, środków finansowych między ogniwami sieci czy obsługę magazynów i zapasów. Na efektywność funkcjonowania sieci dostaw wpływa również odpowiedni dobór dostawców i środków transportu dla realizacji tych dostaw. Tym właśnie problemom poświęcona jest niniejsza praca; przedstawiono w niej metodę selekcji dostawców oraz środków transportu, przynależnych określonym firmom.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Katedra Badań Operacyjnych i Technologii Informacyjnych

W systemach logistycznych wiele firm pełni równocześnie rolę odbiorcy i dostawcy. Dobór dostawców uzależnia się od wielu czynników. Do najważniejszych z nich zalicza się [2]: czas dostawy, niezawodność (prawidłowość realizacji zamówienia), komunikację (sposób prowadzenia dialogu pomiędzy firmami), otwartość w działaniu (równoczesną skłonność i zdolność dostawcy do spełnienia dodatkowych wymagań klienta, takich jak np. wielkość dostaw, wybór rodzaju środka transportu, częstotliwość dostaw, sposób pakowania).

Z doбором dostawców, z ich lokalizacją, związany jest dobór firm transportowych i środków transportu. Jednym z najważniejszych czynników w doborze firm transportowych, jest oczywiście czas procesu transportowego. Oprócz czasu przemieszczania się środka transportu uwzględnia się wzajemne stosunki między przewoźnikiem a użytkownikiem. Czas transportu uzależniony jest m. in. od infrastruktury transportowej, do której ma dostęp przewoźnik. Czynnikiem, którego nie można pominąć w doborze firm transportowych jest dostępność taboru transportowego i jego odporność na zakłócenia – czynniki losowe. Istotna jest tutaj dostępność środków zastępczych, gwarantujących terminowość dostaw w przypadku awarii lub inne zabezpieczenia – np. kary umowne za nieterminowość dostaw. Obecnie wiele firm transportowych, obok swoich podstawowych usług, świadczy usługi dodatkowe. Są to operatorzy logistyczni. Rozbudowana oferta tych firm jest ich dodatkowym atutem.

Wyszczególnione czynniki, mające wpływ na dobór dostawców i firm transportowych są powiązane z kosztami, jakie należy uwzględnić w obsłudze sieci logistycznych. Zmniejszenie kosztów transportu, związane z lokalizacją i możliwościami produkcyjnymi ogniw sieci, inspirowane do poszukiwania stosunkowo niedrogich systemów transportowych, przyczyniają się do zwiększenia konkurencyjności produktów logistycznych na różnych rynkach, występowania korzyści skali produkcji, redukcji kosztów produkcji.

Przykładami prac poświęconych zarządzaniu siecią dostaw, w tym selekcji dostawców, środków transportu są prace: [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Niniejszą pracę, mieszczącą się w tej tematyce, wyróżnia próba godzenia interesów poszczególnych firm z interesami całej sieci, przy wielokryterialnym podejściu do problemu.

2. Ogólny opis metody

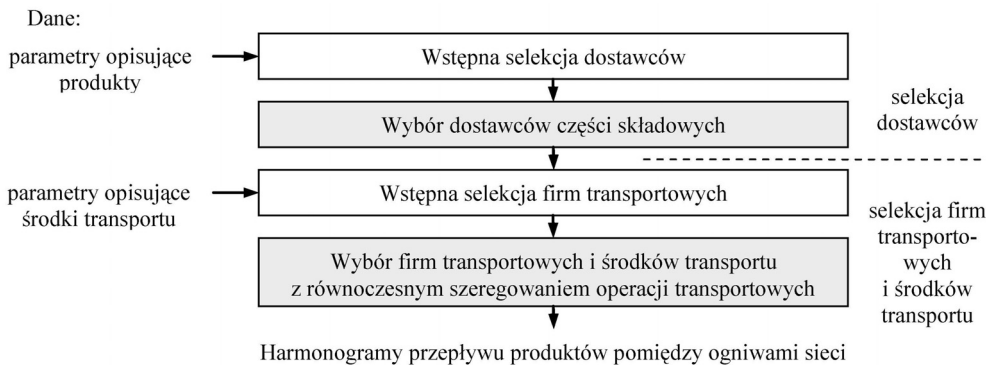
Do ogniw sieci dostaw należy zbiór zakładów produkcyjnych, produkujących złożone wyroby. Znane jest zapotrzebowanie na części składowe (komponenty), niezbędne do produkcji złożonych wyrobów. Części składowe wytwarzane są w zakładach dostawców, stanowiących kolejną grupę ogniw sieci. Do transportu części składowych wykorzystywane są firmy, dysponujące określonymi środkami transportu. Indeksy, służące do opisu zbiorów zbudowanych dla zadania selekcji dostawców i środków transportu zestawiono w tabeli 1.

Opracowana metoda ma charakter hierarchiczny. Na schemacie blokowym metody, zamieszczonym na rysunku 1, pokazane jest, że ostateczny wybór dostawców oraz środków transportowych, przypisanych różnym firmom przewozowym, poprzedzony jest wstępną selekcją dostawców oraz firm transportowych. Wynika to z wielu czynników, jakie należy

uwzględnić w doborze firm partnerskich, co zostało już podkreślone we wprowadzeniu do niniejszej pracy. Wskazane jest tu przeprowadzenie analizy wielokryterialnej problemu. Proponowane jest zastosowanie metody AHP (*Analytic Hierarchy Process*), gdzie każdemu kryterium przypisana jest waga – metody przedstawionej m.in. w pracy [10]. Kilku dostawców oraz kilka firm transportowych, którzy otrzymali najwyższe wskaźniki, jest uwzględnianych na niższym poziomie opracowanej metody. Dla selekcji dostawców oraz firm transportowych zbudowane zostały liniowe modele matematyczne zadań programowania całkowitoliczbowego, zaprezentowane w kolejnych rozdziałach pracy. Służą one minimalizacji kosztów obsługi sieci dostaw. Uwzględnia się tu koszty ponoszone w związku z zakupem części składowych (w tym rabaty), koszty transportu, koszty magazynowania części dostarczonych przedterminowo, kary za opóźnienia w dostawach.

Tabela 1
Zestawienie indeksów, przyjętych do matematycznego opisu problemu

| | |
|--|--|
| f – firma transportowa; $f \in F$; | l – przedział czasowy (okres); $l \in L$; |
| i – dostawca; $i \in I$; | n – numer zlecenia; $n \in N$; |
| j – odbiorca; $j \in J$; | s – środek transportu; $s \in S$. |
| k – część składowa produktu; $k \in K$; | |



Rys. 1. Schemat blokowy opracowanej metody hierarchicznej

3. Selekcja dostawców

Po wstępnej selekcji dostawców, mającej na celu m.in. ograniczenie liczby danych, rozwiązywane jest zadanie programowania całkowitoliczbowego, sformułowane w liniowym modelu matematycznym. Parametry i zmienne, przyjęte dla rozwiązania problemu selekcji dostawców, zestawiono w tabeli 2, gdzie uwzględniono indeksy opisane w tabeli 1.

Tabela 2

Zestawienie parametrów i zmiennych, przyjętych dla zadania selekcji dostawców

| | |
|----------------------|---|
| Parametry wejściowe: | |
| a_{ijk} | – minimalna liczba części składowych k , sprzedawanych przez dostawcę i zakładowi j , upoważniająca do upustu; |
| b_{ijk} | – kwota upustu danego odbiorcy j przez dostawcę i w związku z jednorazową sprzedażą części składowych k w liczbie wynoszącej co najmniej a_{ijk} ; |
| c_{ik} | – cena części składowej k , sprzedawanej przez producenta i (bez uwzględnienia rabatu); |
| d_{ijl} | – szacowana minimalna cena usługi transportowej pomiędzy zakładami i , j wykonywanej w okresie l ; |
| e_{jk} | – kara za każdy dzień opóźnienia w dostawie części składowej k do odbiorcy j ; |
| f_{jk} | – koszt magazynowania w okresie jednostkowym 1 sztuki komponentu k w zakładzie j ; |
| m_i | – maksymalna liczba dostawców, od których chce otrzymywać części składowe odbiorca j ; |
| p_{jkl} | – wielkość zapotrzebowania w zakładzie j na części składowe k w okresie l ; |
| s_{ikl} | – podaż producenta i , dotycząca części składowych k w okresie l ; |
| v_k | – przestrzeń zajmowana przez część składową k w czasie jej transportu (z opakowaniem); |
| A | – zbiór par (j, k) , gdzie odbiorca j ma zapotrzebowanie na części składowe k ; |
| K | – zbiór par (i, k) , gdzie dostawca i produkuje części składowe k ; |
| P | – zbiór trójek (i, k, l) , gdzie dostawca i ma części k , dostępne do transportu w okresie l ; |
| R | – zbiór trójek (j, k, l) , gdzie odbiorca j ma zapotrzebowanie na części składowe k w okresie l ; |
| U | – zbiór trójek (i, j, k) , gdzie producent i , dostarczający części składowe k do odbiorcy j , stosuje upusty, związane z zamówieniem odpowiedniej liczby komponentów k . |
| Zmienne: | |
| g_{jkl} | – liczba części składowych k będących w nadmiarze w zakładzie producenta j w okresie l ; |
| q_{jkl} | – liczba brakujących sztuk części składowych k w zakładzie producenta j w okresie l ; |
| x_{ijkl} | – liczba sztuk części k transportowanych w okresie l pomiędzy zakładami producentów: i, j ; |
| u_{ij} | – 1, jeżeli dostawca i dostarcza komponenty do zakładu j , inaczej $u_{ij} = 0$; |
| y_{ijk} | – 1, jeżeli zamawiana dla jednego transportu liczba części k , mającego miejsce pomiędzy zakładami producentów i, j wynosi co najmniej a_{ijk} , inaczej $y_{ijk} = 0$; |
| z_{ijl} | – 1, jeżeli w okresie l odbywa się transport pomiędzy zakładami producentów: i, j . |

Oto model matematyczny M1, sformułowany dla zadania selekcji dostawców [8]:
Zminimalizować:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} c_{ik} x_{ijkl} - \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} b_{ijk} y_{ijk} + \sum_{(i, j, l) \in T} d_{ijl} z_{ijl} + \sum_{(j, k) \in A} \sum_{l \in L} (e_{jk} q_{jkl} + f_{jk} g_{jkl}) \quad (1)$$

przy ograniczeniach:

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

$$\sum_{l \in L: (j, k, l) \in R} x_{ijkl} \geq a_{ijk} y_{ijk}; \quad (i, j, k) \in U \quad (3)$$

$$x_{ijkl} \leq u_{ij} \cdot \alpha; \quad i \in I; j \in J; k \in K; l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} u_{ij} \leq m_j; \quad j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J: (i, j, l) \in T} x_{ijkl} \leq \sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (i, k, \tau) \in P} s_{ik\tau}; \quad i \in I; k \in K; l \in L \quad (6)$$

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

$$\sum_{\tau \in L: \tau \leq l} \sum_{i \in I} x_{ijk\tau} - \sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (j, k, \tau) \in R} p_{jk\tau} \leq g_{jkl}; \quad j \in J; k \in K; l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{\tau \in L: \tau \leq l \wedge (j, k, \tau) \in R} p_{jk\tau} - \sum_{\tau \in L: \tau \leq l} \sum_{i \in I} x_{ijk\tau} \leq q_{jkl}; \quad j \in J; k \in K; l \in L \quad (9)$$

$$x_{ijkl}, z_{ijl} \in \{0, 1\}; \quad i \in I; j \in J; k \in K; l \in L \quad (10)$$

W minimalizowanej sumie (1) reprezentowane są koszty: zakupu części składowych (uwzględniające rabaty za zakupy określonej liczby sztuk tych części), transportu, związane z nieterminowością dostaw części składowych – koszty magazynowania oraz kary za każdy umowny okres opóźnienia w dostawie części. Wyszczególnione koszty transportu części składowych to dane szacunkowe. W wyborze dostawców istotna jest lokalizacja zakładów produkujących części składowe, mająca wpływ na koszty dostarczenia półproduktów. Koszty transportu, uwzględniające parametry środków transportu oraz rabaty za usługi przewozowe, dawane przez wybrane firmy, uwzględnione są na niższym poziomie metody – w zadaniu selekcji firm transportowych i środków transportu.

Ograniczenia, zbudowane dla opisywanego modelu matematycznego, zapewniają: (2) – dostarczenie wymaganej liczby poszczególnych części składowych do każdego odbiorcy – zakładu produkującego złożone wyroby; (3) – udzielenie rabatów w wyniku zamówienia odpowiedniej liczby sztuk części składowych; (4) – ustalenie listy dostawców części

składowych; (5) – ograniczenie liczby dostawców części składowych; (6) – uwzględnienie dostępności poszczególnych części składowych w określonych okresach u danych dostawców; (7) – wyznaczenie zapotrzebowania na użycie środków transportowych pomiędzy dostawcami i odbiorcami w określonych okresach; (8) – określenie nadwyżek części składowych u producentów złożonych wyrobów – w poszczególnych okresach; (9) – wyznaczenie niedoborów części składowych u odbiorców – w poszczególnych okresach; (10) – odpowiednie typy zmiennych.

Ograniczenie (5), limitujące liczbę dostawców, może być oczywiście pominięte. Model może służyć do czynności symulacyjnych: badania liczby dostawców na terminy dostaw i ponoszone w związku z tym koszty. Zwiększenie liczby dostawców przyczynia się jednak do zmniejszenia kwoty rabatów, uzyskiwanych za zamówienie odpowiedniej liczby sztuk części składowych.

4. Selekcja firm transportowych i środków transportu

Wybierane środki transportu, przynależne poszczególnym, wstępnie wybranym firmom, służą do wykonywania usług przewozowych pomiędzy wyselekcjonowanymi dostawcami a odbiorcami. Znane są ceny usług transportowych, parametry opisujące poszczególne środki transportowe oraz ich dostępność w poszczególnych okresach. Zestawienie wszystkich parametrów oraz zmiennych, przyjętych dla zadania wyboru firm transportowych i środków transportu zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3

Zestawienie parametrów i zmiennych, przyjętych dla zadania selekcji środków transportu

| Parametry i zbiory: | |
|---------------------|--|
| a_{nk} | – liczba części składowych 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 ; |
| 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 części składowej k (koszt załadunku, wyładunku) – koszt zmienny; |
| c_{4nk} | – kara za każdy okres opóźnienia w dostarczeniu części k , ustalona dla zlecenia n ; |
| c_{5nk} | – koszt magazynowania części składowej k w okresie jednostkowym, w związku z przedterminowym dostarczeniem go – dla zlecenia n ; |
| g_{sl} | = 1, jeżeli środek transportu s jest dostępny w okresie l , inaczej $g_{sl} = 0$; |

Tabela 3 cd.

| | |
|-----------------|---|
| h_{sk} | = 1, jeżeli środek transportu s jest zdolny do przewozu części składowych k , inaczej $h_{sk} = 0$; |
| m_{1s} | – dopuszczalna masa towarów przewożonych środkiem transportu s ; |
| m_{2k} | – masa części składowej k wraz z opakowaniem; |
| ω_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: | |
| u_{ns} | = 1, jeżeli do realizacji zlecenia n wybrany został środek s , inaczej $u_{ns} = 0$; |
| q_{ff} | = 1, jeżeli firma transportowa f obsługuje odbiorcę j , inaczej $q_{ff} = 0$; |
| x_{nks} | – liczba części składowych k dostarczanych środkiem transportu s w ramach realizacji zlecenia n ; |
| y_{ff} | = 1, jeżeli firma f udziela upustu odbiorcy j , inaczej $y_{ff} = 0$; |
| z_{nsl} | = 1, jeżeli w okresie l ma miejsce transport środkiem s w związku z realizacją zlecenia n ; |
| p_{nsl} | – liczba nadmiarowych części składowych k (dostarczonych przedterminowo) w okresie l – dla zlecenia n realizowanego przy użyciu środka transportu s ; |
| w_{nsl} | – liczba brakujących sztuk części składowych k w okresie l – dla zlecenia n realizowanego przy użyciu środka transportu s . |

Oto model matematyczny M2, sformułowany dla zadania selekcji firm i środków transportowych:

Zminimalizować:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{(n,i,j) \in D} \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \sum_{l \in L} \frac{c_{1ijs} c_{2sl}}{\tau_{sij}} z_{nsl} + \\
 & + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S} \left[c_{3sk} x_{nks} + \sum_{l \in L} (c_{4nk} w_{nsl} + c_{5nk} p_{nsl}) \right] - \sum_{f \in F} \sum_{j \in J} \beta_{ff} y_{ff}
 \end{aligned} \tag{11}$$

przy ograniczeniach:

$$\sum_{l \in L, g_{sl}=1} z_{nsl} \geq \tau_{sij} u_{ns}; \quad (n, i, j) \in D, \quad s \in S \quad (12)$$

$$\sum_{s \in S} x_{nks} = a_{nk}; \quad k \in K, \quad n \in N \quad (13)$$

$$x_{nks} \leq \alpha h_{sk} u_{ns}; \quad k \in K, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (14)$$

$$q_{ff} \geq u_{ns}; \quad (f, s) \in P, \quad (n, i, j) \in D \quad (15)$$

$$\sum_{f \in F} q_{ff} \leq \omega_j; \quad j \in J \quad (16)$$

$$\sum_{k \in K} v_{2k} x_{nks} \leq v_{1s}; \quad n \in N, \quad s \in S \quad (17)$$

$$\sum_{k \in K} m_{2k} x_{nks} \leq m_{1s}; \quad n \in N, \quad s \in S \quad (18)$$

$$lz_{nsl} - rz_{nsr} \leq \tau_{sij} - 1 + \alpha(1 - z_{nsr}); \quad (n, i, j) \in D, \quad l, r \in L, \quad r < l \quad (19)$$

$$\sum_{n \in N} z_{nsl} \leq g_{sl}; \quad l \in L, \quad s \in S \quad (20)$$

$$lz_{nsl} \geq t_{\min n} - \alpha(1 - z_{nsl}); \quad l \in L, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (21)$$

$$lz_{\mu sl} - rz_{nsr} \geq u_{\mu s} (\tau_{s\epsilon j} + 1) - \alpha(2 - z_{nsr} - z_{\mu sl}); \quad (22)$$

$$l, r \in L, \quad l > r, \quad (n, i, j), (\mu, \epsilon, \beta) \in D, \quad n \neq \mu$$

$$\sum_{(n, i, j) \in D} \sum_{s \in S, (f, s) \in P} \frac{c_{1ijs} c_{2sl}}{\tau_{sij}} z_{nsl} + \sum_{n \in N} \sum_{k \in K} \sum_{s \in S, (f, s) \in P} c_{3sk} x_{nks} \geq b_{ff} y_{ff}; \quad (23)$$

$$j \in J, \quad f \in F$$

$$w_{nsl} \geq x_{nks} - \alpha(1 - z_{nsl}); \quad k \in K, \quad s \in S, \quad l \in L, \quad l > t_{\max n} + 1, \quad g_{sl} = 1 \quad (24)$$

$$w_{nsl} \leq w_{nsl-1}; \quad k \in K, \quad s \in S, \quad l \in L, \quad l > t_{\max n} + 1, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0 \quad (25)$$

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

$$k \in K, \quad s \in S, \quad (n, i, j) \in D, \quad (26)$$

$$l \in L, \quad l < t_{\max n}, \quad l \geq \tau_{sij}, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0$$

$$P_{nsl+1} \geq P_{nsl}; \quad k \in K, \quad s \in S, \quad l \in L, \quad l < t_{\max n} - 1, \quad g_{sl} = 1, \quad a_{nk} > 0 \quad (27)$$

$$u_{ns}, z_{nks} \in \{0, 1\}; \quad n \in N, \quad k \in K; \quad s \in S; \quad y_{ff}, q_{ff} \in \{0, 1\}; \quad f \in F, \quad j \in J \quad (28)$$

$$x_{nks}, P_{nsl}, w_{nsl} \geq 0, \text{ całkowite}; \quad k \in K, \quad l \in L, \quad n \in N, \quad s \in S \quad (29)$$

Minimalizowana suma (11) zawiera koszty stałe oraz zmienne wykonania poszczególnych zleceń transportowych [7]. Uzależnione są one od rodzaju wybranych środków transportu i liczby transportowanych produktów. Wzięto także pod uwagę upusty, koszty magazynowania produktów dostarczonych przedterminowo oraz kary za każdy okres opóźnienia w dostarczeniu poszczególnych części składowych. Poszczególne ograniczenia gwarantują: (12) – wykonanie wszystkich czynności transportowych (z uwzględnieniem czasów przewozów); (13) – rozdział wszystkich produktów pomiędzy środki transportu; (14) – przypisanie środków transportu poszczególnym zleceniom; (15) – ustalenie listy firm transportowych, obsługujących poszczególnych odbiorców; (16) – ograniczenie liczby firm transportowych, obsługujących poszczególnych odbiorców; (17) – weryfikację przestrzeni ładunkowej dla każdego środka transportu (zapewnienie miejsca na poszczególne produkty); (18) – weryfikację ładowności poszczególnych środków transportu; (19) – ciągłość wykonywania czynności przewozowych przez poszczególne środki transportu; (20) – wykonywanie co najwyżej jednego zlecenia przez każdy środek transportu w danej chwili; (21) – rozpoczęcie wykonywania czynności transportowych dopiero po przygotowaniu produktów; (22) – wyznaczenie minimalnych przerw między kolejnymi przewozami w celu zarezerwowania czasu dojazdu do dostawców; (23) – przydzielenie upustów (podjęcie decyzji) odbiorcom przez poszczególne firmy transportowe; (24), (25) – wyznaczenie liczby brakujących części składowych (niedoborów) w poszczególnych okresach; (26), (27) – wyznaczenie liczby części, które muszą być magazynowane w poszczególnych okresach; (28), (29) – odpowiednie typy zmiennych.

Podobnie, jak to ma miejsce w przypadku problemu rozpatrywanego na poziomie górnym (zadanie selekcji dostawców), pominięte może zostać ograniczenie (16), limitujące liczbę firm transportowych, obsługujących odbiorców. Zwiększenie liczby firm transportowych może wpłynąć na poprawę terminowości dostaw, co oczywiście wpływa na zmianę

kosztów związanych z czynnościami transportowymi – zmniejszenie kar i kosztów magazynowania, ale również zmniejszenie upustów i wzrost liczby przejazdów.

Efektom zastosowania metody jest harmonogram dostaw części składowych od wyselekcjonowanych dostawców do zleceniodawców, przy wykorzystaniu wybranych firm i przynależnych im środków transportu.

5. Eksperymenty obliczeniowe

Przedstawiona metoda została zweryfikowana w eksperymentach obliczeniowych. Zbudowane liniowe modele matematyczne zostały zakodowane w języku programowania matematycznego [11]. Następnie rozwiązano testowe przykłady, zastosowano pakiet optymalizacji dyskretnej. Dla każdego zadania najpierw był rozwiązywany problem opisany zależnościami matematycznymi przypisanymi modelowi M1 (selekcja dostawców), a następnie wykorzystano model M2 (selekcja firm transportowych i środków transportu). Testowe przykłady służyły przeprowadzeniu pewnych symulacji przepływu produktów, gdzie wyodrębniono dwa przypadki:

- P1 – równoczesne wzięcie pod uwagę wszystkich odbiorców części składowych – wszyscy odbiorcy przynależą do sieci (zbiór J , opisany w tabeli 1, zawiera wykaz wszystkich odbiorców).
- P2 – oddzielne wzięcie pod uwagę każdego odbiorcy (zbiór J jest jednoelementowy). Zadania M1 oraz M2 kolejno rozwiązywane są dla poszczególnych odbiorców. Uwzględniono tu wszystkie możliwe permutacje uszeregowania odbiorców. W danych dla każdego rozwiązywanego zadania zmniejszała się liczba dostępnych części składowych, oferowanych przez dostawców oraz zmieniała się liczba dostępnych środków transportu w poszczególnych okresach.

Rozmiary porównywanych zadań oraz wartości ekstremalne otrzymanych wskaźników porównań zestawiono w tabeli 4. Obliczenia przeprowadzono dla 3 odbiorców. Oznacza to 6-krotne rozwiązywanie problemu P2 (dla wszystkich permutacji). W celu umożliwienia porównań otrzymywanych rozwiązań przyjęto założenia: jednakowe terminy wykonania wszystkich zleceń, jednakowe koszty, ponoszone w związku z nieterminowością dostaw: koszty magazynowania, kary.

Wskaźnik δ_j , zdefiniowany w tabeli 4, służy porównaniu długości uszeregowania operacji transportowych dla przypadków: P1, P2. Otrzymane wartości tego wskaźnika wykazały skrócenie długości uszeregowania o około 20% dla przypadku P2, w porównaniu do problemu P1. Największe skrócenie długości harmonogramu miało oczywiście miejsce w przypadku, gdy odbiorca znacznej liczby części składowych był rozpatrywany jako pierwszy w danej permutacji odbiorców. W takim przypadku naliczane były mniejsze koszty – o kilkanaście procent, w odniesieniu do przypadku P1. Redukcja kosztów, potwierdzona wartością wskaźnika θ_j , wynikała przede wszystkim ze zmniejszenia kar za opóźnienia w dostawach oraz obniżenia kosztów magazynowania.

Tabela 4
Zestawienie parametrów grup i ekstremalnych wyników eksperymentów

| Parametry grupy testowych zadań | | | | | | | | | | Wskaźniki porównania | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Grupa | I' | J' | K' | N' | F' | S' | ϕ_1 | ϕ_2 | ϕ_3 | $\min_{j \in J} \delta_j$ | $\max_{j \in J} \delta_j$ | $\min_{j \in J} \theta_j$ | $\max_{j \in J} \theta_j$ |
| 1 | 3 | 3 | 6 | 6 | 3 | 8 | 1200 | 4000 | 5600 | 0,83 | 1,26 | 0,91 | 1,11 |
| 2 | 3 | 3 | 8 | 8 | 4 | 12 | 3000 | 6000 | 7000 | 0,79 | 1,23 | 0,89 | 1,14 |
| 3 | 4 | 3 | 10 | 8 | 5 | 15 | 8000 | 8000 | 8000 | 0,77 | 1,17 | 0,83 | 1,24 |

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

$$\delta_j = \frac{C_{\max j}^{P2}}{C_{\max j}^{P1}}, \text{ gdzie } C_{\max j}^P \text{ – czas zakończenia czynności transportowych, wyznaczone dla odbiorcy } j \text{ oraz problemu } P;$$

$$\theta_j = \frac{\gamma_j^{P2}}{\gamma_j^{P1}}, \text{ gdzie } \gamma_j^P \text{ – koszty czynności transportowych, obliczone dla odbiorcy } j \text{ oraz problemu } P.$$

6. Uwagi końcowe

Zaletą opracowanej metody jest nie tylko to, że umożliwia selekcję dostawców czy wybór firm transportowych i związanych z nimi środków transportu, ale również budowę harmonogramów wykonywania operacji transportowych przy użyciu wyselekcjonowanych środków transportu. Istotne jest tutaj przeprowadzenie wstępnej, wielokryterialnej selekcji dostawców oraz firm transportowych. W ten sposób można ograniczyć i tak znaczną liczbę parametrów, zmiennych, stosowanych w matematycznym opisie problemu.

Hierarchiczne podejście do problemu selekcji dostawców oraz firm transportowych i środków transportu, zastosowane w opracowanej metodzie, umożliwia rozwiązywanie zadań o stosunkowo dużych rozmiarach. Każde z kolejno rozwiązywanych zadań może być oczywiście rozbudowane, zmodyfikowane. Zmienione mogą być np. regulaminy upustów dawanym odbiorcom przez dostawców (producentów części składowych) czy firmy transportowe. W przypadku gdy odbiorcy tworzą sieć należącą do jednego właściciela, upusty mogą być dawane w odniesieniu do całej sieci. Wspomniane w pracy możliwości modyfikacji modeli przyczyniają się do badania wpływu liczby potencjalnych dostawców, firm transportowych, środków transportu na czas wykonania czynności transportowych oraz związane z tym koszty.

Przeprowadzone eksperymenty obliczeniowe pokazały, że symulacje mogą być również przeprowadzane na innych płaszczyznach. Porównanie problemów P1 i P2, dokonane w rozdziale 5, jest istotne z punktu widzenia tzw. graczy, którzy na bieżąco chcą śledzić opłacalność swojej przynależności do sieci dostaw. Zaprezentowana metoda sprzyja

przeprowadzaniu różnego rodzaju symulacji i dokonywania ocen – głównie ze względu na stosowane kryterium kosztowe. Każdy budowany harmonogram przepływu produktów i związane z nim koszty oceniane są przez odbiorców części składowych. W rzeczywistości, oprócz kosztów uwzględniane są również inne czynniki, np. społeczne, związane z ryzykiem współpracy, doświadczenia we współpracy, perspektywy w dłuższym horyzoncie czasowym.

W przypadku rozbudowanych sieci dostaw metoda może być stosowana wielokrotnie. Odbiorcy części składowych, produkujący złożone wyroby stają się dostawcami. Ponowne zastosowanie programowania matematycznego (modeli M1 i M2) gwarantuje odpowiednią jakość otrzymywanych rozwiązań. Obserwowany rozwój techniki komputerowej i oprogramowania sprzyja stosowaniu tego narzędzia.

Literatura

- [1] Witowski J., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003.
- [2] Fechner I., *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
- [3] Aissaoui N., Haourai M., Hasini E., *Supplier selection and order lot sizing modeling: A review*. Computers & Operations Research, 34, 2007, 3516–3540.
- [4] Chopra S., Meindl P., *Supply Chain Management*. Prentice Hall, New York 2001.
- [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, 36, 2008, 76–90.
- [6] Sawik T., *Multiple objective supplier selection in make-to-order environment*. Omega, The International Journal in Management Science, 38, 2010, 203–212.
- [7] Magiera M., *Metoda selekcji firm transportowych i środków transportu dla sieci dostaw*. Logistyka 2011/2, płyta CD, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2011.
- [8] Magiera M., *Metoda wspomagania zarządzania przepływami w elastycznych sieciach dostaw*. [w:] Automatykacja procesów dyskretnych. Teoria i zastosowania, tom II pod red. A. Świerniaka i J. Krystek, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2010, 133–141.
- [9] Ambroziak T., Pyza D., *O pewnym podejściu do oceny operatora usług logistycznych*. [w:] Wybrane zagadnienia logistyki stosowanej, Rocznik 2007, Polska Akademia Nauk – Komitet Transportu, 169–175.
- [10] Krawczyk S., *Zarządzanie procesami logistycznymi*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2001.
- [11] Fourer R., Gay D., Kernighan D., *AMPL – A Modeling Language for Mathematical Programming*. Boyd & Fraser Publishing Company 1993.