

Zastosowanie metody łańcucha krytycznego
w harmonogramowaniu projektów logistycznych¹

Upowszechnienie się w ostatnich kilkudziesięciu latach podejścia do planowania prezentowanego przez znaczne grono amerykańskich teoretyków organizacji i zarządzania, w którym wyraźnie wyodrębnia się plany pojedyncze oraz plany trwale obowiązujące, wyeksponowało znaczenie projektu. Definicja zaproponowana przez Project Management Institute (PMI) mówi, że *projekt jest to tymczasowe przedsięwzięcie mające na celu stworzenie unikalnego produktu lub usługi* [1]. Parafrazując tę definicję, projekt logistyczny najogólniej można określić jako *czasowo wyodrębnione przedsięwzięcie mające na celu realizację jednorazowego i unikalnego działania, polegającego na dostarczeniu w zaplanowanym czasie i na wyznaczone miejsce określonego dobra* [4, 5].

Dodatkowo przedsięwzięcie to musi charakteryzować się następującymi cechami:

- jednokrotność, czyli realizacja przedsięwzięcia po raz pierwszy,
- celowość, czyli wynik określonej strategii,
- odrębność, czyli brak powiązań z normalną, rutynową działalnością firmy/łańcucha dostaw,
- ograniczoność, czyli istnienie ograniczenia czasowego realizacji przedsięwzięcia,
- odrębność strukturalna, czyli wydzielenie realizacji przedsięwzięcia jako osobnej struktury w firmie/łańcuchu dostaw.

Wszystkie powyższe warunki są bardzo istotne, w szczególności w sytuacji, w której mamy do czynienia z projektami realizowanymi na zasadzie kontraktów, gdzie wyjątkowo ważne jest dotrzymanie terminów oraz zgodność osiągniętego celu z założeniami projektu. Proces realizacji każdego projektu jest procesem wielowątkowym, angażującym różne zasoby, wymagającym od realizatorów różnorodnych umiejętności oraz swoim efektem wpływającym na różne sfery działania przedsiębiorstwa [6].

Projekt sam w sobie, niezależnie od stosowanego podejścia, jest odrębnym unikalnym bytem organizacyjnym powołanym tymczasowo i angażującym czasowo ludzi z różnych organizacji, komórek organizacyjnych, etc. Istota zarządzania projektem sprowadza się do użycia tej struktury oraz zasobów materialnych i niematerialnych po to, aby wykonać plan, który z natury również jest tymczasowy, bo obowiązuje tak długo, jak istnieje projekt. Controllingowo projekt stanowi swoiste centrum inwestycji lub jest czymś z pogranicza centrum inwestycji, kosztów, wyników, przychodów. Z jednej strony projekt determinują przyjęte ograniczenia czasowe i budżetowe, z drugiej zaś, traktowany jako przedsięwzięcie inwestycyjne, powinien prowadzić przede wszystkim do osiągnięcia celów rozwojowych. Wieloznaczność i różnorodność definicji projektu logistycznego nie pozwala wskazać na tę jedną właściwą. Jednakże pewnym jest, iż ze względu na innowacyjny charakter oraz wynikającą z tego trudność precyzyjnego określenia czasu i kosztów, immanentną cechą projektów logistycznych jest wysoki stopień ryzyka i niepewności [9, 12].

Praktyka zarządzania projektami logistycznymi w Polsce

Rearanżacja przestrzeni magazynowej, reorganizacja procesów logistycznych, roz(budowa) magazynów, wdrożenie nowego (lub zmiana) systemu IT wspierającego procesy logistyczne, rozpoczęcie współpracy lub zmiana operatora logistycznego – to według Raportu Polskiego Panelu Menedżerów Logistyki najczęściej spotykane przykłady realizowanych projektów logistycznych w ostatnich 3-ach latach w Polsce [8].

Projekty logistyczne realizowane zarówno w Polsce, jak i na całym świecie mają różną skalę i zasięg. Najmniejszy zasięg mają projekty, w wyniku których powstaje przepływ materiałów i informacji pomiędzy dwoma najbliższymi ogniwami łańcucha dostaw. Zdecydowanie szerszym zasięgiem cechują się

¹ Artykuł recenzowany.

projekty zorientowane na cały łańcuch dostaw, w których szczególnie silny nacisk powinien być kładziony na kwestie związane z organizacją samego projektu, koordynacją i kontrolą postępu prac. Ze względu na swoją złożoność, projekty te są szczególnie predysponowane do powstania ryzyka opóźnienia i przekroczenia kosztów ich realizacji [4].

Raport Polskiego Panelu Menedżerów Logistyki 2011 opracowany przez firmę doradztwa logistycznego Logisys sp. z o.o. pokazuje, że polskie przedsiębiorstwa dokonują częstych i istotnych zmian w sferze logistyki, co jest niewątpliwie wynikiem przeobrażeń w krajowej i międzynarodowej gospodarce. Odbywa się to jednakże przy zbyt ogólnym planowaniu, nierzadko przekraczającym koszty i terminy, jak również charakteryzuje się słabo zdefiniowaną celowością (czyli wynikiem określonej strategii) – nie zawsze wiadomo, do jakich efektów działania te powinny prowadzić. W przeciętnej polskiej firmie owa „pływająca” strategia rozwoju, jak również brak czasu na odpowiednie analizy czy kalkulacje, nie dają szansy logistynom na spójne i długofalowe działanie.

Opracowany raport jednoznacznie wskazał słabe strony praktyk zarządzania projektami logistycznymi w badanych firmach. Najważniejsze z nich dotyczą kalkulacji kosztów projektu logistycznego. Ponad 2/3 badanych firm nie wykonuje wystarczającej kalkulacji projektu logistycznego, co skutkuje m.in. przekroczeniem budżetu. Praktyką staje się również przekroczenie terminu dyrektywnego realizacji projektu logistycznego, najczęściej o ok. 20% w stosunku do pierwotnego harmonogramu. Zaledwie 1/3 projektów logistycznych kończy się w terminie [8].

Harmonogramowanie projektu logistycznego

Harmonogram realizacji projektu logistycznego, opracowywany w przygotowawczej fazie projektu, niezależnie od wykorzystywanej formy jego prezentacji, stanowi podstawę podjęcia decyzji o terminach rozpoczęcia i zakończenia fazy realizacji i zamknięcia, jak również o terminach realizacji poszczególnych zadań projektu. Harmonogram projektu stanowi podstawowy przedmiot zaakceptowania przez inwestora i umieszczany jest w kontrakcie, stanowiącym prawną podstawę realizacji projektu.

Przy harmonogramowaniu projektów logistycznych często pojawia się problem niepewności względem czasów trwania poszczególnych zadań, co skutkuje podejmowaniem prób antycypacji możliwych zmian w czasach realizacji czynności, dlatego w harmonogramowaniu predyktywnym na początku działania budowany jest harmonogram systemu odporny na potencjalne zakłócenia (ang. *robust schedule*), który uwzględnia zmienność parametrów systemu. Takie działanie ma zapobiegać niepewności i niestabilności harmonogramów nominalnych.

Zbieżną koncepcję dla harmonogramowania projektów proponuje Eliyahu Goldratt w metodzie zarządzania łańcuchem krytycznym CCPM (ang. *Critical Chain Project Management*) [2], wywodzącej się z teorii ograniczeń TOC (ang. *Theory Of Constraints*).

Łańcuch krytyczny uwzględnia sytuację konfliktu zasobu, kiedy w tym samym czasie zasób musi realizować różne zadania. Jedno z działań jest przesuwane w czasie tak, aby nie kolidowało z drugim. Łańcuch krytyczny to najdłuższa sekwencja zadań w projekcie, które powiązane są ze sobą poprzez logiczną zależność następstwa w procesie lub poprzez realizację na tym samym zasobie.

Łańcuch krytyczny jest ograniczeniem dla projektu, które najpierw trzeba zidentyfikować, a następnie rozstrzygnąć o sposobie jego eksploatacji (zgodnie z TOC). Należy zmienić szacunki czasów trwania czynności na ambitne tzw. agresywne, ale osiągalne (50% prawdopodobieństwa ukończenia zadania w terminie), natomiast usuniętą rezerwę czasu przenieść do buforów. Zarządzanie buforami pozwala podejmować akcje zapobiegające opóźnieniom w realizacji projektu [3, 10]. Rozwiązanie dla projektów przewiduje również sztafetę sportową (ang. *roadrunner*) (przekazanie zadania dalej od razu po jego ukończeniu).

W CCPM niezwykle istotne jest ciągłe monitorowanie pracy zasobów znajdujących się na łańcuchu krytycznym. Tylko w ten sposób można upewnić się, że operacje dla tych zasobów realizowane są zgodnie z poczynionymi założeniami. Stosowane jest zarządzanie buforami czasowymi.

Koncepcja metody łańcucha krytycznego w projekcie logistycznym

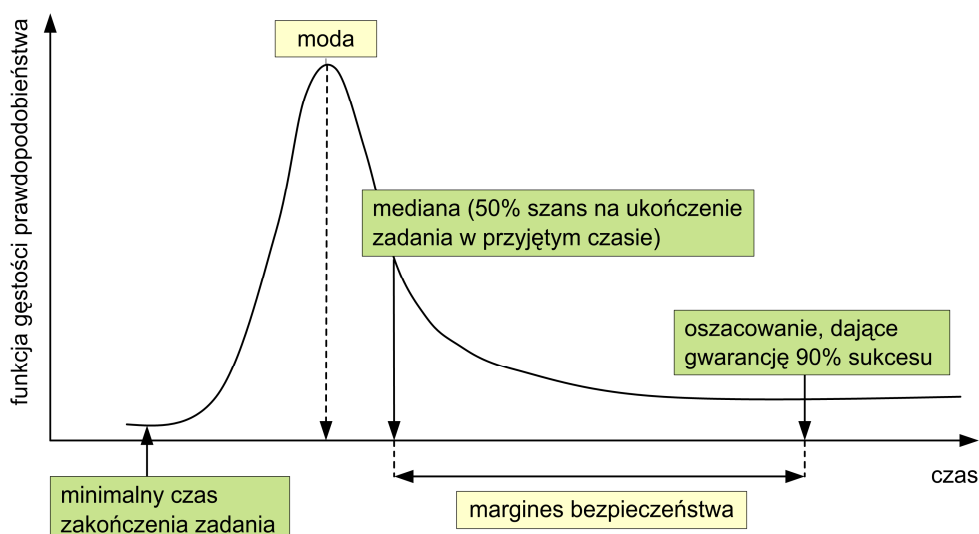
Metoda łańcucha krytycznego CCPM służy do wspomagania zarządzania projektami, ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji, gdy mamy do czynienia z warunkami niepewności czasu realizacji zadań składowych, a te w projektach logistycznych wskazywane są nader często.

Metoda CCPM stara się ograniczyć działanie „prawa Parkinsona”, które głosi, że niezależnie od faktycznej ilości pracy do wykonania, czas wykonania zadania zawsze zajmuje zaplanowaną wartość, a często nawet może go przekroczyć. Restrykcyjne założenia koncepcji Goldratta skracają planowany czas wykonania kolejnych czynności. Dodatkowo, ponieważ harmonogram układany jest restrykcyjnie, przyjmując bardzo krótkie planowane okresy wykonania zadań, bez ukrytych rezerw czasowych i bez możliwości zwlekania z rozpoczęciem każdego zadania, niweluje się również tzw. „syndrom studenta”, czyli tendencję do odkładania rozpoczęcia prac na ostatnią chwilę [7]. Ewentualne opóźnienia w trakcie wykonywania zadań mogą być nadrabiane poprzez wykorzystanie świadomie zaprojektowanych buforów bezpieczeństwa, co nie wpływa na opóźnienie całego projektu.

Metoda łańcucha krytycznego wskazuje na nowy sposób prowadzenia projektów. Zamiast dodawania marginesów bezpieczeństwa do poszczególnych zadań, tworzone są wspólne „bufory”, umieszczane w strategicznych miejscach projektu, koncentrując się szczególnie na ochronie terminu zakończenia całości projektu a nie na terminowej realizacji poszczególnych zadań [11]. Proponuje się wprowadzanie dodatkowej rezerwy czasowej znajdującej się na końcu łańcucha krytycznego przedsięwzięcia tzw. buforu projektowego (ang. *PB – Project Buffer*) i wstawianie buforów dla czynności spoza tego łańcucha tzw. buforów zasilających (ang. *FB – Feeding Buffers*). Poprzez zastosowanie buforów projektowych zabezpieczana jest terminowa realizacja przedsięwzięcia. Wprowadzenie dodatkowych buforów zasilających w miejscach, gdzie czynności spoza łańcucha krytycznego łączą się z tym łańcuchem, chroni przed zakłóceniem przebiegu wykonywania czynności krytycznych. Ze względu na to, że do wykonania poszczególnych procesów z łańcucha krytycznego niezbędne mogą być różne zasoby, nieprzerwaną realizację tych procesów warunkuje dostępność zasobów nie tylko w zaplanowanych terminach. Sygnalizowanie wcześniejszego zapotrzebowania na zasoby krytyczne umożliwiają dodatkowe bufory zasobów (ang. *RB – Resource Buffers*) dostępne we wcześniejszych terminach (z wyprzedzeniem) dla czynności z łańcucha krytycznego.

Studium przypadku – dyskusja wyników i wnioski

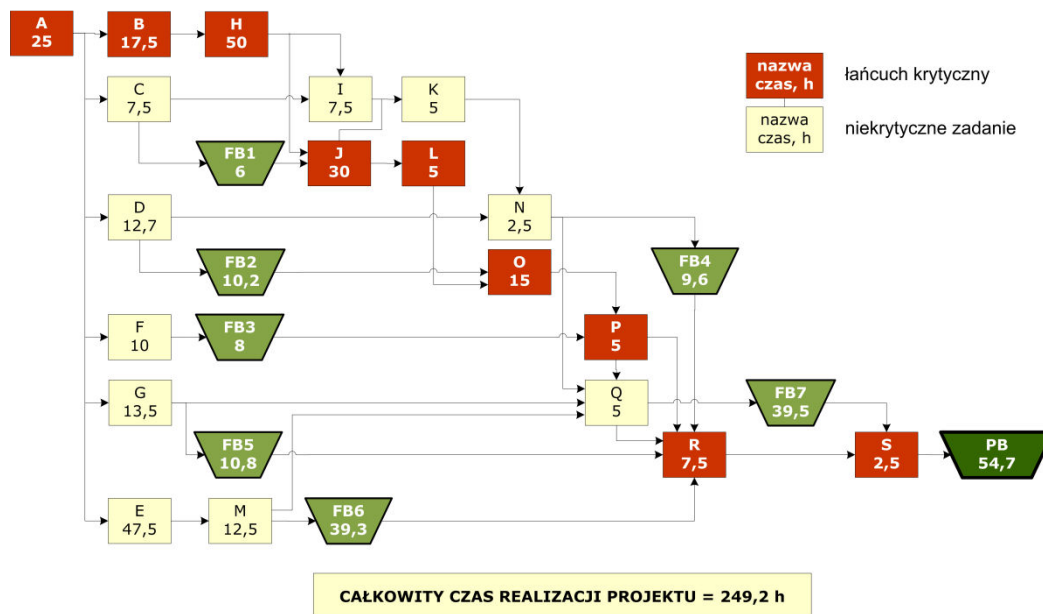
Idea obliczeń sprowadza się do wykorzystania krzywej gęstości prawdopodobieństwa zakończenia zadania, zwanej krzywą β (rys. 1). Przyjmuje się że „bezpieczna estymacja” $t_{0,9}$, która daje około 90% pewności terminowego zakończenia zadania jest dwa razy dłuższa niż estymacja równa medianie $t_{0,5}$ (50% prawdopodobieństwa).



Rys. 1. Estymacja zadania a prawdopodobieństwo czasu zakończenia wg krzywej gęstości prawdopodobieństwa β

Zgodnie z tymi założeniami, analizie poddana została sieć zależności w operatywnym planie projektu logistycznego. We wstępnym harmonogramie przeprowadzono bilansowanie zasobów, zastosowano relacje typu ALAP (ang. *As Late As Possible*) dla zadań niekrytycznych, przyjęto estymaty agresywne dla czasów realizacji wszystkich zadań, po czym wyznaczono łańcuch krytyczny oraz lokalizacje i wielkości buforów czasu, co w efekcie końcowym pozwoliło na uzyskanie nowego, krótszego czasu realizacji całego przedsięwzięcia.

Po wprowadzeniu buforów PB i FB oraz obliczeniu ich wielkości okazało się, że zgodnie z założeniami Goldratta czas realizacji całego przedsięwzięcia został wyraźnie skrócony. Początkowy przyjęty czas realizacji projektu wynosił 283,5 godziny. Po zastosowaniu metody łańcucha krytycznego czas ten został skrócony do 249,2 godzin, przy założeniu długości trwania wszystkich zadań na poziomie estymacji równej medianie (rys. 2). Uzyskany wynik skraca czas trwania całego przedsięwzięcia o około 12%, co stanowi istotne przyspieszenie prac w stosunku do początkowo zakładanego terminu zakończenia realizacji projektu logistycznego w przedsiębiorstwie.



Rys. 2. Sieć zależności z zaznaczonym łańcuchem krytycznym

Przeprowadzone analizy operatywnego planu projektu logistycznego pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wyznaczenie czasów zadań z prawdopodobieństwem mniejszym niż 0,9 pozwala stworzyć rezerwę czasu wykorzystywaną w buforach zasilających i projektu,
- wielkość buforów zależy od skrócenia czasu zadań oraz przyjętego prawdopodobieństwa zakończenia całego przedsięwzięcia,
- w analizowanym harmonogramie prawdopodobieństwo dotrzymania terminu realizacji całego przedsięwzięcia dla czasów trwania zadań równych $t_{0,5}$ i obliczonych wartości buforów wynosi 0,965,
- następuje wyraźne skrócenie czasu realizacji ścieżki zadań (o około 12%), przy zachowaniu zbliżonego poziomu szans na dotrzymanie zadeklarowanego terminu realizacji,
- podwyższenie prawdopodobieństwa dotrzymania całego przedsięwzięcia można osiągnąć przez zwiększenie bufora końcowego projektu,
- przyjęcie czasów czynności z mniejszym prawdopodobieństwem prowadzi do zbudowania harmonogramu zakładającego szybsze tempo prac (bardziej agresywnych rozwiązań) z większymi buforami i odwrotnie,
- możliwość dobierania wariantowych harmonogramów zakładających wolniejsze lub szybsze tempo prac (mniej lub bardziej agresywnych) przy realizacji planowanego projektu można regulować rozłożeniem proporcji pomiędzy sumą czasów zadań (przyjętym prawdopodobieństwem czasu ich trwania) a wielkością buforów,

- zarządzanie projektem logistycznym sprowadza się do kontroli stanu wspólnego bufora ścieżki, zamiast kłopotliwej kontroli stanu realizacji poszczególnych zadań.

Application of critical chain method in logistics project scheduling

Abstract

The article presents a method of critical chain applied in the operative programme of logistics project executed in conditions of uncertainty of constituent tasks execution time. Critical Chain Project Management (CCPM) is a method which originates from the theory of constraints (TOC), according to which critical chain is correctly identified constitutes a specific constraint for the project. The programme under analysis determines critical chain, locations and sizes of time buffers, which as a result allowed obtaining a new, shorter project execution time, at approximate level of chance for meeting the declared execution deadline.

Literatura

- 1) *A guide to the project management body of knowledge*, Fourth Edition, PMI, USA, 2008.
- 2) Goldratt E. M.: *Critical chain*, Great Barrington, MA, North River Press, 1997.
- 3) Herroelen W., Leus R., Demeulemeester E.: *Critical chain project scheduling: Do not oversimplify*, Project Management Journal, 2002, Vol. 33, No. 4, p. 48-60.
- 4) Kasperek M.: *Planowanie i organizacja projektów logistycznych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice, 2006.
- 5) Kasperek M., Szoltysek J.: *Projekty logistyczne w outsourcingu usług logistycznych (cz. 2)*, „Logistyka” nr 1, 2009.
- 6) Knosala R., Łapuńska I.: *Methodology of project management including disruptions*, Management and Production Engineering Review (MPER), Vol. 1, No. 3, September 2010, p. 19-29.
- 7) Leach L.P.: *Critical chain project management*, 2nd Edition. Norwood, MA, Artech House, 2005.
- 8) Panel Polskich Menedżerów Logistyki: *Raport 2011. Projekty logistyczne – doświadczenia polskich przedsiębiorstw*, 2011.
- 9) Pisz I.: *Identification and risk assessment of logistics project*. [w:] Selected logistics problems and solutions. MONOGRAPH. Grzybowska K., Golińska P. (eds.), Poznan House of Poznan University of Technology, Poznań, 2011, p. 227-242.
- 10) Rand G. K.: *Critical chain: the theory of constraints applied to project management*, International Journal of Project Management, 2000, Vol. 18, No. 3, p. 173-177.
- 11) Tukul O.I., Rom W.O., Duni E.S.: *An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling*, European Journal of Operational Research, 2006, Vol. 172, p. 401-416.
- 12) Witkowski J., Rodawski B.: *Pojęcie i typologia projektów logistycznych*, „Gospodarka Materiałowa i Logistyka”, nr 3, 2007, p. 2-6.