

Rozdział 3

Harmonogramowanie przedsięwzięć projektowych

Bartosz Kolonko, Piotr Zaskórski

3.1. Strategia zarządzania czasem w projektach informatycznych

Sposób wykorzystania zasobów projektowych w systemie projektowym (w organizacji/zespole projektowym) decyduje o efektywności i jakości działań [1; 2; 3]. Ważnym działaniem staje się zatem ukształtowanie odpowiedniej struktury organizacyjnej samego zespołu, dobór wg kompetencji i zdolności do realizacji wybranych zadań projektowych. Czynniki te mają też bezpośredni wpływ na parametry czasowo-kosztowe projektu. Przedstawiony w rozdziale pierwszym trójkąt ograniczeń projektu wskazuje, że koszty i czas są silnie ze sobą powiązane. Organizacje projektowe dążą więc do optymalizacji wykorzystania zasobów i stąd do optymalizacji czasowo-kosztowej [4; 5; 6].

W dążeniu do osiągnięcia złotego środka pomiędzy czasem a kosztem realizacji wiele organizacji wskazuje na koncepcję **TBM** (ang. *Time Based Management*), która zakłada strategiczne znaczenie czynnika czasu. Czas staje się podstawowym czynnikiem determinującym wartość powstającego rozwiązania [7; 8], a dostarczanie projektu w wyznaczonym terminie jest wskazaniem stabilizującym pozycję rynkową zespołu projektowego (systemu/organizacji).

Ogólnie można stwierdzić, że do kluczowych założeń TBM należy orientacja na:

- 1) czynnik czasowy, ponieważ czas jest czynnikiem wymiernym, ale też nieodnawialnym;
- 2) skok ilościowy, gdzie sukces zespołów projektowych jest uzależniony od działań wielopodmiotowych poprzez wprowadzenie szybkich i skutecznych innowacji;
- 3) zespół, ponieważ dążymy do optymalizacji czasowej procesów poprzez analizę miejsc przecięcia się procesów z zakresami odpowiedzialności dla poszczególnych ról pełnionych przez członków zespołów projektowych;

- 4) wartości, ponieważ dąży się do usprawniania albo wręcz likwidowania działań, które nie przynoszą wartości dodanej;
- 5) strukturę organizacyjną zespołu, gdyż poprzez pracę zespołową można doprowadzić do rozwiązania problemów pojawiających się w punkcie styku procesów z funkcjami.

Można zatem przyjąć, że TBM jest metodą organizacyjną, bazującą na redukcji czasu realizacji działań na poziomie operacyjnym i strategicznym. Implementacja TBM w organizacjach projektowych jako systemach działania z mierzalnym celem może sprzyjać osiągnięciu szeregu korzyści, a w tym:

- 1) optymalizacji czasu reakcji na wymagania płynące z otoczenia;
- 2) możliwości podejmowania decyzji bezpośrednio w miejscu i czasie wystąpienia problemu;
- 3) przyspieszeniu i rytmiczności obiegu informacji.

TBM jest strategią racjonalną, ale nie każda organizacja może pozwolić na wykorzystanie tego podejścia w swoich strukturach. Wynika to z dość silnej centralizacji decyzji projektowych i z postrzegania czasu jako jednego z istotnych czynników ryzyka.

Inną ważną strategią może być strategia **ABM** (ang. *Activity Based Management*), w której zaleca się implementację techniki **ABC** (ang. *Activity Based Costing*), uwzględniającej założenie, że każdy proces (w tym projektowania) składa się z wielu aktywności, a każda z nich generuje koszty. Można zatem bazować na tzw. procesowym rachunku kosztów z uwzględnieniem [3; 9; 10]:

- 1) identyfikacji działań kluczowych generujących wartość dodaną w projekcie;
- 2) ustalenia miar i zasad pomiaru dla każdego działania;
- 3) wyznaczenia kosztu dla każdego działania w wyznaczonym czasie;
- 3) rozliczenia kosztów poszczególnych działań.

Wymienione wyżej etapy wymuszają uporządkowanie procedury rachunku kosztów i określenie wpływu poszczególnych procesów na wartość generowaną w projekcie. Może to przyczyniać się do wsparcia procesów ewidencji, analizy i zarządzania kosztami w zespole projektowym i w całej organizacji. Dbałość o rzetelny rachunek kosztów ma ścisły związek z monitorowaniem poziomu efektywności działania.

Wdrożenie wyżej omówionych koncepcji w firmie jest zaledwie podstawą do optymalizacji poziomu kosztów i czasu w organizacji [11; 12; 13; 14; 15]. Do tego celu służą metody optymalizacji czasowo-kosztowej, których praktyczna skuteczność jest determinowana rzetelnością oceny i szacowania czasu oraz kosztów. Sięga się wówczas do narzędzi i technik wspomagających zarządzanie tymi obszarami w sposób zsynchronizowany. Jedną z takich technik jest metoda CPM-COST, o czym będzie mowa w dalszej części książki.

3.2. Identyfikacja i analiza przydatności wybranych metod optymalizacji czasowo-kosztowej

3.2.1. Metody optymalizacji czasowej

Metody optymalizacji czasowej wymuszają na zespole projektowym pełną identyfikację zadań i czynności niezbędnych do realizacji danego etapu (drzewo projektu/procesów/zadań/czynności), jak również osiągnięcia celów całego projektu. Metody te wymagają zdefiniowania dodatkowych pojęć, jakimi są: harmonogram, diagram sieciowy i ścieżka krytyczna.

Harmonogram jest de facto ostatecznym wynikiem stosowania metod optymalizacji czasowej i odwzorowany jest w postaci wykazu terminów realizacji poszczególnych zadań (procesów/czynności projektowych) w konkretnym projekcie oraz całych etapów osiągania ustalonych celów (tzw. kamieni milowych) [10; 16; 17].

Opracowanie harmonogramu jest ważne, ponieważ ten:

- 1) sytuuje każde zadanie w projekcie w założonej sekwencji ciągu przedsięwzięć projektowych;
- 2) pozwala na ustalenie terminu rozpoczęcia i zakończenia projektu oraz każdej czynności/etapu;
- 3) daje możliwość identyfikacji zarówno miejsc złego wykorzystania zasobów, jak i problemów związanych z realizacją projektu;
- 4) pozwala na połączenie ze sobą różnych obszarów i wymiarów występujących wewnątrz i na zewnątrz projektu;
- 5) definiuje procesy zarządzania jakością w projekcie wg modelu *ex-ante*, co pozwala na wczesną identyfikację problemów oraz większą elastyczność w dopasowaniu się do potrzeb klienta/użytkownika.

Można mówić o harmonogramie bazowym i harmonogramie głównym. Przez harmonogram bazowy określany jest harmonogram wyznaczany analizą sieciową podczas fazy planowania projektu i zaakceptowany przez zespół zarządzający projektem, głównie przez sponsora. Harmonogram taki pozwala na kontrolę czasów realizacji zadań, czasu trwania projektu oraz poziomu wykorzystania budżetu. Przygotowany harmonogram bazowy jest podstawą do powstania harmonogramu głównego (zwanego również harmonogramem kamieni milowych) zawierającego najważniejsze działania, kamienie milowe (ważne etapy) i elementy struktury podziału pracy.

W zarządzaniu projektami dość często posługujemy się diagramem Gantta, który zalicza się do tzw. diagramów belkowych (paskowych) opisywanych na współrzędnych:

- 1) Pionowej – zawierającej listę zadań w projekcie, przy czym zaleca się dekompozycję zadań do poziomu zadań elementarnych, co pozwala monitorować pełny zakres projektu.
- 2) Poziomej – opisującej czas w ustalonej skali (godzin, dni, tygodni...).

Na diagramie Gantta odwzorowuje się paski zadań, kamienie milowe, ramy czasowe zadań i relacje pomiędzy poszczególnymi zadaniami/paskami. Elementami dodatkowymi wynikającymi z możliwości stosowania odpowiedniego oprogramowania wspomagającego przygotowanie diagramu i zarządzanie zasobami projektu są arkusze zasobów, arkusze obciążenia zasobów, wykresy stopnia zużycia zasobów i wykresy stopnia zaawansowania prac w projekcie.

Jak wcześniej wspomniano, sporządzenie harmonogramu jest de facto następstwem analizy sieciowej oraz metod optymalizacji czasowo-kosztowej i wymaga przyjęcia pewnej notacji do opisu przedsięwzięć projektowych. Notacją taką są diagramy sieciowe, które powstają w wyniku użycia technik sieciowych bazujących na teorii grafów (sieci). Podstawowymi elementami sieci są węzły i łuki, natomiast elementami funkcjonalnymi są zdarzenia, czynności i zależności strukturalne.

Można przy tym wyróżnić trzy rodzaje notacji sieci, gdy:

- 1) Czynności są opisane za pomocą łuków grafu, a zdarzenia są pokazane jako węzły (najczęstsza notacja).
- 2) Czynności są przedstawione w grafie jako węzły, natomiast zdarzenia jako łuki.
- 3) Węzeł jest prezentacją czynności i zdarzeń, a łuki przedstawiają relacje następstwa w czasie.

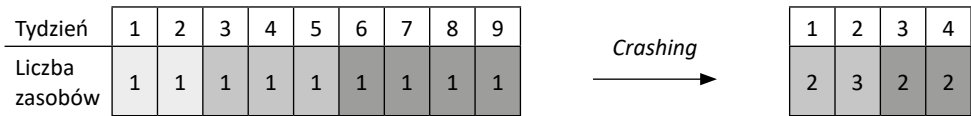
Stosowanie diagramów sieciowych niesie za sobą szereg korzyści, ponieważ:

- 1) umożliwia analizę powiązań pomiędzy elementami projektu,
- 2) daje możliwość znajdowania wąskich gardeł i zakłóceń w logice projektu oraz optymalizacji czasu,
- 3) pozwala na ustalenie zapasu czasowego dla projektu, jak i wyznaczenia ścieżki krytycznej,
- 4) daje platformę do dzielenia informacji pomiędzy kierownictwo projektu, zespół projektowy i interesariuszy,
- 5) jest narzędziem porządkującym i wspomagającym procesy decyzyjne,
- 6) wspiera proces kontroli i zarządzania projektem.

Istotnym komponentem diagramów sieciowych jest ścieżka krytyczna. Podczas budowania diagramu sieciowego przy pomocy metody CPM [10] wyznacza się tzw. ścieżkę krytyczną, będącą ciągiem połączonych ze sobą zadań bez rezerw czasowych. W interpretacji praktycznej jest to najdłuższa ścieżka w projekcie wyznaczająca ciąg zadań krytycznych, które muszą zostać wykonane. Stąd też wyznacza ona minimalny czas realizacji całego projektu.

W przypadku gdy pojawia się możliwość niepełnej realizacji projektu na czas, należy sięgnąć po jedną z dwóch technik proponowanych przez metodykę PMI, czyli **dodawanie zasobów** (ang. *crashing*) lub **równoległą realizację zadań** (ang. *fast tracking*).

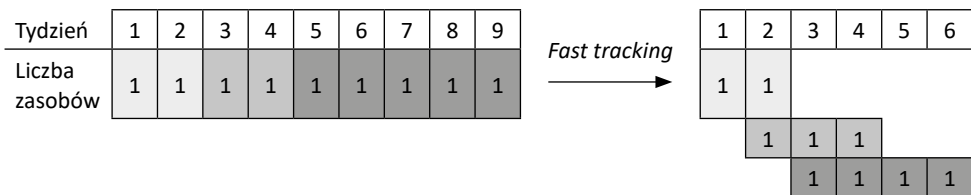
Obie metody służą do kompresji harmonogramów przy jednoczesnym zachowaniu ustalonego zakresu, przy czym *crashing* (rys. 3.1) zakłada dodanie dodatkowych zasobów (wzmocnienie) do projektu lub pracę w nadgodzinach w zakresie zadań ulokowanych na ścieżce krytycznej projektu. Ważne jest, aby te zasoby trafiały dokładnie wg założonych priorytetów [18; 19; 20]. W innym przypadku wzmocnienie to będzie nieodczuwalne. Technika ta niesie za sobą kilka problemów – z racji pojawienia się dodatkowych zasobów rosną koszty, rośnie też ryzyko związane z niepewnością, że *crashing* nie przyniesie spodziewanego skutku.



Rys. 3.1. Przykład implementacji metody *crashing*

Źródło: opracowanie własne na podstawie [21].

Drugą metodą kompresji harmonogramu projektu jest *fast tracking* (rys. 3.2), proponując równoległe wykonywanie zadań zlokalizowanych na ścieżce krytycznej w przypadku zadań, które miały być wykonane sekwencyjnie. Ważne jest, aby w tym przypadku nie stworzyć nowej ścieżki krytycznej dla projektu, co zwiększyłoby ryzyko w projekcie. Jednocześnie może się tu pojawić szansa powielania (nakładania) tej samej pracy w równolegle realizowanych zadaniach. Ta pozorna synergia może też prowadzić do zwiększenia kosztów projektu.



Rys. 3.2. Przykład implementacji metody *fast tracking*

Źródło: opracowanie własne na podstawie [21].

Procesy optymalizacji czasowej mogą generować same w sobie liczne trudności, ograniczenia i bariery. Przekraczanie ram czasowych jest często przyczyną ryzyka nieukończenia projektu [20; 22]. Zatem gdy występuje opóźnienie prac w stosunku do harmonogramu, należy na bieżąco:

- 1) monitorować ryzyko przekroczenia ram czasowych i dokonywać ponownej estymacji – w zależności od tego, na jak zaawansowanym etapie są prace projektowe, zalecane jest dokonanie ponownej estymacji z uwzględnieniem zredukowanej liczby typów ryzyka, co może doprowadzić do skrócenia czasu trwania poszczególnych zadań,
- 2) redukować zakres projektu za zgodą klienta/użytkownika, co pozwoli na dostarczenie projektu na czas [10; 23],
- 3) korygować wymagania jakościowe projektu i dostarczaniego produktu.

Warto pamiętać o tym, że ostatnie dwa działania nie są zalecane i powinny być stosowane wyłącznie w ostateczności, po pogłębionej analizie. Każde z nich może powodować nieadekwatność działań projektowych w stosunku do przyjętych i zatwierdzonych założeń czy ograniczeń. Ponadto tego typu zabiegi mogą skutkować naruszeniem zależności pomiędzy czasem a kosztami projektowania, co będzie przedmiotem dalszych rozważań.

3.2.2. Metody optymalizacji czasowo-kosztowej w projekcie informatycznym

W poprzednim podrozdziale koncentrowano się na istocie optymalizacji czasowej i własnościach powszechnie znanej metody **CPM** (ang. *Critical Path Method*), której przydatność można oceniać głównie przez pryzmat obiektywnej oceny czasu realizacji poszczególnych zadań jednoznacznie wkomponowanych w zakres projektu. Zmiany czasów realizacji mogą następować poprzez wykorzystanie metod kompresji harmonogramu projektu (*crashing* lub *fast tracking*). Jednak obie te metody wiążą się z ryzykiem wzrostu kosztów związanych z pojawieniem się dodatkowych zasobów w projekcie (*crashing*) lub powieleniem części pracy wykonywanej w ramach innego działania (*fast tracking*).

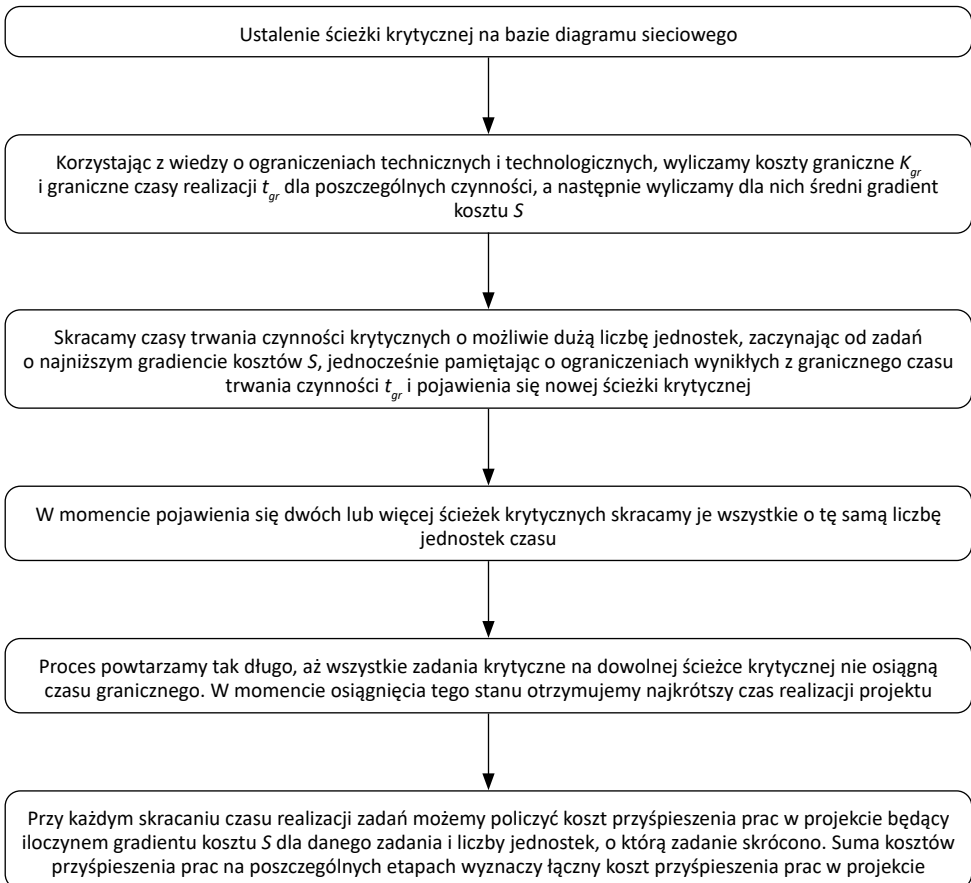
O wiele bardziej pożądanym podejściem do tematu optymalizacji czasowej jest uwzględnienie aspektu ekonomicznego takiego działania, w kontekście minimalizacji kosztów związanych z przyspieszaniem realizacji wybranych zadań. Istnieje wiele innych metod, umożliwiających osiągnięcie tego celu, a do najbardziej reprezentatywnych można zaliczyć CPM-COST oraz PERT-COST [10]. Obie są rozszerzeniem tradycyjnych już metod optymalizacji czasowej CPM i PERT (ang. *Project Evaluation & Review Technique*), pozwalających na tworzenie diagramów sieciowych i planów realizacji.

Metoda CPM-COST (rys. 3.3) zakłada, że czynności mają określone, odpowiednie czasy i koszty realizacji oraz relacje pomiędzy kosztem i czasem mogą zostać opisane za pomocą rosnącej funkcji liniowej. Przyjmując, że czas realizacji jest opisany jako t_n (czas normalny), to minimalne koszty związane z realizacją zadania w czasie normalnym wynoszą K_n . Osiągnięcie czasu granicznego trwania czynności t_{gr} , czyli czasu trwania czynności z uwzględnieniem możliwości jego skrócenia poprzez techniczno-technologiczne i organizacyjne

udoskonalenia, wiąże się ze wzrostem kosztu do poziomu kosztu granicznego K_{gr} . Dysponując takimi danymi, można wyznaczyć średni gradient wzrostu kosztu S mówiący o tym, jak zwiększą się koszty realizacji zadania przy jednoczesnym skróceniu czasu jego realizacji o jedną jednostkę czasową:

$$S = \frac{K_{gr} - K_n}{t_n - t_{gr}} \quad (3.1)$$

W przypadku gdy czasu realizacji nie da się skrócić dla danej czynności, to gradient S jest nieokreślony. Algorytm postępowania przy wykorzystaniu metody CPM-COST przedstawiono na rysunku 3.3.



Rys. 3.3. Algorytm CPM-COST

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10].

Posiłkując się metodą CPM-COST, można prześledzić jej działanie na przykładowych danych zawartych w tabeli 3.1., zawierającej spis czynności, ich odpowiednie koszty i czasy realizacji, co zilustrowano na diagramie sieciowym (rys. 3.4), przy czym czynności tworzące ścieżkę krytyczną (wg czasów normalnych z wykorzystaniem metody CPM) zostały w tabeli 3.1 wytłuszczone.

Tabela 3.1. Parametry czasowo-kosztowe sieci czynności dla przykładowego projektu

Czynność	t_n	t_{gr}	K_n	K_{gr}	S
A(1,2)	15	10	150	200	10
B(1,3)	15	13	50	100	25
C(2,4)	20	15	400	500	20
D(3,4)	35	30	300	450	30
E(4,5)	10	8	200	350	75
F(4,6)	45	35	700	1000	30
G(5,7)	25	22	360	480	40
H(6,8)	20	20	200	200	-
I(7,9)	10	10	150	150	-
J(8,10)	45	40	900	1200	60
K(9,11)	50	40	250	400	15
L(10,11)	10	8	100	180	40
M(11,12)	20	16	500	900	100
Sumarycznie			4260	6110	

Mając wyznaczoną ścieżkę krytyczną, rozpoczynamy proces skracania czasu trwania czynności należących do ścieżki krytycznej (rys. 3.5) od czynności leżącej na ścieżce krytycznej o najniższym gradiencie S , w tym wypadku B(1,3) z gradientem $S = 25$. Możemy skrócić czas trwania czynności o 2: z 15 do 13 dni, co będzie wiązać się z poniesieniem kosztów w wysokości:

$$K_1 = S_{(1,3)} \cdot \Delta t_{(1,3)} = 25 \cdot 2 = 50$$

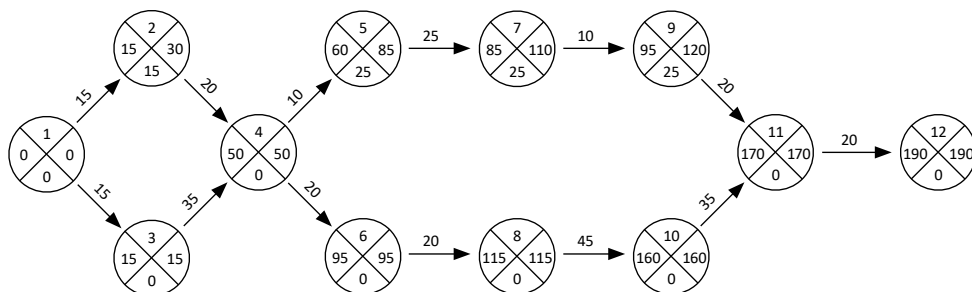
Przechodzimy do skracania kolejnych czynności (rys. 3.6). W tym momencie mamy dwie czynności o jednakowym gradiencie $S=30$, czyli D(3,4) i F(4,6). Czynność D(3,4) możemy skrócić o 5, a F(4,6) o 10 dni. Koszty tego skrócenia są następujące:

$$K_2 = S_{(3,4)} \cdot \Delta t_{(3,4)} = 30 \cdot 5 = 150$$

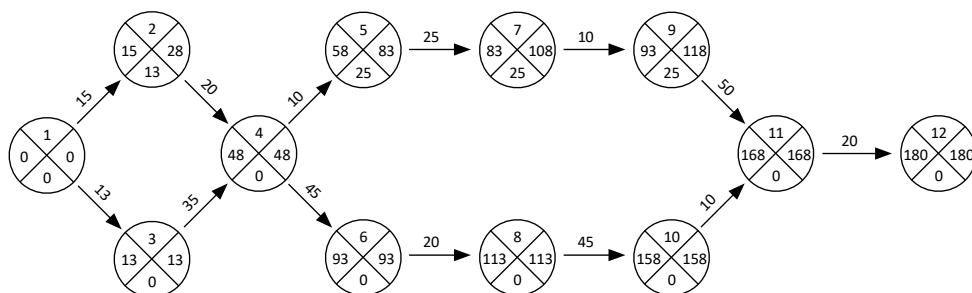
$$K_3 = S_{(4,6)} \cdot \Delta t_{(4,6)} = 30 \cdot 10 = 300$$

Kolejną czynnością do skrócenia jest L(10,11) o gradientie $S=40$, którą możemy skrócić do 8 dni (rys 3.7). Koszt tego będzie wynosić:

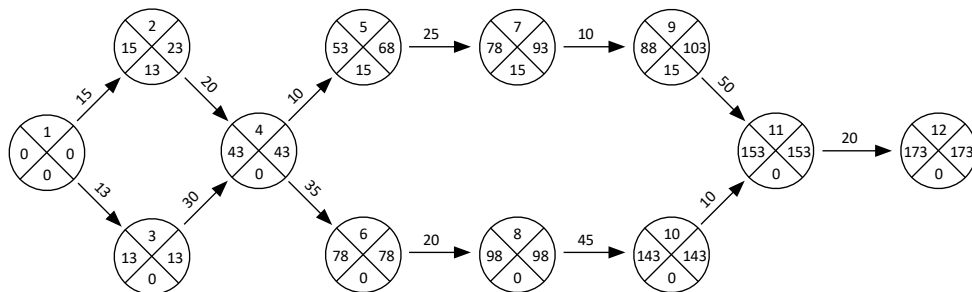
$$K_4 = S_{(10,11)} \cdot \Delta t_{(10,11)} = 40 \cdot 2 = 80$$



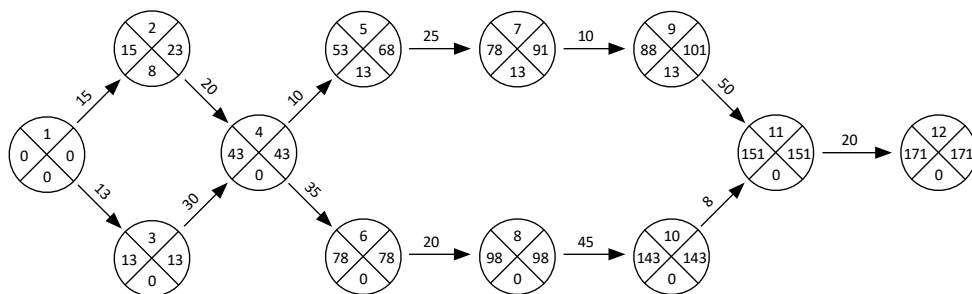
Rys. 3.4. Diagram sieciowy reprezentujący dane w tabeli 3.1



Rys. 3.5. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności B



Rys. 3.6. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności D i F



Rys. 3.7. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności L

Następną czynnością podlegającą skróceniu jest $J(8,10)$ o gradiencie $S = 60$, którą możemy skrócić z 45 do 40 jednostek czasu (rys. 3.8). Poniesiony koszt wyniesie:

$$K_5 = S_{(8,10)} \cdot \Delta t_{(8,10)} = 60 \cdot 5 = 300$$

Ostatnią czynnością, której czas trwania możemy skrócić, jest $M(11,12)$ z gradientem $S = 100$ (rys. 3.9). Koszt skrócenia czasu trwania tej czynności będzie wynosić:

$$K_6 = S_{(11,12)} \cdot \Delta t_{(11,12)} = 100 \cdot 4 = 400$$

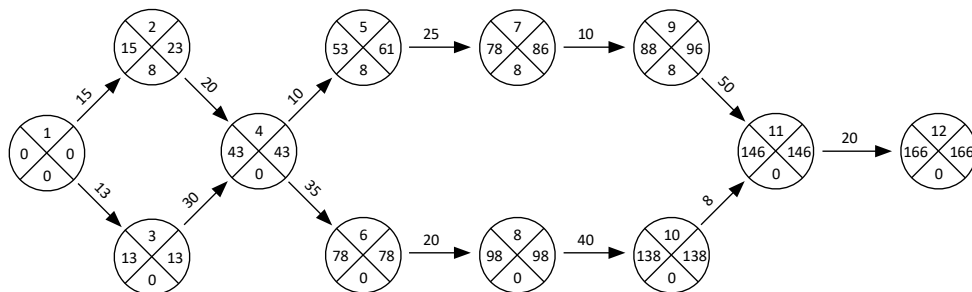
W tym momencie wszystkie czynności leżące na ścieżce krytycznej osiągnęły czasy graniczne i dlatego dalsze ich skracanie nie jest już możliwe, mimo że istnieją jeszcze możliwości skracania czynności poza ścieżką krytyczną. Jednak długość ścieżki krytycznej (162 jednostek) nie może ulec już skróceniu, ponieważ powstanie innej ścieżki krytycznej nie jest tu możliwe. Można zatem ostatecznie zredukować czas trwania projektu ze 190 jednostek czasowych do 162 jednostek czasowych, a sumaryczny koszt tej operacji wyniesie:

$$K_{\text{redukcji}} = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5 + K_6 = 50 + 150 + 300 + 80 + 300 + 400 = 1280$$

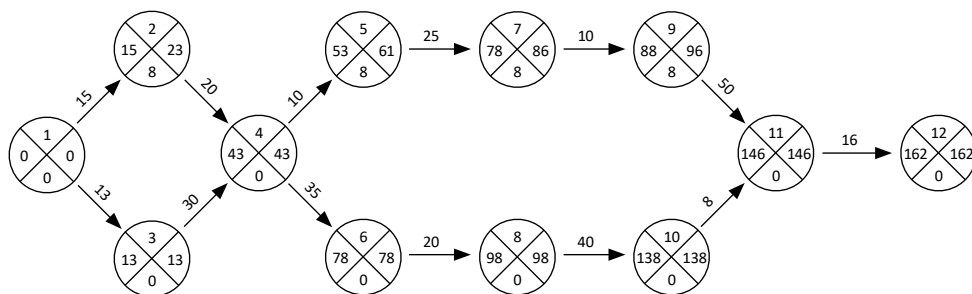
Z pokazanych tu przykładowych obliczeń wynika, że całkowity koszt projektu po możliwym procesie redukcji czasu jego trwania wynosi 5540 jednostek.

Warto pamiętać, że algorytm pozwala na przerwanie procesu skracania planowanego czasu realizacji projektu w dowolnym momencie w zależności od możliwości budżetu, jakim dysponujemy na to działanie, lub racjonalności (celowości) pełnego jego wykorzystania. Ponadto należy zauważyć, że gdyby przyspieszenie realizacji procesu projektowania na ścieżce krytycznej zredukowało rezerwy czasowe (na rys. 3.9 rezerwę 8 jednostek czasowych) dla czynności leżących poza ścieżką krytyczną – wówczas powstałaby druga ścieżka krytyczna i możliwa byłaby dalsza redukcja czasu trwania całego projektu w ramach

posiadanych możliwości budżetowych. Sposób postępowania byłby taki sam, ale należałoby wówczas równomiernie skracać obie ścieżki krytyczne (o tę samą wartość, aby nie naruszyć warunku ścieżki krytycznej, czyli zerowej rezerwy). W tym przypadku jednak taka możliwość nie zaistniała.



Rys. 3.8. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności J



Rys. 3.9. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności M

Metoda PERT-COST (rys. 3.10) operuje na założeniach bardzo podobnych do CPM-COST. Z racji tego, że opiera się ona na technice PERT, korzystamy tu z pojęcia oczekiwanego czasu trwania czynności t_{en} , opisanego zależnością wynikającą z rozkładu normalnego:

$$t_{en} = \frac{a_n + 4m_n + b_n}{6} \quad (3.2)$$

gdzie:

- a_n – optymistyczny czas wykonania czynności,
- m_n – najbardziej prawdopodobny czas wykonania czynności,
- b_n – pesymistyczny czas wykonania czynności.

Zakłada się, że czasowi t_{en} odpowiadają najniższe koszty wykonania tej czynności oznaczone jako K_n . Drugim pojęciem jest oczekiwany czas graniczny trwania czynności opisany jako t_{egr} , czyli najkrótszy, możliwy czas realizacji czynności przy uwzględnieniu ograniczeń technicznych, technologicznych i organizacyjnych. Temu czasowi odpowiadają koszty graniczne K_{gr} .

Ważnymi pojęciami względem CPM-COST jest stała relacja czasu optymistycznego i czasu pesymistycznego wyrażona zależnością dla:

- 1) czasu optymistycznego:

$$r_1 = \frac{a_n}{t_{en}} = \frac{a_{gr}}{t_{egr}} \quad (3.3)$$

- 2) czasu pesymistycznego:

$$r_2 = \frac{b_n}{t_{en}} = \frac{b_{gr}}{t_{egr}} \quad (3.4)$$

Relacje te umożliwiają wyznaczenie wartości odchylenia standardowego skróconego czasu trwania danej czynności:

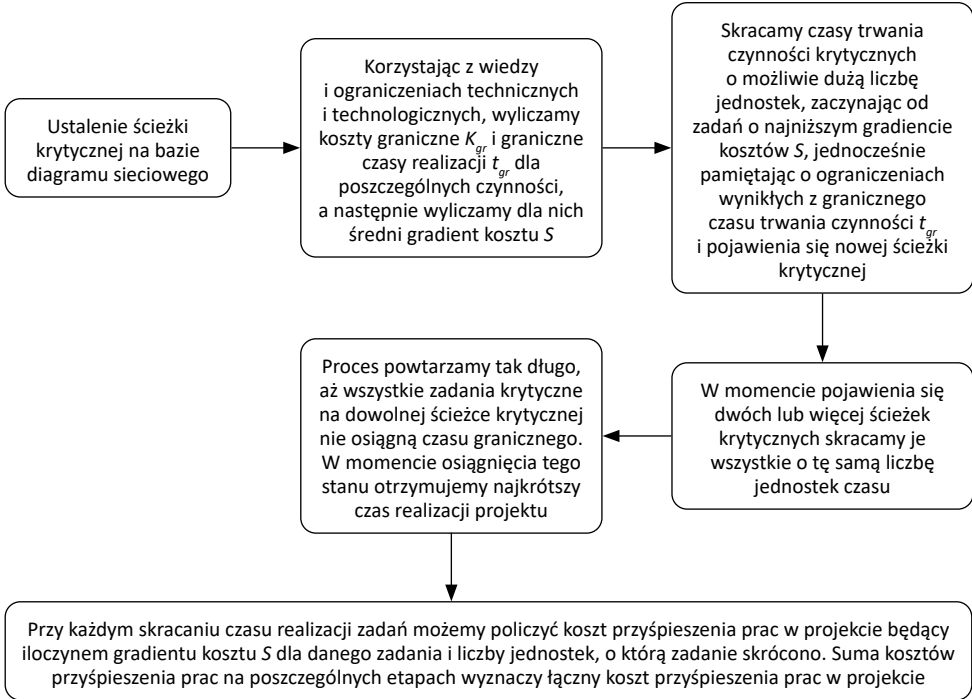
$$\sigma = \sqrt{\frac{(r_2 - r_1)^2}{36}} t_{es}^2 \quad (3.5)$$

gdzie:

t_{es} – skrócony czas realizacji danej czynności (po poniesieniu dodatkowych kosztów).

Metoda PERT-COST bazuje na bardziej złożonych zależnościach, a jej ramowy algorytm prezentuje rysunek 3.10.

Algorytm PERT-COST (rys. 3.10) umożliwia ocenę prawdopodobieństwa wykonania projektu przy zadanych ograniczeniach i wskaźnikach skracania czasu realizacji projektu (przedsięwzięcia/procesu) poprzez wzrost wartości zasobów (kosztów wykonania). Sytuację tę można zilustrować na przykładzie danych zawartych w tabeli 3.2 i diagramu sieciowego (rys. 3.11) w kontekście określenia możliwości skracania czasu realizacji wybranego przedsięwzięcia.

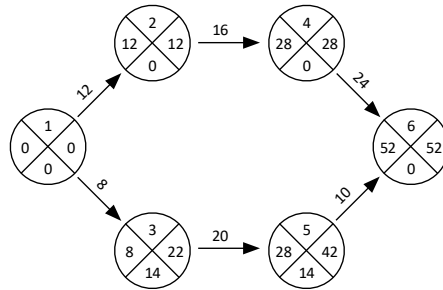


Rys. 3.10. Algorytm PERT-COST

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10].

Tabela 3.2. Parametry czasowo-kosztowe sieci opisującej przykładowy projekt (czynności wytłuszczone stanowią ścieżkę krytyczną)

Czynność	Szacowany czas			t_{en}	t_{egr}	K_n	K_{gr}	S	r_1	r_2
	a_n	m_n	b_n							
A(1,2)	7	12	17	12	8	100	300	50	0.58	1.42
B(1,3)	6	7	14	8	6	250	300	25	0.75	1.75
C(2,4)	10	13	34	16	14	50	120	35	0.63	2.13
D(3,5)	14	17	38	20	15	500	1000	100	0.7	1.9
E(4,6)	16	20	48	24	20	400	600	50	0.67	2
F(5,6)	4	8	24	10	8	200	400	100	0.4	2.4
Razem						1500	2720			

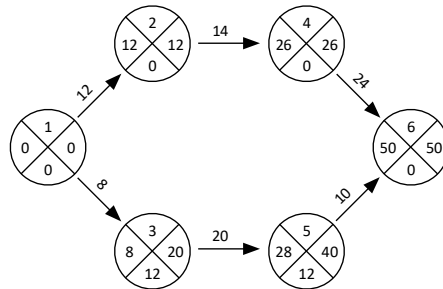


Rys. 3.11. Diagram sieciowy reprezentujący dane z tabeli 3.2

Ścieżkę krytyczną wyznaczoną w oparciu o wyliczone czasy oczekiwane tworzą czynności A(1,2), C(2,4) i E(4,6). Czas oczekiwany całego przedsięwzięcia wynosi 52 jednostki czasowe. Wyliczone gradienty kosztów są wskazaniem do skracania czasów trwania czynności w kolejności C(2,4), A(1,2), E(4,6).

Zacznijmy od skrócenia czasu trwania C(2,4) o gradientie $S = 35$ (rys. 3.12). Koszt tego działania wyniesie:

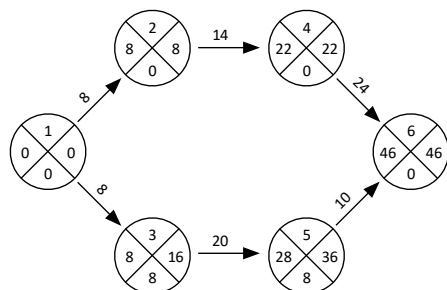
$$K_1 = S_{(2,4)} \cdot \Delta t_{(2,4)} = 35 \cdot 2 = 70$$



Rys. 3.12. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności C

Kolejna skracana czynność to A(1,2) z gradientem $S = 50$ (rys. 3.13). Koszt redukcji czasu realizacji tej czynności wyniesie:

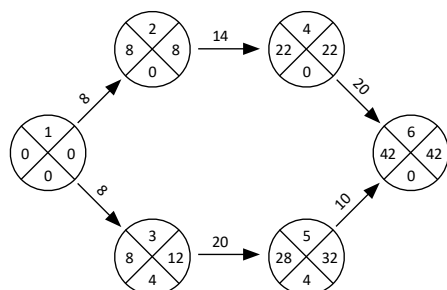
$$K_2 = S_{(1,2)} \cdot \Delta t_{(1,2)} = 50 \cdot 4 = 200$$



Rys. 3.13. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności A

Ostatnia czynność do zredukowania jej czasu trwania to E(4,6) z gradientem kosztów $S = 50$ (rys. 3.14). Koszt do poniesienia z racji przyspieszenia realizacji tej czynności wynosi:

$$K_3 = S_{(4,6)} \cdot \Delta t_{(4,6)} = 50 \cdot 4 = 200$$



Rys. 3.14. Diagram sieciowy po redukcji czasu trwania czynności E

W tym momencie wszystkie czynności krytyczne ze ścieżki krytycznej osiągnęły oczekiwane czasy graniczne trwania czynności i nie powstała inna „ścieżka krytyczna”. Gdyby jednak pojawiła się taka, wówczas powinno następować równomierne skracanie na obu ścieżkach o tę samą porcję czasu, aby nie naruszać istoty pojęcia ścieżka krytyczna. Zatem proces redukcji czasu trwania projektu został zakończony. Zredukowano czas trwania projektu z 52 do 42 jednostek czasu. Całkowity koszt tej redukcji czasu wyniósł:

$$K_{\text{redukcji}} = K_1 + K_2 + K_3 = 70 + 200 + 200 = 470$$

Całkowity koszt realizacji projektu po redukcji czasu jego trwania wynosi $1500 + 470 = 1970$ jednostek. To kończy optymalizację czasowo-kosztową z wykorzystaniem metody PERT-COST, mimo że istnieje zapas budżetowy (kosztowy), ale nie ma już możliwości skracania ścieżki krytycznej.

Kolejnym etapem w analizie czasowo-kosztowej wykorzystującej metodę PERT-COST jest możliwość oszacowania odchylenia standardowego czasu oczekiwanego realizacji projektu σT_e na każdym kroku skracania czasu trwania projektu poprzez szacowanie odchylenia standardowego dla każdej czynności ulokowanej (-ych) na ścieżce (ścieżkach) krytycznej (krytycznych), a dzięki temu możliwość oszacowania prawdopodobieństwa ukończenia projektu w zadanym czasie. Wartości dla σT_e w poszczególnych krokach skracania czasu realizacji projektu przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Odchylenie standardowe czasu oczekiwanego realizacji projektu

Krok	Skracana czynność	σ_A	σ_B	σ_C	σ_D	σ_E	σ_F	σT_e
1	C(2,4)	1.68	1.33	3.5	4	5.32	3.33	8.5
2	A(1,2)	1.12	1.33	3.5	4	5.32	3.33	8.41
3	E(4,6)	1.12	1.33	3.5	4	4.43	3.33	7.87

Jak można zauważyć, σT_e z każdym kolejnym skróceniem czasu trwania czynności zmniejsza się. To przekłada się na zwiększające się prawdopodobieństwo zrealizowania projektu w zadanym czasie. Przyjmując, że dostajemy od zarządu (zleceniodawcy/właściciela projektu/sponsora) pytanie, jaka jest szansa na ukończenie projektu w ciągu 55 jednostek czasu, to po każdym kroku jesteśmy w stanie określić wartość parametru z będącego dystrybuantą rozkładu normalnego wg wzoru:

$$z = \frac{T_z - T_o}{\sigma T_e} \quad (3.6)$$

gdzie:

T_z – czas żądany,

T_o – czas oczekiwany.

W prezentowanym przykładzie wartość z po skróceniu czasu trwania czynności C(2,4) wynosi:

$$z = \frac{55 - 50}{8,5} \approx 0,59$$

Po skorzystaniu z tablic rozkładu normalnego, wartość z przekłada się na około 72% szans na zakończenie projektu w żądanym czasie. Sprawdzając z po skróceniu czasu trwania A(1,2), otrzymujemy:

$$z = \frac{55 - 46}{8,41} \approx 1,07$$

W tym wypadku otrzymujemy około 86% szans na skończenie projektu w ciągu 55 jednostek czasu. Po skróceniu czasu trwania ostatniej czynności E(4,6) otrzymujemy:

$$z = \frac{55 - 42}{7,87} \approx 1,65$$

Po skróceniu ostatniej możliwej czynności i wydatkowaniu dodatkowych środków zwiększa się szansa do 95% na zakończenie projektu w żądanym czasie (zakładanym przez zarząd projektu).

Wskazane powyżej dwie metody należą do najpopularniejszych metod pozwalających przygotować projekt pod względem analizy czasowo-kosztowej. Obie zawierają w sobie wiele uproszczeń, ale sam fakt wymuszenia na kierowniku projektu racjonalnej i wieloaspektowej analizy sieciowej jest elementem stabilizującym projekt w wymiarze czasowo-kosztowym. Zwymiarowanie złożoności projektu i jego parametrów umożliwia optymalizację czasowo-kosztową. Przeprowadzona w ten sposób analiza może istotnie wpływać na realność i przydatność harmonogramu projektu. Bez zbudowania drzewa projektu, a potem sieci zależności logiczno-czasowej poszczególnych przedsięwzięć (procesów, zadań/czynności), trudno jest wygenerować rzetelny dokument zarządczy, jakim jest harmonogram realizacji projektu z uwzględnieniem ograniczeń i możliwości zasobowo-budżetowych.

Warto w tym miejscu zaznaczyć, że CPM-COST operuje na odgórnie zdefiniowanych czasach i może być unifikowana poprzez wykorzystanie metody PERT-COST umożliwiającej traktowanie czasu jako zmiennej losowej pozwalającej na oszacowania statystyczne. Ważna przy tym jest prostota obliczeniowa każdej z tych metod. Nie jest wymagane zaawansowane przygotowanie danych przed zastosowaniem algorytmów, a same algorytmy bazują na preferowaniu czynności o najniższym gradiencie kosztów przy zachowaniu nieprzekraczalności czasów granicznych i możliwości pojawienia się dodatkowej ścieżki krytycznej.

3.2.3. Ocena porównawcza wybranych metod optymalizacji czasowo-kosztowej

Wskazane wyżej metody optymalizacji czasowo-kosztowej bazują na diagramach sieciowych, co objawia się przejrzystością sekwencji zdarzeń w postaci grafów. Obie metody eksponują zjawisko ścieżki krytycznej i powiązania pomiędzy zadaniami z uwzględnieniem rezerwy czasowej na każdym etapie realizacji projektu (poszczególnych zadaniach). Każda z nich może być dostosowana do potrzeb konkretnego projektu, niezależnie od jego wielkości i złożoności oraz uwarunkowań technologiczno-budżetowych. Jeżeli chcemy tylko częściowo przyspieszyć prace, to algorytm daje możliwość zatrzymania się po kilku przebiegach, ale jeżeli priorytetem jest możliwie szybkie zakończenie projektu – bez

zważania na koszty – to podobne możliwości są do wykorzystania zarówno w metodzie CPM-COST, jak i PERT-COST. W prezentowanych wyżej przykładach przedstawiono proste sieci projektów, ale każdy z algorytmów jest przydatny dla projektów o wiele większych i bardziej złożonych.

Ważnym także powodem przesądającym o przydatności tych wybranych metod jest fakt, że obie te metody mogą skutecznie wspierać proces zarządzania projektem i proces jego harmonogramowania [23; 24; 25; 26]. Z ich pomocą jesteśmy w stanie ustalić czas realizacji projektu, zapasy czasowe dla każdego zadania oraz ocenić możliwości redukcji czasu trwania projektu oraz koszty z tym powiązane.

Do mocnych stron obu algorytmów należy łatwość użycia każdej z metod oraz możliwość zastosowania w projektach różnej wielkości z przejrzystością diagramów sieciowych. Do ich słabych stron można zaliczyć fakt, że wraz ze wzrostem wielkości projektu zmniejsza się czytelność diagramu, jak i zwiększa się liczba przeliczeń (obliczeń), które muszą być wykonane podczas skracania czasów trwania wybranych czynności. Warto też zaakcentować fakt, że CPM-COST jest metodą deterministyczną przyjmującą, że czasy trwania czynności są określone z góry, natomiast metoda PERT-COST jest metodą indeterministyczną bazującą na czasie jako zmiennej losowej o rozkładzie normalnym. Ponadto metoda CPM-COST nie daje zbytnej elastyczności.

Metoda PERT-COST może sprzyjać weryfikacji źródeł ryzyka związanego z niedoborem czasu i nadmiernymi kosztami [7; 8; 9; 22]. Szczególnie w przypadku, gdy ocena czasów optymistycznych, prawdopodobnych i pesymistycznych zostanie wykonana błędnie (np. poprzez małe doświadczenie kierownika projektu), to czas realizacji projektu może być obciążony skumulowanym błędem i brakiem możliwości jego skrócenia. W obu metodach przy redukcji czasu trwania projektu jesteśmy uzależnieni nie tylko od budżetu, ale od kompetencji wykonawców i jakości dostępnych, niezbędnych zasobów. Jeśli równocześnie nie będzie kontrolowany stan i dostępność zasobów, to przygotowany plan redukcji czasu realizacji projektu może nie być możliwy do realizacji.

Ostatecznie można potwierdzić, że obie metody mogą jednak generować określone szanse poprawy sytuacji projektowej. Dodatkowo metoda PERT-COST jest nie tylko narzędziem do optymalizacji czasowo-kosztowej projektu, ale także daje bardzo ważne wskazanie i możliwość oszacowania prawdopodobieństwa zakończenia projektu na czas w zadanych warunkach, opierając się na zmiennych czasowych przypisanych do poszczególnych czynności. Ponadto obie metody dają też szansę na dynamiczne dostosowywanie czasu trwania projektu do zmieniających się potrzeb wynikających np. ze zmian na rynku, w związku z czym ważne jest tempo uzyskiwania określonego produktu (wyniku projektowania).

3.3. Metody optymalizacji czasowo-kosztowej w kontekście efektywności przedsięwzięć projektowych

3.3.1. Wpływ optymalizacji czasowo-kosztowej na poziom kosztów i efektów projektu

Optymalizacja czasowo-kosztowa prowadzić może do skrócenia czasu prac w projekcie przy jednoczesnym ponoszeniu dodatkowych kosztów związanych z procesem skracania czasu realizacji zaplanowanych prac. Można tutaj zauważyć dwa modelowe sposoby postępowania [27]:

- 1) Dążenie do minimalizacji czasu trwania projektu T , biorąc pod uwagę dostępne środki K^* , które możemy wykorzystać na skrócenie czasu realizacji projektu:

$$T \longrightarrow \min, \text{ przy czym: } K \leq K^* \quad (3.7)$$

- 2) Dążenie do realizacji projektu w czasie nie dłuższym niż czas przewidziany na projekt T^* , starając się spełnić kryterium najniższych kosztów:

$$K \longrightarrow \min, \text{ przy czym: } T \leq T^* \quad (3.8)$$

Tabela 3.4. Wybrane wskaźniki ekonomiczne wartości projektów

Wskaźnik	Zależność	Opis
Efekt brutto (lub przychód, czyli wartość rynkowa projektu)	$E_B \equiv P = w \cdot c_j$ gdzie: E_B – efekt brutto, P – przychód, w – wielkość produkcji (zadań, złożoność), c_j – cena jednostkowa.	Szacowana wartość rynkowa wyniku projektu (lub faktyczna, uzyskana w postaci przychodu z działalności projektowej)
Efekt netto (zysk)	$\Delta E_N \equiv E_B - K_C$ gdzie: E_N – efekt netto, K_C – koszty całkowite.	Efekt brutto pomniejszony o koszty całkowite w projekcie
Marża pokrycia	$M_p = E_B - K_{SR}$ gdzie: M_p – marża pokrycia, K_{SR} – koszt siły roboczej.	Efekt brutto pomniejszony o koszty siły roboczej – wyznacza wielkość dostępnych środków na pokrycie kosztów niezmiennych i kosztów surowcowych

Wskaźnik	Zależność	Opis
Wartość dodana	$W_d = E_B - K_{SMU}$ gdzie: W_d – wartość dodana, K_{SMU} – koszty surowców, materiałów i usług.	Efekt brutto pomniejszony o koszty surowców, materiałów i usług obcych – informuje o pozyskanych wartościach własnych zasobów, jak np. wiedza czy doświadczenie
Wkład	$W_{Kl} = E_B - K_B$ gdzie: W_{Kl} – wkład, K_B – koszty bezpośrednie.	Efekt brutto pomniejszony o koszty bezpośrednie – informuje o możliwości pokrycia kosztów ogólnych i stałych, czyli o tzw. standardzie realizacji projektu
Koszt krańcowy	$K_K = \Delta K_C / \Delta w$ gdzie: K_K – koszt krańcowy Δw – dodatkowy efekt ΔK_C – część kosztów w ramach już poniesionych nakładów.	Wyznacza koszt wytworzenia dodatkowej jednostki lub realizacji dodatkowego zadania w projekcie (wynikającego z powiększenia zakresu projektu) w ramach już ponoszonych kosztów (nakładów)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3].

Do analizy wpływu optymalizacji czasowo-kosztowej na koszty i efekty projektu można pośilkować się wieloma wskaźnikami projektu, uwzględniającymi zarówno różne wskaźniki kosztowe, jak i wskaźniki (składowe) ekonomicznych efektów projektu. W tabeli 3.4 zostały przedstawione dodatkowo wybrane wskaźniki ekonomicznej wartości prac z uwzględnieniem wybranych typów kosztów w projektach, które mogą być przydatne w wymiarowaniu efektywności prac projektowych.

W zależności od tego, jakie wskaźniki kosztowe będą eksponowane w procesie optymalizacji, odpowiednio ulegną zmianie wskaźniki ekonomicznej wartości projektu. Ponadto dzięki skracaniu czasu trwania projektu można uniknąć konsekwencji organizacyjno-prawnych i ekonomicznych, np. kar za przekroczenie terminu dostarczenia rozwiązania, lub osiągnąć większy efekt netto (zysk) wynikający z możliwości kreowania popytu na planowane rozwiązanie na rynku.

Przy ocenie efektów optymalizacji czasowo-kosztowej można odnieść się do tzw. Granicznego Punktu Rentowności (GPR). W metodzie tej posługujemy się analizą *break-even*, która, bazując na wartościach przychodu i kosztów całkowitych, pozwala ustalić moment, w którym zyski i koszty w projekcie równoważą się (rys. 3.15):

$$P = K_C \quad (3.9)$$

gdzie:

P – przychód (lub efekt brutto, planowana wartość rynkowa projektu),

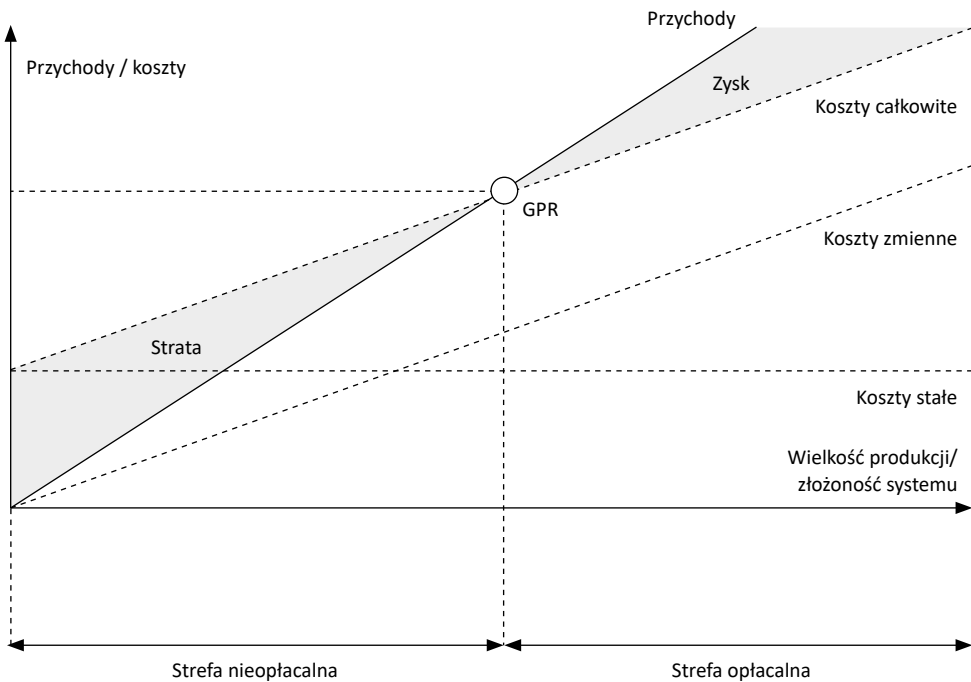
K_c – koszty całkowite (rzeczywiste lub planowane).

Równocześnie możemy odnotować, że w GPR zysk netto ΔZ_N jest równy zero:

$$\Delta Z_N = 0 \quad (3.10)$$

Korzystając z wyników analizy *break-even*, uzyskiwać można informacje istotne do podejmowania decyzji w projekcie. Z racji pojawienia się nowych kosztów przy skracaniu czasu trwania projektu, które mogą wynikać z np. potrzeby zatrudnienia nowego pracownika i spowodują wzrost kosztów całkowitych w projekcie, nastąpi przesunięcie GPR w prawo, czyli zrównoważenie kosztów i wartości wyników może nastąpić później. Może zatem powiększać się strefa strat. Nie jest to jednak przesądzone, gdyż ze wzrostem kosztów może następować szybszy przyrost wartości projektu i nawet wcześniejsze osiągnięcie GPR.

Wynika z tego, że ten typ analizy powinien mieć charakter ciągły, aby na bieżąco oceniać opłacalność wynikową naszych działań na każdym etapie realizacji projektu zarówno w perspektywie planistycznej, jak i w perspektywie *ex-post* po realizacji każdego etapu [3; 28; 29].



Rys. 3.15. Graficzna reprezentacja Granicznego Punktu Rentowności w oparciu o wykres break-even

Źródło: opracowanie własne na podstawie [33].

GPR możemy rozumieć na dwa sposoby, określające wymiar:

- 1) Ilościowy, gdzie przyjmujemy, że GPR mówi o tym, kiedy projekt zaczyna być opłacalny, co wyraża zależność:

$$GPR_{IL} = \frac{K_s}{c_j - k_z} \quad (3.11)$$

gdzie:

K_s – koszty stałe,

c_j – cena jednostkowa wyniku projektu,

k_z – jednostkowy koszt zmienny uzyskania wyniku projektu.

- 2) Wartościowy, gdzie GPR mówi, jaką ekonomiczną wartość powinien osiągnąć wynik projektu, żeby pokryte zostały koszty jego wytworzenia, co przedstawia wzór 3.12.

$$GPR_{WAR} = \frac{K_s}{1 - \frac{k_z}{c_j}} = c_j \cdot GPR_{IL} \quad (3.12)$$

Analiza *break-even* daje jeszcze jedną, pomocną informację o tzw. marginesie bezpieczeństwa, który mówi, o ile procent faktyczny przychód (wartość wynikowa projektu) przewyższa przychód przewidziany wg budżetu projektu. Wartość marginesu bezpieczeństwa określa obszar tzw. swobody projektowej (decyzji) i może być oszacowany za pomocą zależności:

$$MB = \frac{P_B - P_{GPR}}{P_B} \cdot 100\% \quad (3.13)$$

gdzie:

MB – margines bezpieczeństwa,

P_B – przychód wg budżetu,

P_{GPR} – przychód faktyczny (powyżej GPR).

Warto tu zauważyć, że choć analiza *break-even* nie bierze pod uwagę zmiany wartości pieniądza w czasie, to jej zaletę widać przede wszystkim dla projektów o krótkim czasie realizacji albo o wysokiej złożoności przy wcześniejszym ustaleniu zmian w bezwzględnej wartości kosztów i efektów w poszczególnych przedziałach czasu. W przypadku projektów długoterminowych, z budżetem kapitałowym, zalecane jest stosowanie metod dyskontowych. Ponadto dzięki obserwacji wskaźnika GPR (rys. 3.15) można stwierdzić, jak zmiana

kosztów w projekcie wpływa na jego ogólną efektywność. Zmniejszając strefę strat i przyspieszając moment osiągnięcia strefy zysków, dąży się do zwiększenia efektywności przedsięwzięć projektowych.

3.3.2. Założenia i ograniczenia modelu zwiększania efektywności przedsięwzięć projektowych

Zidentyfikowane wcześniej miary i determinanty efektywności przedsięwzięć projektowych oraz związane z tym koszty wpływają na efektywność projektu. Zarządzanie kosztami i efektywnością jest zadaniem złożonym, poddającym testowi wiedzę i umiejętności kierownika projektu [28; 30]. Weryfikacja efektywności w projekcie daje możliwość kierownikowi zdobycia niezbędnych informacji do skutecznego zarządzania budżetem projektu [31; 32].

Ocena efektywności projektu wskazuje na kondycję finansową projektu (jak i również całego przedsiębiorstwa) poprzez:

- 1) określenie wartości procesów/zadań w projekcie z uwzględnieniem zysków i strat;
- 2) uzyskanie możliwości ustalenia zależności pomiędzy projektem i jego otoczeniem;
- 3) hierarchizację i wskazanie procesów wymagających optymalizacji w kontekście minimalizacji kosztów i zwiększenia wydajności działań generujących większe zyski;
- 4) wsparcie dla działań polegających na dokonaniu analizy relacji występujących w projekcie na poziomie poszczególnych procesów, co pozwala na optymalizację kosztów;
- 5) umożliwienie powiązania kryterium efektywności z innymi cechami systemowymi ważnymi dla jakości projektu [33] (o czym będzie mowa w kolejnym rozdziale) z wykorzystaniem analizy systemowej;
- 6) wsparcie procesu podejmowania decyzji na tle analizy opłacalności projektu;
- 7) sukcesywne dostarczanie informacji o stanie finansowym (stanie realizacji budżetu projektu) poszczególnych obszarów projektu.

Skutecznie zrealizowane projekty mogą mieć silny wpływ na otoczenie projektu i pozycję rynkową (efektywność zewnętrzna) organizacji projektowej, ale także odwrotnie – otoczenie i społeczeństwo wpływa na sposób realizacji projektu i jego efektywność poprzez różne wymuszenia standaryzacyjne (walidacyjne) i tzw. standard techniczno-technologiczny proponowanych rozwiązań. Mając na uwadze powyższe, powinniśmy dążyć do zwiększania efektywności działań w projekcie [26], co również będzie wpływać na status finansowy projektu. W tym celu należy podejmować szereg działań, takich jak:

- 1) redukcja kosztów wynikłych z realizacji projektu, co może być możliwe do osiągnięcia poprzez rozwój technologiczny, normowanie, standaryzację i unifikację procesów;
- 2) zwiększanie wydajności prac w poszczególnych obszarach projektowych, co prowadzi do skrócenia czasu trwania działań w tych obszarach, relokacji zasobów z innych obszarów, mających oszczędności, do tych z deficytem, co finalnie zmniejszy zużycie zasobów przez wskazane procesy;

- 3) dążenie do automatyzacji (standard techniczno-technologiczny/narzędziowy) prac w projekcie informatycznym, co może zmniejszyć liczbę błędów pojawiających się w procesach i czynnościach powtarzalnych, a także ograniczy czas realizacji poszczególnych procesów, pozwalając na zwiększenie zakresu projektu przy tych samych kosztach;
- 4) udoskonalanie jakości produktów projektu przekładającej się na zwiększenie użyteczności rozwiązania dla klienta, ponieważ zaniżony poziom jakości może obniżyć wartość ekonomiczno-finansową projektu (zmniejszony zysk czy zwiększone koszty nadzoru autorskiego), a także negatywnie wpływa na efektywność projektu.

Prowadzenie tego typu działań służy polepszeniu pozycji organizacji projektowej na rynku oraz zwiększeniu jakości świadczonych usług. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że wymienione powyżej sposoby zwiększenia efektywności w projekcie mają pewne ograniczenia. Każdy z nich pociąga za sobą ponoszenie dodatkowych kosztów i czasu, niezbędnych do ich wdrożenia. Skala tych ograniczeń będzie się wahać w zależności od wybranych metod, ale trzeba pamiętać, że choć działania takie mają wysoki koszt, w dłuższym rozrachunku mogą dość szybko się zwrócić i wpłynąć pozytywnie na poziom efektywności.

3.3.3. Model zwiększania efektywności w projektach informatycznych

Efektywność w projekcie informatycznym jest składową wielu czynników [3; 30], przede wszystkim:

- 1) jakości i sposobu pozyskiwania zasobów do projektu,
- 2) warunków, w jakich realizowane są projekty podobne,
- 3) złożoności (w tym liczby i jakości elementów składowych projektu),
- 4) przyjętej strategii rozwoju projektu,
- 5) wiedzy i doświadczenia kierownika i zespołu projektowego oraz skuteczności podejmowanych decyzji,
- 6) zarządzania w wymiarze operacyjnym i strategicznym oraz metod i technik zarządzania projektem, np. strategii TBM, która, będąc zorientowaną na zmniejszenie czasu potrzebnego na realizację zadań w projekcie, może docelowo przyczyniać się do zwiększenia efektywności w projekcie.

Powyższe założenia prowadzą do konstatacji, że ogólny Model Efektywności Systemu Projektowego OMESP można ująć w postaci zależności:

$$OME_{sp} = f(S_{sp}, O_{sp}, WE_{met}, IS, K) \quad (3.14)$$

gdzie:

- S_{sp} – czynniki wewnętrzne projektu,
- O_{sp} – otoczenie systemu,
- WE_{met} – przyjęta metodyka analizy i wyznaczania efektywności projektu,
- IS – system informacyjny monitorujący i generujący dane źródłowe,
- K_j – potencjał (kapitał) ludzki zespołu projektowego (organizacji projektowej).

W przypadku modelu OME_{sp} opisuje się efektywność systemową procesów projektowania i zarządzania projektami E_{sp} wyrażaną w postaci iloczynu kartezyjskiego różnych wymiarów efektywności:

$$E_{sp} = E_f \cdot E_n \cdot E_e \cdot E_b \quad (3.15)$$

gdzie:

- E_f – efektywność funkcjonalna,
- E_n – efektywność niezawodnościowa,
- E_e – efektywność ekonomiczna,
- E_b – efektywność bezpiecznego funkcjonowania.

Każdy z wyżej wymienionych wymiarów tworzy swego rodzaju sieć powiązań i relacji z innymi elementami projektu, np. niski poziom efektywności niezawodnościowej może wynikać z przeciążenia realizatorów projektu/pracowników. W takim wypadku na analizę i zwiększenie efektywności w projekcie trzeba spojrzeć o wiele szerzej.

Jednym z modeli pozwalającym na to jest logika sukcesu, przedstawiona przez J. Honneggera i H. Vettigera, będąca częścią metodyki zarządzania systemowego. W ramach tego modelu należy widzieć relacje pomiędzy grupami interesu (grup jednostek posiadających wspólne interesy) a czynnikami sukcesu, które determinują efektywność całego projektu. Tworząc sieć powiązań opisującą cele każdej grupy interesu, możemy otrzymać obraz relacji poszczególnych celów i ich przełożenie na efektywność projektu. Część celów jednej grupy interesu może wpływać na cele innej grupy, więc planując odpowiednie działania (eliminacja sprzecznych celów lub wykorzystanie zjawiska synergii, czyli łączenia interesów), możemy zwiększyć efektywność projektu.

Dla ustalenia poziomu (tempa) zmiany efektywności w projekcie należy zastosować wskaźnik względnej efektywności całkowitej:

$$ef_c = \frac{\sum_{i=1}^M \Delta Z o_i}{\sum_{i=1}^M (\Delta K o_i + \Delta l o_i)} \quad (3.16)$$

gdzie:

ΔZ_o_j – suma zysków operacyjnych dla wszystkich elementów projektu,

ΔI_o_j – suma inwestycji operacyjnych na rzecz realizacji wszystkich elementów projektu,

ΔK_o_j – suma kosztów operacyjnych dla wszystkich elementów projektu.

Problem zwiększenia efektywności w projekcie jest wielowymiarowy i wymaga przede wszystkim wnikliwej analizy całego projektu w celu znalezienia elementów zaniżających ogólną efektywność projektu. Sam proces zwiększenia efektywności może okazać się często zbyt czasochłonnym postępowaniem analizy poszczególnych powiązań pomiędzy elementami w celu sprawdzenia, jak zmiany w danym elemencie wpływają na inne składowe projektu i jego efektywność, a przede wszystkim, jakie koszty są możliwe do pokrycia w kontekście możliwości budżetowych projektu.

3.4. Podsumowanie rozdziału trzeciego

W rozdziale tym przedstawiono ideę metody optymalizacji czasowej oraz rozwinięcie praktyczne metod optymalizacji czasowo-kosztowej (CPM-COST oraz PERT-COST). Omówiono powody, dla których wybrane metody optymalizacji czasowo-kosztowej są przydatne oraz wskazano na wybrane ich atrybuty w kontekście metody SWOT (zalety, wady, szanse i zagrożenia w kontekście ryzyka związanego z ich stosowaniem).

Wskazano także na koncepcję użycia metod optymalizacji czasowo-kosztowej dla zwiększenia efektywności projektu, gdzie omówiono wpływ optymalizacji na koszty i efekty projektu, a także wyspecyfikowano założenia i ograniczenia związane ze zwiększaniem efektywności w projektach oraz przedstawiono ogólny model zwiększenia efektywności.

Wszystkie zawarte w rozdziale rozważania na temat zarządzania czasem oraz optymalizacji czasowo-kosztowej zilustrowano na przykładzie w załączniku nr 2, gdzie zaprezentowano **studium przypadku** (ang. *case study*) jako obraz implementacji metody optymalizacji czasowo-kosztowej w kontekście jej wpływu na efektywność wybranego projektu informacyjnego. Podjęto próbę implementacji metody CPM-COST na podstawie własnej aplikacji, którą wykorzystano do analizy czasowo-kosztowej projektu bazującego na rozwiązaniach Microsoft Dynamics 365 (studium przypadku).

Zaprezentowany proces optymalizacji czasowo-kosztowej na przyjętym przykładzie wskazał na możliwość iteracyjnego śledzenia zmian atrybutów czasowych i kosztowych projektu. Uzyskane wyniki potwierdzają przyjęte założenia oraz ograniczenia.

Bibliografia

- [1] Frączkowski K., *Zarządzanie projektem informatycznym. Projekty w środowisku wirtualnym, Czynniki sukcesu i niepowodzeń projektów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [2] Jakubczyc J., *Metody oceny projektu gospodarczego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- [3] Zaskórski P., Woźniak J., Szwarc K., Tomaszewski Ł., *Zarządzanie projektami w ujęciu systemowym: wydanie II poprawione*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2015.
- [4] Trocki M., *Organizacja projektowa*, BIZARRE Sp. z o.o., Warszawa 2009.
- [5] Trocki M., Wyrozębski P., *Planowanie przebiegu projektów*, Oficyna wydawnicza – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2015.
- [6] Trocki M., Juchniewicz M., *Ocena projektów – koncepcje i metody*, Oficyna wydawnicza – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, Warszawa 2013.
- [7] *Project evaluation is worth the effort*, IC Project, 9/05/2018, <https://icproject.com/en/blog/project-evaluation-is-worth-the-effort/>.
- [8] Project Management Institute, <https://www.pmi.org/>.
- [9] Biliński W., *Podstawowe problemy metody analizy wartości*, „Trakcja i Wagony” 1980, nr 5-6.
- [10] Trocki M., B. Grucza, K. Ogonek, *Zarządzanie projektami*, PWE, Warszawa 2003.
- [11] Jasińska K., Szapiro T., *Zarządzanie procesami realizacji projektów w sektorze ICT*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [12] Kolonko B., *Optymalizacja czasowo-kosztowa projektów informatycznych*, praca mgr, promotor: Piotr Zaskórski, Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki, Warszawa 2020.
- [13] Lock D., *Podstawy zarządzania projektami*, PWE, Warszawa 2003.
- [14] Łabuda W., *Wybrane aspekty zarządzania projektami informatycznymi ze szczególnym uwzględnieniem kontroli realizacji projektu metodą wartości wypracowanej*, „Zeszyty Naukowe WWSI” 2012, nr 7.
- [15] Łada M., Kozarkiewicz A., *Zarządzanie wartością projektów. Instrumenty rachunkowości zarządczej i controllingu*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2010.
- [16] Marasco J., *Zarządzanie projektami informatycznymi*, HELION, Gliwice 2006.
- [17] McConnel S., *Szacowanie oprogramowania. Kulisy czarnej magii*, APN PROMISE Sp. z o.o., Warszawa 2006.
- [18] Regiński M., Syfert M., *Wprowadzenie do zarządzania projektami – materiały do wykładu*, Politechnika Warszawska 2011.
- [19] Snedaker S., *Zarządzanie projektami IT w małym palcu*, HELION, Gliwice 2007.
- [20] Szyjewski Z., *Zarządzanie projektami informatycznymi*, Placet, Warszawa 2001.
- [21] Zaskórski P., Zespół Dyplomantów, *Wybrane zagadnienia ewaluacji i walidacji projektów*, WWSI, Warszawa 2015.

- [22] ISO 31000:2018, Risk management – Guidelines, International Organization for Standardization, Geneva 2018.
- [23] Biniek Z., *Wybrane elementy zarządzania projektem informatycznym*, Wydawnictwo Vizja Press &IT, Warszawa 2010.
- [24] Flasiński M., *Zarządzanie projektami informatycznymi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [25] Nadskakuła O., *Ewaluacja projektów*, BIZARRE Sp. z o.o., Warszawa 2010.
- [26] Wysocki R., McGary R., *Efektywne zarządzanie projektami*, HELION, Gliwice 2003.
- [27] Gaspars H., *Analiza czasowo-kosztowa (CPM-COST). Algorytm a model optymalizacyjny*, <http://orduser.pwr.wroc.pl/DownloadFile.aspx?aid=46>.
- [28] Juchniewicz M., *Dojrzałość projektowa organizacji*, BIZARRE Sp. z o.o., Warszawa 2009.
- [29] Woźniak J., Zaskórski P., Pawlak K., *ICT in the information economy and communication of modern enterprises*, Military University of Technology, Warsaw 2018.
- [30] Zaskórski P., *Ewaluacja projektów, Materiały konferencyjne – Zarządzanie Projektami Informatycznymi*, „Zeszyty Naukowe WWSI” 2012, nr 8.
- [31] Koszłajda A., *Zarządzanie projektami IT. Przewodnik po metodykach*, HELION, Gliwice 2010.
- [32] Szyjewski Z., *Metodyki zarządzania projektami informatycznymi*, Placet, Warszawa 2004.
- [33] SO 9001:2015, Quality management systems – Requirements, International Organization for Standardization, Geneva 2015.