

ŁAPUŃKA Iwona¹
PISZ Iwona²

Wariantowe szacowanie czasu i kosztu w projektach logistycznych

WSTĘP

Przejawem realizowania założeń i wytycznych współczesnej logistyki mogą być różnego rodzaju projekty (przedsięwzięcia), które stanowią praktyczny wymiar rozwiązań, jakie należy wdrożyć w celu uniknięcia lub łagodzenia problemów związanych z przepływem ładunków (produktów, towarów) i osób. Według Witkowskiego i Rodawskiego [12, 15] projekty logistyczne stanowią jednorazowe, ograniczone czasowo i budżetowo przedsięwzięcia (zadania), których realizacja służy poprawie sprawności i efektywności przepływów produktów oraz towarzyszących im informacji w przedsiębiorstwach, łańcuchach dostaw lub układach przestrzennych.

Uogólniając, projekt logistyczny można zdefiniować jako tymczasową działalność, która dotyczy zmian w procesach logistycznych, podejmowaną w celu wytworzenia unikalnego wyrobu, dostarczenia unikalnej usługi lub osiągnięcia unikalnego rezultatu. Niemalże każdą znaczącą modyfikację procesu logistycznego w pewnych warunkach należy traktować jako przedsięwzięcie, którego efektywność uzależniona jest od planu wykonania.

W problemach zarządzania projektami logistycznymi istotnego znaczenia nabierają zagadnienia ich organizacji, a szczególnie planowania. Planowanie jest integralną częścią każdego projektu logistycznego. W ogólnym sensie jest ono sekwencyjnym procesem twórczym, który zmierza do określenia celów i ustalenia sposobów ich osiągnięcia [8]. Podstawowym celem zarządzania projektami jest wykonanie zadania (osiągnięcie celu projektu) o określonej jakości w ramach określonego budżetu i w określonym czasie. Zdefiniowanie celów i planowanie jest kluczową funkcją zarządzania, między innymi dlatego, że porównanie stanu faktycznego realizacji określonego celu z planem umożliwia, w przypadku stwierdzenia rozbieżności między nimi, podjęcie decyzji co do rodzaju działań korygujących, sprowadzających stan faktyczny do planowanego. Istnienie planu umożliwia właściwe sterowanie realizacją projektu, monitorowanie i kontrolowanie postępów prac, jak również raportowanie odchyłeń.

1. KLASYFIKACJA PROJEKTÓW LOGISTYCZNYCH

Zarządzanie projektami logistycznymi i wynikające stąd podejście projektowe jest stosunkowo nowym podejściem w zarządzaniu przedsiębiorstwem, jak i w łańcuchach dostaw [6, 7, 9, 10, 11]. Umiejętność określenia niezbędnych do wykonania zadań, oszacowanie czasu, kosztu realizacji projektu, dobór wykonawców projektu, itp. są podstawowymi problemami wymagającymi rozwiązania podczas fazy planowania projektów logistycznych. Wielkości te definiowane są w warunkach niepewności. Jako, że projekty są rozwijane progresywnie – charakteryzuje je szczególnie wysoki poziom niepewności na początku realizacji. Wynika on z dostarczania czegoś nowatorskiego, a więc obciążonego sporą dozą niewiedzy. W planowaniu i harmonogramowaniu projektów rozróżnia się trzy rodzaje niepewności: niepewność czasu trwania zadań, niepewność korelacji czasowej i niepewność zasobów. Skoro jest tak wiele niewiadomych na początku realizacji, to wszelkie szacunki i założenia mogą okazać się nieprawdziwe, np. zadanie zajmie nie jeden dzień a tydzień, produkt będzie kosztował dwa razy więcej, nowa technologia będzie znacznie wydajniejsza niż zakładano, a nowy dostawca okaże się nierzetelny.

Stopień niepewności planowania podstawowych parametrów projektu logistycznego, tj. czasu, kosztu, zakresu maleje w miarę upływu czasu realizacji danego projektu logistycznego. Specyfikacja

¹ Politechnika Opolska, Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki, 45-370 Opole, ul. Ozimska 75. Tel. +48 77 449-88-50, i.lapunka@po.opole.pl

² Uniwersytet Opolski, Wydział Ekonomiczny, 45-058 Opole, ul. Ozimska 46a. Tel. +48 77 401-68-98, Fax: +48 77 401-68-98, ipisz@uni.opole.pl

przedsięwzięć, ich unikalność powodują, że ryzyko stanowi ich nieodłączną część. Poziom tej niepewności jest różny i zależy od typu projektu logistycznego, tj. m.in. od rodzaju, zakresu, wielkości projektu logistycznego, sposobu prowadzenia. W tabeli 1 zaprezentowano podstawowe kryteria, według których dokonuje się klasyfikacji projektów logistycznych.

Tab. 1. Typologia projektów logistycznych [7, 12, 15]

Kryterium	Rodzaj projektu	Przykłady projektów logistycznych
Czas i znaczenie skutków realizacji projektu	Strategiczne	Centralizacja sieci dystrybucji
	Taktyczne	Opracowanie normatywów sterowania zapasami
	Operacyjne	Optymalizacja trasy przewozu
Obszar funkcjonalny przedsięwzięcia	Lokalizacyjne	Lokalizacja spalarni śmieci
	Transportowe	Wybór modelu obsługi transportowej
	Magazynowe	Budowa magazynu
	Zarządzania zapasami	Wybór modelu sterowania zapasami
	Poprawy jakości obsługi dostaw	Sformułowanie strategii obsługi klientów
	Logistyki zwrotnej	Opracowanie systemu gospodarowania opakowaniami zwrotnymi
Rodzaj działań i ich rezultatów	Szkoleniowe	Szkolenie z zakresu technologii IT w logistyce
	Doradczo-wdrożeniowe	Audyt i racjonalizacja systemu logistycznego
	Inwestycyjne (w tym infrastrukturalne)	Modernizacja systemu transportu wewnętrznego
Liczba uczestników	Projekty realizowane przez pojedyncze przedsiębiorstwo	Wdrożenie techniki KANBAN
	Projekty międzyorganizacyjne – realizowane przez kilka współpracujących organizacji w ramach łańcucha dostaw	Wdrożenie koncepcji VMI między dostawcą a odbiorcą
Zasięg przestrzenny	Lokalne	Optymalizacja systemu komunikacji miejskiej
	Regionalne	Budowa regionalnego centrum dystrybucji
	Krajowe	Założenie elektronicznej giełdy spedycyjnej
	Międzynarodowe	Budowa tunelu pod kanałem La Manche
Zasięg podmiotowy	Projekty oddziałujące na organizacje bezpośrednio w nich uczestniczące	Wdrożenie koncepcji JIT
	Projekty oddziałujące na otoczenie: sektorowe, regionalne bądź makroekonomiczne	Budowa regionalnego/międzynarodowego centrum logistycznego
Źródła finansowania	Finansowane ze środków własnych (prywatnych)	Zakup systemu informatycznego klasy ERP
	Z wykorzystaniem montażu finansowego (kapitał prywatny i środki publiczne)	Budowa centrum logistycznego wg modelu PPP
	Finansowane ze środków publicznych	Budowa obwodnicy miejskiej
Wielkość budżetu	Mikroprojekty	Szkolenie z zakresu logistyki biznesu
	Projekty wysokonakładowe	Budowa centrum logistycznego

Podjęcie projektowe jest obecnie nieodłącznym elementem realizacji większości projektów logistycznych. W tak realizowanym procesie zarządzania obserwuje się m.in. zespołowe podejście do zarządzania czasem projektu, a także proaktywne, skoncentrowane na przyszłości raportowanie stanu projektu. Osiągnięcie sukcesu w zarządzaniu projektami wymaga umiejętności panowania nad ryzykownymi zdarzeniami i warunkami działania, które wpływają negatywnie lub pozytywnie na cele danego projektu logistycznego. Realizacja każdego projektu logistycznego niesie ze sobą różnego rodzaju szanse i zagrożenia, na które dane przedsiębiorstwo lub dany łańcuch dostaw powinien być przygotowany i potrafił je odpowiednio wykorzystać.

2. PLANOWANIE SIECIOWE PROJEKTU LOGISTYCZNEGO

Metody sieciowe należą do najczęściej stosowanych w planowaniu i kontroli realizacji projektów, w tym również logistycznych. Są one bowiem nie tylko techniką dostarczającą kierownictwu informacji ilościowych niezbędnych do podejmowania decyzji, lecz również skupiają uwagę kierownictwa na czynnikach czasu, środkach i pracy mogących podnieść efektywność wykonania projektu.

Pierwsze metody planowania sieciowego pojawiły się pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku i do dzisiaj, prawdopodobnie ze względu na znaczną liczbę zalet, cieszą się dużą popularnością wśród praktyków zarządzania projektami. Jako mocne strony planowania sieciowego wskazuje się m.in. na [5]: (1) możliwość pełnego poznania struktury danego projektu, (2) wspomaganie sprawnego przebiegu wykonywania projektów, (3) umożliwienie operatywnego śledzenia przebiegu projektu (nawet przez osoby nie znające dokładnie technologii jego wykonania), (4) obrazowanie skomplikowanych projektów w sposób jasny i czytelny.

W każdym planie sieciowym można wyróżnić elementy formalne, do których należą węzły i łuki, oraz elementy funkcjonalne, czyli czynności, zdarzenia i zależności strukturalne między nimi.

Metody sieciowe opierają się na teorii grafów, a struktura projektu jest w nich przedstawiona w postaci grafu-sieci. W przypadku technik sieciowych mamy do czynienia z trzema rodzajami sieci:

- pierwszym, w którym czynności reprezentowane są za pomocą łuków grafu, a zdarzenia za pomocą węzłów grafu zgodnie z reprezentacją AOA (ang. *Activity On Arrow/Arc*), tworząc tzw. sieć zdarzeń,
- drugim, w którym czynności są reprezentowane za pomocą węzłów grafu, a zdarzenia za pomocą łuków grafu zgodnie z reprezentacją AON (ang. *Activity On Node*), tworząc tzw. sieć czynności,
- trzecim, którego węzły mogą reprezentować zarówno zdarzenia, jak i czynności, a łuki – następstwa czasowe.

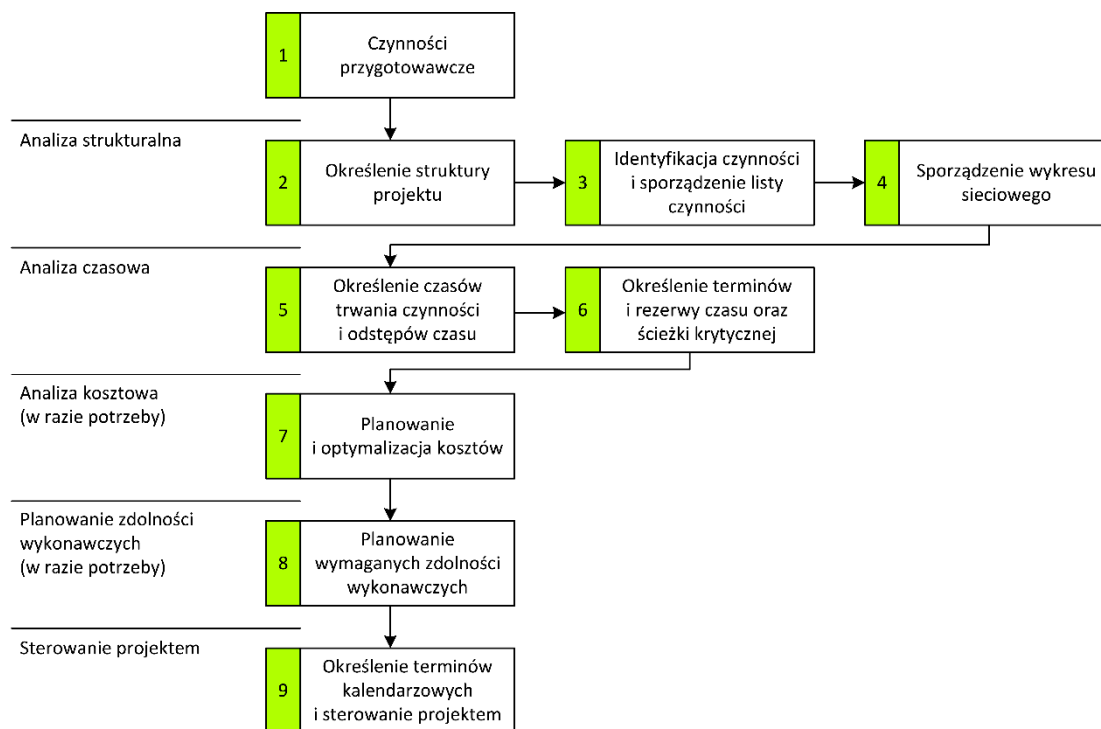
W praktyce najczęściej stosowane są sieci pierwszego rodzaju, w których zależności między czynnościami i zdarzeniami mogą być jednoznacznie określone (deterministyczne) lub znane tylko z pewnym prawdopodobieństwem (stochastyczne) [13].

Pomimo tego, iż poszczególne techniki wykorzystywane w planowaniu sieciowym różnią się pomiędzy sobą (zarówno prezentacją graficzną, jak i zakresem zastosowania) ich struktura jest podobna. W pierwszej bowiem fazie przeważnie następuje identyfikacja czynności projektu (analiza strukturalna) niezbędnych do jego wykonania tak, aby zakończył się sukcesem. Druga faza z kolei obejmuje analizę czasowo-kosztową oraz dążenie do uzyskania optymalnego wyniku. I także tutaj pojęcie optymalnego wyniku nie jest jednoznaczne, jako że każdy projekt jest założenia już unikalny. Dla jednego przedsiębiorstwa będzie to minimalizacja kosztów całkowitych wykonania projektu, podczas gdy dla innego może to być po prostu skrócenie czasu realizacji projektu do minimum (umożliwia to np. technika CPM, ang. *Critical Path Method*), zachowując oczywiście pewne niezbędne wymagania technologiczno-organizacyjne. Rozwój technik planowania sieciowego umożliwił także analizę czasową przy uwzględnieniu kosztów. Dzięki temu kierownik projektu może odpowiedzieć na następujące pytania: *o ile zwiększy się koszt projektu, jeśli skróci się jego realizację o zadaną jednostkę czasową?* lub *o ile można skrócić czas wykonania projektu decydując się na poniesienie danego kosztu?* (techniki PERT-COST, CPM-COST).

Techniki sieciowe umożliwiły również analizę możliwych wariantów wykonania projektów oraz czasów wykonania poszczególnych wariantów (sieci stochastyczne). Przykładem może być technika GERT (ang. *Graphical Evaluation and Review Technique*). Wykorzystuje ona rachunek prawdopodobieństwa do obliczania najbardziej prawdopodobnych wartości czasów poszczególnych czynności, jak i różnych wariantów całego projektu (por. [2]).

Niemniej jednak, we wszystkich technikach sieciowych ogólny sposób postępowania jest podobny: pierwszym etapem jest analiza struktury projektu w celu odwzorowania jej na grafie, a kolejnym etapem jest dokonywanie rozmaitych analiz (kosztowych, czasowych itp.) bazując na wykonanej sieci. Przyjęty schemat postępowania przedstawia rysunek 1.

Analiza strukturalna (zwana także planowaniem przebiegu) oraz analiza czasowa (zwana planowaniem czasu) są fazami, które występują we wszystkich technikach planowania sieciowego [4].



Rys. 1. Ogólny schemat technik sieciowych, źródło: opr. na podstawie [1, 3, 14]

Planowanie przebiegu to pierwszy etap w zarządzaniu projektem logistycznym. Na tym etapie ma miejsce identyfikacja wszelkich czynności, które muszą być wykonane (tzw. zakres), aby projekt zakończył się powodzeniem. Także w tej fazie sporządza się graficzny obraz projektu (sieć zależności przyczynowo-skutkowych), który staje się podstawą do przeprowadzania dalszych analiz.

Wyróżnianie poszczególnych czynności musi zostać powiązane z analizą czasu trwania każdej z nich. W przypadku czynności o charakterze technicznym, czas często wyznaczony jest przez pracę maszyn lub przyjętą technologię, dlatego też jest traktowany jako wielkość zadana. Zdarza się również, że w przypadku takich czynności ewentualne losowe odchylenia pomijają się, uznając je za niewpływające istotnie na parametry całego projektu. Niemniej jednak, zasadniczo przyjmuje się, że czynności w projekcie logistycznym są niepowtarzalne, wobec tego nie jest znany dokładny czas ich trwania. Należy go więc oszacować, co w projektach logistycznych nie jest prostym zadaniem.

Na podstawie struktury zależności i czasów trwania poszczególnych czynności wyznacza się najwcześniejszy moment, w którym można stwierdzić, że projekt został zakończony. W każdej sieci zależności wyróżnia się tzw. ścieżkę krytyczną (ang. *critical path*) – jest to nieprzerwany ciąg czynności od zdarzenia początkowego do końcowego sieci, determinujący czas trwania projektu logistycznego. Czynności leżące na tej ścieżce zwane są czynnościami krytycznymi. W przypadku kompresji sieci, to głównie na ich możliwym przyspieszeniu, należy się skupić w celu skrócenia czasu realizacji całego projektu.

3. KOMPRESJA SIECI ZDARZEŃ W PROJEKCIE LOGISTYCZNYM

Większość znanych metod sieciowych służąca planowaniu i kontroli realizacji projektów, również logistycznych, uwzględnia w swoich założeniach jedynie dogłębną analizę czasową i/lub zasobową. Jednakże pewne etapy projektu (zadania wchodzące w jego skład) mogą być zazwyczaj realizowane szybciej, niż początkowo się zakłada. Wiąże się to ze wzrostem kosztów na skutek konieczności zgromadzenia w krótszym czasie większych zasobów (np. zapłata za godziny nadliczbowe dla pracowników zespołu projektowego czy wykorzystanie większej liczby środków transportu).

W pewnych sytuacjach inwestor lub zleceniodawca projektu mogą być zainteresowani skróceniem czasu realizacji przedsięwzięcia, nawet pomimo wzrostu kosztów. Wówczas należy rozpatrzyć techniczne i technologiczne możliwości skrócenia terminu wykonania całego projektu tak, aby zminimalizować wzrost kosztów z tego tytułu.

Największe przyspieszenie czasów trwania musi dotyczyć tych czynności krytycznych, dla których koszty przyspieszenia są najniższe. Istotną rolę odgrywa tu tzw. *crashing* – jedna z technik „przyspieszania” realizacji projektu. *Crashing* stanowi swego rodzaju analizę polegającą na poszukiwaniu możliwości skrócenia czasu trwania projektu bez zmiany jego zakresu, a jednocześnie przy możliwie najmniejszym wzroście kosztów. Technika ta przyspiesza realizację projektu logistycznego m.in. poprzez zwiększenie ilości zasobów na ścieżce krytycznej, co w efekcie końcowym niestety zazwyczaj odpowiednio zwiększa koszty całościowej realizacji projektu.

Stosując poniższą zależność można wyznaczyć współczynnik S , określający przyrost kosztów realizacji czynności spowodowany skróceniem czasu wykonania czynności o jednostkę:

$$S = \frac{K_{gr} - K_n}{t_n - t_{gr}} \quad (1)$$

gdzie:

S - średni gradient kosztu,

t_n - czas normalny czynności, dla którego koszty jej wykonania K_n są najniższe,

t_{gr} - czas graniczny, najkrótszy możliwy ze względów technicznych i technologicznych czas wykonania czynności przy koszcie granicznym K_{gr} .

Algorytm, zgodnie z którym w dalszej części artykułu dokonano kompresji fragmentu sieci przykładowego projektu logistycznego jest następujący:

- Krok 1.** Należy zestawić czynności krytyczne, podać ich gradienty kosztów S oraz koszty graniczne t_{gr} .
- Krok 2.** Eliminuje się z zestawienia te czynności krytyczne, dla których średni gradient kosztów nie istnieje, tzn. $t_n = t_{gr}$.
- Krok 3.** Proces skracania rozpoczyna się od czynności krytycznej o najniższym gradientie kosztów S .
- Krok 4.** Przy skracaniu czasu trwania czynności należy starać się skrócić jej czas o jak największą liczbę jednostek. W tym kroku algorytmu występują dwa ograniczenia: (1) czas graniczny danej czynności, (2) pojawienie się nowej ścieżki krytycznej. Nowa ścieżka pojawi się wtedy, gdy zaniknie zapas czasu w ciągu czynności niekrytycznych.
- Krok 5.** Przy istnieniu dwóch lub więcej ścieżek krytycznych w sieci należy skracać czas o tą samą wielkość na wszystkich równoległych ścieżkach krytycznych.
- Krok 6.** Najkrótszy termin wykonania planu sieciowego uzyskuje się, gdy wszystkie czynności leżące na którejkolwiek ścieżce krytycznej osiągną czasy graniczne t_{gr} . Dalsze skracanie czasu wykonania projektu jest niemożliwe.
- Krok 7.** Koszty przyspieszenia oblicza się mnożąc liczby jednostek czasu, o które dana czynność krytyczna została skrócona przez jej gradient kosztów.

Na bazie danych pozyskanych z przykładowego projektu logistycznego (tab. 2), realizowanego w przedsiębiorstwie branży TSL, zbudowano początkową sieć zależności, którą prezentuje rysunek 2. Sieć zależności przedstawiono w postaci spójnego, acyklicznego digrafu:

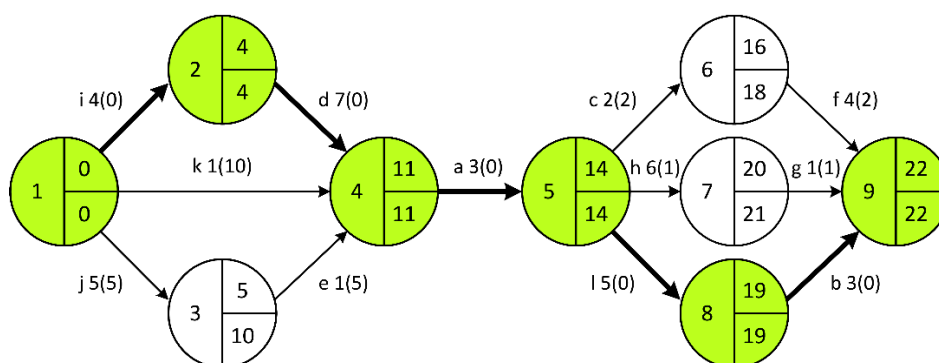
$$G = (V, E), \quad E \subset V \times V, \quad (2)$$

w którym istnieje jeden wierzchołek $V_i^+ = 0$ (tzn. liczba łuków wychodzących jest równa 0) i jeden wierzchołek $V_i^- = 0$ (tzn. liczba łuków wchodzących wynosi 0). W tak określonym grafie wierzchołki oznaczają zdarzenia, zaś łuki – czynności, zgodnie z reprezentacją AOA w postaci sieci zdarzeń. Graf

acykliczny modeluje listę czynności uwzględniając następstwo czasowe oraz ograniczenia technologiczne.

Tab. 2. Dane wejściowe do budowy sieci zdarzeń, źródło: opr. własne

Nazwa czynności	ID przez węzły	Poprzedniki	t_n [ujc]	t_{gr} [ujc]	K_n [tys. ujk]	K_{gr} [tys. ujk]	S	Wariancja σ^2	Odchylenie standardowe σ	
i	(1,2)	-	4	2	5	12	3,50	0,11	0,33	
d	(2,3)	i	7	7	8	8	$t_n=t_{gr}$	0,00	0,00	
j	(3,5)	-	5	2	8	30	7,33	0,25	0,50	
e	(3,4)	j	1	1	5	5	$t_n=t_{gr}$	0,00	0,00	
k	(4,7)	-	1	1	7	7	$t_n=t_{gr}$	0,00	0,00	
c	(5,8)	a	2	1	12	26	14,00	0,03	0,17	
a	(5,6)	e, d, k	3	2	10	15	5,00	0,03	0,17	
h	(6,9)	a	6	1	6	36	6,00	0,69	0,83	
l	(7,10)	a	5	4	10	13	3,00	0,03	0,17	
f	(8,13)	c	4	2	9	18	4,50	0,11	0,33	
g	(9,13)	h	1	1	6	6	$t_n=t_{gr}$	0,00	0,00	
b	(10,11)	l	3	1	8	30	11,00	0,11	0,33	
					Σ	94	206	Σ	0,28	0,527



Długość ścieżki krytycznej $t_1 = 22$ [ujc]
Całociowy koszt realizacji $K_1 = 94\ 000$ [ujk]

Rys. 2. Początkowa sieć zdarzeń – wariant 1, źródło: opr. własne

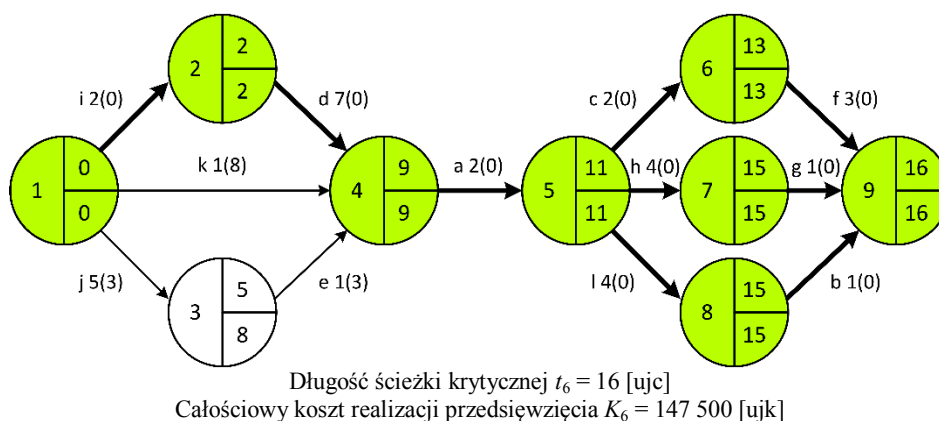
Dla grafu z rysunku 2 należy wstępnie przyjąć tzw. czasy normalne t_n realizacji poszczególnych czynności, to znaczy takie, przy których koszt całkowity przedsięwzięcia K , jak i koszt wykonania poszczególnych czynności jest najmniejszy i wynosi $K_n = K_{min}$.

4. ANALIZA I Dyskusja Wyników

Podczas kompresji analizowanego fragmentu sieci w projekcie logistycznym przeprowadzono pięć iteracji algorytmu, po czym dalsze skracanie sieci stało się niemożliwe, gdyż wszystkie czynności leżące na ścieżce krytycznej $1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow 8 \Rightarrow 9$ osiągnęły wartości krytyczne $t_{gr} = t_{min}$.

W wyniku dokonania kompresji sieci skrócony został czas realizacji przedsięwzięcia z $t_1=22$ [ujc] do $t_6=16$ [ujc] (por. rys. 3). Koszt wzrósł z 94 000 [ujk] do 147 500 [ujk], czyli o 53 500 [ujk] i jest to minimalny koszt skrócenia czasu realizacji przedsięwzięcia do $t_{min}=16$ [ujc].

Po ostatniej iteracji, w wyniku zastosowania algorytmu kompresji sieci uzyskano 6 dopuszczalnych wariantów realizacji projektu logistycznego. Otrzymane warianty różnią się między sobą czasem realizacji $\langle t_{gr}, t_n \rangle$ oraz kosztem projektu $\langle K_n, K_{gr} \rangle$.



Rys. 3. Wynikowa sieć zdarzeń po ostatniej iteracji – wariant 6, źródło: opr. własne

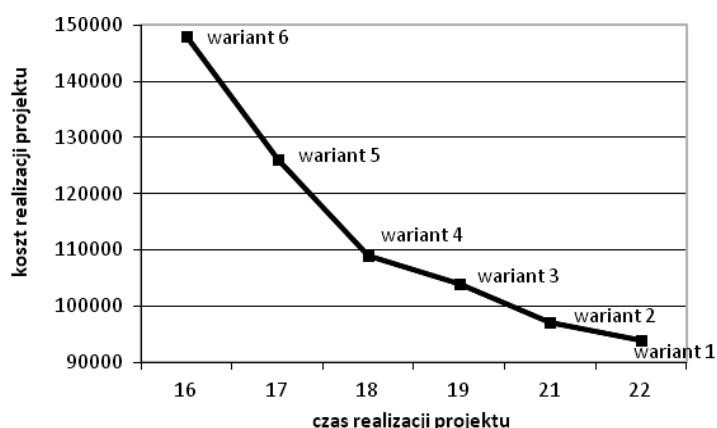
W tabeli 3 zaprezentowano poszczególne warianty z czasami i kosztami realizacji analizowanego projektu logistycznego, uzyskiwanymi na kolejnych etapach kompresji sieci.

Tab. 3. Zestawienie uzyskiwanych wyników dla kolejnych iteracji, źródło: opr. własne

Nr wariantu	Czas realizacji projektu [ujc]	Koszt projektu [ujk]
Wariant 1	22	94 000
Wariant 2	21	97 000
Wariant 3	19	104 000
Wariant 4	18	109 000
Wariant 5	17	126 000
Wariant 6	16	147 500

Na rysunku 4 został przedstawiony wykres krzywej kosztów. Obrazuje on przebieg zależności kosztu od czasu $K=f(t)$ dla sześciu przedstawionych powyżej alternatywnych wariantów realizacji planu sieciowego w projekcie logistycznym. Poszczególne warianty różnią się między sobą uzyskanymi terminami zakończenia projektu i całkowitymi kosztami jego realizacji.

Dwa skrajne warianty ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych wyznaczono dla następujących charakterystyk: (1) czas normalny czynności t_n , przy którym koszty jej wykonania K_n są najniższe – wariant 1 oraz (2) czas graniczny t_{gr} , najkrótszy możliwy ze względów technicznych i technologicznych czas wykonania czynności przy koszcie granicznym K_{gr} – wariant 6.



Rys. 4. Przebieg zależności kosztu od czasu $K=f(t)$, źródło: opr. własne

Przy przebiegu krzywoliniowym funkcji kosztów całkowitych $K=f(t)$, przyrost kosztów w odniesieniu do skracania czasu trwania czynności, czyli tzw. gradient kosztu S , jest różny dla różnych wartości czasu t , a jego wartość uśredniona wynosi około 8 917 [ujk/ujc]. Wartość ta

wyznacza przyrost kosztów realizacji czynności spowodowany skróceniem czasu wykonania czynności o jednostkę [ujc].

Przedstawione zależności czasowo-kosztowe wykorzystywane są w metodach, bazujących na dwupunktowych modelach sieciowych. Krzywą $K=f(t)$ wyznacza się wskutek analizy możliwości wykonania poszczególnych czynności w różnych warunkach i przy użyciu różnych zasobów, którym odpowiadają określone koszty i czasy. Przedział zawarty między czasami t_{gr} i t_n określa się mianem przedziału optymalnego i w nim poszukuje się również końcowych rozwiązań optymalnych.

Z kolei, minimalizacja kosztów realizacji projektów logistycznych w programach sieciowych sprowadza się do rozwiązywania problemów dwojakiej natury: (1) wyznaczenia wszystkich punktów załamania krzywej kosztów projektu oraz odpowiadających im planów realizacji o minimalnym koszcie, (2) wyznaczenia planu realizacji o minimalnym koszcie dla zadanego terminu zakończenia projektu (plan optymalny z narzuconym czasem realizacji). Krzywoliniowy przebieg funkcji kosztów całkowitych obrazuje w dokładniejszy sposób zależności czasowo-kosztowe w programie sieciowym i pozwala decydom na pełną analizę możliwych do uzyskania wariantów planu realizacji projektu logistycznego w punktach załamania krzywej kosztu.

W praktyce organizacyjnej zarówno koszt, jak i czas muszą być skutecznie minimalizowane przez realizatorów projektów logistycznych ze względu na ekonomikę i efektywność działań przedsiębiorstwa lub całego łańcucha dostaw. Para zmiennych t i K stanowi wzajemnie odwrotnie proporcjonalne wielkości, co za tym idzie czas i koszt są z pewnością w tym przypadku sprzecznymi kryteriami optymalności planu. Dla tego typu problemu pozostaje jedynie poszukiwanie rozwiązań optymalnych w sensie Pareto (kompromisowych) lub zadowolenie się jednym z wyników uzyskanych dla kolejnych alternatyw realizacji projektu logistycznego. Decydent (inwestor, zleceniodawca lub kierownik projektu) dokonuje przeważnie subiektywnej oceny poszczególnych wariantów planu, ewentualnie zostają one poddane wielokryterialnej ocenie końcowej ze względu na inny dobór kryteriów. Należy również dodać, że dla mniej wymagających menedżerów logistyki wystarczającym mogą okazać się plany o minimalnym koszcie ze wskazanym czasem wykonania, jak również plany o minimalnym czasie realizacji projektu logistycznego z przyjętym parametrem kosztu.

PODSUMOWANIE

W projektach logistycznych zdecydowanie obserwuje się korelację pomiędzy czasem realizacji projektu a jego opłacalnością. Zauważalne negatywne skutki finansowe przekroczenia terminu dyrektywnego projektu to m.in.: opóźnienie w uzyskaniu zamierzonych korzyści, odłożenie w czasie zysku, a niejednokrotnie strata zysku i udziałów w rynku (*time-to-market*). Konsekwencje opóźnienia projektu logistycznego są często istotnie większe od przekroczenia samego budżetu, np. drobne oszczędności przy wyborze dostawców mogą istotnie opóźnić projekt i w konsekwencji znacząco obniżyć jego opłacalność. Ponadto celem samym w sobie każdego projektu jest odniesienie korzyści, a nie uzyskanie oszczędności przy jego realizacji, co zatem sprowadza się do reguły – podnosić wartość projektu, nie tylko obniżać koszty.

We współczesnym dynamicznym otoczeniu przedsiębiorstw, jak i łańcuchów dostaw niezwykle często zdarza się decydom rozważać możliwość modyfikacji modelu poprzez kompresję sieci zdarzeń, wynikającą ze zbyt długiego dla inwestora lub odbiorcy okresu realizacji projektu logistycznego. Niemal każde przyspieszenie terminu wykonania czynności powoduje wzrost kosztów (wyłączając drobne usprawnienia organizacyjno-techniczne), podczas gdy odbiorca oczekuje efektu przy minimum wzrostu nakładów pieniężnych. Kompresja sieci techniką *crashingu* obrazuje w dość dokładny sposób zależności wynikające z „przyspieszenia” projektu logistycznego przy uwzględnieniu wynikających z tego wszelkich aspektów ekonomicznych. Analiza kosztowo-czasowa i technika *crashingu* są niewątpliwie użytecznym uzupełnieniem metod planowania sieciowego. Efektem działań bazujących na takiej analizie jest wyznaczenie dopuszczalnych wariantów planu realizacji projektu logistycznego w zależności od stopnia kompresji sieci czynności, przyjętych czasów normalnych i granicznych wraz z odpowiadającym im kosztami normalnymi oraz granicznymi.

Streszczenie

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie podejścia do wariantowego szacowania czasu i kosztu realizacji projektów logistycznych. Efektem działań bazujących na takim podejściu jest wyznaczenie alternatywnych planów realizacji projektu logistycznego w zależności od stopnia kompresji sieci czynności, przyjętych czasów normalnych i granicznych przy odpowiadającym im kosztom normalnym oraz granicznym. Przedstawione w artykule techniki planowania sieciowego dostarczającą kierownictwu informacji ilościowych niezbędnych do podejmowania decyzji, jak również skupiają uwagę menedżerów na czynnikach czasu, zasobach i pracy, mogących podnieść efektywność realizacji projektu logistycznego.

Variant estimating time and cost in logistic projects

Abstract

The purpose of this article is to present an approach to estimating the variant time and cost of logistic projects. The result based on this approach is to determine the acceptable variants of the logistic project plan, depending on the degree of compression of network activities, taken the normal and limit times and the corresponding the normal and limit costs. Presented in this paper network planning techniques providing leadership quantitative information necessary for decision-making, as well focus management's attention on the factors of time, resources and labor, that might improve the efficiency of logistic project implementation.

BIBLIOGRAFIA

1. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. PMBOK Guide - 5th Edition. PMI, Newtown Square, PA, 2012.
2. Arisawa S., Elmaghraby E., *Optimal time-cost trade-offs in GERT networks*. Management Science, 18 (11), 1972, 589-599.
3. *British Standards*, Guide to Project Management. Nr BS 6079-1, BSI, 2002.
4. Davis E.W., Heidorn G.E., *An algorithm for optimal project scheduling under multiple resource constraints*. Management Science, 17 (12), 1971, 803-816.
5. Grudzewski W., *Badania operacyjne w organizacji i zarządzaniu*. PWN, Warszawa 1985.
6. Kasperek M., *Planowanie i organizacja projektów logistycznych*. UE w Katowicach, Katowice 2006.
7. Kisperska-Moroń D., Krzyżaniak S. (red.), *Logistyka*. ILiM, Poznań 2009.
8. Marcinkowski R., *Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżyniersko-budowlanej*. WAT, Warszawa 2002.
9. Nowosielski S. (red.), *Procesy i projekty logistyczne*. UE we Wrocławiu, Wrocław 2008.
10. Panel Polskich Menedżerów Logistyki, *Raport 2011. Projekty logistyczne – doświadczenia polskich przedsiębiorstw*, 2011.
11. Pisz I., Łapuńka I., *Analiza zagrożeń płynących z podejmowania projektów logistycznych*. Gospodarka Materialowa i Logistyka, 10, 2012, 15-18.
12. Rodawski B., *Projekt logistyczny. Istota i ocena*. Wykład – Zarządzanie logistyczne. Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu, Wrocław 2009.
13. Shenhar A.J., Wideman R.M., *Toward a fundamental differentiation between project*. PICMET, New Jersey 1997.
14. Trocki M., Grucza B., Ogonek K., *Zarządzanie projektami*. PWE, Warszawa 2003.
15. Witkowski J., Rodawski B., *Pojęcie i typologia projektów logistycznych*. Gospodarka Materialowa i Logistyka, 3, 2007, 2-6.