Mariusz Izdebski, Ilona Jacyna-Gołda, Teresa Siedlecka-Wójcikowska

Efektywność przydziału środków transportu w łańcuchach dostaw

JEL: R41. DOI: 10.24136/atest.2019.107.

Data zgłoszenia: 13.03.2019. Data akceptacji: 15.04.2019.

Praca przedstawia zagadnienie doboru środków transportu realizujących określone zadania logistyczne w łańcuchach dostaw. W pracy wyjaśniono pojęcie przydziału w łańcuchach dostaw, efektywności oraz omówiono wskaźniki oceny efektywności zrealizowanego przydziału. Wśród wskaźników oceny wyróżniono wskaźniki techniczne, ekonomiczne i jakościowe. Problem przydziału w łańcuchach dostaw jest złożonym problemem decyzyjnym rozważanym w kontekście zadań optymalizacyjnych z wielokryterialnymi funkcjami oceny. Dodatkowo scharakteryzowano uwarunkowania techniczno-technologiczne decydujące o efektywnym przydziale środków w łańcuchu dostaw, zdefiniowano pojęcie wydajności środka transportowego o działaniu ciągłym i przerywanym. W pracy również przedstawiono algorytm budowy modelu oceny łańcuchów dostaw, zdefiniowano najważniejsze jego kroki oraz przedstawiono algorytm wyboru efektywnego przydziału środków technicznych funkcjonujących w danym łańcuchu dostaw.

Słowa kluczowe: łańcuchy dostaw, środki transportu, efektywność.

Wstęp

W gospodarce rynkowej działania w zakresie podniesienia efektywności realizacji usług logistycznych wpływają istotnie na wzrost produktywności przedsiębiorstw. W związku z tym dużą uwagę zwraca się na kształtowanie efektywnych sieci logistycznych. Operatorzy logistyczni szukają bardziej skoordynowanego fizycznego przepływu materiałów i przepływu informacji celem poprawy wydajności przedsiębiorstwa.

Badania dotyczące modelowania realizacji zadań logistycznych w łańcuchach dostaw w zakresie oceny efektywności funkcjonowania tych łańcuchów z uwzględnieniem aspektu przydziału środków można podzielić na obszary badawcze obejmujące zagadnienia [19, 14, 15, 3, 2, 13, 11]:

- ♦ techniczno-technologiczne np. analizę i ocenę efektywnej organizacji łańcucha dostaw celem zwiększenia przewagi konkurencyjnej, badanie zależności wydajności procesów transportowych lub logistycznych od wyposażenia infrastrukturalnego, wydajności itp., analizę i ocenę efektywności obsługi ładunków w obiektach logistycznych typu: magazyn, centrum dystrybucyjne, terminale przeładunkowe różnych gałęzi transportu itp., analizę i ocenę funkcjonowania obiektów magazynowych ze względu na przekształcenia wynikające z realizacji procesu magazynowego, badanie wydajności środków transportu i urządzeń przeładunkowych stosowanych w różnych ogniwach łańcucha dostaw, dobór metod do kształtowania efektywnych systemów logistycznych,
- ♦ ekonomiczne w zakresie kosztów realizacji usług i nakładów inwestycyjnych, a w szczególności, kosztów realizacji zadań transportowych, kosztów jednostkowych przemieszczania ładunków w łańcuchu dostaw, i struktury tych kosztów, kosztów przejścia ładunków przez obiekty logistyczne, oceny efektywności ekonomicznej realizacji zadań w sieciach transporto-

wych, zaopatrzenia, w tym i łańcuchach dostaw, efektywności wykorzystania niskoemisyjnych środków transportu oraz minimalizacji kosztów środowiskowych wynikających z emisji związków szkodliwych spalin, jakości,

- ♦ niezawodności i bezpieczeństwa realizacji usług np. badanie niezawodności realizacji procesów logistycznych w łańcuchach dostaw, badanie ryzyka niepoprawnej realizacji procesów logistycznych w łańcuchach dostaw, badanie procesów logistycznych w przedsiębiorstwie z zastosowaniem modelu SCOR, analizy i oceny zarządzania łańcuchem dostaw przez przedsiębiorstwa w aspekcie poprawy jakości i funkcjonalności łańcuchów zarówno w sferze zaopatrzenia jak i dystrybucji.

Jednym ze sposobów zwiększającym efektywność przepływu strumieni ładunków w łańcuchu dostaw jest odpowiedni przydział środków transportu do zadań zarówno w ogniwach sieci logistycznej np. obiektach magazynowych jak i na połączeniach pomiędzy ogniwami tj. przydział środków transportu zewnętrznego do zadań przewozowych. Struktura przykładowego łańcucha dostaw z uwzględnieniem elementów liniowych i punktowych w której zachodzą procesy decyzyjne przydziału środków technicznych przedstawiono na rys. 1.

Różnorodność zadań realizowanych w łańcuchach dostaw, różnoraki typ środków transportowych stosowanych do realizacji zleconych zadań podkreśla złożoność problemu przydziału odpowiedniego typu środka funkcjonującego w danym łańcuchu dostaw. Przydział środków do zadań jest złożonym problemem optymalizacyjnym ukazywanym w aspekcie wielokryterialnego problemu decyzyjnego [9, 12, 5, 6, 7, 10].

W celu rozwiązania przydziału środków technicznych w łańcuchach dostaw należy uwzględnić szereg ograniczeń dotyczących zarówno aspektów technicznych np. pojemności pojazdów, ekonomicznych np. kosztów realizacji zadań, czy jakościowych np. terminowość realizacji zadań logistycznych.

Zgodnie z literaturą klasyczne zagadnienie przydziału polega na przypisaniu dysponowanych zasobów np. pojazdów, pracowników do zleconych zadań. Założenie przydziału jest takie, aby

Rys. 1. Struktura łańcucha dostaw [9]

Rys. 2. Przydział pojazdów w systemie hierarchicznym sieci transportowej [9]

Rys. 3. Przydział pojazdów w systemie całopojazdowym [9]

Rys. 4. Przydział pojazdów w systemie rozproszonym [8]

każde zadanie, jeżeli to możliwe przydzielone zostało dokładnie jednemu wykonawcy i każdy wykonawca zrealizował tylko jedno zadanie. Zagadnienie jest często modyfikowane poprzez wprowadzanie różnych kombinacji ilości przydzielanych zadań do zasobów np. równa ilość zadań i zasobów, większa liczba zadań niż zasobów, mniejsza ilość zadań niż zasobów. Miernikami oceny poprawnie wygenerowanego przydziału w łańcuchach dostaw określające jego efektywność są zazwyczaj wyznaczenie

minimalnego czasu realizacji wszystkich zadań lub minimalnego kosztu realizacji zadań. Problem przydziału środków transportu w łańcuchach dostaw pojawia się w ogniwach łańcucha dostaw, mówimy wtedy o przydziale pojazdów transportu wewnętrznego oraz w elementach liniowych łańcucha dostaw, czyli analizowany jest przydział pojazdów transportu zewnętrznego. Przykładowe momenty zaistnienia przydziału środków w łańcuchu dostaw przedstawiono na rys. 2, rys 3, rys. 4. W zależności od rodzaju systemu transportowego funkcjonującego w danym łańcuchu dostaw zagadnienie przydziału przybiera różną postać. Na rys. 2 przedstawiono przydział pojazdów do tras w strukturach hierarchicznych łańcucha dostaw. Zadanie w takim systemie transportowym można zdefiniować jako pobranie ładunku od dostawcy i przetransportowanie go do magazynu lub pobranie ładunku z magazynu i transport do odbiorcy. W zależności od wielkości ładunku do przewiezienia i pojemności pojazdu, który wykonuje dany przewóz, liczba zadań pomiędzy tymi obiektami może być różna.

Celem przydziału jest określenie liczby pojazdów, które wykonują zadania w taki sposób, aby trasa, w której realizowane są zadania, była minimalna w kontekście przyjętych funkcji kryteriów. Należy zauważyć, że liczba pojazdów, które wykonują zadania, wpływa na czas potrzebny na realizację tej trasy.

Sieć transportowa w analizowanym systemie przewozowym składa się z dostawców (12,22, 42,52), punktów koncentracji – magazynów (15, 35, 55) i firmy produkcyjnej (38). Głównym celem jest dostarczenie ładunku do firmy produkcyjnej od dostawców za pośrednictwem magazynów. realizację tej trasy.

W przypadku systemów transportowych realizujących w łańcuchach dostaw przewozy całopojazdowe [8], zagadnienie przydziału pojawia się w momencie wyjazdu pojazdu z bazy do pierwszego zadania przewozowego (trasy) (rys. 3, baza – 31). Problematyczne jest więc wskazanie zadania realizowanego w czasie wyjazdu pojazdu z bazy. Moment przydziału występuje również po wykonaniu bieżącego zadania przewozowego (rys. 3, zadanie przewozowe opisane przez elementy 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27). Problemem decyzyjnym jest więc wskazanie kolejnego zadania do realizacji (na Rys. 3 element struktury 46 będący początkiem nowego zadania 46, 56, 55, 65, 64, 63) lub powrót pojazdu do bazy.

Odbiorcy w łańcuchach dostaw często rozmieszczeni są w strukturze rozproszonej. System o rozproszonych punktach nadania i jednej bazie zbiorczej występuje w literaturze jako system przewozów zwózkowych [8]. Polega on na przemieszczaniu ładunku z wielu punktów nadania do jednego masowego punktu odbioru. Podsystemy zwózkowe są stosowane wtedy, gdy zachodzi potrzeba odbioru ładunku w niewielkich ilościach z wielu miejsc (np. odbiór odpadów komunalnych) przy czym proces zwózki realizowany jest jednym środkiem. Problemy planowania tras przewozu w tego typu systemach jest sformułowany jako *n*-komiwojażerów [8].

Problem przydziału pojazdów do zadań w systemach zwózkowych jest zagadnieniem trudnym i złożonym. Wynika to po pierwsze z wyboru zadania, które należy zrealizować jako pierwsze przy rozpoczęciu pracy danego pojazdu, a po drugie wyboru kolejnego zadania w momencie, gdy pojazd kończy realizację bieżącego zadania (trasy załadunkowej), wyładunku ładunek w punkcie i pojawia się problem, do którego zadania ponownie go skierować. Schemat problemu przydziału przedstawiono na rys. 4. Zadaniem w systemie zwózkowym można określić trasę jazdy pomiędzy punktami załadunkowymi. np. zadanie 1 – punk-

ty 52,42, zadanie 2 – 23, 14, zadanie 3 – 29, 28,27. Dodatkowo oznaczono bazę transportową jako punkt 54, oraz punkt wyładunkowy numerem 46. Na poniższym rysunku można zauważyć przydział baza – zadanie 1 (trasa dojazdowa – kolor jasny niebieski), oraz dwa przydziały zadanie np. 2 i 3. Oczywiście różne mogą być warianty przydziałów np. same przydziały baza – zadanie 1, baza – zadanie 2 i baza zadanie 3. Celem jest wskazanie najlepszego przydziału zgodnie z przyjętymi funkcjami kryteriów.

Z kolei przydział pojazdów transportu wewnętrznego do zadań realizowanych w ogniach łańcucha dostaw np. obiektach magazynowych polega na takim przypisaniu środków transportu wewnętrznego do zadań np. przeładunkowych, aby czas realizacji tych zadań był jak najkrótszy.

W pracy scharakteryzowano uwarunkowania techniczno-technologiczne decydujące o efektywnym przydziale środków w łańcuchu dostaw, zdefiniowano pojęcie wydajności, które odgrywa istotną rolę w procesie przydziału środka transportu do zadania, opisano algorytm budowy modelu oceny przydziału, wskaźniki oceny wyznaczające efektywny przydział.

1. Uwarunkowania techniczno-technologiczne oceny efektywności przydziału środków

1.1. Założenia ogólne

Ważnym obszarem badawczym oceny efektywności funkcjonowania łańcucha dostaw w procesie obsługi dóbr rzeczowych (surowców, komponentów do produkcji, wyrobów gotowych itp.) przemieszczanych między dostawcami a odbiorcami są aspekty techniczno-technologiczne przydziału środków transportu do zadań. Kreowanie efektywnych rozwiązań poszczególnych ogniw łańcucha dostaw zależy m.in. od branży, charakteru łańcucha dostaw oraz założonych parametrów technicznych, technologicznych, jak i organizacyjnych całego łańcucha. Ważnym aspektem, który należy brać pod uwagę przy ocenie efektywności funkcjonowania łańcuchów dostaw w kontekście zagadnienia przydziału środków jest minimalizacja czasów realizacji zamówień i podnoszenie poziomu obsługi klienta oraz jakości usług logistycznych. Dużą rolę odgrywa czas realizacji poszczególnych czynności odwzorowany w kartach procesu przepływu czy cyklach transportowych. Czas ten determinuje efektywność funkcjonowania danego obiektu w łańcuchu dostaw. Decydującym czynnikiem wpływającym na minimalizację czasu dostaw jest odpowiedni przydział środków tj. pojazdów i pracowników do określonych zadań realizowanych w łańcuchu dostaw zarówno w danych ogniach łańcucha jak i na relacjach zewnętrznych.

Wyznaczenie efektywnego przydziału środków do zadań w łańcuchach dostaw musi się odbywać przy spełnieniu określonych ograniczeń wynikających między innymi z konieczności realizacji ustalonych zadań logistycznych oraz wydajności elementów wyposażenia poszczególnych ogniw jak i potrzeb klientów.

Efektywny przydział środków transportu w punktowych ogniach łańcucha dostaw, powinien się odbywać w trzech etapach, w których brane są pod uwagę różne kryteria doboru:

- ♦ pierwszy etap to przydział środków pod względem ich funkcjonalnego przeznaczenia, uwarunkowany konkretną sytuacją technologiczną (np. rodzaj obsługiwanego ładunku, relacja przeładunkowa itp.). Jako kryteria przydziału w etapie pierwszym proponuje się m.in. minimalizację ryzyka uszkodzeń towaru i ładunku w procesie przeładunku, minimalizację zagrożeń pracowników uczestniczących w tym procesie itp.
- ♦ drugi etap to dobór środków do założonych zadań. W tym etapie brana jest pod uwagę wielkość obrotów masy ładun-

kowej np. w ciągu roku. Kryteriami technicznymi doboru środków w drugim etapie mogą być: wydajność dostosowana do wielkości zadań przeładunkowych i przewozowych, wydajność dostosowana do szczytów przewozowych, stopień dostosowania istniejącej infrastruktury technicznej (długość frontów ładunkowych, szerokość placów manipulacyjnych, powierzchnie placów składowych itp.), zgodność z organizacją pracy punktu ładunkowego (częstotliwość podstawień wagonów, liczba zmian pracy w ciągu doby).

- ♦ trzeci etap to rachunek ekonomiczny celowości zastosowania przydziału określonych pojazdów do zadań. Ostateczny przydział następuje po analizie ekonomicznej potwierdzającej zasadność zrealizowanego przydziału. Na etapie trzecim wybór wykonywany jest według kryterium minimalizacji ponoszonych nakładów i kosztów eksploatacji, wyrażonych za pomocą tzw. wskaźnika efektywności eksploatacji danego środka transportu.

1.2. Wydajność środków transportu w łańcuchach dostaw

Jednym z głównych czynników charakteryzujących dany środek transportowy decydujący o przydziale go do określonych zadań przeładunkowych, przewozowych jest wydajność. W elementach łańcucha dostaw np. obiektach magazynowych w przypadku transportu wewnętrznego lub na połączeniach między ogniwami łańcucha w przypadku transportu zewnętrznego na ogół definiuje się dwie rodzaje wydajności tj. wydajność środków transportu o działaniu ciągłym i przerywanym. Wydajność środka transportu o działaniu przerywanym określana jest zarówno dla transportu wewnętrznego jak i zewnętrznego. Z kolei wydajność środków o działaniu ciągłym odnosi się głównie do urządzeń przeładunkowych zainstalowanych w ogniach łańcucha dostaw.

Wydajność W_0 urządzeń transportowych o ruchu przerywanym oblicza się wg wzoru [4]:

$$W_0 = m \cdot i = \frac{3600}{T} \cdot m \quad [\text{t/h}] \quad (1)$$

gdzie:

m – masa ładunku w t,

i – liczba cykli roboczych w ciągu godziny,

T – czas trwania jednego cyklu w s.

Wydajność W_0 urządzeń transportowych o ruchu ciągłym może być wyznaczana jako wydajność odniesiona do jednostki objętości:

$$W_0 = 3600 \cdot F \cdot v \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2)$$

lub odniesiona do jednostki masy:

$$Q_0 = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \rho = W_0 \cdot \rho \quad [\text{t/h}] \quad (3)$$

gdzie:

F – powierzchnia przekroju poprzecznego transportowanego materiału, m^2 ,

v – prędkość przemieszczania strugi materiału, m/s ,

ρ – gęstość materiału, t/m^3 .

Przy czym w zależności od rodzaju naczynia ładunkowego oraz ładunku oblicza się ją:

- ♦ w metrach sześciennych na godzinę:

$$W_0 = 3,6 \cdot \frac{u_0}{a} \cdot v \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4)$$

- ♦ w tonach na godzinę:

$$W_q = 3,6 \cdot \frac{m_l}{a} \cdot v \quad [\text{t/h}] \quad (5)$$

- ♦ w sztukach jednostek ładunkowych na godzinę:

$$W_s = 3600 \cdot \frac{v}{a} \quad [\text{sztuk/h}] \quad (6)$$

gdzie:

u_0 – pojemność naczynia, dm³,

m_l – masa jednostkowa ładunku, kg,

a – odległość między ładunkami, m,

v – prędkość przemieszczania materiału, m/s.

Jeżeli ładunki podawane są w stałych odstępach czasu $t = \frac{a}{v}$ (s), wówczas:

$$W_s = \frac{3600}{t} \quad [\text{sztuk/h}] \quad (7)$$

lub

$$(8) \quad W_q = 3,6 \cdot \frac{m_l}{a} \quad [\text{sztuk/h}]$$

Tak wyznaczona wydajność urządzeń transportowych jest wydajnością teoretyczną W_0 . W praktyce wydajność uzyskiwana przez urządzenia jest mniejsza. Dlatego konieczne jest wyznaczenie tzw. wydajności technicznej W_t , wydajności praktycznej W_p oraz wydajności średniej W_{sr} . Uwzględniając odpowiednie współczynniki korygujące φ można obliczyć:

- ♦ wydajność techniczną W_t :

$$W_t = W_0 \cdot \varphi_1 \quad (9)$$

- ♦ wydajność praktyczną W_p :

$$W_p = W_t \cdot \varphi_2 = W_0 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \quad (10)$$

- ♦ wydajność średnią W_{sr} :

$$W_{sr} = W_p \cdot \varphi_3 = W_0 \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 = W_0 \cdot \varphi \quad (11)$$

gdzie:

φ_1 – współczynnik wykorzystania udźwigu (nośności lub wypełnienia),

φ_2 – współczynnik warunków pracy (efektywności dopływu materiału),

φ_3 – współczynnik wykorzystania czasu pracy urządzenia (w tym czas remontów),

φ – współczynnik wykorzystania urządzenia.

Na podstawie powyższych wzorów można stwierdzić, iż decydującym czynnikiem wpływającym na wydajność danego środka o działaniu przerywanym jest czas pojedynczego cyklu transportowego. Wiąże się to z wyborem odpowiedniej trasy jazdy pojazdów i ma to znaczenie w efektywnym przydziale pojazdu do danego zadania (trasy). Wydajność danego środka determinuje liczbę wszystkich środków transportu zewnętrznego biorących udział w realizacji ustalonych zadań przewozowych. Większa wydajność danego typu środka wiąże się z mniejszą liczbą środków zaangażowanych do realizacji zadań przewozowych. W przypadku wydajności środków o działaniu ciągłym zgodnie ze wzorem (9) istotnym czynnikiem również jest czas realizacji cyklu dostarczenia ładunku do środka transportowego np. przonośnika. Należy tak przydzielić pojazdy transportu wewnętrznego do zadań, aby ten czas był jak najkrótszy.

2. Ocena efektywności przydziału w łańcucha dostaw

2.1. Zasady konstruowania modelu oceny efektywności przydziału

Efektywność łańcucha dostaw wyraża ocenę jego funkcjonowania, a tym samym jest miarą skuteczności jego określonego działania. Stopień realizacji założonych celów można określić jako efekty łańcucha dostaw, natomiast nakłady to wielkość zaangażowanych zasobów dla realizacji tych celów. W zagadnieniach przydziału nakładami są środki transportu biorące udział w realizacji zadań logistycznych, efektami zazwyczaj jest czas wykonania zadań oraz koszt.

Celem badania przydziału środków transportu w łańcuchach dostaw jest właściwe określenie zachodzących w nim procesów na potrzeby oceny efektywności jego funkcjonowania. Zbudowany model łańcucha dostaw uwzględniający aspekt przydziału środków powinien odzwierciedlać złożoność i współzależność zjawisk w nim zachodzących oraz jego związki z otoczeniem. Model oceny efektywności łańcucha dostaw w kontekście przydzielonych środków do zadań sprowadza się do:

- ♦ poszukiwania rozwiązań optymalnych, np. organizacji procesów zaopatrzenia, w tym organizacji transportu i procesów dystrybucji,
- ♦ analizy i oceny wariantu wyposażenia techniczno-organizacyjnego (potencjału) poszczególnych ogniw łańcucha dostaw np. liczby środków transportowych,
- ♦ minimalizacji strat czasu w realizacji dostaw towarów do obsługiwanych podmiotów np. przedsiębiorstw,
- ♦ minimalizacji jednostkowych kosztów przemieszczania ładunków w łańcuchu dostaw,
- ♦ efektywnego wykorzystania środków transportowych stosowanych do przemieszczania ładunków w łańcuchach dostaw,
- ♦ planowania zmian w konfiguracji łańcucha dostaw (poszukiwanie lokalizacji dla obiektów magazynowych, centrów logistycznych itp.),
- ♦ planowania przebiegu procesów przy realizacji określonych potrzeb odbiorców oraz przy ustalonych zasobach łańcucha dostaw,
- ♦ zapewnienia niezawodności realizacji dostaw, tj. minimalizacji ryzyka braku realizacji dostawy.

Algorytm budowy modelu oceny można przedstawić za pomocą następujących schematów blokowych, rys. 5.

Algorytm oceny rozpoczyna się od zdefiniowaniu celu badań, którymi najczęściej są obniżenie kosztów realizacji zadań logistycznych, lub minimalizacja czasów dostaw ładunków do poszczególnych klientów. Z tego tytułu należy:

- ♦ określić właściwości elementów łańcucha dostaw mających wpływ na jego funkcjonowanie,
- ♦ ustalić zakresu zmian właściwości (atrybutów, charakterystyk) elementów łańcucha dostaw,
- ♦ określić sposobu oceny efektywności funkcjonowania łańcucha dostaw,
- ♦ ustalić warunki brzegowych realizacji zadań logistycznych,
- ♦ ustalić wskaźniki efektywności i kryteriów oceny przeprowadzonych analiz ze wskazaniem stopnia osiągniętych efektów,
- ♦ ustalić dokładności uzyskiwanych wyników.

Podstawowe decyzje w zakresie oceny efektywności przydziału środków wpływające na funkcjonowanie łańcuchów dostaw dotyczą przede wszystkim:

- ♦ efektywnego wykorzystania zasobów łańcucha dostaw zarówno w ujęciu kosztowym jak i technicznym,
- ♦ minimalizacji całkowitych kosztów przepływu dóbr materialnych z jednoczesnym zachowaniem wymaganego przez klientów poziomu obsługi,

Rys. 5. Algorytm budowania modelu oceny łańcucha dostaw w aspekcie przydziału środków [18]

- ♦ minimalizacji czasu realizacji zamówień przy założonym poziomie kosztów przepływu,
- ♦ efektywnego wykorzystania ładowności środków transportu przy minimalizacji czasu i kosztów dostaw,
- ♦ analizy i oceny efektywności alternatywnych rozwiązań wyposażenia techniczno-organizacyjnego łańcucha dostaw (potencjału) oraz poszczególnych jego ogniw,
- ♦ efektywnego doboru potencjału łańcucha dostaw do zgłaszanych zadań (np. środków transportu w sferze zaopatrzenia i w sferze dystrybucji),
- ♦ zapewnienia możliwie wysokiej niezawodności, częstotliwości i elastyczności dostaw przy założonym poziomie kosztów przepływu,
- ♦ efektywnego planowania zmian w konfiguracji łańcucha dostaw (poszukiwanie lokalizacji dla obiektów magazynowych, centrów logistycznych itp. w przypadku ograniczonej liczby środków do przydziału),
- ♦ optymalizacji poziomu zapasów w skali łańcucha dostaw wraz z elastycznym dostosowaniem się do preferencji poszczególnych segmentów rynku w zakresie obsługi dostaw.

Ze względu na charakter procesów zachodzących w łańcuchach dostaw ważnym etapem jest definiowanie modelu matematycznego. Konstruowanie modelu matematycznego jest procesem złożonym i wymaga realizacji wielu etapów. Podczas budowy modelu wykorzystuje się dane pozyskane z obserwacji obiektu. W każdym z etapów konstruowania modelu uwzględnia się możliwości zrealizowania kolejnych etapów np. z punktu widzenia dostępności danych. Modele takie pozwalają na poznanie zależności między poszczególnymi elementami oraz na

formułowanie zadań optymalizacyjnych, a następnie algorytmizację, implantację komputerową oraz weryfikację i adaptację, co służy wspomaganie procesu decyzyjnego [1, 17, 16].

Model oceny efektywności przydziału środków funkcjonujących w danym łańcuchu dostaw można zdefiniować z wykorzystaniem takich elementów jak:

- ♦ **struktura** przedstawiająca powiązania między punktowymi elementami poszczególnych łańcuchów dostaw – przedsiębiorstwa, obiekty logistyczne, np. magazyny, centra dystrybucyjne, jak również poprzez ciągi transportowo-magazynowe odwzorowująca dostępne technologie realizacji procesów logistycznych,
- ♦ **zbiór środków technicznych** obejmujących środki transportu zewnętrznego i wewnętrznego niezbędne do realizacji usług logistycznych,
- ♦ **zbiór zasobów ludzkich** obejmujących przede wszystkim operatorów tych środków technicznych,
- ♦ **zbiór charakterystyk** przedstawiających rzeczywiste właściwości elementów struktury łańcucha dostaw, środków technicznych, jak również zasobów ludzkich,
- ♦ **wielkość zapotrzebowania na usługi logistyczne** wynikająca z wielkości zgła-

- szanych przez przedsiębiorstwa potrzeb,
- ♦ **organizacja rozumiana**, jako sposób wykorzystania wyposażenia infrastrukturalnego i suprastruktury oraz zasobów ludzkich poszczególnych łańcuchów dostaw do realizacji zapotrzebowania na usługi logistyczne,
- ♦ **wskaźniki pomiaru efektywności** łańcucha dostaw.

Zakładając, że odwzorowanie struktury ustalonego (ld -tego) łańcucha dostaw oznaczane jest symbolem $G(ld)$, zbiór środków transportu i magazynowania stosowanych w tym łańcuchu dostaw – symbolem $ST(ld)$, zbiór wykorzystywanych w nim zasobów ludzkich – symbolem $KL(ld)$, zbiór charakterystyk określonych na elementach struktury tego łańcucha dostaw oraz na zaangażowanych w nim środkach transportowych i zasobach ludzkich – symbolem $F(ld)$, wielkość zapotrzebowania na usługi logistyczne – symbolem ULD , organizacja łańcucha dostaw – symbolem $O(ld)$, zestaw wskaźników pomiaru efektywności funkcjonowania łańcuchów dostaw – symbolem WLD , model oceny efektywności przydziału środków technicznych w łańcuchach dostaw ($MOEPLD$) zapisać można jako uporządkowaną strukturę, postaci:

$$MOEPLD = \langle G(ld), ST(ld), KL(ld), F(ld), ULD, O(ld), WLD: ld \in LD \rangle$$

Uzyskane rozwiązania wygenerowane modelem oceny umożliwiają decydentowi wybór wariantu łańcucha dostaw uwzględniając czas dostawy oraz inne kryteria. Wybór rozwiązania jest dokonywany ze względu na wartość funkcji kryterium oraz uzyskanych wskaźników efektywności m.in. wskaźnika wykorzystania ładowności środków transportu lub wskaźnika wykorzystania oferowanej pojemności środków transportowych.

2.2. Wskaźniki oceny efektywności przydziału w łańcuchach dostaw

Dokonując oceny efektywności przydziału środków transportu łańcucha dostaw, należy odpowiednio zdefiniować wskaźniki efektywności. Jako kryteria oceny efektywności przydziału można stosować: kryterium czasu przepływu materiałów i informacji, kryterium poziomu jakości usług, kryterium kosztów. W odniesieniu do oceny efektywności przydziału można wyróżnić:

- 1) wskaźniki techniczne bezpośrednio lub pośrednio uzależnione od przydziału środka transportu do zadania, obejmujące m.in.:
 - stopień efektywnej pracy danego urządzenia, środka transportu itp.,
 - stopień wykorzystania ładowności środków transportu w przypadku realizacji przewozów w transporcie między poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw,
 - udział danego środka transportu (urządzenia) w wykonanej pracy przewozowej lub pracochłonności ze względu na zaangażowane urządzenia, środki transportu itp.,
 - stopień wykorzystania urządzeń transportu wewnętrznego np. w obiektach magazynowych,
 - liczbę środków transportu,
 - liczbę godzin pracy środków transportu,
 - przebieg pojazdów,
 - średni przebieg środka transportu,
 - liczbę awarii środków transportu,
 - stopień zapełnienia obszarów składowania obiektów magazynowych,
 - wydajność układów przeładunkowych na wejściu w porównaniu z wydajnością obszarów (stref) składowania i przetwarzania strumieni materiałów w obiektach magazynowych,
 - maksymalizację wykorzystania ładowności pojazdów itp.
 - stopień wykorzystywanych zdolności przeładunkowych względem teoretycznej wydajności przeładunkowej na wejściu i wyjściu z obiektu magazynowego,
- 2) wskaźniki ekonomiczne, obejmujące m.in.:
 - mierniki bezwzględne:
 - koszt realizowanej usługi,
 - roczne koszty eksploatacyjne,
 - koszty transportu,
 - wartość środków transportu,
 - koszty amortyzacji środków transportu,
 - koszty osobowe działu transportu,
 - koszt magazynowania,
 - względne:
 - udział kosztów transportu w kosztach całkowitych,
 - koszty transportu na jednostkę wartości przewożonych ładunków,
 - koszty utrzymania środka transportu na miesiąc, rok,
 - koszt przejścia jednostki materiału przez obiekt magazynowy,
 - koszty na tonokilometr,
 - wskaźniki jakościowe, obejmujące m.in.:
 - straty czasu realizacji dostaw,
 - czas realizacji zadań logistycznych,
 - niezawodność realizacji zadań logistycznych,
 - ryzyko braku realizacji dostaw mierzone prawdopodobieństwem niezrealizowania dostawy,
 - średnią liczbę operacji przeładunkowych przypadającą na daną jednostkę ładunku,
 - stosunek czasu przemieszczania do czasu oczekiwania na operacje przeładunkowe, składowanie itp. podawany w odniesieniu do jednostki ładunku,

- jednostkowy czas realizacji usługi logistycznej z podziałem na poszczególne ogniwa łańcucha dostaw
- liczba awarii środków transportowych.

Formalny zapis matematyczny przykładowych wskaźników oceny efektywności przydziału przedstawić jako:

- ♦ wskaźnik wykorzystania ładowności środków transportu, który przyjmuje wartości z przedziału $<0,1>$.

$$\forall st1 \in ST1 \quad wls1(st1) = \frac{\sum_{h1 \in H1} los1(st1, h1)}{\sum_{st1 \in ST1} los1(st1)} \quad (12)$$

gdzie:

$los1(st1)$ jest średnią wykorzystaną ładownością środka transportu zewnętrznego $st1$ -tego typu podczas przewozu dóbr materialnych $h1$ -tego rodzaju (w tonach), $ST1$ – zbiór dysponowanych pojazdów, ST – liczność zbioru.

- ♦ wskaźnik wykorzystania objętości środków transportu który przyjmuje wartości z przedziału $<0,1>$.

$$\forall st1 \in ST1 \quad wos(st1) = \frac{\sum_{h1 \in H1} pojs1(st1, h1)}{\sum_{st1 \in ST1} pojs1(st1)} \quad (13)$$

gdzie:

$pojs1(st1)$ jest średnią wykorzystaną pojemnością środka transportu zewnętrznego $st1$ -tego typu podczas przewozu dóbr materialnych $h1$ -tego rodzaju (w m^3),

$poj1(st1)$ – pojemność środka transportu zewnętrznego $st1$ -tego typu stosowanego w sieci zaopatrzenia (w m^3)

Zadania realizowane przez łańcuch dostaw to usługi logistyczne obejmujące m.in.: transport surowców, materiałów, półfabrykatów, wyrobów gotowych itp., magazynowanie, rozdział i kompletację. Problemem jest wyznaczenie takiej obsługi przedsiębiorstw zarówno w sferze zaopatrzenia jak i produkcji, aby osiągnąć jak najwyższą efektywność łańcucha dostaw. Efektywność dotyczy nie tylko minimalizacji kosztu czy czasu realizacji procesów logistycznych, ale również maksymalizacji wykorzystania środków transportu czy minimalizacji ryzyka przy obsłudze przedsiębiorstw. minimalne wykorzystanie środków transportu wiąże się z odpowiednim przydziałem ich do zleconych zadań logistycznych.

3. Algorytm wyboru efektywnego przydziału w łańcuchach dostaw

3.1. Założenia ogólne

Problem wyboru efektywnego przydziału w łańcuchach dostaw jest ukazywany w aspekcie wielokryterialnym. Wiąże się to z opracowaniem algorytmu adekwatnego do przyjętych funkcji kryterium. Na rys. 6 przedstawiono ogólną koncepcję wyboru efektywnego łańcucha dostaw. Zaproponowane warianty przydziałów są wstępnie analizowane i oceniane przez zdefiniowane wskaźniki oceny.

Analiza wariantowa jest etapem w którym wybierane jest ostateczne rozwiązanie zgodnie z przyjętymi kryteriami. W etapie tym zastosowane są narzędzia wyznaczające ostateczne rozwiązania, dobierane są algorytmy optymalizacyjne, przeprowadzana jest analiza wrażliwości zastosowanych algorytmów. Stosowanie metod wielokryterialnych jest zasadne ze względu na fakt, iż na wybór właściwego wariantu konfiguracji łańcucha dostaw mają nie tylko wpływ wskaźniki ekonomiczne, ale również techniczne i jakościowe, oraz coraz częściej środowiskowe lub społeczne.

Rys. 6. Algorytm wyboru efektywnego przydziału w łańcuchach dostaw [18]

Narzędzia wykorzystujące różnorodne wskaźniki oraz mierzące stopień wykonania postawionych celów są pożądane, gdyż umożliwiają wszechstronne podejście do analizy.

Stosując metody wielokryterialne można uwzględnić nie tylko wiele aspektów, ale również wiele obszarów funkcjonowania danego łańcucha dostaw.

W przypadku oceny efektywności realizacji zadań logistycznych w łańcuchu dostaw przy różnym wyposażeniu i różnym przydziale środków technicznych, a także przy różnych wariantach funkcjonalnych łańcucha dostaw, miarą zmiany efektywności ld -tego łańcucha dostaw będzie różnica między wartością wskaźników efektywności uzyskanych dla poszczególnych wariantów a wariantem ustalonym jako bazowy. Względna zmianę efektywności można wyznaczyć jako iloraz różnicy wartości wskaźników efektywności dla danego i bazowego wariantu organizacji łańcucha dostaw oraz wartości wskaźnika efektywności wariantu przyjętego za bazowy w ustalonym przedziale czasu τ , tj.:

$$\Delta \Xi(\tau, ld) = \frac{\Phi(\tau, ld) - \Phi(\tau, ld^*)}{\Phi(\tau, ld^*)} \quad (14)$$

gdzie:

$\Delta \Xi(\tau, ld)$ – względna zmiana efektywności realizacji procesów logistycznych w okresie τ dla ld -tego łańcucha dostaw w stosunku do bazowego łańcucha dostaw,

$\Phi(\tau, ld)$ – wartość wskaźnika efektywności realizacji procesów logistycznych w okresie τ dla ld -tego łańcucha dostaw,

$\Phi(\tau, ld^*)$ – wartość wskaźnika efektywności realizacji procesów logistycznych w okresie τ dla ld^* -tego bazowego łańcucha dostaw.

Obliczenie wartości efektywności $\Delta \Xi(\tau, ld)$ pozwala odpowiedzieć na pytanie o ile procent w danym przedziale czasu wartość wskaźnika $\Phi(\tau, ld^*)$ efektywności realizacji procesów logistycznych w ld -tym łańcuchu dostaw różni się od wartości wskaźnika $\Phi(\tau, ld^*)$ efektywności realizacji procesów logistycznych w bazowym łańcuchu dostaw.

Podsumowanie

Problem oceny efektywności realizacji zadań w łańcuchach dostaw jest trudnym i złożonym problemem decyzyjnym. Aby dokonać właściwej oceny należy budować modele decyzyjne wspomagające decydenta w tym zakresie. Modele takie powinny ujmować wszystkie istotne aspekty z punktu widzenia realizacji zadań. Dokonując oceny efektywności przydziału środków tech-

nicznych w łańcuchach dostaw należy pamiętać o uwarunkowaniach techniczno-technologicznych każdego łańcucha dostaw, ograniczeniach wynikających z transportu ładunków między poszczególnymi ogniwami łańcucha dostaw. Należy podkreślić fakt, iż ocena efektywności przydziału środków transportowych jest oceną wielokryterialną co wiąże się z odpowiednim doбором narzędzi optymalizacyjnych adekwatnych do przyjętych funkcji kryteriów.

W celu zdefiniowania zadań logistycznych w łańcuchach dostaw należy uwzględnić związki między elementami łańcucha dostaw i środkami przewozowymi oraz urządzeniami ładunkowymi, a wielkością zadań logistycznych wynikających z potrzeb zaopatrzenia bądź dystrybucji. Zatem realizacja zadań w łańcuchach dostaw to sposób obsługi transportowej i magazynowej przy danym wyposażeniu infrastrukturalnym łańcuchów dostaw oraz potencjałe przewozowym, przeładunkowym i składowym operatorów logistycznych i innych uczestników łańcuchów dostaw. Oznacza to, że realizacja zadań logistycznych w łańcuchach dostaw jest możliwa przy ustalonych zasobach technicznych, ekonomiczno-organizacyjnych i ludzkich i tym samym przy ustalonym przydziale środków do zadań.

Bibliografia:

1. Ambroziak T., Lewczuk K., *Miara poziomu dopasowania kanału dystrybucji do strumienia materiałów*, Zesz. Nauk. Transport, Politechnika Warszawska, 2009, z. 69.
2. Croxton K.L., García-Dastugue S.J., Lambert D.M., Rogers D.S., *The Supply Chain Management Processes*, The International Journal of Logistics Management 2001, Vol. 12 Iss. 2.
3. Fechner I. (red.), *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań 2007.
4. Fijałkowski J., *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*, Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003.
5. Fischetti M., Lodi A., Martello S., Toth P., *A polyhedral approach to simplified crew scheduling and vehicle scheduling problems*, Management Sci., 2001, Vol. 47.
6. Gunawan A., Ng K., Ong H., *A genetic algorithm for the teacher assignment problem for a University in Indonesia*, Information and Management Sciences, 2008. Vol. 19, No. 1.
7. Harper P. R., Senna V., Vieria I. T., Shahani A. K., *A genetic algorithm for the project assignment problem*, Computers Ops Res. 2005, Vol. 32.
8. Izdebski M., Jacyna-Golda I., Jakowlewa I., *Planning international transport using the heuristic algorithm*, in: *Integration as Solution for Advanced Smart Urban Transport Systems / Sierpiński G. (red.)*, Advances in Intelligent Systems and Computing 2018, Vol.
9. Izdebski M., *Modelowanie i analiza problemów decyzyjnych przydziału pojazdów do zadań w zagadnieniach transportowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2019.
10. Izdebski. M, Jacyna M., *The application of genetic algorithm in the assignment problems in the transportation company*. Journal of Kones Powertrain and Transport, 2018, Vol. 25, No. 4.
11. Jacyna M., *Cargo flow distribution on the transportation network of the national logistic system*. International Journal of Logistics Systems and Management 2013, Vol. 15, No. 2.
12. Jacyna M., Izdebski M., Szczepański E., Gołda P., *The task assignment of vehicles for a production company*, Symmetry-Basel 2018, Vol. 11, Iss. 10.
13. Jacyna M., *Some aspects of multicriteria evaluation of traffic flow distribution in a multimodal transport corridor*, Archives of Transport, Polish Academy of Sciences, Com. of Transport 1998, Vol. 10, Iss. 1–2.
14. Jacyna-Golda I., *Chosen aspects of logistics network design method for production service companies*, International Journal of Logistics Systems and Management – Inderscience 2013, Vol. 15.
15. Jacyna-Golda I., *Chosen problems of effective supply chain management of companies*, Journal of KONES Powertrain and Transport 2015, Vol. 22, No. 2.
16. Jacyna-Golda I., Izdebski M., Podwiezko A., *Assessment of efficiency of assignment of vehicles to tasks in supply chains: A case-study of a municipal company*, Transport, 2017, Vol. 32, No. 3.
17. Jacyna-Golda I., Izdebski M., Szczepański E., Gołda P., *The assessment of supply chain effectiveness*, Archives of Transport 2018, Vol. 1, No. 45.
18. Jacyna-Golda I., *Wspomaganie decyzji w łańcuchach dostaw w aspekcie oceny efektywności realizacji zadań*, Politechnika Poznańska, 2016.
19. Kłodawski M., Jachimowski R., Jacyna-Golda I., Izdebski M., *Simulation analysis of order picking efficiency with congestion situations*, International Journal of Simulation Modelling 2018, Vol. 17, No. 3.
20. Korneta P., Krzyszowski A., Chmiel M., *Pomiar dokonań w łańcuchach dostaw*, Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 2018, nr 4.

The Efficiency of the Allocation of Transport Means in Supply Chains

The work presents the issue of selecting means of transport that perform specific logistic tasks in supply chains. The paper explains the concept of allocation in supply chains, effectiveness and discusses the indicators for assessing the effectiveness of the realized allocation. Technical, economic and quality indicators were distinguished among the assessment indicators. The problem of allocation in supply chains is a complex decision problem considered in the context of optimization tasks with multi-criteria evaluation functions. In addition, technical and technological conditions determining the effective allocation of resources in the supply chain were characterized, and the concept of transport efficiency with continuous and intermittent operation was defined. The paper also presents the algorithm for building a supply chain assessment model, defines its most important steps and presents the algorithm for selecting the effective allocation of technical means. The conclusions that can be drawn from the conducted analyzes allow to state that it is justified to search for and identify all activities that may be logistic in order to plan and control the mutual influence of some activities (decisions) on other, sometimes very remote in time, in strategic dimension.

Keywords: supply chains, means of transport, effectiveness.

Autorzy:

mgr inż. **Teresa Siedlecka-Wójcikowska** – Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji
dr hab. inż. **Ilona Jacyna-Golda**, prof. PW – Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji
dr hab. inż. **Mariusz Izdebski** – Politechnika Warszawska, Wydział Transportu