

Magdalena ZOŁA  
Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II  
Wydział Matematyki, Informatyki i Architektury Krajobrazu  
Instytut Matematyki i Informatyki

## **ZARZĄDZANIE CZASEM W PROJEKCIE Z UWZGLĘDNIENIEM RYZYKA**

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono zarys rozwoju metod, pozwalających na analizę i zarządzanie ryzykiem związanym z realizacją harmonogramu projektu. Opisano klasyczne podejścia, jak również najnowsze trendy w tej dziedzinie, pojawiające się zarówno w badaniach naukowych, jak i praktyce biznesowej. Zostały także wskazane ograniczenia tych metod oraz obserwacje, dotyczące ich praktycznej implementacji w zarządzaniu projektami.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie projektami, harmonogramowanie, ryzyko, zarządzanie ryzykiem

## **TIME MANAGEMENT IN A PROJECT: APPROACHES CONSIDERING RISK**

**Summary.** The article presents an overview of the development of the methods for analysing and managing risk involved in the realisation of the project schedule. Classic approaches were described as well as recent trends in the field, both in scientific research and business practice. The paper also enumerates the limitations of these methods and makes remarks on their practical implementation in project management.

**Keywords:** project management, scheduling, risk, risk management

## 1. Wstęp

Nasilająca się konkurencja na rynku, rosnące oczekiwania klientów, internacjonalizacja i postępujące zmiany w otoczeniu biznesowym wymagają od przedsiębiorstw stałej innowacyjności. W odpowiedzi na tę potrzebę współczesne organizacje coraz częściej decydują się prowadzić swoją działalność, lub przynajmniej jej część, w sposób projektowy. Pozwala im to na optymalne zarządzanie zmianą, wprowadzanie nowych produktów i wykorzystanie potencjału, jaki stwarza szybki postęp technologiczny. W konsekwencji, organizacje budują w ten sposób trwałą przewagę konkurencyjną, i co najważniejsze: wartość dla właścicieli.

Projekt definiujemy najczęściej jako unikalny zbiór czynności wykonywanych w ramach ustalonego budżetu i harmonogramu, który ma jasno określony cel. Wiele powszechnie znanych definicji projektu podkreśla także takie atrybuty, jak: złożoność, wyjątkowość, interdyscyplinarność, zaangażowanie zasobów ludzkich<sup>1</sup>. Jednym z większych wyzwań dla zarządzających projektami było i nadal pozostanie umiejętne zarządzanie czasem, tak by postulat osiągnięcia celu w założonym terminie był realizowany. Złożoność przedsięwzięć projektowych, ich niepowtarzalność i zmienność otoczenia rynkowego powodują, że kolejnym, istotnym wyzwaniem staje się zarządzanie ryzykiem, którego obecność zawsze wiąże się z planowaniem przyszłości.

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele definicji pojęcia ryzyka, co wynika z różnych podejść do tego tematu. Niekiedy również terminy ryzyko i niepewność stosowane są zamiennie. Większość autorów jednak wyraźnie rozróżnia te pojęcia. Według F.H. Knighta kryterium, które pozwala rozróżnić ryzyko od niepewności, jest to możliwość posłużenia się rachunkiem prawdopodobieństwa. Z niepewnością mamy do czynienia, jeśli prawdopodobieństwo ostatecznego wyniku nie jest znane, natomiast w przypadku możliwości określenia efektów działań z pewnym prawdopodobieństwem mówimy o ryzyku<sup>2</sup>.

W odniesieniu do ryzyka występującego w działalności gospodarczej wydaje się adekwatne rozumienie go neutralnie (ryzyko jako zagrożenie i szansa). W tym ujęciu ryzyko oznacza możliwość uzyskania efektu różniącego się od oczekiwanego<sup>3</sup>. Aczkolwiek należy w tym miejscu zauważyć, że część badaczy uznaje takie podejście za dyskusyjne<sup>4</sup>.

Inna definicja, przywoływana przez wielu autorów, pochodzi z ISO Guide 73:2009. Zgodnie z nią ryzyko jest to wpływ niepewności na cele rozumiany jako pozytywne lub negatywne odchylenie od oczekiwanego celu. Jest ono charakteryzowane w odniesieniu do

---

<sup>1</sup> Kozarkiewicz A.: Zarządzanie portfelami projektów. PWN, Warszawa 2012, s. 25.

<sup>2</sup> Knight F.H.: Risk, Uncertainty and Profit. Houghton Mifflin Co., Boston and New York 1921, p. 233.

<sup>3</sup> Jajuga K. (red.): Zarządzanie ryzykiem. PWN, Warszawa 2007, s. 13.

<sup>4</sup> Kaczmarek T.T.: Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Difin, Warszawa 2008, s. 54.

potencjalnych zdarzeń i ich konsekwencji lub kombinacji tych dwóch elementów<sup>5</sup>. Na potrzeby niniejszej pracy przyjmujemy tę właśnie definicję.

Podczas planowania harmonogramu projektu należy wziąć pod uwagę wszystkie możliwości ryzyka, mogące zagrozić terminowej jego realizacji. Mogą one wynikać z wielu czynników, wewnętrznych i zewnętrznych względem projektu, niewątpliwie jednak głównym z nich jest brak pewności co do szacowanych czasów realizacji poszczególnych czynności. Jego źródłem mogą być, m.in.:

- brak doświadczenia w realizacji identycznych zadań, który wynika z unikalnej natury projektu,
- subiektywny charakter oszacowań czasów trwania czynności,
- dostępność i zapotrzebowanie na zasoby,
- niekompletność, nieprecyzyjność lub brak istotnych danych,
- możliwość wystąpienia nieprzewidzianych zdarzeń.

Należy podkreślić, że przyjęte oszacowania mogą być zarówno zaniżone, jak i zawyżone. Często spotykanym zjawiskiem jest „ochrona” estymacji poprzez celowe ich zawyżanie. Niekiedy jest to spowodowane praktyką stosowaną przez osoby zarządzające projektami, polegającą na arbitralnym obniżaniu oszacowań podanych przez członków zespołu<sup>6</sup>.

Wraz z rozwojem dziedziny zarządzania projektami pojawiały się coraz doskonalsze metody analizy ryzyka związanego z realizacją przyjętego harmonogramu. Początkowo niepewny charakter oszacowań czasów wykonania zadań był traktowany w sposób bardzo ogólny. Wraz z ewolucją tych metod pojawiały się bardziej złożone modele, mające na celu oddanie rzeczywistej natury tego zjawiska. Natomiast wysoki stopień skomplikowania niektórych metod doprowadził do powstania alternatywnych podejść, które albo traktują ryzyko związane z harmonogramem globalnie, albo pomijają analizę tego ryzyka, minimalizując jedynie jego ewentualne konsekwencje.

Warto zauważyć, że większość omawianych metod nie pokrywa całości zagadnienia zarządzania ryzykiem związanym z czasem realizacji projektu, a jedynie koncentruje się na niektórych aspektach, w szczególności na oszacowaniu tego ryzyka. Innymi słowy, metody te reprezentują ilościowe podejście do analizy ryzyka i wymagają uzupełnienia o rozwiązania o charakterze jakościowym (przykłady takich rozwiązań są poza zakresem niniejszej pracy, są one opisywane w literaturze przedmiotu<sup>7</sup>).

---

<sup>5</sup> ISO Guide 73:2009 Risk Management – Vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva 2009.

<sup>6</sup> Ward S., Chapman C.: Transforming project risk management into project uncertainty management. „International Journal of Project Management”, Vol. 21, Iss. 2, 2003, p. 97-105.

<sup>7</sup> Pritchard C.L.: Zarządzanie ryzykiem w projektach. WIG-Press, Warszawa 2002, s. 40-42.

Pierwsze podejścia do zarządzania czasem i związanym z nim ryzykiem pojawiły się w połowie XX wieku. Były to analityczne metody CPM i PERT oraz symulacyjna Monte Carlo. Z dzisiejszej perspektywy można powiedzieć, że przetrwały próbę czasu, ponieważ są one obecne w wielu aktualnie zaimplementowanych w zarządzaniu projektami standardach i metodykach. Co więcej, leżą one u podstaw większości bardziej zaawansowanych metod.

## 2. Metody CPM i PERT

Metody CPM (*Critical Path Method*) oraz PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) należą niewątpliwie do klasyki zarządzania projektami. Powstały niezależnie od siebie w latach 50. XX wieku. Mają one wiele cech wspólnych. Istotą obu podejść jest wyznaczenie ścieżki krytycznej. Główną różnicę pomiędzy nimi stanowi fakt traktowania czasu trwania danego zadania w metodzie PERT jako zmienną losową (czas stochastyczny), a nie jako zmienną zdeterminowaną (czas zdeterminowany), jak ma to miejsce w przypadku metody CPM. Często metody te są mylone ze sobą lub ogólnie mówi się o nich jako o metodzie PERT/CPM w odniesieniu do przedstawiania projektu za pomocą diagramu sieciowego w celu wyznaczenia ścieżki krytycznej.

Metoda ścieżki krytycznej CPM jest najbardziej powszechnym podejściem wykorzystywanym podczas tworzenia harmonogramu projektu. Jej popularność wynika z prostoty oraz z faktu, że jest ona zaimplementowana w licznych narzędziach do zarządzania projektami. Metoda ta pozwala określić czas potrzebny do ukończenia projektu, w wyniku czego kierownik projektu koncentruje swoją uwagę na czynnościach krytycznych dla całego przedsięwzięcia jako tych, których wykonanie gwarantuje jego terminowość. Nie uwzględnia się w tym podejściu czynników, mogących wpływać na zmienność czasów realizacji poszczególnych czynności, czyli nie bierze się pod uwagę aspektu ryzyka.

Metoda PERT jest natomiast wymieniana jako pierwsze znaczące narzędzie analizy ryzyka zorientowane na projekt<sup>8</sup>. Mimo że powstała znacznie wcześniej niż inne metody zarządzania ryzykiem projektu, jest używana do dziś. Wskazaniem do jej zastosowania jest wczesny etap projektu przy wysokim stopniu ryzyka. Metoda PERT pozwala określić harmonogram projektu z uwzględnieniem ryzyka. Dając informacje o harmonogramie i prawdopodobieństwie zakończenia projektu w założonym terminie, może być traktowana jako jedno z narzędzi podejmowania najważniejszych decyzji planistycznych.

---

<sup>8</sup> Ibidem, s. 178-179.

Ogólnie, klasyczna metoda PERT opiera się na trzech założeniach:

- czasy wykonania poszczególnych czynności są niezależne,
- ścieżka krytyczna jest wyraźnie dłuższa niż pozostałe ścieżki,
- ścieżka krytyczna zawiera wystarczająco dużą ilość zadań.

Po przeanalizowaniu struktury projektu i podziale prac na czynności oraz określeniu zależności między nimi otrzymujemy sieć o sztywnej, deterministycznej konstrukcji. Oryginalnie metoda PERT jest oparta na modelu sieciowym AOA (*activity-on-arc*). Przedstawimy jednak krótko jej opis oparty na modelu AON (*activity-on-node*) jako bardziej intuicyjny i używany w komercyjnym oprogramowaniu.

Przyjmijmy, że  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$  jest zbiorem wszystkich czynności (zadań) projektu.

Niech ponadto dana będzie macierz  $U = [u_{ij}]_{1 \leq i, j \leq n}$ , gdzie

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } z_j \text{ następuje bezpośrednio po } z_i, \\ 0, & \text{w przeciwnym razie.} \end{cases}$$

Uwzględnimy także dwie czynności o zerowym czasie trwania  $z_0$  (początek projektu) oraz  $z_{n+1}$  (zakończenie projektu). Oznaczmy czasy ich trwania przez  $t_0 = 0$  oraz  $t_{n+1} = 0$ .

Do wyznaczenia ścieżki krytycznej w metodzie PERT niezbędna jest znajomość optymistycznego, najbardziej prawdopodobnego i pesymistycznego czasu trwania każdej czynności. Czasy te są często subiektywnymi wielkościami podanymi przez osoby odpowiedzialne za wykonanie czynności w projekcie lub przez ekspertów zewnętrznych. Niech  $a_i$ ,  $m_i$ ,  $b_i$  oznaczają czasy odpowiednio optymistyczny, najbardziej prawdopodobny i pesymistyczny  $i$ -tej czynności, dla których prawdziwe są relacje  $a_i \leq m_i \leq b_i$ .

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie czasów oczekiwanych wykonania każdej czynności ze zbioru  $Z$  jako średniej ważonej danej wzorem

$$t_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}.$$

Czas trwania czynności traktujemy jako zmienną losową o rozkładzie beta. Zazwyczaj mamy  $t_i > m_i$ , gdyż  $b_i - m_i > m_i - a_i$  (fakt ten jest charakterystyczny dla rozkładu beta).

Zbiór  $\{z_0, z_1, z_2, \dots, z_n, z_{n+1}\}$  będziemy traktować jako zbiór wierzchołków acyklicznego grafu skierowanego z wagami przypisanymi do wierzchołków równymi odpowiednio  $\{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n, t_{n+1}\}$ . Graf ten oznaczmy symbolem  $\Gamma$ .

W kolejnym etapie należy wyznaczyć ścieżkę krytyczną PERT, czyli drogę o maksymalnej wadze w grafie  $\Gamma$ , łączącą dwa wyróżnione wierzchołki  $z_0$  i  $z_{n+1}$ . Opóźnienie którejkolwiek czynności leżącej na tej drodze spowoduje opóźnienie całego projektu. Niech  $T$  oznacza długość tej drogi. W klasycznej metodzie PERT wartość  $T$  oblicza się jako maksimum zbioru zsumowanych czasów oczekiwanych wykonania poszczególnych czynności dla wszystkich dróg łączących wierzchołki  $z_0$  i  $z_{n+1}$ .

Ponadto, znając odchylenie standardowe czasu realizacji projektu<sup>9</sup>  $\sigma T = \sqrt{\sum \sigma_i^2}$ , gdzie  $\sigma_i = \frac{b_i - a_i}{6}$  jest odchyleniem standardowym czasu  $i$ -tej czynności leżącej na ścieżce krytycznej (dla czynności  $z_0$  i  $z_{n+1}$  przyjmujemy  $\sigma_0 = \sigma_{n+1} = 0$ ), można obliczyć prawdopodobieństwo ukończenia projektu w zadanym terminie. Zakładając, że  $T$  ma rozkład normalny<sup>10</sup>, należy odczytać z tabeli dystrybuanty tego rozkładu wartość prawdopodobieństwa, odpowiadającą liczbie  $\frac{T_z - T}{\sigma T}$ , gdzie  $T_z$  jest zadanym terminem ukończenia projektu. Ważnym wspomnianym już założeniem, którego nie można przeoczyć, jest fakt, że metoda daje wiarygodne wyniki tylko wtedy, gdy istnieje jedna dominująca ścieżka w sieci czynności opisującej projekt<sup>11</sup>. Jeśli mamy do czynienia z kilkoma prawie krytycznymi ścieżkami, czas trwania projektu jest zbyt nisko oszacowany.

### 3. Symulacje Monte Carlo

Metodę PERT można zastosować tylko wtedy, gdy spełnione są jej restrykcyjne założenia, co nie zawsze zdarza się w praktyce. Alternatywą pozwalającą w pewnym stopniu ominąć te ograniczenia jest metoda symulacji Monte Carlo. Jej powstanie jest przypisywane S. Ulamowi, matematykowi, który pracował w ramach projektu Manhattan nad stworzeniem amerykańskiej bomby termojądrowej. J. von Neumann i N. Metropolis, z którymi współpracował, rozwinęli ideę próbkowania statystycznego, tworząc formalną metodę. Ulam i Metropolis opublikowali pierwszą pracę na jej temat w 1949 roku<sup>12</sup>.

Symulacje Monte Carlo zostały po raz pierwszy zastosowane do analizy czasu w projekcie przez R. van Slyke'a w 1963 roku<sup>13</sup>. Autor postawił problem taki sam jak w metodzie PERT, ale zaproponował rozwiązanie go właśnie za pomocą symulacji, otrzymując wyniki nieco odbiegające od uzyskanych za pomocą metody PERT.

W analizie ryzyka projektów metoda Monte Carlo stosowana jest najczęściej nie tylko w celu określenia najbardziej prawdopodobnej daty zakończenia projektu, ale również do prognozowania kosztów. Zwracane przez nią wyniki są rezultatem agregowania

<sup>9</sup> Wariancja sumy niezależnych zmiennych losowych jest równa sumie wariancji tych zmiennych.

<sup>10</sup> Na podstawie Centralnego Twierdzenia Granicznego rozkład ten będzie zbliżony do rozkładu normalnego przy wystarczająco dużej liczbie czynności na ścieżce krytycznej.

<sup>11</sup> MacCrimmon K.R., Ryavec C.A.: An Analytical Study of the PERT Assumption. „Operations Research”, Vol. 12, Iss. 1, 1964, p. 16-37.

<sup>12</sup> Metropolis N., Ulam S.: The Monte Carlo Method. „Journal of the American Statistical Association”, Vol. 44, No. 247, 1949, p. 335-341.

<sup>13</sup> Van Slyke R.M.: Monte Carlo Methods and the PERT Problem. „Operations Research”, Vol. 11, Iss. 5, 1963, p. 839-860.

szczegółowych informacji, co pozwala uzyskać dane na temat ogólnego ryzyka związanego z realizacją harmonogramu i budżetu projektu.

Pierwszym etapem metody Monte Carlo jest zebranie danych źródłowych. W przypadku szacowania czasu trwania projektu będą to rozkłady prawdopodobieństwa czasów trwania poszczególnych czynności w projekcie. Często używanymi danymi są, podobnie jak w przypadku metody PERT, optymistyczny, najbardziej prawdopodobny i pesymistyczny czas wykonania czynności. Na podstawie tych informacji określa się rozkład prawdopodobieństwa tego czasu, najczęściej przyjmując rozkład beta, normalny lub trójkątny<sup>14</sup>. Niekiedy odpowiedni rozkład prawdopodobieństwa może być dobrany na podstawie posiadanych danych historycznych.

W dalszej kolejności przeprowadza się wielokrotnie obliczenia czasu trwania całego projektu, przyjmując każdorazowo za czasy trwania poszczególnych czynności wartości uzyskane w sposób losowy oparte na przyjętych rozkładach prawdopodobieństwa. Każde takie powtórzenie nazywane jest iteracją. Dokładność wyników rośnie wraz z ilością iteracji. Dla znanych rozkładów prawdopodobieństwa (np. rozkład normalny, beta) można obliczyć liczbę iteracji potrzebną do uzyskania założonej dokładności wyniku.

Rezultatem działania metody jest przybliżony rozkład prawdopodobieństwa czasu trwania projektu. Otrzymane rezultaty mogą być analizowane pod kątem statystycznym. Dla przykładu można za ich pomocą odpowiedzieć na pytania „Jaki jest 90-procentowy przedział ufności czasu trwania projektu?”, „Jakie jest prawdopodobieństwo zrealizowania projektu w zadanym z góry czasie?”<sup>15</sup>.

Metoda Monte Carlo, w przeciwieństwie do metody PERT, nie wymaga, aby czasy trwania poszczególnych czynności były niezależne. Co więcej, daje ona możliwość uwzględnienia korelacji pomiędzy czasami dwóch lub więcej czynności<sup>16</sup>. Korelacja pomiędzy dwoma czynnościami określana jest liczbą z przedziału  $[-1,1]$ . Może ona mieć wartość dodatnią, co oznacza, że wzrost czasu trwania pierwszej czynności pociąga za sobą wzrost czasu trwania drugiej czynności, lub ujemną, co oznacza, że wzrost czasu trwania pierwszej czynności powoduje skrócenie czasu trwania drugiej czynności.

Przeprowadzenie symulacji Monte Carlo ze względu na konieczność wykonania często kilku tysięcy iteracji wymaga użycia odpowiedniego oprogramowania. Narzędzia, takie jak @Risk, RiskyProject, Risk+, które można zintegrować z Microsoft Project lub OraclePrimavera, ułatwiają przeprowadzenie symulacji i odpowiednią interpretację wyników.

---

<sup>14</sup> Kwak Y.H., Ingall L.: Exploring Monte Carlo Simulation Applications For Project Management. „Risk Management”, No. 9, 2007, p. 48.

<sup>15</sup> Williams T.: The Contribution of Mathematical Modeling to the Practice of Project Management. „IMA Journal of Management Mathematics”, Vol. 14, Iss. 1, 2003, p. 3.

<sup>16</sup> Pawlak M.: Symulacja Monte Carlo w analizie ryzyka projektów inwestycyjnych. Zeszyty Naukowe, s. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, nr 51, Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2012, s. 90.

Ponadto dostępnych jest wiele pakietów symulacyjnych ogólnego zastosowania, jak na przykład OracleCrystal Ball czy GoldSim.

Słabością metody Monte Carlo jest fakt, że często jej wynikiem jest bardzo szerokie oszacowanie czasu trwania projektu. Dzieje się tak dlatego, ponieważ symulacja nie uwzględnia reakcji osób zarządzających projektem na powstanie opóźnień. W praktyce, jeśli realizacja projektu opóźnia się w stosunku do harmonogramu, kierownik projektu najczęściej podejmuje kroki zmierzające do likwidacji lub zmniejszenia tych opóźnień.

Mimo że symulacje Monte Carlo są niezwykle pomocnym narzędziem, ich wyniki tylko na tyle dobrze oddają rzeczywistość, na ile była ona precyzyjnie opisana w przyjętym modelu i dostarczonych danych wejściowych. Jeśli rozkłady czasów wykonania poszczególnych czynności były dobrane niewłaściwie lub oszacowania czasów były błędne, działanie metody nie dostarczy żadnych wartościowych rezultatów. Jej zastosowanie wymaga ostrożności w doborze danych wejściowych, która może zagwarantować uniknięcie syndromu „*Garbage In, Gospel Out*” (wyniki przetwarzania błędnych danych będą błędne, nawet jeśli procedura przetwarzania była poprawna).

#### 4. Główne kierunki rozwoju metod zarządzania czasem w projekcie

Przedstawione metody leżą u podstaw zarządzania czasem i związanym z nim ryzykiem w projektach. Choć mają pewne wady i ograniczenia, stały się one punktem wyjścia do dalszych badań zmierzających do zaproponowania bardziej uniwersalnych i precyzyjniej oddających rzeczywistość metod. Obecnie prowadzone w tej dziedzinie badania naukowe w znacznej mierze bazują na rozwiązaniach wywodzących się od PERT/CPM i Monte Carlo.

Już w 1963 roku R. van Slyke zauważył, że w praktyce rozkład czasu trwania projektu odbiega często od rozkładu normalnego – jest on odchylony w prawą stronę i ograniczony z lewej. Dlatego też do modelowania tego czasu zaproponowano inne rozkłady prawdopodobieństwa, w szczególności jednymi z pierwszych używanych w tym celu rozkładów były rozkład wykładniczy i logarytmicznie normalny<sup>17</sup>. Wielu badaczy próbowało znaleźć inne przybliżenia i ograniczenia dla rozkładu czasu trwania projektu. W 1990 roku B. Dodin i M. Sirvanci pokazali, że faktyczny rozkład tego czasu jest ograniczony z jednej strony przez rozkład normalny, z drugiej zaś przez rozkład wartości ekstremalnych<sup>18</sup>, co zostało wykorzystane do zaproponowania algorytmu szacowania czasu trwania projektu<sup>19</sup>.

---

<sup>17</sup> Dean B., Mantel S., Roepcke L.: Research project cost distribution and budget forecasting. „IEEE Transactions on Engineering and Management”, Vol. 16, Iss. 4, 1969, p. 176-191.

<sup>18</sup> Dodin B., Sirvanci M.: Stochastic Networks and the Extreme Value Distribution. „Computers and Operations Research”, Vol. 17, Iss. 4, 1990, p. 397-409.

<sup>19</sup> Dodin B.: A Practical and Accurate Alternative to PERT, [in:] Józefowska J., Węglarz J. (eds.): Perspectives in Modern Project Scheduling. Springer, New York 2006.

Chociaż wciąż prowadzone są liczne badania w tym kierunku, ich wyniki nie doczekały się jeszcze zastosowania w praktyce zarządzania projektami.

Podobnie rzecz ma się z innym kierunkiem badań związanych z metodami harmonogramowania, którym jest zastosowanie teorii zbiorów rozmytych jako narzędzia modelowania niepewności. Punktem zwrotnym w tej dziedzinie okazała się praca S. Chanasa i J. Kamburowskiego z 1981 roku<sup>20</sup>, w której autorzy po raz pierwszy użyli tego narzędzia w metodzie PERT. Od tego czasu powstało wiele prac związanych z szacowaniem czasu trwania przedsięwzięcia (projektu) z wykorzystaniem liczb rozmytych (*fuzzy project scheduling*), jak również związanych z użyciem tej teorii w symulacjach Monte Carlo. Spektrum zastosowań tego narzędzia jest wciąż poszerzane, na przykład poprzez uwzględnienie ograniczeń związanych z zasobami<sup>21</sup>.

Istotą podejść wykorzystujących aparat liczb rozmytych jest uwzględnienie tego, że dane wejściowe mogą być nieprecyzyjne. Dlatego też nie są one traktowane jako pojedyncze, konkretne liczby, ale jako liczby rozmyte. Przez liczbę rozmytą rozumie się zbiór par uporządkowanych, gdzie pierwszy element pary jest liczbą rzeczywistą, a drugi określa stopień jego przynależności jako wartość z przedziału  $[0,1]$ . Dla takich liczb definiuje się operacje arytmetyczne, jednak ich wykonywanie pociąga za sobą pojawienie się problemów związanych z kumulowaniem niepewności<sup>22</sup>.

Niektórzy badacze zauważają, że wśród praktyków zarządzania projektami metody wykorzystujące liczby rozmyte nie są w ogóle znane jako zbyt teoretyczne i trudne do implementacji. Zostały podjęte nieliczne próby, które miały na celu wskazanie sposobu ich wdrożenia w praktyce<sup>23</sup>.

Interesującym rozwinięciem metody Monte Carlo jest wprowadzenie do niej czynników ryzyka (*riskdrivers*), przypisanych do poszczególnych czynności i określanych za pomocą prawdopodobieństwa ich wystąpienia i wpływu na czas wykonania zadania<sup>24</sup>. Każdy z czynników ryzyka może wpływać na więcej niż jedno zadanie. Co więcej, wpływ poszczególnych czynników może być określony w sposób stochastyczny. Uwzględnienie tak złożonych zależności w modelu analitycznym byłoby niezwykle trudne, dlatego też bazą dla tej metody stały się właśnie symulacje Monte Carlo.

Stosunkowo nowym podejściem, opartym także na symulacjach Monte Carlo, jest metoda łańcucha zdarzeń (*Event Chain Methodology*), która dodatkowo wprowadza relacje między

---

<sup>20</sup> Chanas S., Kamburowski J.: The use of fuzzy variables in PERT. „Fuzzy Sets and Systems”, Vol. 5, Iss. 1, 1981, p. 11-19.

<sup>21</sup> Masmoudi M., Haït A.: Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques. „Engineering Applications of Artificial Intelligence”, Vol. 26, No. 1, 2013, p. 135-149.

<sup>22</sup> Ibidem, p. 136.

<sup>23</sup> Bonnal P., Gourc D., Lacoste G.: Where Do We Stand with Fuzzy Project Scheduling? „Journal of Construction and Management”, Vol. 130, Iss. 1, 2004, p. 120-122.

<sup>24</sup> Hullet D.T., Nosbisch M.R.: Integrated Cost-Schedule Risk Analysis. „Cost Engineering”, Vol. 54, No. 6, 2012, p. 5-15.

zdarzeniami (rozumianymi w podobny sposób jak czynniki ryzyka)<sup>25</sup>. Zdarzenia mogą wpływać na czynności, zasoby lub cały projekt. Skutki ich wystąpienia również mogą być różnego rodzaju: opóźnienie czynności, ponowne jej rozpoczęcie, anulowanie itd. Zdarzenia mogą też wywoływać inne zdarzenia, łącząc się w łańcuchy zdarzeń. Metoda ta została stworzona przez firmę Intaver Institute i jest zaimplementowana w narzędziu RiskyProject tej firmy.

Metody czynników ryzyka i łańcucha zdarzeń są dosyć podobne do siebie, a co za tym idzie mają zbliżoną charakterystykę. Wspólnym problemem obu podejść jest konieczność dostarczenia dużej ilości danych, w szczególności dotyczących prawdopodobieństw wystąpienia ryzyka oraz jego skutków. Zebranie tych informacji wymaga często znacznego zaangażowania zespołu projektowego i jest czasochłonne. Co więcej, dane te są w wielu przypadkach trudne do precyzyjnego oszacowania, a ich niewystarczająca dokładność może znacząco zaburzyć wynik symulacji.

Wśród wielu obecnie rozwijanych podejść należy wymienić metodę łańcucha krytycznego<sup>26</sup> (*Critical Chain Project Management, CCPM*), która odchodzi od precyzyjnego szacowania czasów jako podstawy planowania projektu. Zamiast tego stosowane są agresywne<sup>27</sup> oszacowania czasów wykonania poszczególnych czynności, które są rekompensowane przez dodanie bufora projektu na końcu harmonogramu. Pełni on rolę nie tylko marginesu bezpieczeństwa, ale również jest traktowany jako miernik stanu projektu – zużycie bufora określa opóźnienie projektu w stosunku do przyjętych agresywnych oszacowań. Monitorowanie ryzyka niedotrzymania terminu realizacji projektu umożliwia wykres gorączki projektu (*fever chart*), który obrazuje stopień zużycia bufora w stosunku do stopnia realizacji projektu.

W ostatnich latach metoda łańcucha krytycznego wzbudza duże zainteresowanie zarówno wśród firm pracujących w sposób projektowy, jak i samych kierowników projektów. Nie przekłada się to jednak na powszechne jej stosowanie w praktyce biznesowej. Niewątpliwie wprowadzenie tej metody wiąże się z pewnymi trudnościami. Pierwszy problem stanowi właściwe określenie wielkości bufora projektu. Najczęściej stosowane jest podejście 50%, które definiuje jego wielkość na poziomie połowy długości łańcucha krytycznego, co jednak często prowadzi do przeszacowania czasu realizacji projektu. Kolejna trudność wiąże się z koniecznością przekonania osób odpowiedzialnych za szacowanie czasów trwania czynności w projekcie do podawania rzeczywiście agresywnych oszacowań. Co więcej, krytycy metody łańcucha krytycznego zarzucają jej, że opiera się ona bardziej na przesłankach psychologicznych niż na aparacie matematycznym.

---

<sup>25</sup> Virine L., Trumper M.: *Project Decisions – The Art and Science*. Management Concepts, VA 2008.

<sup>26</sup> Goldratt E.M.: *Critical chain*. The North River Press, Great Barrington, MA 1997.

<sup>27</sup> Zazwyczaj przyjmuje się, że oszacowanie jest agresywne, gdy wykonawca ma ok. 50% szans na to, że wykona dane zadanie w podanym czasie.

Praktycy stosujący tę metodę wskazują na fakt, że przynosi ona największe korzyści w przypadku pracy w środowisku wieloprojektowym. Jako przykład udanego wdrożenia CCPM w takim właśnie środowisku można wskazać Laboratorium Kosmetyczne Dr Irena Eris, w którym zaimplementowano tę metodę w celu usprawnienia wprowadzania na rynek nowych linii produktowych. Problemem biznesowym, który firma chciała rozwiązać poprzez wdrożenie metody łańcucha krytycznego, był coraz krótszy czas życia produktu oraz nasilająca się konkurencja w branży kosmetycznej, a co za tym idzie konieczność zwiększenia tempa prac nad nowymi produktami. Pomimo że w trakcie wdrożenia napotkano wiele problemów, ostatecznie okazało się ono dużym sukcesem i doprowadziło do usprawnienia komunikacji w zespołach projektowych oraz przepływu informacji zarządczej do osób odpowiedzialnych za cały program projektów<sup>28</sup>.

Od pewnego czasu coraz większą popularność zdobywa zwinne podejście do zarządzania projektami (*agile*). Początkowo stosowane było tylko w kontekście wytwarzania oprogramowania, wydaje się wychodzić obecnie poza obszar IT. Jedną z cech charakterystycznych tego podejścia jest przedłożenie reagowania na zmiany ponad podążanie za planem<sup>29</sup>. Nie znaczy to, że planowanie i estymowanie końca projektu są zupełnie nieistotne. Planowanie odbywa się krokowo na dwóch poziomach: projektu (*backlog* projektu) oraz sprintu (*backlog* sprintu). Każdy sprint ma ustalony, zazwyczaj dość krótki, czas trwania. Stosuje się natomiast różne techniki estymacji czynności, aby dobrać właściwie zakres prac wchodzących w jego skład. Metody zwinne nie definiują formalnego podejścia do zarządzania ryzykiem projektu. Odbywa się ono przede wszystkim za pomocą priorytetyzacji czynności. Najważniejsze oraz najbardziej ryzykowne otrzymują wysoki priorytet, co oznacza, że będą realizowane na początku sprintu. Jeśli związane z nimi ryzyko zmaterializuje się, powodując wydłużenie czasu realizacji tych czynności, wówczas zadania o niższym priorytecie są usuwane ze sprintu. Co więcej, krótkie iteracje dają możliwość szybkiego reagowania nie tylko na ryzyko, ale także na zmiany wymagań. W ostatnim czasie pojawiły się próby zdefiniowania bardziej formalnego modelu zarządzania ryzykiem dedykowanego dla zwinnych metod zarządzania projektami<sup>30</sup>.

Należy jednak zauważyć, że możliwości zastosowania metod zwinnych są ograniczone. Wskazaniem do ich stosowania są projekty, w których zakres może podlegać częstym zmianom. Natomiast dla projektów o ściśle ustalonym zakresie i z góry narzuconym wymaganym czasie wykonania metody *agile* nie wydają się zasadne. Ich zastosowanie może wiązać się także z problemem niekontrolowanych zmian strategii oraz zakresu projektu.

---

<sup>28</sup> Zajączkowski G.: Laboratorium Kosmetyczne Dr Irena Eris. Case Study: wdrożenie metody Łańcucha Krytycznego. „Zarządzanie Projektami”, nr 2(2), 2013, s. 44-48.

<sup>29</sup> Manifest Agile, <http://agilemanifesto.org>, dostęp 26.12.2013.

<sup>30</sup> Cunha R., Pereira C.S., Pinto J.A.: Agile software project: Proposal of a model to manage risk. Proceedings of Information Systems and Technologies (CISTI), Lisbon 2013.

## 5. Wnioski

Za główne kryterium sukcesu projektu przyjmuje się jego realizację, zgodną z przyjętym harmonogramem. Z tego względu pierwsze metody wspomagające zarządzanie projektami miały na celu właśnie planowanie harmonogramu i analizę ryzyka związanego z jego realizacją. Metody te rozwijały się wraz z całą dziedziną zarządzania projektami. Obecnie można zaobserwować, że rozwój ten przebiega w dwóch głównych kierunkach.

Pierwszy z nich związany jest z wykorzystaniem dostępnego aparatu matematycznego. Używane są zarówno dobrze znane prawa statystyki, jak również znacznie nowsze osiągnięcia nauki, jak choćby teoria zbiorów rozmytych. Ważnym narzędziem są również symulacje, dla których teoretyczną podstawę stanowią pojęcia rachunku prawdopodobieństwa. Niewątpliwie mocną stroną metod z tej grupy jest ich naukowa podbudowa, a co za tym idzie formalne uzasadnienie poprawności ich działania. Z drugiej jednak strony metody te stają się często bardzo skomplikowane i wymagają znacznej ilości precyzyjnych danych, dotyczących projektu, które nie zawsze są dostępne lub łatwe do uzyskania. Z tego powodu ich zastosowanie w praktyce napotyka na opór w środowisku osób zarządzających projektami. Dodatkowym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie tych metod jest fakt, że do zrozumienia zasad ich działania niezbędna jest fachowa wiedza matematyczna.

Drugi kierunek stanowią metody, które w mniejszym stopniu opierają się na formalnych, matematycznych podstawach, a w większym wynikają z praktyki biznesowej. Rezygnuje się w nich z próby uchwycenia wszystkich czynników ryzyka i ich szczegółowej analizy na rzecz uproszczenia zasad działania. Często brany jest też pod uwagę aspekt psychologiczny. Takie podejście jest stosunkowo nowe, dla przykładu metoda łańcucha krytycznego powstała w 1997 roku, a zasady metod zwinnych zostały sformułowane w 2001 roku. Pomimo braku formalnego dowodu poprawności ich działania, obie wymienione metody są uważane za przełomowe nie tylko w aspekcie zarządzania czasem w projekcie, ale i w całej dziedzinie zarządzania projektami.

Widoczny jest wyraźny rozdźwięk między nauką a praktyką w kontekście metod zarządzania czasem w projekcie. Chociaż naukowcy wciąż opracowują nowe metody i udoskonalają istniejące, wyniki tych prac rzadko znajdują zastosowanie w rzeczywistych przedsięwzięciach<sup>31</sup>. Większym zainteresowaniem wśród kierowników projektów cieszą się podejścia wynikające z praktyki, takie jak metoda łańcucha krytycznego i metody zwinne.

---

<sup>31</sup> Kuchta D.: Zarządzanie czasem i ryzykiem projektów – nauka a praktyka, [w:] Trzaskalik T. (red.): Modelowanie Preferencji a Ryzyko '08. Akademia Ekonomiczna, Katowice 2008, s. 280; Błaszczak T.: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów. Prace Naukowe, nr 238, Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław 2011, s. 21-22.

Nowym trendem w zarządzaniu czasem projektów jest łączenie istniejących podejść. Jako przykłady można podać połączenia metod zwinnych z tradycyjnymi czy metod zwinnych z CCPM<sup>32</sup>. Pojawiają się także próby stworzenia modeli łączących większą ilość metod lub wybranych ich elementów, jak choćby połączenie metody łańcucha krytycznego, symulacji Monte Carlo i analizy drzewa zdarzeń (*ETA*) w jedno spójne podejście<sup>33</sup>. Takie hybrydowe rozwiązania mogą stać się kierunkiem, który będzie kształtował przyszłość tego zagadnienia.

## Bibliografia

1. Biernat A., Stawicki J.: Agile i Tradycyjne Zarządzanie Projektami: „wojna światów” czy konwergencja? „Zarządzanie Projektami”, nr 2(2), 2013.
2. Błaszczak T.: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów. Prace Naukowe, nr 238, Uniwersytet Ekonomiczny, Wrocław 2011.
3. Bonnal P., Gourc D., Lacoste G.: Where Do We Stand with Fuzzy Project Scheduling? „Journal of Construction and Management”, Vol. 130, Iss. 1, 2004.
4. Chanas S., Kamburowski J.: The use of fuzzy variables in PERT. „Fuzzy Sets and Systems”, Vol. 5, Iss. 1, 1981.
5. Cunha R., Pereira C.S., Pinto J.A.: Agile software project: Proposal of a model to manage risk. Proceedings of Information Systems and Technologies (CISTI), Lisbon 2013.
6. Dean B., Mantel S., Roepcke L.: Research project cost distribution and budget forecasting. „IEEE Transactions on Engineering and Management”, Vol. 16, Iss. 4, 1969.
7. Dodin B.: A Practical and Accurate Alternative to PERT, [in:] Józefowska J., Węglarz J. (eds.): Perspectives in Modern Project Scheduling. Springer, New York 2006.
8. Dodin B., Sirvanci M.: Stochastic Networks and the Extreme Value Distribution. „Computers and Operations Research”, Vol. 17, Iss. 4, 1990.
9. Goldratt E.M.: Critical chain. The North River Press, Great Barrington, MA 1997.
10. Hullet D.T., Nosbisch M.R.: Integrated Cost-Schedule Risk Analysis. „Cost Engineering”, Vol. 54, No. 6, 2012.
11. ISO Guide 73:2009 Risk Management – Vocabulary. International Organization for Standardization, Geneva 2009.
12. Jajuga K. (red.): Zarządzanie ryzykiem. PWN, Warszawa 2007.

---

<sup>32</sup> Biernat A., Stawicki J.: Agile i Tradycyjne Zarządzanie Projektami: „wojna światów” czy konwergencja? „Zarządzanie Projektami”, nr 2(2), 2013, s. 27-29.

<sup>33</sup> Mansoorzadeh S., Yusof S.M., Zeynal H., Mansoorzadeh S.: A Risk-Based Project Schedule Estimation Method to Improve Project Reliability. „Advanced Science Letters”, Vol. 13, No. 1, 2012, p. 813-816.

13. Kaczmarek T.T.: Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne. Difin, Warszawa 2008.
14. Knight F.H.: Risk, Uncertainty and Profit. Houghton Mifflin Co., Boston and New York 1921.
15. Kozarkiewicz A.: Zarządzanie portfelami projektów. PWN, Warszawa 2012.
16. Kuchta D.: Zarządzanie czasem i ryzykiem projektów – nauka a praktyka, [w:] Trzaskalik T. (red.): Modelowanie Preferencji a Ryzyko '08. Akademia Ekonomiczna, Katowice 2008.
17. Kwak Y.H., Ingall L.: Exploring Monte Carlo Simulation Applications For Project Management. „Risk Management”, No. 9, 2007.
18. MacCrimmon K.R., Ryavec C.A.: An Analytical Study of the PERT Assumption. „Operations Research”, Vol. 12, Iss. 1, 1964.
19. Mansoorzadeh S., Yusof S.M., Zeynal H., Mansoorzadeh S.: A Risk-Based Project Schedule Estimation Method to Improve Project Reliability. „Advanced Science Letters”, Vol. 13, No. 1, 2012.
20. Masmoudi M., Haït A.: Project scheduling under uncertainty using fuzzy modelling and solving techniques. „Engineering Applications of Artificial Intelligence”, Vol. 26, No. 1, 2013.
21. Metropolis N., Ulam S.: The Monte Carlo Method. „Journal of the American Statistical Association”, Vol. 44, No. 247, 1949.
22. Pawlak M.: Symulacja Monte Carlo w analizie ryzyka projektów inwestycyjnych. Zeszyty Naukowe, s. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, nr 51, Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2012.
23. Pritchard C.L.: Zarządzanie ryzykiem w projektach. WIG-Press, Warszawa 2002.
24. Van Slyke R.M.: Monte Carlo Methods and the PERT Problem. „Operations Research”, Vol. 11, Iss. 5, 1963.
25. Virine L., Trumper M.: Project Decisions – The Art and Science. Management Concepts, VA 2008.
26. Ward S., Chapman C.: Transforming project risk management into project uncertainty management. „International Journal of Project Management”, Vol. 21, Iss. 2, 2003.
27. Williams T.: The Contribution of Mathematical Modeling to the Practice of Project Management. „IMA Journal of Management Mathematics”, Vol. 14, Iss. 1, 2003.
28. Zajączkowski G.: Laboratorium Kosmetyczne Dr Irena Eris. Case Study: wdrożenie metody Łańcucha Krytycznego. „Zarządzanie Projektami”, nr 2(2), 2013.
29. Manifest Agile, <http://agilemanifesto.org>, 26.12.2013.