

A. NAUKA TRANSPORTOWA

A.16. EKONOMIKA TRANSPORTU

A.16.1 EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA ŁAŃCUCHÓW LOGISTYCZNYCH

Ilona Jacyna-Gołda

Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,

Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych,

email: ilona.golda@pw.edu.pl

1. Pojęcie efektywności w kontekście łańcuchów logistycznych

Efektywność określa stopień przystosowania się systemu do realizacji, określonych celów, działań [20], przy czym ocenę działania (funkcjonowania) systemów odnosi się do relacji między działaniem a środkami przewidzianymi na jego realizację. Dlatego pojęcie efektywności wiąże się z charakterystyką systemową, gdzie stopień realizacji założonych celów to efekty systemu, natomiast nakłady to wielkość zaangażowanych zasobów dla realizacji ustalonych celów [9]. Efektywność może być mierzona wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba wyboru sposobu określonego działania systemu celem oceny jakości i racjonalności jego funkcjonowania.

Podstawą badań łańcuchów logistycznych jest wybór tych cech, które są istotne z punktu widzenia celu badań. Zasadne jest ustalenie tych cech, które mogą służyć, jako wskaźniki oceny efektywności funkcjonowania badanych łańcuchów logistycznych bądź poprawności realizacji wybranych usług (np. w sferze zaopatrzenia lub w sferze dystrybucji). Ustalone wskaźniki mogą dotyczyć różnych aspektów oceny np. technicznych, ekonomicznych, jakościowych czy ekologicznych. Ważne jest, aby ustalone wskaźniki lub kryteria oceny efektywności funkcjonowania systemu łańcuchów logistycznych [11], [13]:

- rzeczywiście wyrażały stan systemu,
- uwzględniały istotne cechy systemu zaopatrzenia lub dystrybucji i otoczenia tych systemów,
- reagowały na zmiany parametrów nie tylko samego łańcucha logistycznego, ale systemu jako całości oraz otoczenia,
- były efektywne w sensie statystycznym,
- umożliwiały konstruowanie syntetycznej oceny systemu łańcuchów logistycznych w sferze zaopatrzenia oraz w sferze dystrybucji,
- umożliwiały podejmowanie decyzji adekwatnej do stanu systemu.

Na ogół efektywność systemu determinowana jest efektywnością poszczególnych jego elementów. Podobnie jest w przypadku efektywności funkcjonowania łańcuchów logistycznych w systemach zaopatrzenia i dystrybucji. Efektywność ta determinowana jest efektywnością poszczególnych ogniw danego łańcucha. Z punktu widzenia realizowanych

zadań i pełnionych funkcji istotne znaczenie ma, w tym układzie, efektywność obiektów magazynowych [9]. Wynika to z potrzeby wyznaczenia najlepszego sposobu przemieszczania surowców czy półfabrykatów z miejsc pochodzenia (wytwórców) do producentów oraz sposobu przemieszczania wyrobów gotowych od producentów do odbiorców przez wybór struktury łańcucha logistycznego w systemie zaopatrzenia (w pierwszym przypadku) lub dystrybucji (w drugim przypadku) w taki sposób, aby nie tylko zaspokoić zapotrzebowanie przedsiębiorstw produkcyjnych lub odbiorców, ale również zminimalizować koszt zaopatrzenia (dostaw). Na ogół jest on wyrażany jako koszt transportu oraz magazynowania.

W literaturze przedmiotu wskazuje się, że [4], [12]:

- a) koszty transportu istotnie wpływają na efektywność funkcjonowania łańcuchów logistycznych. Wymienia się przy tym wskaźniki techniczne (np. wskaźnik wykorzystania środków transportu, ich zaangażowania czasowego itp.), ekonomiczne (np. jednostkowy koszt przewozu, koszty stałe transportu, koszty eksploatacji środków transportu stałe i zmienne itp.), środowiskowe (np. wielkość emisji związków szkodliwych spalin od zaangażowanych środków transportu), jakościowe (np. czas dostaw, czas realizacji przewozu danego cyklu przewozowego).
- b) wielkość zapasu oraz jego rozmieszczenie stanowi istotny czynnik kształtujący sieć dostaw oraz wpływa na jej wydajność. Autor pracy [5] proponuje zbiór wskaźników opisujących: zapas cykliczny, zapas bezpieczeństwa i zapas sezonowy oraz zależność kosztu realizacji zadań logistycznych w funkcji rozmieszczenia zapasu. Natomiast w pracy [21] autorzy wprowadzają wskaźnik odwróconej reakcji łańcucha dostaw umożliwiając odniesienie czasu reakcji na zapotrzebowanie klienta do kosztów realizacji procesów logistycznych. W rzeczywistości zagadnienie sprowadza się do odpowiedniego rozmieszczenia zapasu bezpieczeństwa w łańcuchach logistycznych, a tym samym efektywnego rozmieszczania punktowych ogniw całego łańcucha.
- c) ocena niezawodności i elastyczności transportu oraz liczby uszkodzonych ładunków w czasie przewozu ma wpływ na produktywność funkcjonowania łańcuchów logistycznych. Na przykład autor pracy [19] dużą wagę przypisuje wskaźnikom produktywności. Do oceny ilościowej zaproponował takie wskaźniki jak: wykonane tonokilometry, liczba obsłużonych przesyłek, rzeczywisty czas pracy, koszty transportu oraz ilość przewożonego ładunku. Jego zdaniem możliwości wzrostu produktywności przedsiębiorstw w sferze produkcji często są ograniczone lub wyczerpane, natomiast w sferze obsługi logistycznej i zarządzania rezerwy te na ogół są niewykorzystane [18].
- d) efektywność punktów węzłowych łańcuchów logistycznych istotnie wpływa na efektywność całego łańcucha. W wielu pracach podkreśla się, że takie obiekty jak: magazyny, terminale przeładunkowe różnych gałęziach transportu, porty morskie, porty lotnicze, centra handlowe czy centra logistyczne, ze względu na zachodzące w nich procesy, pełnią istotną rolę chociażby z punktu widzenia zabezpieczenia zapasów [5], [6], [10].

Powyższe wskazuje, że działania w zakresie podniesienia efektywności realizacji usług logistycznych stanowią istotny potencjał umożliwiający wzrost produktywności przedsiębiorstw (por. m.in. z [2], [3], [5]). Z drugiej strony sieć dostaw przedsiębiorstwa produkcyjnego staje się coraz bardziej złożona, w miarę jak rozszerza ono współpracę gospodarczą z innymi podmiotami. Determinowane jest to m.in. faktem, że organizacje logistyczne szukają bardziej skoordynowanego fizycznego przepływu materiałów i przepływu

informacji celem poprawy wydajności przedsiębiorstwa [3]. Wiele badaczy podkreśla, że jedynie struktura zawierająca zaopatrzeniowy magazyn przedprodukcyjny pozwala na realizację zapotrzebowania materiałowego zakładu produkcyjnego w trybie dokładnie na czas [1].

Poza tym analiza pomiaru efektywności funkcjonowania łańcucha logistycznego powinna opierać się na stopniowaniu jej ocen od globalnych do ocen cząstkowych w zakresie ogólnej efektywności wykorzystania zasobów dla realizacji dostaw oraz kosztów czynników produkcji. Ich szczegółowość i zakres zależy od przeznaczenia i warunków zastosowania, w tym rodzaju łańcucha logistycznego, branży, obszaru itp.

Pomiar efektywności funkcjonowania łańcuchów dostaw to kluczowy czynnik sukcesu przedsiębiorstwa i uzyskania przewagi konkurencyjnej [15], [17]. Tym bardziej że determinowana jest ona skutecznością ich działania nie tylko na polu organizacyjnym czy technicznym, ale również na polu ekonomicznym i jakościowym [23]. Na przykład jako dwie podstawowe trudności w pomiarze efektywności łańcuchów dostaw wskazuje się [15]:

- 1) istnienie bardzo rozbudowanych i zróżnicowanych miar wydajności i efektywności elementów systemów wymagających różnorodnych danych,
- 2) potencjalne konflikty pomiędzy uczestnikami łańcucha logistycznego związane z wartościami poszczególnych miar.

Istotę i zakres oceny efektywności w poszczególnych obszarach oraz punkty odniesienia przedstawiono w kolejnych podrozdziałach.

2. Efektywność funkcjonowania łańcuchów logistycznych

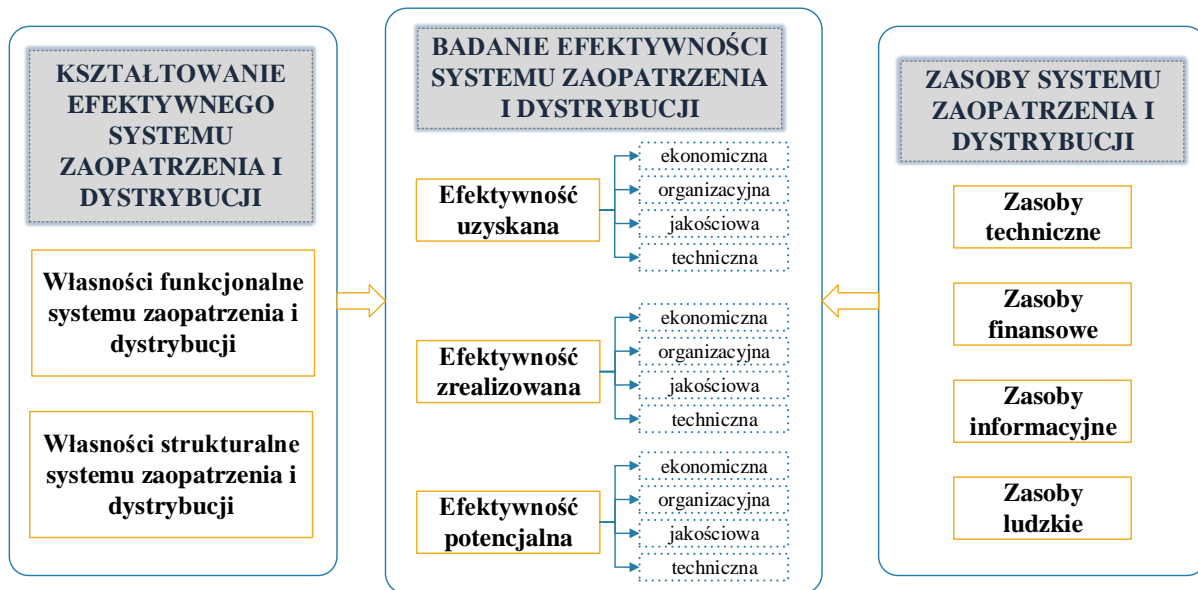
2.1. Efektywność łańcuchów logistycznych w zakresie ekonomiki

W ogólnym znaczeniu efektywność jest pojęciem stosunkowo szerokim, odzwierciedlającym odpowiednie relacje między efektami, celami, nakładami oraz kosztami w ujęciu strukturalnym

i dynamicznym [14]. Efektywność jest właściwością systemową, która uwzględnia wpływ najbardziej istotnych cech systemu i otoczenia na rezultaty jego funkcjonowania. Do oceny funkcjonowania systemów, w tym też łańcuchów logistycznych ustala się pewne wskaźniki, za pomocą których wyraża się stopień przystosowania łańcuchów do wypełniania postawionych jej funkcji. Przy czym w przypadku złożonych łańcuchów logistycznych ocena stopnia efektywności jego funkcjonowania wymaga uwzględnienia wielu czynników. Determinowane jest przede wszystkim wielorakością ogniw (podmiotów) występujących w łańcuchach.

Często efektywność jest traktowana jako racjonalne gospodarowanie zasobami technicznymi, finansowymi, informacyjnymi i ludzkimi w dążeniu do osiągnięcia założonego celu, tj. realizacji zadań logistycznych, transportowych itp. na akceptowalnym poziomie jakości [9]. W pracy [16] wskazano, że efektywność to miara zrealizowania zasady racjonalnego gospodarowania wynikająca z interakcji obejmującej zjawiska wewnątrz organizacji, a także między nią a otoczeniem. Przy czym ocena efektywności w tym aspekcie

dotyczy zarówno sfery finansowej, technicznej, organizacyjnej, jak i jakościowej. Dlatego wyróżnia się efektywność ekonomiczną, techniczną, organizacyjną i jakościową (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Efektywność łańcuchów dostaw
Źródło: opracowanie własne.

Na tle zainteresowań niniejszego panelu skupić się należy na efektywności ekonomicznej, Jest ona określana jest jako rezultat działalności gospodarczej, gałęzi produkcji, całej gospodarki, wyznaczany przez stosunek otrzymanego efektu do nakładu, a także jako element składowy pojęcia efektywności ogólnospołecznej, która poza efektami ekonomicznymi obejmuje również efekty pozaekonomiczne [14]. W naukach tych bardzo szczegółowo i z wykorzystaniem wielu wskaźników dokonuje się oceny efektywności. Metody i wskaźniki oceny efektywności stosowane w naukach ekonomicznych z powodzeniem mogą być wykorzystywane do oceny systemów technicznych. W szczególności, kiedy dotyczą aspektów biznesowych w zakresie funkcjonowania przedsiębiorstw transportowych czy operatorów logistycznych realizujących usługi w sferze zaopatrzenia bądź dystrybucji.

Ocena funkcjonowania łańcuchów logistycznych oraz efektywności poszczególnych jego ogniw z uwzględnieniem kryteriów ekonomicznych jest w wielu przypadkach uzasadniona i potrzebna. Umożliwia ona przeprowadzenie syntetycznej oceny efektywności łańcuchów, w której uwzględniane będą zarówno wskaźniki oceny efektywności technicznej, jak i ekonomicznej.

Efektywność techniczna związana jest z maksymalizacją produkcji przy wykorzystaniu określonych zasobów oraz jest wyrażana przez techniczne wskaźniki efektywności dotyczące m.in. wydajności. W przypadku oceny efektywności technicznej łańcuchów logistycznych będą poddawane ocenie wielkości zrealizowanych zadań przy wykorzystaniu ustalonych nakładów technicznych, np. środków transportowych. W tym przypadku należy pamiętać, że na wybór odpowiedniej technologii realizacji usług (np. transportowych) wpływają dwa aspekty: maksymalizowanie wielkości przewozów oraz minimalizacja kosztów przewozu.

W wymiarze ekonomicznym efektywność definiowana jest jako [22], [23]:

- 1) różnica między efektami a nakładami (wartość bieżąca – ang. *Present Value*, PV) – pożądany wynik powinien być większy od zera, co oznacza, że uzyskane efekty są większe od poniesionych nakładów,
- 2) iloraz efektów do poniesionych nakładów (wskaźnik koszty-korzyści – ang. *Benefit-Cost Ratio*, *B/C Ratio*) – pożądany wynik powinien być większy od jedności, co oznacza, że poniesione nakłady są niższe od uzyskanych efektów,
- 3) wyrażana procentowo jako iloraz różnicy między efektami a nakładami do poniesionych nakładów (rentowność inwestycji, stopa zwrotu inwestycji – ang. *Return On Investment*, *ROI*).

2.2. Metody oceny efektywności ekonomiczno-finansowej

Kształtowanie łańcuchów logistycznych wymaga dysponowania środkami finansowymi dla realizacji różnych przedsięwzięć inwestycyjnych. Inwestycje, jak wskazuje wielu badawczy, są jednym z podstawowych czynników kreujących rozwój każdej organizacji, przedsiębiorstwa itp. W literaturze przedmiotu najczęściej wymienia się dwa podstawowe ujęcia inwestycji [7]:

- kapitałowe – np. inwestowanie w papiery wartościowe,
- rzeczowe – produkcyjne.

Inwestycje rzeczowe to przedsięwzięcia, które mają na celu rozwój firmy o jasno określonym celu produkcyjnym, skonkretyzowane co do zakresu rzeczowego, miejsca i czasu realizacji i ujęte w sposób kompleksowy. W przypadku łańcuchów logistycznych może to być reorganizacja konfiguracji łańcuchów z wybudowaniem nowego obiektu magazynowego czy też zakup nowych środków transportu itp. Każde większe przedsięwzięcie może składać z wielu zadań inwestycyjnych, która mogą funkcjonować niezależnie i przynosić konkretny efekt produkcyjny bądź usługowy. Na przykład wybudowanie nowego obiektu magazynowego wymaga realizacji takich zadań inwestycyjnych jak: analiza opłacalności inwestycji zakup działki, przygotowanie projektu i wybór wykonawcy do realizacji budowy itp.

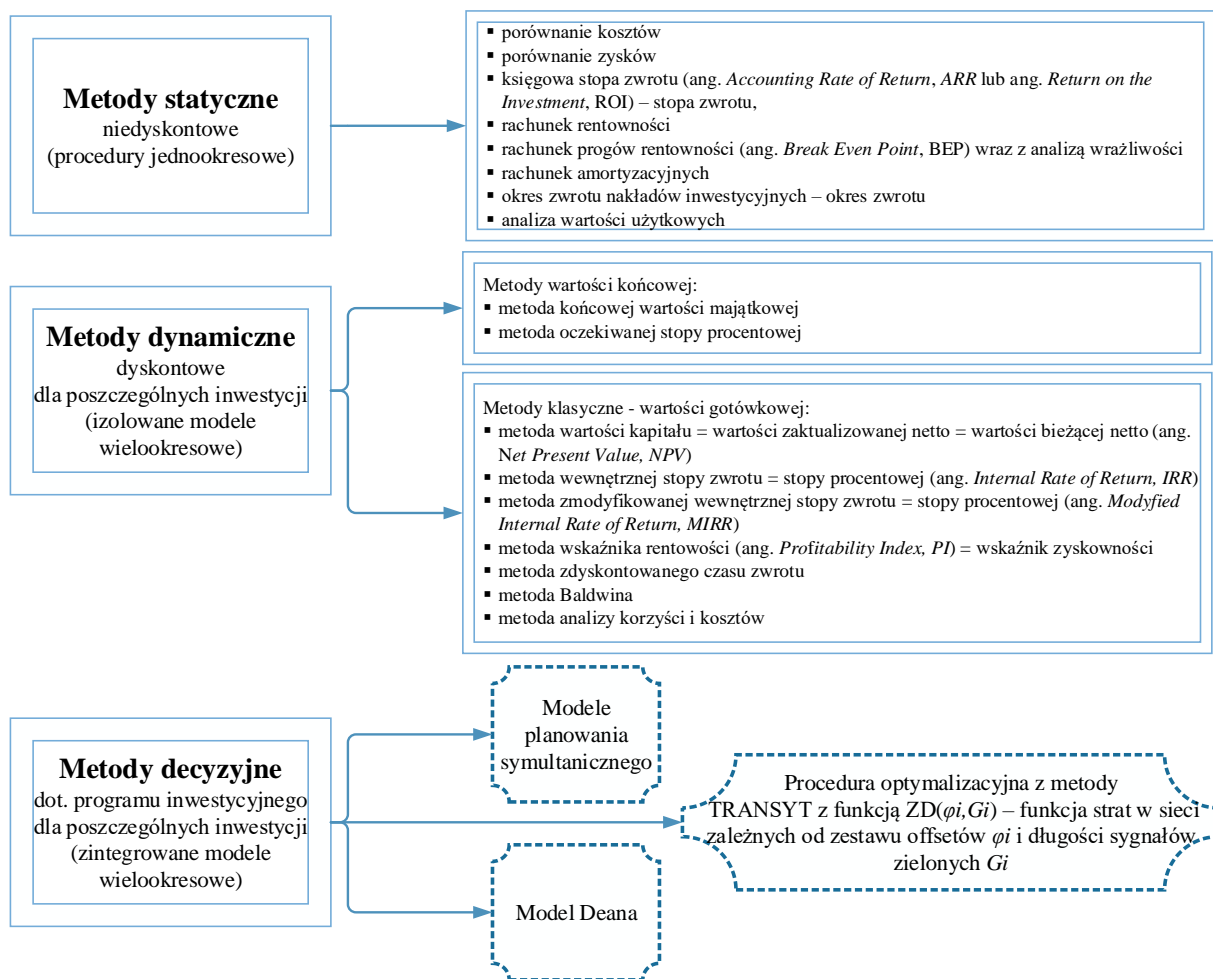
Podstawą wykorzystania rachunku ekonomicznego w ocenie zamierzeń inwestycyjnych jest wybór kryterium tego rachunku, tzn. takiej wielkości, której optymalizacja pozwoliłaby na ocenę różnych wariantów działania. W tym względzie brakuje jednoznacznych rozwiązań. Powszechnie uznaje się, że najlepszym kryterium oceny przedsięwzięć inwestycyjnych jest maksymalizacja zysku z kapitału, który został zaangażowany. Jednakże kryterium to nie uwzględnia w dostatecznym stopniu takich czynników jak [8]:

- ryzyko,
- czas,
- koszty społeczne lub oszczędności (korzyści) społeczne.

Oceny efektywności inwestycji dokonuje się z zastosowaniem różnych metod. Zasadniczo wyróżnia się trzy rodzaje metod (rys. 2.2.):

- metody statyczne,

- metody dynamiczne,
- metody decyzyjne.



Rys. 2.2. Podział metod oceny efektywności inwestycji
 Źródło: opracowanie własne.

Metody statyczne oceny efektywności projektów inwestycyjnych najczęściej stosuje się w dwóch przypadkach:

- gdy zarówno przewidywane efekty, jak i planowane nakłady są niewielkie,
- lub kiedy należy dokonać wstępnej oceny projektów inwestycyjnych, których nieefektywność można już stwierdzić przy zastosowaniu najprostszych metod, tzn. statycznych.

Większość metod statycznych nie uwzględnia znaczenia czasowych różnic w występowaniu przychodów i wydatków inwestycyjnych lub uwzględnia go tylko w niewielkim zakresie. W przypadkach bardziej złożonych procesów inwestycyjnych do oceny ich efektywności stosuje się **metody dynamiczne**, często zwane dyskontowymi. Z uwagi na charakter procesów inwestycyjnych, na ogół, są to zmodyfikowane metody zintegrowane.

Spośród metod dynamicznych najczęściej w praktyce stosowane są (tab. 2.1):

- metoda wartości zaktualizowanej netto (ang. *Net Present Value*, NPV),
- metoda wewnętrznej stopy zwrotu (ang. *Internal Rate of Return*, IRR),
- metoda zmodyfikowanej wewnętrznej stopy zwrotu (ang. *Modified Internal Rate of Return*, MIRR),
- metoda wskaźnika rentowności (ang. *Profitability Index*, PI).

Tab. 2.1. Wskaźniki oceny efektywności ekonomiczno-finansowej

Nazwa wskaźnika	Wzór	Dane	Komentarz
Zaktualizowana wartość netto (bieżąca wartość kapitału netto NPV)	$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t} + \frac{R_n}{(1+r)^n}$	<p>NCF_t – przewidywane przepływy pieniężne netto związane z rozważaną inwestycją w kolejnych okresach.</p> <p>R_n – wartość likwidacyjna lub rezydualna powstała po zakończeniu projektu inwestycyjnego.</p> <p>r – stopa dyskontowa (nominalna) w skali okresu bazowego.</p> <p>n – liczba okresów w danym horyzoncie.</p>	<p>Jest miarą marginesu bezpieczeństwa inwestycji, określając, o ile gorsza może okazać się efektywność, aby przedsięwzięcie nie stało się nierentowne.</p>
Wewnętrzna stopa zwrotu (stopa procentowa) – IRR)	$IRR = r \rightarrow NPV = 0$ $IRR = r \Leftrightarrow \sum_{t=0}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t} = 0$	<p>NCF_t – przewidywane przepływy pieniężne netto związane z rozważaną inwestycją w kolejnych okresach.</p> <p>r – stopa dyskontowa (nominalna) w skali okresu bazowego.</p> <p>n – liczba okresów w danym horyzoncie.</p>	<p>To taka stopa dyskontowa, przy której NPV wynosi zero.</p> <p>Uzależnia szerokość marginesu bezpieczeństwa inwestycji.</p>
Zmodyfikowana wewnętrzna stopa zwrotu (stopa procentowa) – MIRR)	$MIRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=0}^n CIF_t (1+r)^{n-t}}{\sum_{t=0}^n \frac{COF_t}{(1+r)^t}} - 1}$	<p>COF – ujemne przepływy pieniężne.</p> <p>CIF – dodatnie przepływy pieniężne.</p> <p>r – stopa dyskontowa (nominalna) w skali okresu bazowego.</p> <p>n – liczba okresów w danym horyzoncie.</p>	<p>Uwzględnia ona zmiany wartości pieniądza w czasie i jest oparta o analizę zdyskontowanych</p>

			przepływów pieniężnych.
Wskaźnik rentowno- ści (wskaźnik zyskowno- ści – PI)	$PI = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{COF_t}{(1+r)^t}}$	<i>COF</i> – ujemne przepływy pieniężne. <i>CIF</i> – dodatnie przepływy pieniężne. <i>r</i> – stopa dyskontowa (nominalna) w skali okresu bazowego. <i>n</i> – liczba okresów w danym horyzoncie.	Umożliwia uszeregowan- ie projektów o dodatniej wartości NPV pod względem zyskowności.

Źródło: opracowanie własne.

3. Podsumowanie

Problemy decyzyjne dotyczące oceny funkcjonowania łańcuchów logistycznych wymagają identyfikacji czynników mających wpływ na zakres zmian i sposób funkcjonowania projektowanych łańcuchów logistycznych. Czynniki te obejmują aspekty techniczne, ekonomiczne, środowiskowe, społeczne, a niekiedy i prawne. Wpływa to nie tylko na wieloaspektowość prowadzonych analiz, ale również na ich wielowariantowy wymiar.

Przedstawiona analiza efektywności łańcuchów logistycznych stanowi propozycję systemowego spojrzenia na problem oceny efektywności funkcjonowania łańcuchów logistycznych zarówno w sferze zaopatrzenia, jak i dystrybucji. Możliwe wskaźniki i modele zaproponowane w literaturze nie stanowią pełnego zbioru podejścia do oceny, natomiast stanowią wskazówkę dla ustalania procedur i rozwiązywania w ujęciu systemowym problemów decyzyjnych związanych z oceną efektywności łańcucha logistycznego. Ostateczny wybór modelu i wskaźników do oceny zależeć będzie od oczekiwań analityków i celów oceny oraz od branży i zakresu zadań ustalonych dla danego łańcucha do realizacji. Tym bardziej że funkcjonujące łańcuchów logistycznych różnią się między sobą m.in. rodzajem podmiotów uczestniczących w procesie dostaw zapotrzebowania materiałowego do procesu produkcyjnego lub w procesie dystrybucji wyrobów gotowych do ostatecznego odbiorcy, branżą dla której budowana jest sieć dostaw lub też specyfiką rynku. Różnice te w połączeniu z organizacją łańcucha, uwarunkowaniami społeczno-gospodarczymi danego regionu lub zasięgu oraz zastosowane urządzenia i środki transportu wpływają na ogólną efektywność procesów realizowanych w łańcuchów logistycznych.

W celu przeprowadzenia właściwej analizy funkcjonowania danego łańcucha logistycznego w aspekcie jej efektywności niezbędna jest znajomość wielu zagadnień. Należy wymienić chociażby strukturę łańcucha, parametry techniczne, ekonomiczne, środowiskowe, wielkość przepływów ładunków, organizację realizacji zadań oraz wskaźniki oceny efektywności istotne z punktu widzenia funkcjonowania łańcucha. Aby podjąć właściwą decyzję w zakresie kształtowania i oceny jej efektywności, niezbędne jest odpowiednie narzędzie wspomagające podejmowanie decyzji. Jednym z etapów metodologii postępowania przy ocenie efektywności łańcucha jest budowa modelu decyzyjnego oceny efektywności łańcucha logistycznego.

Bibliografia

- [1]. Barnes E., Dai J., Deng S., Down D., Goh M., Lau H.C., Sharafali M.: *On the Strategy of Shupply Hubs for Cost Reduction and Responsiveness. White Paper*. The Logistics Institute – Asia Pacific, National University of Singapore, Singapore 2003.
- [2]. Brzeziński M.: *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2006.
- [3]. Deeter-Schmelz, Dawn R.: *Applying teams to logistics processes: Information acquisition and the impact of team role clarity and norms*. „Journal of Business Logistics” 1997, Vol. 18, No. 1, s. 159–178.
- [4]. Fechner I. (red.): *Zarządzanie łańcuchem dostaw*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Logistyki, Poznań 2007.
- [5]. Felea M.: *The role of inventory in the supply chain*. „Amfiteatru Economic” 2008, Vol. 10, Issue 24, s. 109–121.
- [6]. Fijałkowski J.: *Transport wewnętrzny w systemach logistycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [7]. Jacyna M. (red.): *Kształtowanie systemów w wybranych obszarach transportu*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [8]. Jacyna-Gołda I., Merkisz-Guranowska A., Żak J.: *Some aspects of risk assessment in the logistics chain*. „Journal of KONES” 2014, Vol. 21, No. 4, s. 193–202.
- [9]. Jacyna-Gołda I.: *Evaluation of operational reliability of the supply chain in terms of the control and management of logistics processes*. W: Nowakowski T. [i in.] (red.), *Safety and Reliability: Methodology and Applications*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2015, ISBN 978-1-138-02681-0, s. 549–558.
- [10]. Jacyna-Gołda I.: *Logistics Network Design for Production Service Companies*. Proceedings of International Conference on Industrial Logistics. ICIL 2012, Brazil, Finland, USA, Croatia, UK, Austria, ISSN 978-953-7738-16-7, s. 219-224, Zadar 2012.
- [11]. Jacyna-Gołda I.: *Wspomaganie decyzji w łańcuchach dostaw w aspekcie oceny efektywności realizacji zadań*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016.
- [12]. Jacyna-Gołda I., Lewczuk K., Szczepański E., Gołębiowski P.: *Rozłożenie ruchu w sieci transportowej z zastosowaniem modelu EMITRANSYS w aspekcie planowania rozwoju systemu transportowego*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014.
- [13]. Jacyna-Gołda I., Żak J., Wasiak M.: *Efficiency as an assessment measure of warehouse facilities location in logistics network*. „Journal of KONES” 2015, Vol. 22, No. 3, s. 59–67.
- [14]. Merkisz-Guranowska A.: *Ocena efektywności sieci recyklingu pojazdów wycofanych z eksploatacji*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2016.
- [15]. Michelsen O., Fet A.M., Dahlsrud A.: *Eco-efficiency in extended supply chains: A case study of furniture production*. „Journal of Environmental Management” 2006, Vol. 79, Issue 3, s. 290–297.
- [16]. Muślewski Ł.: *Podstawy efektywności działania systemów transportowych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Techniczno-Przyrodniczego, Radom 2010.
- [17]. Nikfarjam H., Rostamy-Malkhalifeh M., Mamizadeh-Chatghayeh S.: *Measuring supply chain efficiency based on a hybrid approach*. „Transportation Research Part D-Transport And Environment” 2015, Vol. 39, s. 141–150.

- [18]. Nowakowski T.: *Niezawodność systemów logistycznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
- [19]. Piasecki S.: *Sieciowe modele symulacyjne do wyznaczania strategii rozwoju przedsiębiorstw (teoria i praktyka)*. Instytut Interfacji, Warszawa 2000.
- [20]. Powierża L.: *Elementy teorii systemów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
- [21]. Vanteddu G., Chinnam R.B., Gushikin O.: *Supply chain focus dependent supplier selection problem*. „International Journal of Production Economics”, USA 2010.
- [22]. Wasiak M.: *Odwzorowanie obiektu logistycznego jako systemu masowej obsługi*. „Logistyka” 2006, 6.
- [23]. Żak J., Jacyna-Gołda I., Wasiak M.: *Effectiveness evaluation criteria of the functioning of the national transport system and its impact on the environment*. W: Jacyna M., Wasiak M. (red.), *Simulation model to support designing a sustainable national transport system*. Index Copernicus International, 2014.